

COMPORTEMENT DES RADIOELEMENTS DANS LES FORMATIONS LATERITIQUES DES ENVIRONS DE LUBUMBASHI (SHABA, ZAIRE), APPLICATION A LA PROSPECTION DES GISEMENTS Cu-Co-U¹

par

Kayembe MAKABU², Jean-Marie CHARLET³, Pascal DOREMUS³, Yves QUINIF³.

(4 figures, 4 tableaux et 1 planche)

RESUME.- L'uranium associé aux gisements cuivre-cobalt du Sud-Shaba peut constituer un indicateur utile de minéralisations cachées ou enfouies en raison de son comportement géochimique (mobilité, fixation dans les profils latéritiques) et du comportement de ses descendants gazeux (radon, helium). C'est dans ce but qu'une étude préliminaire a été entamée sur le comportement des radioéléments uranium-thorium-potassium dans les latérites de la région de Lubumbashi. Une dizaine d'échantillons sélectionnés par la radiométrie de terrain et la spectrométrie gamma en laboratoire ont fait l'objet d'une étude géochimique plus complète (20 éléments majeurs et en traces). La distribution de l'uranium dans les cuirasses a en outre été étudiée par autoradiographie et finalement à la microsonde. Des anomalies en uranium et parfois en thorium ont été mises en évidence. Leur relation avec le comportement du Cu-Co et la présence éventuelle de minéralisations a été discutée.

ABSTRACT.- Uranium linked to the copper-cobalt deposits of the South-Shaba can constitute a useful indicator of the hidden or buried mineralizations in consideration of its geochemical behaviour (mobility, fixation into the lateritic profiles) and of the behaviour of the gas products of desintegration (radon, helium). For this goal, a preliminary study has been performed about the behaviour of the uranium-thorium-potassium radioelements into laterites of the Lubumbashi region. Some then samples selected by a radiometric survey and laboratory gamma-ray spectrometry have been the subject of a more complete geochemistry study (twenty major and trace elements). Besides, the uranium distribution in the Fe-rich crusts has been studied by autoradiography and finally with the microprobe. Uranium and sometimes thorium anomalies have been made conspicuous. Their relation with the behaviour of copper-cobalt and the possible presence of mineralizations have been discussed.

1.- INTRODUCTION

L'arc cupro-cobaltifère du Sud-Shaba forme une province métallifère d'importance mondiale; les gisements s'étalent sur plus de 300 km et se prolongent vers le Sud par l'arc cuprifère zambien (fig.1). Cette région a fait l'objet de nombreux travaux géologiques. Une synthèse a été récemment publiée par François (1987).

Les minéralisations stratiformes à cuivre-cobalt-uranium sont localisées dans le Katanguien (Proterozoïque supérieur). Elles apparaissent en deux corps minéralisés dont l'épaisseur atteint une dizaine de mètres et qui sont situés à la base d'une série de 6000 à 8000 mètres déposée

dans un bassin intra cratonique entre les orogènes kibarienne (1050 à 1100 Ma) et katangienne (600 à 650 Ma). La série organo-chimique, lagunaire, évaporitique à la base du Katanguien (Roan) devient surtout pélimitique au Kundelungu.

La tectonique des gisements cuprifères est très complexe. C'est grâce à cette tectonique tangentielle et extrusive que le Roan minéralisé du

