

PRÉSIDENCE DU CONSEIL

COMMISSARIAT A L'ÉNERGIE ATOMIQUE

SECURITE ET PROTECTION AMBIENTALE

- Rapport C.E.A. n° 345 -

Direction des Recherches et Exploitations minières

GEOCHIMIE ET PROSPECTION MINIERE

par

R. LE CAIGNEC

2.55.043

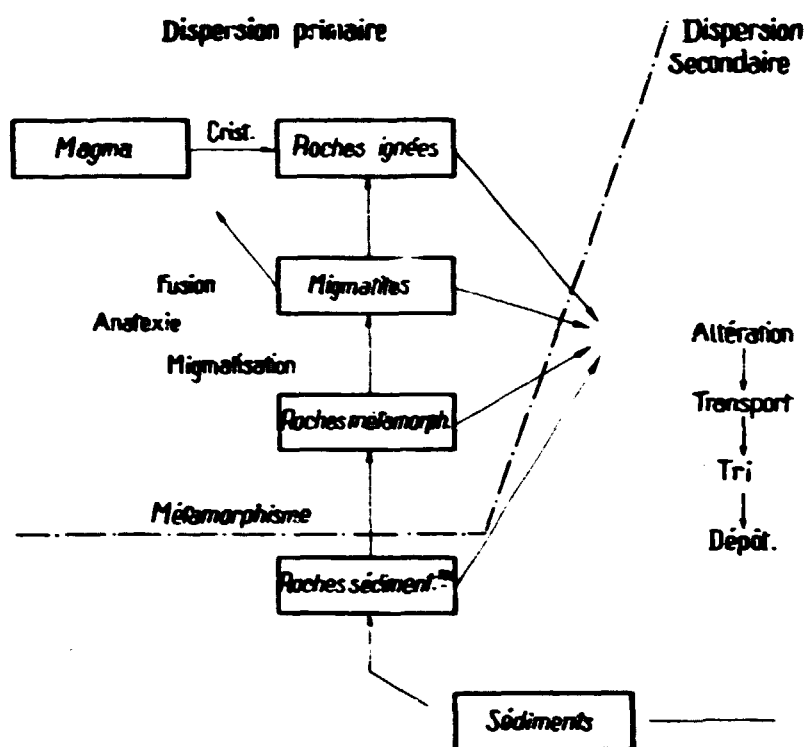
- 1954 -

- INTRODUCTION -

Jusqu'à une période récente, le géologue devait se contenter des renseignements qu'il pouvait tirer des affleurements pour la recherche des gisements. Les applications de la géophysique lui donnèrent alors un moyen de "pénétrer" plus profondément dans l'écorce terrestre. Tout récemment enfin, la géochimie appliquée est venue s'ajouter à son bagage.

On a constaté, en effet, qu'un gisement caché sous une certaine épaisseur de morts-terrains pouvait se manifester, à travers ces morts-terrains, par des variations plus ou moins caractéristiques de la composition chimique des matériaux susjacents accessibles. Ces variations constituent les "anomalies géochimiques".

Elles affectent la forme générale de la distribution géochimique des éléments dans une région donnée.



- Fig. 1 -

place du gisement (diffusions primaires) ou postérieurs à cette mise en place (diffusions secondaires) (fig. 1). A chaque type de diffusion correspond un type d'anomalie.

Les anomalies géochimiques se rencontrent aux environs du gisement qui les a produites : dans la roche encaissante, dans les sols, dans les plantes, dans les eaux superficielles et souterraines, dans les alluvions, etc... Ces anomalies résultent de phénomènes contemporains de la mise en

I - LES PHENOMENES -

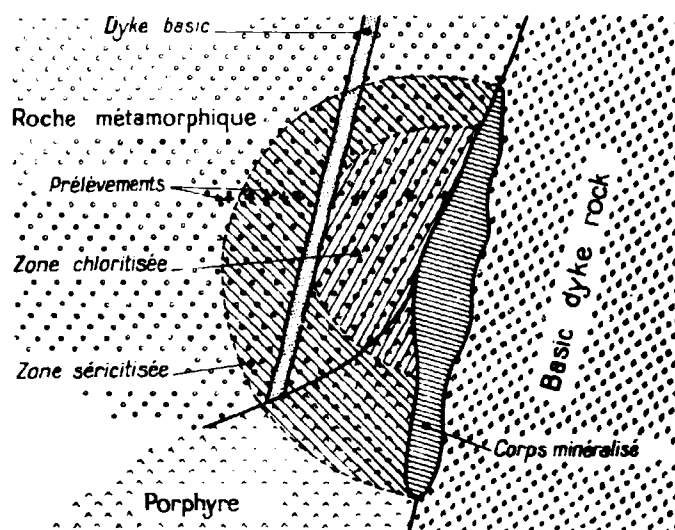
1°) Dispersion primaire.

Il s'agit d'un phénomène d'origine hypogène se produisant dans la roche encaissant le gisement. Trois types principaux ont été observés :

a) dispersion régionale

(fig. 2)

C'est le cas des concentrations supérieures à la normale des traces de métaux syngénétiques dans les roches associées d'origine ignée. Ce type de dispersion se manifeste en général par une imprégnation épigénétique étendue de l'ensemble du massif cristallin.



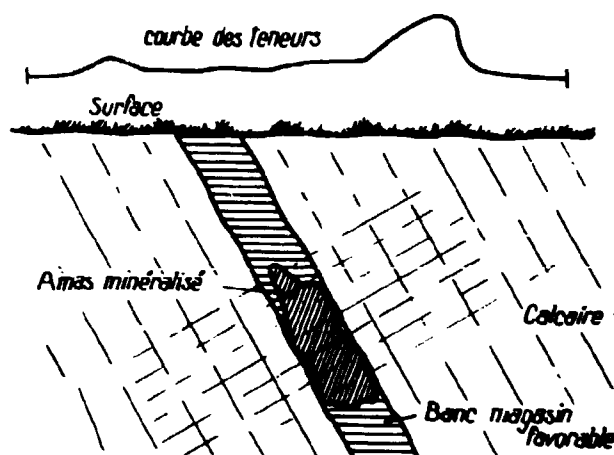
- Fig. 2 -

Dispersion primaire régionale

b) dispersion en auréole

(fig. 3)

Ce type de dispersion, qui affecte la roche encaissant le gisement, se rencontre essentiellement dans les parties altérées ou fracturées de cette roche. Par contre, dans la roche compacte et saine, la diffusion, à partir du corps minéralisé, est très faible et difficilement décelable. Elle peut atteindre plus de 60 m lorsque la roche est particulièrement diaclasée