1.- *Manuscrit reçu en mai 1990.*

2.- *Faculté Polytechnique, Université de Lubumbashi, BP 1825, Zaire*

3.- *Faculté Polytechnique de Mons, 9, rue de Houdain, 7000 - Mons*

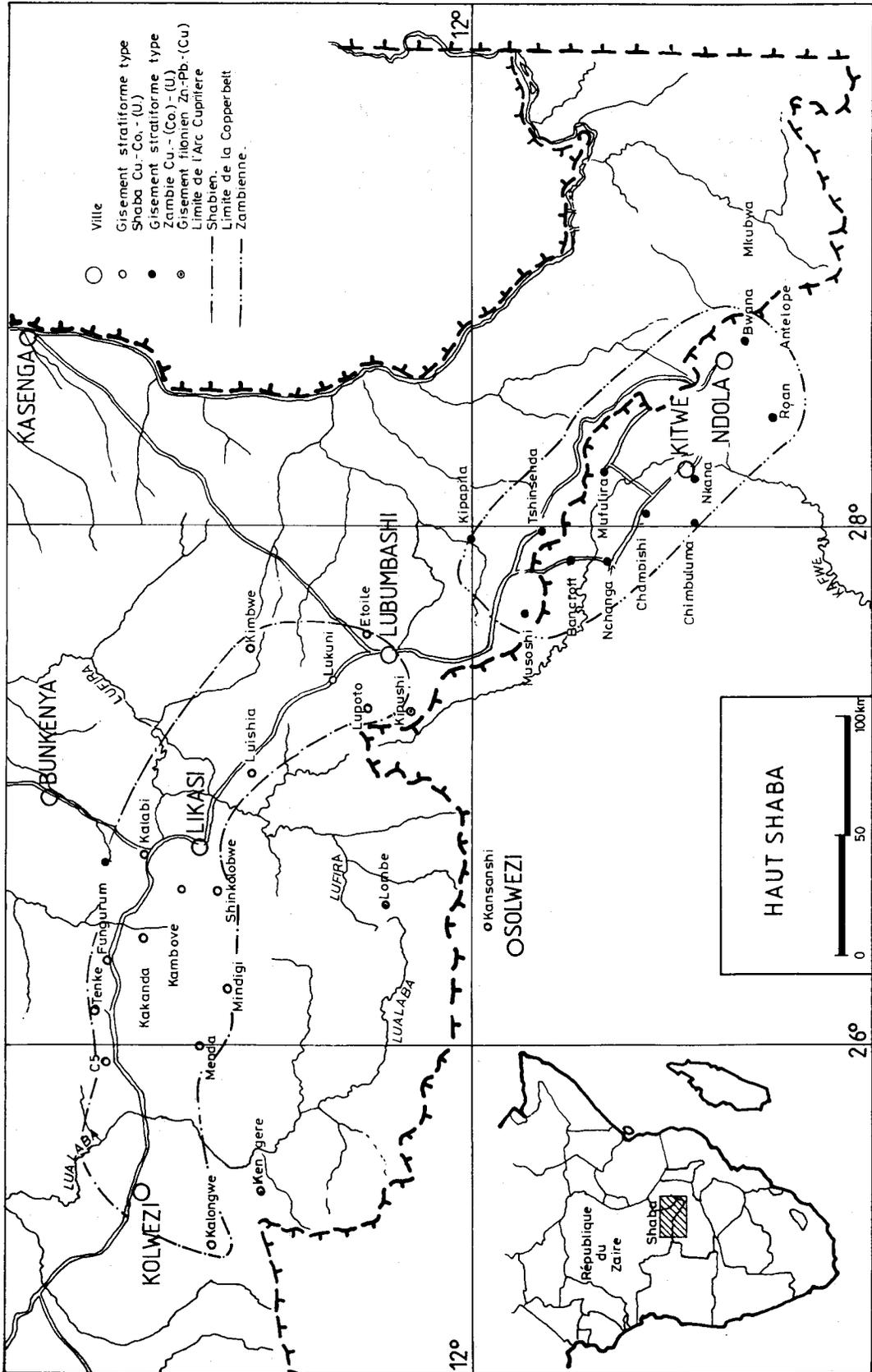


Fig. 1.- Distribution des gisements Cu-Co-U au Shaba et en Zambie. D'après François (1973).

Katanguien inférieur (série des Mines) apparaît en écaillés reposant sur le Kundelungu du Katanguien moyen et supérieur (François, 1973).

L'uranium est souvent associé aux minéralisations cuivre-cobalt avec des tonnages parfois notables (2000 tonnes à Kamoto, François). En outre, des gisements d'allure filonienne principalement uranifères existent. Le plus célèbre est le gisement de Shinkolobwe impressionnant par les teneurs qui y ont été rencontrées. C'est le seul gisement qui fut exploité au Shaba pour l'uranium.

La similitude entre les gisements uranifères (type Shinkolobwe) et cuprifères (type Kamoto) a été discutée par Ngongo-Kashisha (1975). Elle établit la relation entre les deux types de minéralisation.

Dans le cadre d'une prospection minière indirecte des gisements cachés on peut donc poser deux questions :

- existe-t-il d'autres «Shinkolobwe» au Shaba ?
- l'uranium, élément facilement mobilisable ou ses descendants radioactifs permettraient-ils de localiser des gisements cachés à cuivre-cobalt ?

Une recherche a donc été entamée sur les conditions de mobilisation et de reprécipitation de l'uranium dans les sols latéritiques du Shaba méridional (Makabu, 1989). Le nombre d'échantillons étudiés certes limité a permis de mettre en évidence un indice à cuivre-cobalt dans la zone de Lukuni (fig.2).

2.- DONNEES DE TERRAIN

En vue d'établir le comportement des radioéléments dans les latérites en dehors des zones considérées comme minéralisées quelques profils ont été étudiés dans une aire d'environ 20 km autour de la ville de Lubumbashi. Un levé radiométrique a été effectué dans six secteurs (fig.2). Une vingtaine d'échantillons ont été sélectionnés en fonction de critères pétrographiques, pédologiques et radiométriques. On y distingue :

- des shales du Kundelungu frais ou altérés (Ech 2-3-4)
- des shales chloriteux dolomitiques minéralisés en cuivre de la série des mines (Ech 1)
- des cuirasses latéritiques provenant des secteurs de Tumbwe (Ech 7), de l'Ermitage (Ech 8-9-10-11), de la Katuba (Ech 12-13-14-15) et de Kisanga (Ech 16-17-18). Ce sont généralement des cuirasses pisolithiques ou oolithiques. L'échantillon 10 est un fragment plus massif de cuirasse ancienne remaniée mécaniquement dans les altérites du secteur de l'Ermitage.

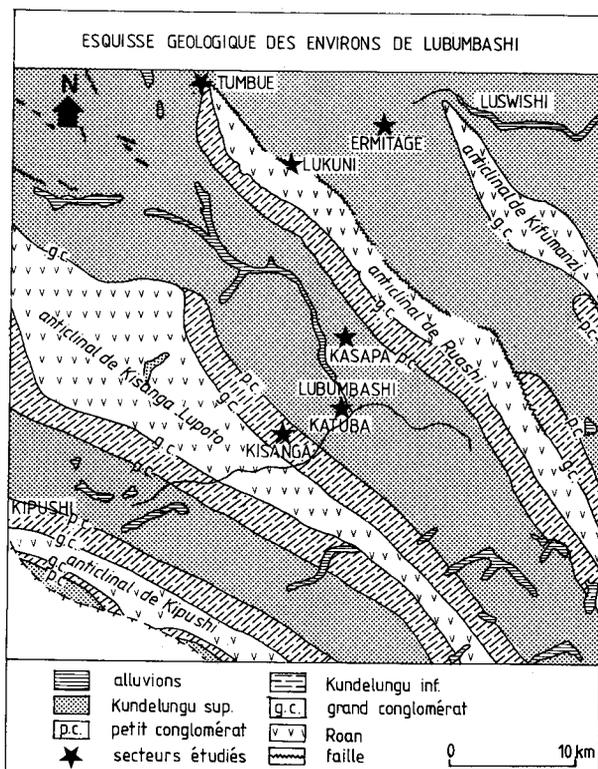


Fig.2.- Esquisse géologique de la région de Lubumbashi - D'après Intiomale, 1982 - et implantation des zones d'études.

- des altérites du secteur de Lukuni (Ech 5-6) comprenant des roches plus ou moins compactes auxquelles nous associons le sol à concrétions ferrugineuses de la Kasapa (Ech 19). Les roches compactes et tendres correspondent à l'horizon B du manteau d'altération. Ce sont des matériaux à structure schisteuse résiduelle dérivant du shale rouge brunâtre qui constitue le substrat.

Le levé radiométrique a été effectué à l'aide d'un scintillomètre portable Geometrics équipé d'un cristal NaI (TI) de 1,5 X 1,5 pouces. L'appareillage avait été au préalable calibré sur la station d'étalonnage de la Faculté Polytechnique de Mons (Charlet *et al.*, 1982). Une source standard a en outre permis un calibrage secondaire sur le terrain. Les taux de comptage en coups par unité de temps ont été ainsi convertis directement en unités normalisées (Ur: taux de comptage obtenu sur une formation géologique supposée infinie et contenant 1 ppm d'uranium à l'équilibre).

Deux anomalies radiométriques ont pu être repérées (voir tableau 1): l'une dans la région de Kisanga à l'Est de la route Lubumbashi-Kipushi et l'autre au-dessus de la carrière de Lukuni. On peut noter que dans la carrière même de Lukuni la série du Roan minéralisée en cuivre ne montre aucune anomalie radiométrique. Les anomalies repérées dans l'horizon B proviendraient donc du déplacement d'un uranium reconcentré sur les oxyhydroxydes de fer de l'horizon B.

3.- RAPPEL SUR LE COMPORTEMENT DES RADIOELEMENTS NATURELS DANS LES FORMATIONS LATÉRIQUES

De nombreuses études ont été effectuées sur le comportement des radioéléments naturels dans les formations latéritiques (Michel, 1983; Samama, 1984; Moge, 1985). On trouvera une synthèse bibliographique assez complète dans Samama (1984) et Durrance (1986).

Le comportement géochimique de l'uranium résulte de son double état de valence (U^{4+} et U^{6+}) et de la facilité avec laquelle il forme des complexes. Le complexe oxyhydroxyde uraneux colloïdal a une charge positive, sa formation est donc souvent accompagnée de la précipitation simultanée d'anions et de colloïdes chargés négativement comme ceux de vanadium, manganèse ou silice (Durrance, 1986). C'est cependant sous la forme uranyl (U^{6+}) que sa fixation par adsorption est la plus fréquente sur les oxyhydroxydes de fer, titane et manganèse, les phosphates et les minéraux argileux. L'adsorption sur les oxyhydroxydes de fer est particulièrement efficace dans le domaine de pH 5-8 mais décroît en présence de CO_2 au-dessus du pH8. Le facteur d'enrichissement peut atteindre 10^6 (rapport de l'U dans le sorbant et la solution). En présence d'agents complexants comme les carbonates, phosphates, sulfates et fluorures, le phénomène peut être inhibé. L'adsorption de l'U sur les minéraux argileux a été investiguée expérimentalement (Borovec, 1981). Il apparaît que le rôle joué par les argiles est généralement faible vis-à-vis de celui de la matière organique et des oxyhydroxydes de fer en raison de la nature imperméable des feuillettes qui ne permettent pas la pénétration des solutions enrichies en uranium.

Contrairement à l'uranium, le thorium possède un seul état d'oxydation (Th^{4+}). Sa solubilité est très faible (Hassan et Hossin, 1975). Il se concentre ainsi dans les résistats (minéraux lourds souvent thorifères). Le thorium peut cependant migrer sous forme de colloïdes hydroxylés ou silicatés. En raison de sa charge et de son rayon élevé il peut former des complexes anioniques qui accentuent alors sa mobilité. Partiellement mobilisé il peut se fixer par adsorption sur les hydrolysats comme les minéraux argileux, les oxyhydroxydes de fer et les bauxites.

Le potassium est dans les latérites principalement lié à la composante illitique. Une kaolinisation intense favorise l'appauvrissement des formations en potassium.

4.- LES CONCENTRATIONS EN RADIOELEMENTS (U-Th-K20) - DOSAGES PAR SPECTROMETRIE GAMMA.

En raison des considérations précédentes sur le comportement sélectif des radioéléments naturels dans les formations latéritiques, l'analyse en spectrométrie gamma constitue une méthode d'approche évidente. Elle permet en effet le dosage simultané de l'uranium, du thorium et du potassium et la détermination du déséquilibre Ra/U dans la famille de l'U par le dosage de l'U-235 sur la raie à 184 keV (Um). La méthode analytique a été largement décrite par Quinif *et al.*, 1985. Le tableau 1 permet de distinguer divers ensembles:

- les échantillons du substratum considéré comme non altéré (1-2-3) montrent des teneurs voisines du clark des roches pelitiques (Clarke *et al.*, 1966) avec cependant des teneurs élevées en K20, principalement pour l'échantillon appartenant aux «schistes dolomitiques» de la série des Mines (Ech 1).
- les cuirasses fortement appauvries en K20 et d'une manière générale enrichies en U (Ech 7-8-9-10-11-12-13-14-15-16-17-18). Parmi ces échantillons on peut noter l'anomalie particulièrement forte de Kisanga repérable directement sur le terrain et les fortes teneurs en thorium du secteur de l'Ermitage (supérieures à 20ppm).
- le cas particulier des échantillons de Lukuni (Ech 5-6) montrant une forte anomalie en U (jusque 200 ppm) et qui, en raison de la proximité d'une minéralisation cuprifère sera traité séparément.

Plusieurs diagrammes géochimiques ont été proposés en 1982 par Quinif *et al.* pour caractériser les faciès sédimentaires à partir des concentrations en radioéléments Th-U-K. Dans une première étape un traitement a été effectué en éliminant les échantillons anomaux en Th de la zone de l'Ermitage. Les points expérimentaux sont (fig.3), dans un diagramme en $\ln Th/U - \ln U/K20$, bien positionnés sur une droite porteuse obéissant à l'équation $U/K20 = 2,179 (Th/U)^{-1,9}$ (avec un coefficient de corrélation de 0,967). Les points 1-2-3 (ensemble A) correspondent à des échantillons du socle non altéré. La dispersion des points autour de la droite porteuse traduit les conditions particulières de concentration des radioéléments pendant la phase de sédimentation. L'ensemble B regroupe les cuirasses des secteurs de Kisanga, Katuba et Tumbwe; il est caractérisé par une faible

Tableau 1.- Résultats de la spectrométrie gamma

Secteur	Ech	Ur	eU ppm	Th ppm	K20 %	Um ppm	Ra/U %	Th/U
Lukuni	1	15.8	3.6	10.5	4.91	3.2	-11	2.9
Ermitage	2	11.9	4.3	13.3	3.81	4.3	0	3.09
Tumbwe	3	-	5.6	11.4	4.47	5.3	- 5.3	2.04
"	4	15.8	11.8	11.5	4.2	10.2	- 14	0.97
Lukuni	5	154.2	195	8.9	0.55	188	- 3.5	0.04
"	6	114.6	80.3	11.7	1.7	74.9	- 7	0.146
Tumbwe	7	13.8	10.2	11.7	1.39	10.1	- 0.9	1.15
Ermitage	8	-	14.7	20.7	0.07	14.7	0	1.41
"	9	17.8	8.9	20.6	0.75	8.4	- 5	2.31
"	10	-	12.1	21.5	0	14	15.7	1.78
"	11	19.8	8.4	20	0.59	8.5	1.2	2.38
Katuba	12	15.8	16	8.9	0.71	15	- 6.19	0.56
"	13	15.8	15.4	9.7	0.74	14.4	- 6.4	0.63
"	14	17.8	12.5	8.8	0.51	12.2	- 2.3	0.70
"	15	9.9	7.0	8.5	1.09	7.1	1.4	1.21
Kisanga	16	29.6	31.3	12.1	0.73	28.8	- 7.9	0.387
"	17	11.1	5.9	9.3	1.4	5.6	- 5	1.58
"	18	11.1	6.5	10.9	1.65	6.6	1.5	1.68
Kasapa	19	7.9	3.0	12.1	0.61	3.0	0	4.03