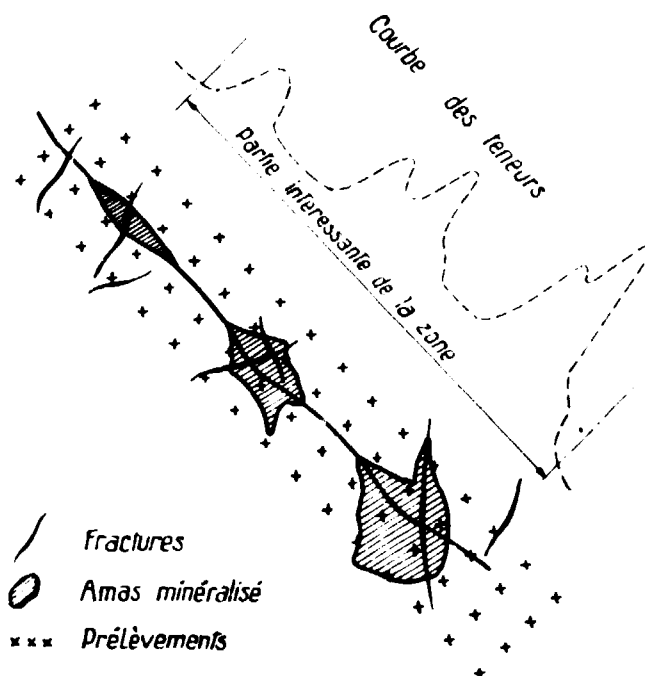
- Fig. 3 -

Diagramme idéalisé de dispersion primaire en auréole

ou fracturée et que l'élément est particulièrement mobile.

c) dispersion dans les chenaux (fig. 4)

Ce type de dispersion affecte les voies qui ont été empruntées au cours de phénomènes primaires de minéralisation par les "solutions minéralisantes". Il s'agit des traces laissées par ces solutions minéralisantes dans les zones où, actuellement, aucun dépôt de minerai n'est visible. Ces dispersions peuvent se rencontrer à 200 m de tout corps minéralisé.



- Fig. 4 -

Diagramme idéalisé de dispersion primaire dans les chenaux

2°) Dispersion secondaire.

Il s'agit d'un phénomène d'origine supergène se produisant dans la roche encaissant le gisement, mais aussi dans toutes les roches voisines, les morts-terrains et la végétation susjacents. La dispersion secondaire est le résultat de la destruction de l'association minérale primaire par des agents physiques, chimiques ou biochimiques, puis d'une remise en mouvement des produits ainsi libérés et, enfin, d'une refixation des éléments.

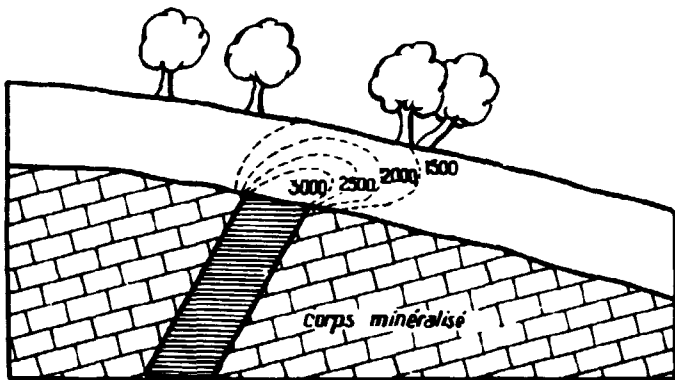
Cette redistribution des éléments a lieu suivant différents processus.

Dans le cas d'une migration latérale faible ou nulle, on peut aboutir à ce que l'on nomme des "dispersions à allure résiduelle", avec concentration des éléments dans les produits d'altération résiduels.

Lorsque les éléments ne se présentent qu'à l'état de traces, on peut également obtenir des "dispersions à allure de vestiges".

Dans le cas d'une migration latérale importante, on peut obtenir :

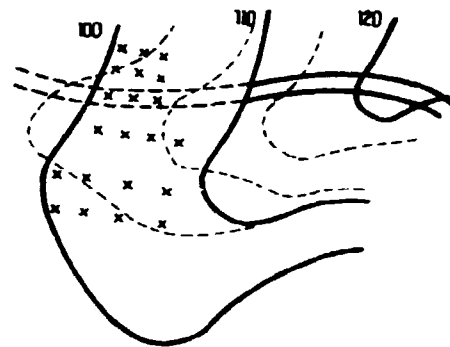
- des dispersions en halos (particulièrement en pays plat),
- des dispersions en éventail (divergentes à partir de l'origine),
- des dispersions linéaires (traînées de dispersion).



- Fig. 5 -

Dispersion secondaire

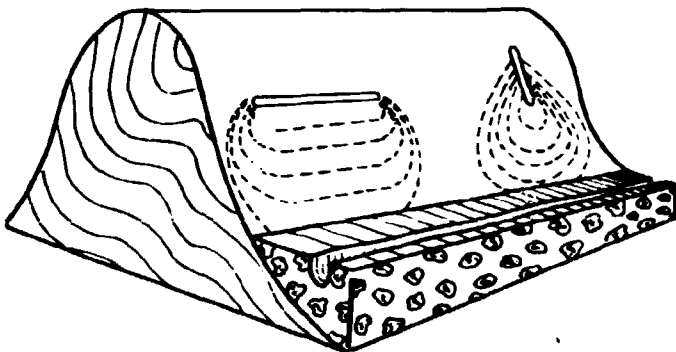
Influence du creep sur les courbes d'isoteneur



- Fig. 6 -

Déformation des courbes d'isoteneur due à la topographie

- == Filon reconnu en surface
- Filon supposé
- x x x Prélèvements systématiques
- no Ligne de côte
- Courbes d'isoteneur



- Fig. 7 -

Action du creep sur un filon parallèle et un filon orthogonal à la ligne de plus grande pente

Dissimulation des dispersions par les alluvions

Il est bien évident que l'allure des dispersions secondaires sera fonction des facteurs qui régissent la mobilité de l'élément en dispersion, c'est-à-dire (fig. 5, 6 et 7) :

1) la stabilité relative du minerai : les minéraux primaires résistants et les produits secondaires insolubles sont susceptibles de subir une dispersion mécanique. Les produits solubles sont, par contre, susceptibles d'être partiellement ou totalement remis en solution dans l'eau.

2) les agents de dispersion :

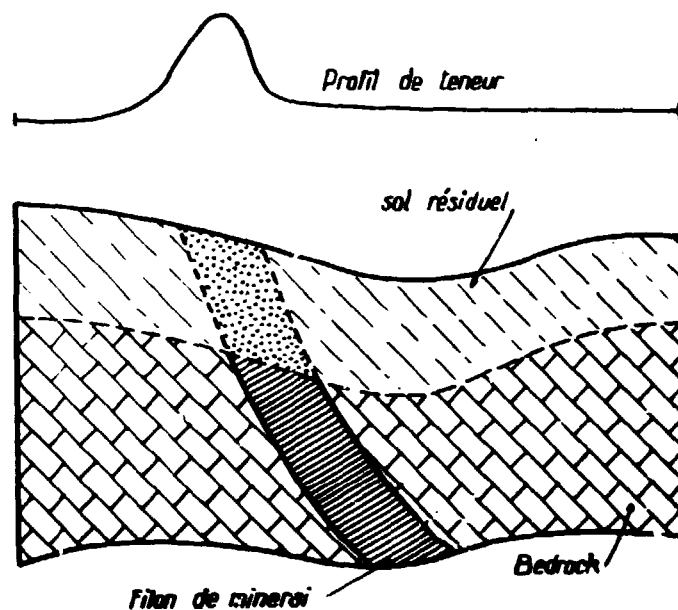
- a) mécaniques (gravité, eau et glaciers, vents, activités animales comme, par exemple : vers, termites, taupes, etc...),
- b) chimiques (solutions dans les eaux superficielles ou souterraines),
- c) biochimiques (végétation, bactéries, animaux).