Ur : unité de radioactivité (comptage total sur le terrain)

eU : déterminé sur les raies du Bi 214

Th : " sur la raie de l'Ac 228 à 930 keV

UM : " sur la raie à 184 keV de l'Ur 35

K40 : " sur la raie à 1,461 keV

Ra/U : taux de déséquilibre (rapport en % entre eU et Um)

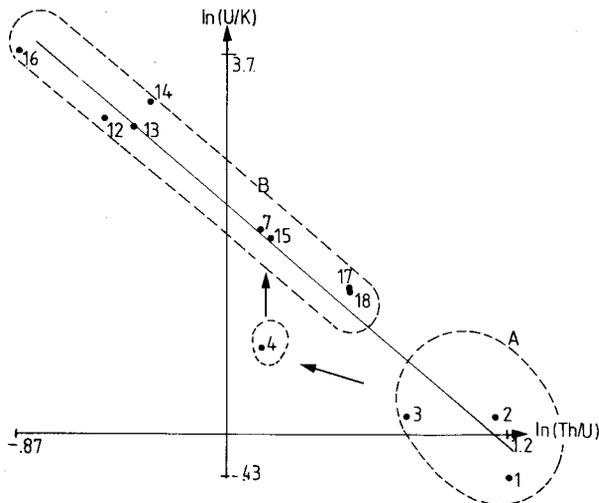


Fig.3.- Diagramme de corrélation $\ln(\text{Th}/\text{U}) - \ln(\text{U}/\text{K})$ non compris les anomalies Th.

dispersion des points autour de la droite porteuse traduisant un même processus de reconcentration que nous montrerons s'effectuer préférentiellement sur les oxyhydroxydes de fer. La position intermédiaire de l'échantillon 4 caractérise un socle altéré dans lequel on peut considérer deux types d'uranium : un uranium «primaire» issu des shales du Kundelungu et un uranium provenant des processus de mobilisation et reprécipitation au cours de l'altération. Le tableau 2 illustre pour le secteur de Tumbwe l'effet de concentration précoce de l'uranium dans les shales rubéfiés et l'élimination du potassium dans la cuirasse.

Tableau 2

	U (ppm)	Th (ppm)	K20%
cuirasse			
7	10,1	11,7	1,39
Shale altéré			
4	10,2	11,5	4,2
Shale sain			
3	5,3	11,4	4,47

Les échantillons anormaux en thorium font apparaître un troisième ensemble caractérisant notamment les cuirasses du secteur de l'Ermitage parfois remaniées mécaniquement dans les altérites plus récentes (fig.4, ensemble C). On peut considérer que ces cuirasses anciennes ont subi une évolution plus poussée conduisant à une augmentation du rapport Th/U sous l'effet d'un certain lessivage de l'uranium et d'une concentration secondaire du thorium peu mobile (zircon identifié microscopiquement).

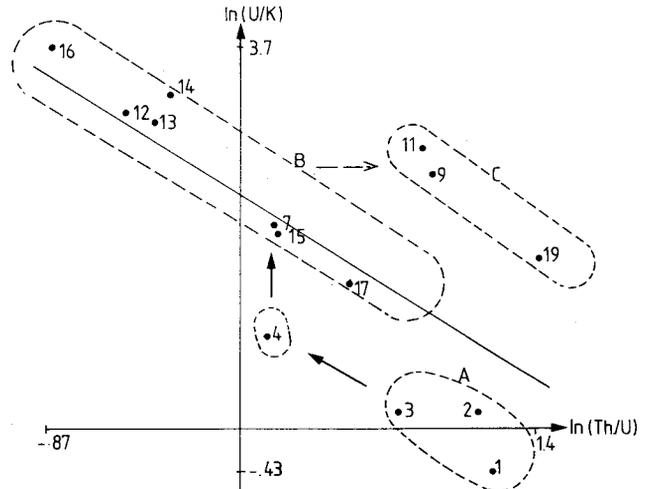


Fig.4.- Diagramme de corrélation $\ln(\text{Th}/\text{U}) - \ln(\text{U}/\text{K})$, ensemble des échantillons.

Le diagramme de la figure 4 permet ainsi d'envisager les étapes suivantes dans le comportement des radioéléments au cours de l'altération :

- préconcentration d'uranium dans les faciès rubéfiés (Ech 4)
- départ de potassium (ensemble B) avec éventuellement enrichissement secondaire en uranium (pour les échantillons 12-13-14-16)
- départ total (ou partie) des éléments solubles (K-U) dans les faciès les plus évolués et enrichissement parallèle du thorium entraînant une augmentation du rapport Th/U pour un maintien constant du rapport U/K (évolution de B à C). On retrouve ainsi dans l'ensemble C des échantillons pour lesquels le rapport Th/U est analogue à celui des roches saines ($\text{Th}/\text{U} = 2-4$) mais avec des teneurs très faibles en potassium (voir nulle comme dans les échantillons 8 et 10). Toutefois, sur le terrain l'ensemble C ne se distingue pas en radiométrie de l'ensemble A et B car l'augmentation des concentrations en thorium s'accompagne d'une diminution des teneurs en potassium et (ou) en uranium.

Enfin, les valeurs Ur résultant des mesures effectuées sur le terrain en total count et converties en équivalent uranium sont bien corrélées aux teneurs en uranium déterminées par spectrométrie gamma ($r=0,957$ pour 16 échantillons). La droite de corrélation a pour équation $y=0,851x + 8,86(1)$ avec $y=\text{Ur}$ et $x=\text{Um}$. L'ordonnée à l'origine est liée au potassium et au thorium. La relation (1) montre ainsi qu'en première approximation les anomalies radiométriques repérées sur le terrain en total count sont bien représentatives des concentrations élevées en uranium.

5.- LA DISTRIBUTION DES RADIO-ELEMENTS DANS LE CONTEXTE GEOCHIMIQUE REGIONAL

Dix échantillons représentatifs des différents ensembles définis à partir de la courbe porteuse Ln (Th/U) - Ln (U/K2O) ont été sélectionnés pour une étude géochimique multiéléments*. Les données ont été normalisées par rapport à l'échantillon sain des shales du Kundelungu et sont données au tableau 3.

Il y a d'abord lieu de faire la distinction entre les échantillons 1-5 au comportement particulier (carrière de Lukuni) et les échantillons appartenant à des profils latéritiques développés sur les shales du Kundelungu.

Les schistes dolomitiques (Ech 1) de la série des Mines prélevés à l'ancienne carrière de Lukuni exploitée pour le cuivre sont fortement enrichis en ce métal et d'une manière beaucoup plus faible en cobalt. L'horizon B prélevé dans le même secteur (Ech 5) est par contre fortement enrichi en cobalt (facteur 30) et en uranium (facteur 40) par rapport à l'encaissant immédiat.

Au tableau 3 nous avons regroupé les éléments dont le comportement est identique. On peut constater :

- un départ des éléments K, Mg et Si ainsi que du cuivre et du baryum (valeurs inférieures à 1).
- une concentration sélective du Fe_2O_3 et des éléments U-Mo-V-Co-Pb et Ce (valeurs supérieures à 1).

L'analyse des corrélations entre les variables a porté sur neuf échantillons. Si cela peut apparaître comme un ensemble peu nombreux d'individus il faut cependant souligner qu'il résulte d'une présélection sur le terrain à partir du levé radiométrique et d'une sélection ultérieure lors de l'étude en spectrométrie gamma. La courbe porteuse Ln Th/Um - Ln Um/K2O a en effet permis de définir trois familles d'échantillons. Les neuf individus sélectionnés dans ces familles peuvent être considérés comme représentatifs. Ils permettront de dégager certaines tendances. La matrice des coefficients de corrélation obtenue à partir d'une analyse en composantes principales est présentée au tableau 4. Nous avons considéré comme significatif les coefficients R supérieurs à plus ou moins 0,66 pour une probabilité de 97,5% suivant en cela l'analyse effectuée par Keita (1988) sur les profils latéritiques dans le Birrimien.

L'examen du tableau 4 permet de reconnaître :

- un pôle ferrifère regroupant l'uranium ($r = 0,91$ après élimination de l'échantillon 3034 fortement anormal) et ses accompagnateurs classiques Mo ($R = 0,87$) et V ($R = 0,77$).

- un pôle constitué des éléments solubles opposé au pôle Fe. On y trouve le potassium et un certain nombre d'éléments qui lui sont positivement corrélés : Mg ($R = 0,93$), Cu ($R = 0,76$), Si ($R = 0,68$).
- un pôle représenté par les insolubles avec les trois éléments Al-Zr-Ti et entre lesquels les coefficients de corrélation sont positifs (Zr - Al = 0,74; Zr-Ti = 0,87; Ti-Al = 0,84).

6.- L'ETUDE EN AUTORADIOGRAPHIE ET A LA MICROSONDE

L'étude de la répartition des radioéléments émetteurs de particules alpha a été effectuée grâce au détecteur solide de traces. Depuis plusieurs années le laboratoire de la Faculté Polytechnique de Mons utilise le polymère CR-39 (Charlet *et al.*, 1984) en plaques de 1 mm d'épaisseur qui est appliqué sur une lame mince non couverte ou une surface polie. Le temps d'exposition doit être adapté à la concentration moyenne de l'échantillon en uranium. Il a été d'un mois environ pour les échantillons d'altérites. Après révélation à l'aide d'un traitement chimique à la soude, la préparation est observée au microscope optique en lumière transmise afin d'apprécier la densité et la répartition des particules alpha. Seul l'échantillon MK 3033 a montré une densité de traces appréciable préférentiellement répartie (planche 1, photo A) sur la goethite, l'hématite et quelques plages identifiées comme étant de l'hétérogénéité (hydroxydes de cobalt). Après séparation magnétique la fraction ferrugineuse montre d'ailleurs une densité de traces plus importante. De ces observations on peut conclure que l'uranium n'est pas exprimé minéralogiquement même dans les échantillons les plus radioactifs.

Les analyses à la microsonde ont été réalisées à la Faculté Polytechnique de Mons dans le service du Prof Blave (sonde FPMs-INISMA). Elles ont porté sur des plages où les traces alpha révélées par autoradiographie étaient plus importantes. Les photos B-C-D, planche 1 montrent les relations entre l'hétérogénite (hydroxyde de cobalt) et les hydroxydes de fer. On observe que les plages d'hétérogénite entourent la goethite. Etant donné les limites de détection de l'uranium on peut encore une fois affirmer que celui-ci même à l'échelle d'observation de la microsonde n'est pas exprimé minéralogiquement mais se trouve adsorbé sur les phases hydroxylées à grande surface spécifique (hétérogénite et goethite).

* Les échantillons ont été analysés au laboratoire de géochimie du Prof Martin (UCL) par spectrométrie d'émission plasma continu, type DC et au laboratoire de géochimie du Prof Duchesne (ULg) par spectro fluorescence X

Tableau 3.- Normalisation par rapport à la roche-mère (shale kundelunguien)

	SiO ₂	K ₂ O	MgO	Cu	Ba	Fe ₂ O ₃	U	Mo	V	Co	Pb	Ce
valeur de normalisation	63,70 %	3,81 %	1,32 %	617 ppm	1008 ppm	5,83 %	4,3 ppm	8 ppm	139 ppm	55 ppm	34 ppm	70 ppm
2 shale kundelunguien	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
1 shale roanien	1.08	1.29	0.86	33.2	0.57	0.95	0.74	1.00	0.81	10.8	0.97	0.67
5 horizon B	0.42	0.14	0.01	22	0.19	4.03	43.7	14	2.19	3054	10.9	2.00
7 cuirasse	0.76	0.36	0.47	0.44	0.91	3.79	2.72	2.25	2.42	4.95	2.26	2.63
10 cuirasse	0.43	0.00	0.32	0.51	0.11	8.65	3.26	2.38	4.10	2.25	1.59	3.84
11 cuirasse	0.86	0.15	0.31	0.20	0.22	3.42	1.98	1.38	1.89	1.04	1.15	2.87
12 cuirasse	0.66	0.19	0.43	0.27	0.54	5.71	3.49	1.75	5.81	4.71	3.26	3.39
16 cuirasse	0.53	0.19	0.44	0.17	0.21	5.86	6.51	15.3	4.82	1.80	1.41	1.41
18 cuirasse	0.46	0.43	0.58	0.14	0.79	6.57	1.53	2.13	3.73	9.11	3.53	9.27
19 sol fer-ralitique	0.91	0.16	0.28	0.16	0.21	1.46	2.81	1.63	1.29	7.33	1.35	1.87