3) les conditions de milieu (géologie, pédologie, climats, topographie, histoire glaciaire, histoire hydrographique, circulation des eaux superficielles et souterraines, marais, végétation, agriculture, pH, échange de bases, potentiel d'oxydo-réduction, etc...).

a) Dispersion en sols résiduels (fig. 8)

Les relations étroites existant entre un sol résiduel et le bedrock sous-jacent font du premier un des lieux d'élection pour la prospection géochimique.

En effet, les sols résiduels sont le résultat direct de l'altération en surface des roches sous-jacentes. Lorsque ces roches renferment des gisements de minerai, nous retrouverons, dans les sols superfi-



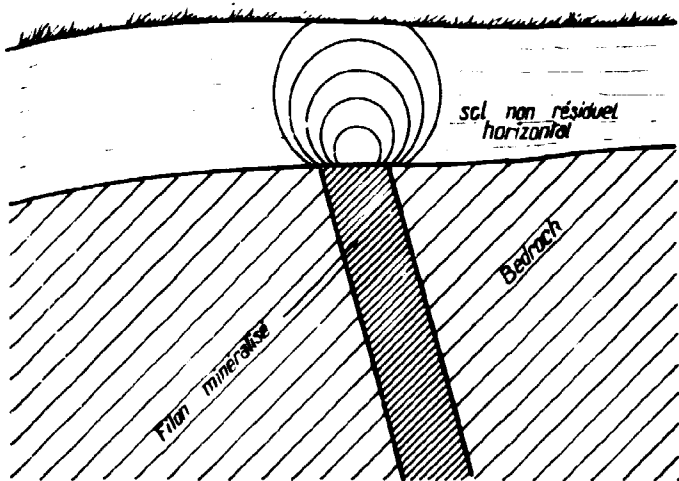
- Fig. 8 -

Dispersion secondaire en
sol résiduel

ciels, des traces de ces différentes minéralisations. En outre, les figures géochimiques des sols résiduels sont presque toujours simples et interprétables.

b) Dispersion en sols non résiduels (fig. 9)

Certaines relations peuvent également exister entre les matériaux transportés, constituant le recouvrement non résiduel,



- Fig. 9 -

Dispersion secondaire en sol non résiduel.

Allure des courbes d'isoteneur dans un sol horizontal

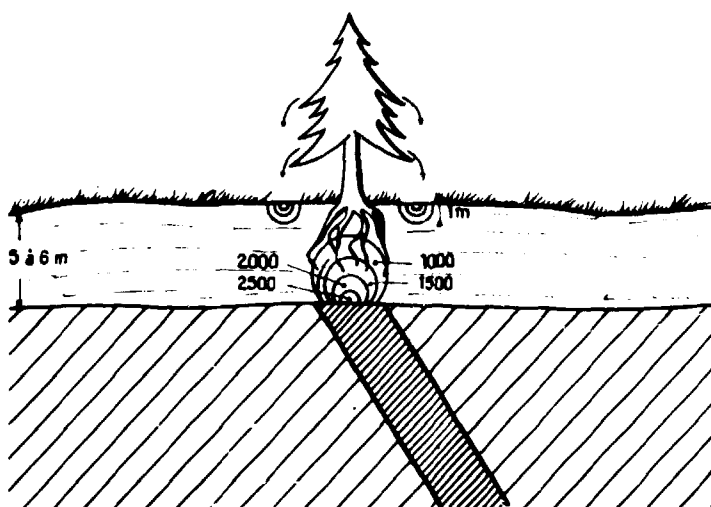
et le bedrock sous-jacent. Ces relations se traduisent en géochimie par les "halos surimposés", dus à des phénomènes chimiques. Ces halos sont beaucoup plus délicats à mettre en évidence et à étudier que les dispersions en sols résiduels. Néanmoins, dans les alluvions et les sédiments d'origine fluviatile ou glaciaire, des résultats encourageants ont été obtenus.

c) Dispersion dans les eaux naturelles.

Au voisinage d'un gisement renfermant des sels solubles de métaux, les eaux superficielles ou souterraines peuvent s'enrichir en ces éléments solubles. Des analyses effectuées sur ces eaux, partout où elles sont accessibles (sondages, puits, failles, étangs, rivières, etc...), mettront en évidence des anomalies de teneur. Dans le cas où les anomalies seraient trop faibles, il est possible de les "concentrer", par exemple, en utilisant une résine absorbante à travers laquelle on fera passer un volume connu d'eau. La résine étant sélective pour un ou plusieurs éléments donnés, il suffira ensuite de l'analyser pour avoir la teneur en l'élément cherché, de l'eau étudiée.

d) Dispersion dans les végétaux (fig. 10)

La présence, près de la surface, d'une minéralisation cachée ou non se manifeste en général par certaines modifications dans les plantes poussant au voisinage immédiat de ce gisement. Ces



modifications sont très variées et leur processus est encore très mal connu parce qu'il fait intervenir des facteurs très complexes et difficilement contrôlables comme, par exemple, ceux régissant la nutrition des plantes.

- Fig. 10 -

Dispersion secondaire dans les végétaux

Toutes les plantes ne réagissent pas identiquement aux environs des mêmes minéralisations. Certaines seront indifférentes ; d'autres, par contre, pourront aider le géologue géochimiste.

Les espèces présentant un intérêt au point de vue prospection géochimique sont actuellement peu nombreuses, mais leur nombre croît sans cesse. On les classe, d'une part, en :

- plantes accumulatrices - ce sont celles qui, en procédant à leur nutrition, accumulent dans leurs tissus (le ou) les éléments contenus dans le sol où elles sont enracinées. Une analyse de ces tissus permet de repérer des anomalies dans la teneur de tel élément donné ;

- plantes indicatrices - ce sont celles dont l'existence sur un sol quelconque est caractéristique de la présence dans ce sol d'un élément donné, ou celles qui, en présence de certains éléments contenus dans le sol où elles vivent, montrent des phénomènes caractéristiques (chlorose, sclérose, nanisme, etc...) les liaisons entre l'écologie des plantes et la géologie du bedrock sont d'ailleurs bien connues.

Les plantes peuvent être, en outre, à l'origine d'anomalies décelées dans le sol superficiel. En effet, dans certains cas de recouvrements non résiduels, d'épaisseur n'excédant pas quelques mètres, les végétaux à racines profondes puisent leur nourriture à la surface même du bedrock. Dans les cas de minéralisations cachées et non manifestées à travers les sols non résiduels, il arrive donc que les feuilles mortes en retombant sur le sol minéralisent ce sol et permettent ainsi de déceler les minéralisations du bedrock.