Tableau 3.- suite

	TiO2	Al2O3	Zr	Th	P2O5	MnO	As	Zn	Cr	La
valeur de normalisation	1.26 %	17.18 %	287 ppm	13.3 ppm	0.08 %	0.14 %	85 ppm	425 ppm	131 ppm	41 ppm
2 shale kun delunguien	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
1 shale roanien	0.29	0.72	0.53	0.79	0.13	0.79	0.71	0.61	0.92	0.66
5 horizon B	0.06	0.48	0.27	0.67	5.13	4.86	12.4	0.59	1.95	1.80
7 cuirasse	1.14	0.94	1.08	0.88	1.88	6.79	3.16	0.35	0.98	1.00
10 cuirasse	0.35	0.47	0.57	1.62	2.13	0.79	1.14	0.26	0.70	0.88
11 cuirasse	0.71	0.86	1.26	1.5	0.25	0.57	0.81	0.11	1.95	1.20
12 cuirasse	0.72	0.65	0.84	0.67	1.38	2.00	1.81	1.09	1.10	0.51
16 cuirasse	0.88	0.99	0.98	0.91	1.38	0.29	2.54	0.15	1.47	0.29
18 cuirasse	0.74	0.95	0.71	0.82	1.75	5.43	1.38	0.27	1.71	0.66
19 sol ferrallitique	1.48	1.18	1.55	0.91	0.75	0.29	0.86	0.28	0.89	0.66

Tableau 4.- Matrice de corrélation

Si	1												
Ti	.2	1											
Al	.31	<u>.84</u>	1										
Fe	<u>-.97</u>	-.38	(-.54)	1									
K	<u>.68</u>	-.24	.08	<u>-.66</u>	1								
P	<u>-.81</u>	.03	-.24	<u>.77</u>	-.48	1							
Mg	(.51)	-.2	.07	(-.52)	<u>.93</u>	-.27	1						
U	(-.64)	-.12	-.19	(.62)	(-.51)	.42	-.37	1					
Zn	.32	<u>.87</u>	<u>.74</u>	-.43	-.35	-.29	-.4	-.13	1				
Cu	(.54)	(-.52)	-.25	-.45	<u>.76</u>	(-.56)	(.52)	-.34	-.48	1			
Mo	-.43	.07	.2	.32	-.27	.2	-.19	<u>.87</u>	.02	-.19	1		
V	<u>-.83</u>	-.22	-.41	<u>.84</u>	(-.61)	(.63)	-.44	<u>.77</u>	-.31	-.44	.47	1	
	Si	Ti	Al	Fe	K	P	Mg	U	Zr	Cu	Mo	V	

R > 0.66 (valeur absolue) : souligné

0.66 < R < 0.5 : entre parenthèses

0.5 > R : non souligné ni mis entre parenthèses

7.- CONCLUSIONS

Les altérites de Lubumbashi qui surmontent les shales du Kundelungu montrent des concentrations anormales en radioéléments et métaux associés.

Le potassium est plus abondant dans les sédiments où il est lié aux illites. La kaolinisation poussée contribue à son évacuation parfois totale dans certaines cuirasses (Ech 10). Le silicium, le magnésium et certains métaux comme le cuivre l'accompagnent.

Le thorium est mal corrélé au potassium, conséquence d'une longue évolution pédologique et du lessivage qu'ont subi les altérites. Outre sa liaison à la fraction argileuse le thorium est présent dans les résistats (zircon, ...). Les anomalies en thorium apparaissent dans des cuirasses anciennes remaniées mécaniquement (Ermitage).

L'uranium, principal responsable de la radioactivité totale enregistrée *in situ*, a un comportement indépendant de celui du thorium et du potassium. L'uranium à faible teneur rencontré dans le substratum est lié aux conditions de sédimentation dans les séries pelitiques du Kundelungu (courbe proteuse Ln Th/Um-Ln Um/K20). L'uranium mobilisé, qui marque déjà le shale altéré, caractérise les altérites. Les teneurs élevées rencontrées dans ce cas sont le résultat des phénomènes de remobilisation et d'adsorption

sur des pièges particuliers où l'U est associé au Fe-Mo-V. Les fortes anomalies (Ech 5-6) seraient le résultat de la remobilisation d'une minéralisation U-Cu-Co du Roan. L'uranium y est piégé sur des minéraux à haute surface spécifique (hydroxydes de fer ou de cobalt) tout en n'étant pas exprimé minéralogiquement.

Une étude du comportement respectif des éléments Th-U-K permet ainsi de préciser l'évolution suivante en environnement latéritique: concentration précoce de l'uranium dans les faciès rubéfiés; départ du potassium avec éventuellement enrichissement secondaire de l'uranium fixé sur les oxyhydroxydes de fer ou de cobalt; dans les faciès les plus évolués départ des éléments solubles (K et partiellement U) et enrichissement en Th.

Dans le cadre de la prospection des gisements cuprocobaltifères par les méthodes radiométriques on peut noter le comportement différentiel des trois éléments U-Co-Cu. Le cuivre a tendance à être éliminé avec des éléments comme K-Mg-Si. Le cobalt a un comportement assez variable (faible coefficient de corrélation avec les autres éléments) bien que globalement il se concentre dans les altérites. L'uranium est piégé dans les profils latéritiques. La gammamétrie constitue ainsi une méthode efficace de prospection de surface. Elle a permis dans le cadre de ce travail préliminaire de mettre en évidence un indice à Cu-Co dans la zone de Lukuni. Il faut toutefois faire remarquer que des

anomalies, certes plus faibles, apparaissent dans des cuirasses situées sur les shales du Kundelungu non minéralisés et donc que des tests complémentaires seront nécessaires pour différencier les «bonnes» anomalies, des «fausses» anomalies (non liées aux minéralisations). Les méthodes radon pourraient ainsi constituer un complément utile à la gammamétrie en vue de localiser les «bonnes» anomalies liées à des minéralisations sous couverture. On sait que les minéralisations stratiformes du Shaba sont associées à des roches particulièrement perméables comme les RSC (roches siliceuses cellulaires) du Roan, souvent fracturées et accompagnées de brèches. Elles pourraient constituer des zones préférentielles de migration du radon, descendant gazeux de l'uranium.

Les méthodes radon particulièrement bien développées à la Faculté Polytechnique de Mons sont finalement peu coûteuses et bien adaptées à des campagnes de prospection. Pour les mesures dans les sols, elles utilisent des détecteurs au charbon actif et un système de comptage analogue à celui de la gammamétrie. C'est en vue de tester la faisabilité de ces méthodes qu'une campagne de mesures devrait être entamée en collaboration avec le service géologique de la GECAMINES et l'Université de Lubumbashi.