II - APPLICATIONS DE CES PHENOMENES A LA PROSPECTION -

Nous avons résumé dans un tableau l'essentiel des données générales, nous n'étudierons ici que les applications de ces phénomènes dans la recherche de l'uranium.

1°) Dispersion primaire.

Les dispersions primaires pourront fournir des indications utiles partout où des travaux seront effectués en roche saine en place, c'est-à-dire dans les sondages et les travaux miniers. En outre, elles permettront de localiser "en grand" les zones susceptibles d'un intérêt quelconque.

a) Dispersion régionale.

Ce type de dispersion présente un gros intérêt dans le stade des Grandes Missions Volantes. En effet, l'exemple du nickel en Suède est probant. On peut espérer que, pour l'uranium, d'aussi bons résultats seront obtenus. En outre, dans les régions où les affleurements sont chloritisés ou séricitisés, la dispersion régionale doit être très utile pour l'établissement de la carte géologique.

b) Dispersion en auréole.

Ce type de dispersion peut être utilisé pour déceler la proximité d'une formation minéralisée, soit dans un sondage, soit dans une galerie. Malheureusement, la diffusion en roche saine compacte est très faible. Or, en roche fracturée, la proximité d'un gisement uranifère se manifeste par des dégagements de radon et des eaux radioactives très facilement décelables au compteur G.M.

c) Dispersion dans les chenaux.

Ce type de dispersion peut donner des renseignements précieux dans le cas de formations à minéralisations très irrégulières dans un grand accident continu. Il doit permettre, en particulier, de déterminer les limites latérales de minéralisation possible dans ce grand accident, évitant ainsi un traçage systématique coûteux.

2°) Dispersion secondaire.

Les dispersions secondaires pourront fournir des indications utiles dans les parties superficielles de tous les gisements. En outre, pour une étude systématique d'une région donnée, elles pourront, dans certains cas, être beaucoup plus précises que le plan au compteur G.M.

a) Dispersion en sols résiduels.

Dans l'état actuel des études géochimiques, ce type de dispersion est celui qui présente le plus d'intérêt. Il se rencontre dans tous les pays, sous tous les climats. Les phénomènes de dispersion sont en général nets, donc faciles à étudier.

Les principales applications sont :

1) dans les parties superficielles arénisées des roches cristallines. Etablissement de courbes d'isoteneur (par prise d'échan-

tillons à la maille de 5-10-25-50 m). Comme les phénomènes de dispersion peuvent être perturbés par le lessivage dû aux eaux météoriques, la prospection géochimique peut rendre de grands services partout où le recouvrement est supérieur à 50 cm. En effet, entre 50 cm et 1 m de recouvrement, la précision du G.M. est satisfaisante, mais au delà, la prospection géochimique avec prise d'échantillons à la tarière est souhaitable.

2) dans les latérites (lorsque ces latérites résultent d'altérations in situ du bedrock). Les latérites rendent toute prospection du bedrock impossible ou presque. La prospection géochimique de ces latérites montrera si elles recouvrent des gisements ou, tout au moins, si le bedrock est susceptible de présenter un intérêt quelconque, conduisant ainsi à une prospection systématique du type dispersion primaire régionale.

3) dans les parties superficielles altérées de formations sédimentaires minéralisées. Ce type d'application peut s'étendre à nombre de gisements uranifères de l'Union française : phosphates du Maroc, lacustre de Madagascar, carbonifère de France, etc... Les Américains ont obtenu dans le Colorado de très beaux résultats sur les grès à carnotite.

b) Dispersion en sols non résiduels.

Ce type de dispersion a été assez rarement observé de façon nette. Néanmoins, on arrive parfois à le mettre en évidence dans les alluvions. Dans l'état actuel de la géochimie, il ne présente guère d'intérêt au point de vue prospection de l'uranium, d'autant plus que les minéraux secondaires d'uranium sont très mobiles et donnent des figures géochimiques pratiquement impossibles à interpréter.

c) Dispersion dans les eaux naturelles.

La mobilité des minéraux secondaires d'uranium rend pratiquement impossible l'utilisation de ce type de dispersion pour la

localisation de gisements d'uranium ; néanmoins, il peut fournir des indications sur l'intérêt "en grand" au point de vue uranifère de tout le bassin de la rivière ou d'un affluent particulier. Aux U.S.A., on a constaté que des eaux circulantes radioactives d'origine superficielle étaient un indice à ne pas négliger et correspondaient souvent à des minéralisations uranifères dans la région où elles avaient été prélevées. Les eaux radioactives d'origine profonde ne signifient rien.

d) Dispersion dans les végétaux.

Ce type de dispersion n'a été utilisé par les Américains que dans le cas de gisement du type Colorado. Il n'existe à ce jour à notre connaissance aucun exemple d'utilisation de cette dispersion dans le cas de gisements filoniens. Il est possible, cependant, que les dispersions dans les végétaux puissent être utilisées dans la prospection de certains types de gisements français (lacustre de Vinaninkarena - carbonifère des Vosges). En outre, des analyses devraient être effectuées systématiquement sur les végétaux recouvrant certains gisements filoniens bien connus.

- CONCLUSION -

Un emploi considérable des méthodes géochimiques pour des recherches d'éléments très variés a déjà été réalisé. L'uranium en particulier a fait l'objet de nombreuses études, mais dans des cas en général très précis. De nombreux gisements ont été précisés ou découverts grâce à la géochimie. De nombreuses compagnies privées augmentent chaque année le budget de leur section de géochimie ; or, ces compagnies recherchent différents éléments. Il semble donc bien que, dans certains cas, la géochimie est un moyen de prospection "payant".

Pour la recherche de l'uranium dans l'Union française, on peut espérer, d'après les données théoriques et quelques données pratiques, de très beaux résultats. En particulier, la géochimie et la géophysique (G.M.) couplées, doivent nous permettre d'accéder pratiquement partout où le géologue le désire. Mais il est non moins certain que, dans l'état actuel des travaux, le G.M. reste l'outil essentiel de recherche de l'uranium par son maniement pratique et la rapidité des résultats.

La géochimie, en effet, ne permet pas dans l'étude d'une région donnée de rendements comparables à ceux des G.M. :

- les résultats ne sont pas immédiats dans le cas d'un camion laboratoire ;
- les analyses coûtent plus cher que les mesures au G.M. ;
- la géochimie nécessite un matériel encombrant (camion laboratoire indispensable) ;
- l'interprétation des résultats est souvent très délicate.

En effet, les phénomènes étudiés ne se présentent jamais de façon simple, mais plusieurs types de dispersion s'enchevêtrent

et il est souvent difficile de démêler leurs relations réciproques. Une grande expérience est nécessaire pour le géologue.

Par contre, elle permet dans certains cas :

- des mesures plus précises ;
- la recherche de minéralisations d'uranium par d'autres éléments comme le vanadium ou le sélénium, etc...
- une étude aussi rapide, plus sûre et moins coûteuse d'une région à recouvrement résiduel ou non, supérieur à 1 m. Les prises d'échantillons pouvant se faire à plusieurs mètres de profondeur avec une tarière en quelques minutes alors qu'un radiocarottage d'une série de petits forages systématiques serait plus délicat (fragilité, tubage parfois nécessaire, vérifications, etc...).