REMERCIEMENTS

Ce travail a été réalisé dans le cadre de la Maîtrise interuniversitaire en Géologie des Terrains Superficiels coordonné par le Prof. Alexandre (Univ. de Liège) et grâce à l'appui de l'Agence Générale de Coopération au Développement (Belgique). Les auteurs tiennent également à remercier les professeurs R. Van Rossum et Tshidibi N.Y.B (Université de Lubumbashi) pour l'aide apportée sur le terrain, les professeurs J.C. Duchesne (Univ. de Liège) et H. Martin (Univ. de Louvain) pour les analyses multiéléments et le professeur A. Blave (Faculté Polytechnique de Mons) pour les analyses à la microsonde électronique.

BIBLIOGRAPHIE

- BOROVEC, Z., 1981. The adsorption of uranyl species by fine clay. *Chem. Geol.*, 32: 45.
- CHARLET, J.M., DRUMEL, B., QUINIF, Y., YANS, D., 1982. Conversion des résultats d'une prospection radiométrique autoportée en unités de concentration de radioéléments. *Ann. Soc. géol. de Belg.*, 105: 195-203.
- CHARLET, J.M., DORCHIES, L., QUINIF, Y., 1984. Découverte de minéraux uranifères dans le Siegenien du Synclinal de Neufchâteau, conséquences sur la signification des anomalies radiométriques du Dévonien inférieur de la Haute Ardenne. *Ann. Soc. géol. Belg.*, 107: 1-13.
- DURRANCE, EM., 1986. Radioactivity in Geology. Principles and applications. Ed. John Wiley and Sons. 441 p.
- FRANCOIS, A., 1973. L'extrémité occidentale de l'arc cuprifère shabien. Etude géologique. Publié par le Département géologique de la Gécamines, Likasi, République du Zaïre: 65.
- FRANCOIS, A., 1987. Synthèse géologique sur l'Arc cuprifère du Shaba (Rép. du Zaïre). *Bull. Soc. belge Géol.*, vol. hors série publié à l'occasion du Centenaire de la Société: 15-55.
- HASSAN, A. et HOSSIN, M., 1975. Contribution à l'étude des comportements du thorium et potassium dans les roches sédimentaires. *C.R. Acad. Sci.*, Paris, 280: 533-535.
- INTIOMALE, M.M., 1982. Le gisement Zn-Pb-Cu de Kipushi (Shaba, Zaïre). Thèse Sci. UCL, Belgique: 300.
- KEITA, S.G., 1988. Pétrologie et géochimie d'une séquence de profils latéritiques dans le birrimien de la Bagoé. Exemple de l'anomalie aurifère de Nampala (Sud Mali). Mém. Maîtrise en GTS, UCL, Belgique: 183.
- MAKABU, K., 1989. Comportement des radioéléments (U-Th-K) dans les formations latéritiques des environs de Lubumbashi (Shaba, Zaïre). Maîtrise interuniversitaire en géologie des terrains superficiels. 111 p.
- MICHEL, D., 1983. Les oxy-hydroxydes de fer: leur rôle dans la distribution de l'uranium en milieu supergène. Thèse. Inst. Nat. Polyt. Lorraine, Nancy: 168 p.
- MOGE, B., 1985. Comportement supergène de l'uranium en environnement ferrallitique. Etude des anomalies de Kenieko (Mali). Thèse. Inst. Nat. Polyt. Lorraine, Nancy.
- MOGE, B., SAMAMA, J.C., VALENCE, G., 1987. Behavior of uranium in ferrallitic environments. The case of the Kenieko occurrences (Mali). *Uranium*, 3: 117-130.
- NGONGO-KASHISHA, 1975. Sur la similitude entre les gisements uranifères (type Skinkolobwe) et les gisements cuprifères (type Kamoto) au Shaba, Zaïre. *Ann. Soc. géol. Belg.*, 98, 1975: 449-462.
- QUINIF, Y., CHARLET, J.M., DUPUIS, C., 1982. Géochimie des radioéléments U-Th-K₂O dans les roches détritiques: une nouvelle méthode d'interprétation. *Ann. Soc. géol. Belg.* 105: 223-233.
- QUINIF, Y., LAIR, Ph., CHARLET, J.M., 1985. Le dosage des radioéléments naturels U-Ra-Th-K₂O par spectrométrie gamma sur chaîne de mesure automatisée, les applications aux Sciences de la Terre. *Bull. Soc. belge Géol.*, 94, 4: 255-267.
- SAMAMA, J.C., 1984. Uranium in lateritic terranes. *Atomic Energ. Ag. Vienne, Techn. docum.*, n°322: 53-60.

PLANCHE 1

- A. Autoradiographie de la distribution de l'uranium dans la matrice ferrugineuse. Le trait horizontal représente 50 microns.
 - B. Plage étudiée à la microsonde, avec ses grains de goethite (G) et d'hétérogénite (H).
 - C. Distribution du fer.
 - D. Distribution du cobalt.
- Pour les photos B-C-D, le trait horizontal représente 10 microns.