En outre, dans les sondages et les travaux miniers, elle permet de compléter les renseignements fournis par les G.M. (détermination du rejet d'une faille disloquant une formation, étude des carottes, etc...).

Ainsi donc, si la géochimie ne peut à elle seule constituer une méthode complète de prospection, elle peut par contre être un complément précieux à toutes les méthodes déjà utilisées.

PRIMAIRE (origine hypogène)				SECONDAIRE (origine supergène)			
Divisions	Régionales	En auréoles	De chenaux	En sols résiduels	En sols non résiduels	Dans les eaux naturelles	Dans les végétaux
Milieux où l'on a rencontré ces dispersions, jusqu'à ce jour	Roches cristallines et dikes associés. Minéraux des pegmatites (mica). Certains minerais métalliques (blende) Roches sédimentaires.	Granites - monzonite Porphyres - Dacite Roches métavolcaniques Gneiss micaschistes Sédiments siliceux	Roches extrusives bréchiques altérées sur calcaires minéralisés. Schistes sur calcaires minéralisés. Veines de quartz calcaire fracturé sur calcaire minéralisé. Matériau des veines	Tchernoziom Terres brunes Latérites Sols juvéniles de montagne Podzols évolués Sols désertiques Sols arctiques Loess Loehm	Zone broyée archéennes Sédiments crétacés sur un gîte de chromite dans une dunite Alluvions Dépôts fluviaux Dépôts glaciaires	Eaux superficielles Eaux souterraines	Plantes accumulatrices Plantes indicatrices
Extension des phénomènes décelables	Plusieurs centaines de mètres	quelques dizaines de mètres dans les zones	quelques centaines de mètres au maximum	Plus de 100 m	Jusqu'à 2 km		Quelques mètres
Exemples déjà connus	Sn, Au, Ni, Co, Hg	Pb, Zn, Cu, Ag, Co, Hg, As, Sn, Mn, Ba, Li, Nb, Mo	Zn, Pb, Mn, Ag, Métaux lourds, Si, Sn	Zn, Pb, Cu, Sn, Au, Cr, As, Co, W, Mo, Ni, Ba, Sb, B	Cu, Cr, Pb, Zn, Bi, Sn, W, Nb, Mo, Au, Fe, Hg, Co	Zn, Cu, Ag, Co, Br, B, SO ₄ , métaux lourds	Se, Zn, Pb, Cu, Ni, Co, Sn, W, Cr, Au, Ba, U, V, Ag, Al, Fe, Mn, Hg, SO ₄ , P

- A N N E X E - -

DONNEES PRATIQUES SUR L'ECHANTILLONNAGE, LE RENDEMENT
ET LES PRIX DE REVIENT

I - ECHANTILLONNAGE -

La dispersion significative étant figurée dans le canevas général, on précise l'anomalie par un canevas de prélèvements plus dense, les conditions locales déterminant la forme de ce dernier quadrillage à maille carrée ou rectangulaire, cheminement en spirale, etc...

Au voisinage d'une minéralisation, l'écartement des prélèvements varie de 1 à 10 m. Cet écartement peut passer à 15, 30 et 60 m en s'éloignant du gisement. Dans le cas des profils, on doit toujours les faire recouper à angle droit dans les directions des minéralisations et en faire passer un minimum de deux dans chacune des anomalies.

Pour les échantillons solides, on recommande l'utilisation de sacs en papier-carton, collés par un produit ne se détremant pas à l'humidité, fermés par un fil métallique incorporé dans la languette. Les sacs sont numérotés à l'avance et les numéros sont reportés sur une carte et un carnet au moment du prélèvement.

Dans tous les cas, on s'assurera que l'échantillon prélevé est vierge de toute contamination.

a) Cas des dispersions primaires.

1) Prélèvement monominéral de 5 à 10 g

2) Prélèvement de roche de 25 à 50 g, suivant la finesse du grain et la nature de l'analyse prévue, au moyen de petites saignées, rainurages ou fragments de carottes de sondage. Ces échantillons composites ne doivent pas contenir de roches de nature différente.

3) On recueillera des échantillons de roche fraîche à cause des grandes variations dues à l'altération. On évitera donc les parties superficielles exposées aux agents atmosphériques et les diaclases.

4) Les failles seront échantillonnées séparément. Prendre de grandes précautions dans le cas des veines irrégulières et celui des brèches pour que l'échantillon soit représentatif.

5) Noter la quantité d'eau rencontrée dans ces failles.

b) Cas des dispersions secondaires dans les sols.

1) Un seul échantillon de 5 g est en général représentatif d'une surface de 1 m 50 de rayon autour du point de prélèvement. Dans le cas où les analyses fournissent des résultats très variables, effectuer des prélèvements plus volumineux ou composites.

2) Les échantillons peuvent être prélevés dans les horizons qu'une étude préliminaire aura montrés meilleurs pour un sol donné.

3) A moins de 50 cm de la surface, les prélèvements sont effectués à l'aide de trous. Plus profondément, on utilisera la tarière et la barre à mine.

4) Dans le cas des latérites, loess et autres sols à concrétions, ce sont ces dernières qui feront l'objet des prélèvements. Les concrétions sont en effet des produits de concentration des éléments contenus dans le sol.

5) Noter le type de sol, le profil, la topographie, la direction de drainage, le bedrock, le voisinage des routes, des torrents, marais, crassiers de mines, etc...

6) Les méthodes sont les mêmes dans le cas des recouvrements résiduels et non résiduels, à ceci près que, dans le second cas, les prélèvements seront plus profonds. De plus, on étudiera avec un soin extrême l'origine du recouvrement de transport, la direction de celui-ci, la distribution des différents types de matériaux et la nature du sous-sol.

c) Cas des dispersions dans les eaux naturelles.

- 1) Prendre un soin extrême pour éviter les contaminations.
- 2) Effectuer de préférence l'analyse sur le terrain, sinon prélever 250 cm³ dans une bouteille de polythène ou en pyrex préalablement lavée avec l'eau à étudier.
- 3) Déterminer le pH avec un papier adéquat. Puis, si plusieurs heures séparent les opérations de prélèvement de celles d'analyse, acidifier avec quelques gouttes d'un acide sans métal.
- 4) Dans le cas d'une confluence, prendre de l'eau dans chacun des affluents et également en aval de la jonction.
- 5) Noter le débit du torrent.
- 6) Noter les accumulations organiques.

d) Cas des dispersions dans les sédiments torrentiels.

Méthodes identiques à celles utilisées en prospection alluvionnaire. Pour éviter les contaminations, prélever de préférence dans les terrasses anciennes.

e) Cas des dispersions dans les plantes.

- 1) Les espèces les plus adéquates étant déterminées, prélever 5 g dans les parties reconnues les plus favorables : branches de 1 à 3 ans et de 0,5 à 1,5 cm de diamètre, aiguilles de pin, feuilles de bouleau, etc... S'il le faut, faire des mélanges d'espèces dans les prélèvements.
- 2) Sécher l'échantillon au soleil.

3) Noter l'espèce de chaque échantillon ainsi que la présence de marais, de torrents, les variations du bedrock, etc...

4) Les contaminations peuvent provenir des éclaboussures du sol, de fumées des hauts-fourneaux, de la poussière des crassiers.

II - RENDEMENT ET PRIX DE REVIENT -

Le rendement est fonction d'une organisation rationnelle des opérations de prélèvement et d'un soin attentif des détails.

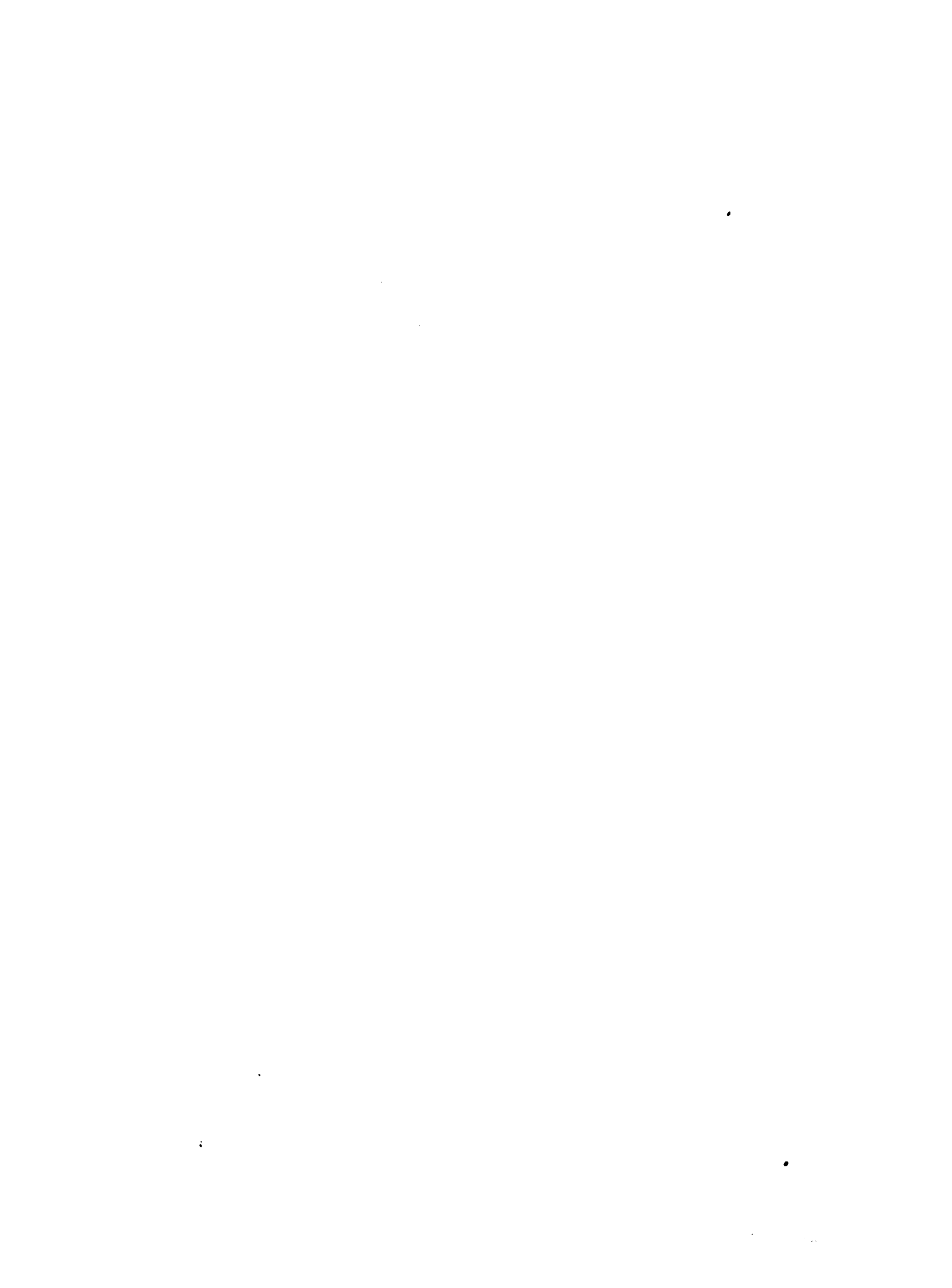
Il varie considérablement d'une région à l'autre.

Le nombre et la composition des équipes varient suivant les conditions locales. En règle générale, on utilise soit deux équipes de deux hommes. Une moyenne de 5 à 10 prélèvements par homme et par heure est raisonnable.

En ce qui concerne les prix, on considère aux U.S.A., que les dépenses du personnel reviennent de 6 à 12 dollars par homme et par jour (3 000 à 4 500 F au cours). Le prix des travaux peut aller de 0,5 à 6 dollars (190 à 3 000 F) par échantillon. Pour un échantillon moyen, on peut citer les exemples suivants :

1) Salaire techniciens	0,63
Salaire aides	0,48
Transport	0,20
Indemnités	0,20
Produits chimiques	0,02
Instruments techniques	0,015
	<hr/>
	\$ 1,545 (587 F)

2) Collecte	1,00	
Analyse	0,50	
Equipement	0,01	
Bureau	0,03	
	<hr/>	
	§	1,54 (585 F)



- A N N E X E II -

BIBLIOGRAPHIE

- WILLIAMS I.J. - An introduction to chromatography - 1946
Blackie and Son Ltd - London.
- LEDERER E. - Progrès récents de la chromatographie - 1949
Hermann et Cie - Paris.
- MARTIN A.J.P., SYNGE R.L.M.
- Biochem. J., 1941, 35, 1358.
- LEDERER Michael - The royal Australian Chemical Institute -
Contributed Articles-Inorganic Paper Chromatography
by Michael LEDERER.
- CONSDEN R., GORDOU A.H., MARTIN A.J.P.
- Biochem. J., 1944, 38, 224.
- MARTIN A.J.P. - Ann. Repts - on Progress Chem., Chem. Soc. London
1948.
- LUGG J.W.H., OVERELL B.T.
- Aust. J. Sci. Res. A1 - 98, 1948.
- WARK I.W. - J. Proc. roy. Soc. NSW, 1929, 63, 47.
- FISHER R.B., PARSONS D.S., MORRISON G.A.
- Nature 1948, 161, 765.
- POSDICK L.S., BLACKWELL R.Q.
- Science 1949, 109, 314.
- WILLIAMS R.C., KERBY H.
- Science 1948, 107, 481.