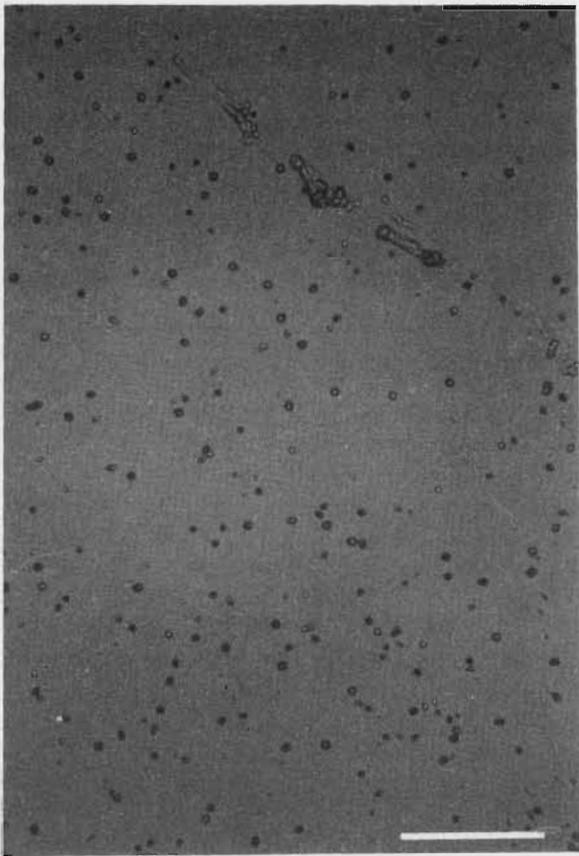


Photo 1A

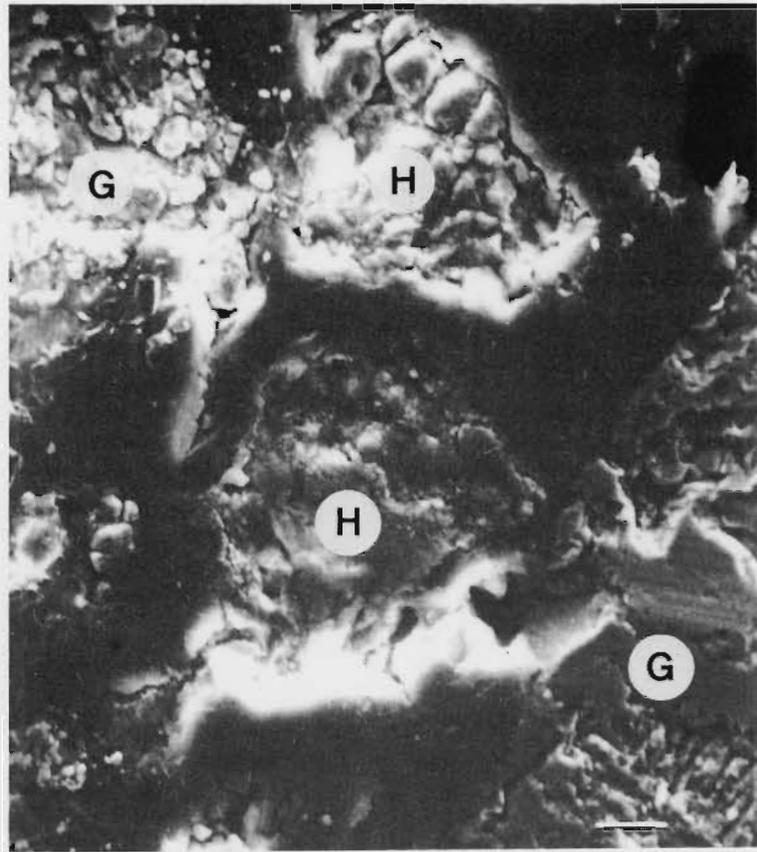


Photo 1B

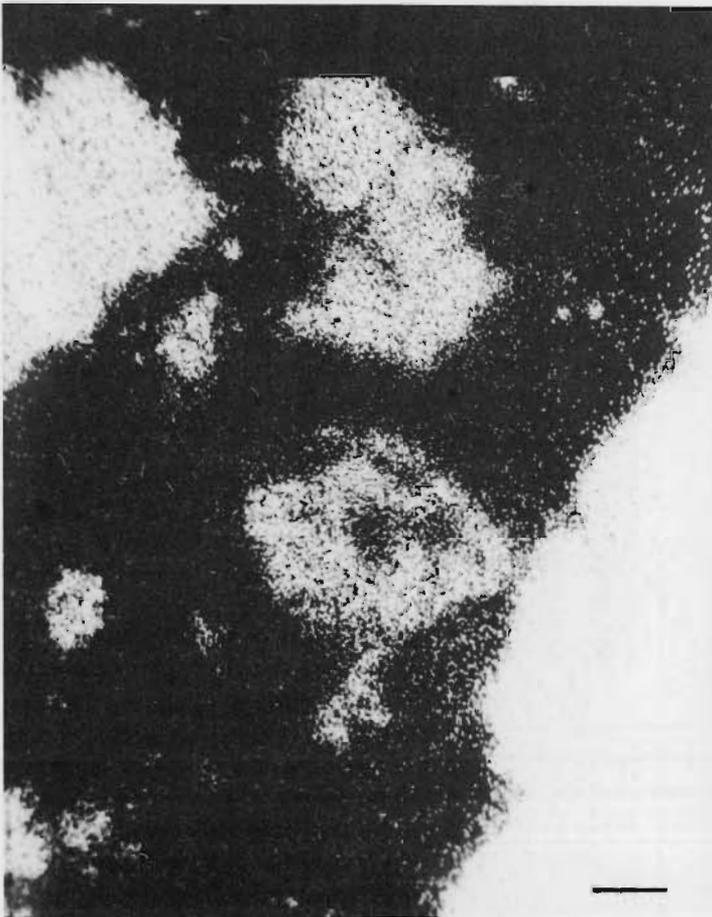


Photo 1C

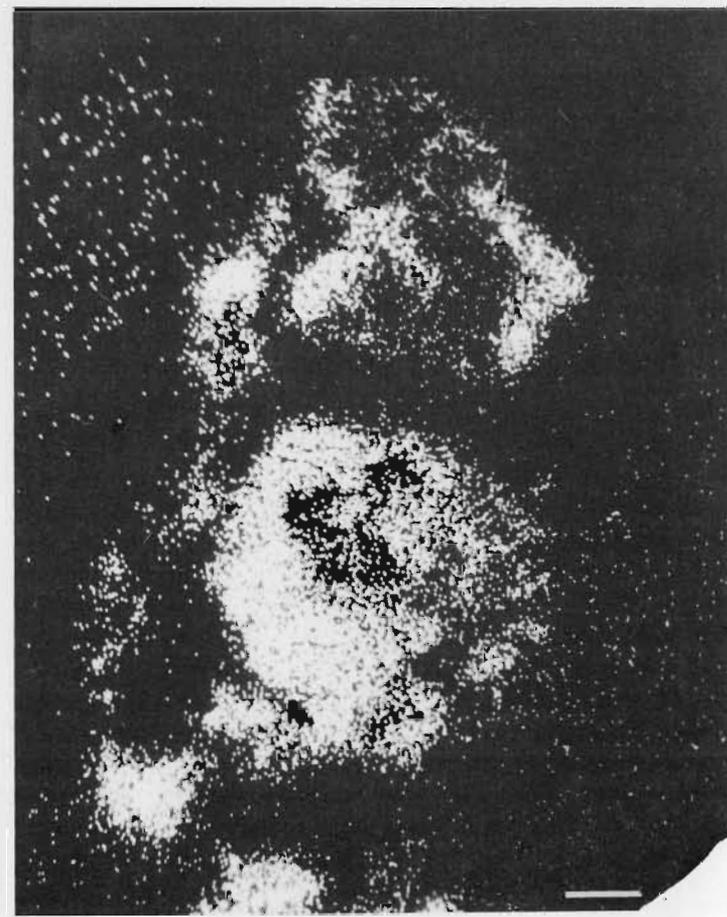


Photo 1D