- JERMYER M.A., ISHERWOOD F.A.
- Biochem. J., 1949, 44, 404.
- KARNOWSKI M.L., JOHNSON M.J.
- Anal. Chem., 1949, 21, 1127.
- RUTTER L. - Nature 1948, 161, 435.
- LONGENECKER W.- Anal. Chem. 1949, 21, 1402.
- ROCKLAND L.B., DUNN M.S.- Science 1949, 109, 539.
- WOLFSOHN W., COHN C., DEVANEY W.A. - Science 1949, 109, 541.
- FONTAINE R.T.D. - Science 1949, 110, 232.
- HIRD F.J.R. - Aust. J. Science 1949, 11, 170.
- MIETTINEN T.K., VIRTANEN A.I.
- Acta Chem. Scand., 1949, 3459.
- POLLARD F.H., Mc OMIE J.P.W., ELBEITEH H.M.
- Nature 1949, 163, 293.
- LEDERER M. - Nature 1949, 163, 598.
Anal. Chim. Acta (in press.)
Anal. Chim. Acta 1949, 3, 476.
- BURSTALL F.H., DAVIES G.R., LINSTEAD R.P., WELLS R.A.
- Nature 1949, 163, 64.
- ARIEN T.V., BURSTALL F.H., DAVIES G.R., LEWIS J.A., LINSTEAD R.P.
- Nature 1948, 162, 691.
- LEDERER M. - Anal. Chim. Acta 1948, A 261.
- BURSTALL F.H., DAVIES G.R., WELLS R.A.
- Symposium on Chromatography of the Faraday Society,
1949.
- OSBORN G.H., JEWSBURY A.
- Nature 1949, 164, 444.
- LEDERER M. - Nature 1948, 162, 776.
Austr. J. Science 1949, 11, 174.
Science 1949, 110, 115.

LACOURT A., SOMMEYNS G., DEGEYNDT E., BARUH J., GILLARD J.
- Nature 1949, 163, 999.

ANDERSON J.R.A., LEDERER M.
- Anal. Chim. Acta (in press.)

GRIMALDI F., WARD F.N., KREHER R.
- A direct quantitative fluorimetric method for the determination of small amounts of Y in the field and laboratory
United States Atomic Energy Commission
AECD - 2285, 1950, avril 12.

CANNON H.L. - The effect of uranium-vanadium deposits on the vegetation of the Colorado plateau - Amer. J. of Science 1952, 250, 735-770
- Geobotanical reconnaissance near Grants (New-Mexico) Geological Survey-Circular 264 - 1953.

WEBB J.S. - A Review of American Progress in Geochemical Prospecting, and Recommendation for Future British Work in this Field
Institution of Mining and Metallurgy 1953, 62, part 7 (Cet article contient une importante bibliographie contenant 64 titres d'ouvrages ou articles).

LAKIN H.W. - Operations charts of field analytical methods used in the U.S. Geological Survey
U.S. Geological Survey - Building 25 - Denver Federal Center - DENVER (Colorado) USA.

LAKIN H.W., HYALMOND, WARD F.N.
- Compilation of field methods used in geochemical prospecting by the U.S. Geological Survey. Geological Survey Circular 161
- Additional field methods used in geochemical prospecting by the U.S. Geological Survey. U.S. Geological Survey - Open File Report.

- ALMOND H. - A field method for the determination of traces of
cobalt in soils
U.S. Geological Survey - Open File Report
- WELLS E.A. - Application of chromatographic methods of analyses
in geochemical prospecting course.
Royal School of Mines - septembre 1953.

- A N N E X E III -

QUELQUES PROBLEMES PARTICULIERS

(Géochimie de l'uranium)

- Questions posées par MM. les Ingénieurs géologues et Ingénieurs chimistes du C.E.A. lors des conférences faites par MM. WEBB et LAKIN à l'Ecole des Mines de Paris (19-20 octobre 1953).
- Réponses de MM. WEBB et LAKIN.

1°) Y a-t-il des exemples de prospection géochimique de filons uranifères en régions granitiques (recouvrement résiduel faible) ?

- Aucun, ou, s'il y en a, tous les travaux sont du domaine secret. La prospection géochimique de l'uranium a exclusivement intéressé les gisements de carnotite du Colorado.

2°) Dans une région granitique, est-il possible de localiser la trace en surface d'un filon de lamprophyre (recouvrement résiduel faible) ?

- Deux cas sont possibles :

a) région vierge : le plus simple est la prospection géologique ou pétrographique, éboulis de surface, prise d'indices en carrière éventuellement.

b) région de vieilles cultures : les méthodes précédentes sont inefficaces, mais nous ignorons tout des possibilités de la géochimie en la matière. Les lamprophyres renferment fréquemment des quantités non négligeables en géochimie, de métaux divers (Co, Ni, etc...) Il semble, a priori, que l'on puisse en attendre des résultats encourageants.

3°) *En A.E.F., dans les calcaires, d'importants accidents tectoniques sont minéralisés en sulfures de cuivre avec uranium accessoirement. On signale également, mais à l'état de traces, du vanadium et du cobalt. L'ensemble est recouvert soit de latérite (une dizaine de mètres environ); soit de grès (pouvant atteindre 30 m de puissance). Le climat est typiquement tropical (saisons des pluies, saisons sèches). La végétation est constituée par la savane. Enfin, les anciens travaux miniers indigènes pour des recherches de cuivre sont très nombreux. Quel est dans ces conditions, l'élément (ou les éléments) à rechercher, la prospection géochimique peut-elle apporter d'utiles renseignements là où le recouvrement est constitué par le grès ?*

- Ce problème est très complexe. Il semble que l'étude géochimique du réseau hydrographique ne puisse apporter aucun renseignement, étant donné le nombre des anciens travaux. L'étude géobotanique est très délicate et très longue, en outre, la savane n'est pas favorable à son application. Il faut donc avoir recours aux phénomènes de dispersion.

La première chose à faire est une étude géochimique des filons déjà connus, ainsi que des environs. Une étude détaillée des teneurs en différents éléments des différents horizons latéritiques montrera quel est, ou quels sont les meilleurs guides et à quel niveau il faut les rechercher.

Tous ces éléments, une fois bien étudiés, doivent permettre une étude féconde de toute la zone latéritique à prospector. Il serait souhaitable, si cela est possible, d'appliquer d'autres méthodes simultanément (résistivité, induction, etc...).

L'étude de la zone à recouvrement gréseux est très difficile à orienter, sans une connaissance personnelle de ces grès. Il est probable qu'actuellement aucun résultat ne serait obtenu, bien que des dispersions aient déjà été décelées à travers des épaisseurs de recouvrements supérieures.

4) *Quelles sont les méthodes d'analyse de l'uranium les plus utilisées en Angleterre et aux U.S.A. ?*

- Tout ce qui touche au domaine de l'uranium est secret. Néanmoins, il faut signaler que M. WELLS (Teddington - Middlesex) a mis au point une méthode chromatographique très précise d'analyse de l'uranium.

5) *L'uranium voyage beaucoup dans deux cas principaux :*

a) en solution acide

b) sous forme de complexe carbonaté.

Dans le premier cas, la mobilité de l'uranium est rapidement arrêtée par de faibles variations de pH.

Dans le deuxième cas, cette mobilité est également freinée par la silice dissoute dans l'eau du sol (régions granitiques). Quel est donc l'ordre de grandeur de la dispersion de l'uranium à partir d'un filon ?

- Le secret entourant les travaux de recherches de l'uranium ne permet pas de donner une réponse précise à cette question. Il est probable qu'une surface, la dispersion horizontale soit très importante (de l'ordre du kilomètre, parfois).

Le Docteur WEBB signale un cas de dispersion où l'uranium, arrêté par des marais, a été retrouvé à 1 500 m du gisement principal, situé à flanc de colline, après être passé pendant plus de 100 m sous une couche d'éboulis de pente de plusieurs mètres, mais

dépend naturellement des conditions locales (importance de la circulation des eaux dans le sol - relief - marais - matières organiques - humus - etc...).

En profondeur, dans les parties saines encaissant les filons, l'ordre de grandeur de la dispersion est le décimètre, peut-être même le mètre. Dans les parties altérées ou faillées, l'ordre de grandeur est très variable.

De toutes façons, ces renseignements seront obtenus très rapidement par une étude géochimique de base des gisements uranifères français connus.

6°) Dans le cas d'une région granitique, avec un important système de fractures minéralisées en produits secondaires d'uranium, est-il possible de localiser le gisement primaire (s'il existe encore) par la prospection géochimique ?

- Il faut d'abord distinguer le cas où les produits secondaires constituent en quelque sorte le chapeau du gisement primaire sous jacent, du cas où la minéralisation s'est faite per-descensum à partir des produits provenant d'un gisement primaire plus ou moins éloigné et peut-être même totalement érodé.

Dans le premier cas, et à la condition que la minéralisation secondaire ne soit pas trop importante, une prospection géochimique donnera une anomalie plus forte sur le gisement primaire. En effet, la présence de la minéralisation secondaire est un phénomène de dispersion secondaire à partir du gisement et de la dispersion primaire.

Dans le second cas, il ne faudra pas négliger l'étude des environs jusqu'à 100 ou 200 m, à moins qu'un indice quelconque ne puisse diriger les recherches. Mais de toutes façons, si le gisement primaire existe encore et que votre prospection géochimique le re-

couvre, il est certain que sa présence sera décelée par une anomalie nette pour la même raison que dans le premier cas.

7°) Soit un exemple de 1 000 prélèvements dont chacun a été analysé une seule fois. Comment détermine-t-on le nombre d'analyses de contrôle à effectuer d'après l'échantillonnage simple ou multiple ?

- Les contrôles sont de deux natures :

1) dans le cas d'un échantillon dont la teneur dépasse anormalement celle des prélèvements voisins, on refait une mesure de contrôle. Si la teneur initiale est confirmée, on effectue sur le terrain quatre prélèvements, tout autour du point où avait été prélevé le premier. Une analyse de l'ensemble de ces quatre prélèvements montre qu'il s'agit bien d'une valeur exacte ou si, au contraire, l'analyse n'a pas été troublée par une contamination accidentelle.

2) dans le cas d'un contrôle général, on utilise une deuxième fois la méthode de terrain pour vérifier les premiers résultats obtenus. Si l'ensemble des contrôles montre une différence en plus ou en moins supérieure à 25 pour cent, un contrôle détaillé de tout le lot de prélèvements incriminés est opéré en vue de retrouver et éliminer les causes d'erreur.

8°) Dans la recherche d'un élément donné, est-il judicieux de prendre cet élément comme premier guide ?

- Il faut toujours essayer d'utiliser comme guide l'élément que l'on recherche puisqu'il a l'avantage de vous donner des indications directes. Ce n'est que dans le cas où il est inutilisable que l'on se tourne vers un autre élément (les meilleurs sont Pb, Zn, Cu, Co).

En outre, vous pouvez être amenés à utiliser une méthode combinée. Dans le cas du cobalt, on obtient généralement en recherchant le cobalt, une anomalie nette, mais imprécise. L'arsenic sera alors un aide précieux pour situer le gisement.

L'inverse peut se produire lorsqu'on recherche un minéral associé à un autre, mais pas de façon constante. Par exemple, le tungstène associé à des sulfures de cuivre, mais dans une seule orientation filonienne, alors que les sulfures de cuivre se présentent sous deux orientations. On localise tout d'abord tous les filons cuprifères de la région par la recherche du cuivre, puis, lorsque l'orientation est dissimulée par le recouvrement, on recherche sur ces filons seulement le tungstène.

Enfin, il est un cas à ne pas perdre de vue : lorsqu'une première série de prélèvements a donné une anomalie vague, il est possible qu'une deuxième série de prélèvements, à une profondeur plus grande, précise cette anomalie. Ceci apparaît dans l'étude des courbes d'isoteneur dans le plan vertical.

9°) Quelle valeur doit atteindre le rapport entre une anomalie supposée et le « mouvement propre » pour que l'anomalie soit intéressante (cas de l'uranium seulement) ?

- Cette valeur peut être très variable (de 0,5 à 1 000 et plus) et en elle-même ne signifie rien. L'important est que les anomalies, même relativement faibles, soient groupées géographiquement.

10°) Pensez-vous que dans le cas de gisements lacustres (suit une description des conditions de gisement du type Vinaninkaréna) la géochimie puisse apporter des éléments intéressants ?

- Très certainement. Ce type de gisement est peut-être même un de ceux qui, en l'état actuel de la géochimie, offre le plus des

conditions favorables. Il serait peut-être bon d'y tenter quelques essais géobotaniques.

11°) Quelles sont les grandes lignes d'une mission d'études géochimiques ?

A - 1) Essais des méthodes analytiques sur le matériau recueilli dans la région que l'on veut étudier. Domaine des chimistes. Très important. De la réussite de la mise au point de leurs méthodes dépend la réussite de la prospection. Ainsi, en Uganda, la dithizone a donné bien des déboires au début, en raison des conditions climatiques.

2) Une reconnaissance générale de la région par le géologue pour orienter les travaux de la mission, avec prélèvements expédiés aux chimistes. Etudes simultanées par des pédologues, des botanistes, des "hydrologues", etc...

3) Quelques mois plus tard et une fois tout bien au point, les équipes de travail sont déposées sur le terrain avec leur matériel.

B - Une étude aussi importante doit être faite simultanément par le Chef de Mission. Elle comprend trois parties :

- 1) chimie (méthodes analytiques à choisir, matériel) ;
- 2) personnel (il faut que l'on puisse avoir en lui une confiance absolue) ;
- 3) la partie financière et administrative.

Manuscrit reçu le 7 mai 1954

- TABLE DES MATIERES -

	pages
GEOCHIMIE ET PROSPECTION MINIERE	1
 Rapport de M. R. LE CAIGNEC, ingénieur-géologue au C.E.A.	
 Notes prises au cours d'une série de conférences faites à la Royal School of Mines - Londres, 14-25 septembre 1953 - par :	
M. le Docteur J.S. WEBB	
M. H.W. LAKIN	
M. R.A. WELLS	
M. J.R. BUTLER	
ANNEXES : I - Données pratiques sur l'échantillonnage, le rendement et les prix de revient	15
 II - Bibliographie sommaire	 21
 III - Quelques problèmes particuliers (géochimie de l'uranium)	 25

FIN