BULLETIN de L'A.MI.S

Où il est question des concentrations naturelles d'uranium

Claude Valsardieu Ingénieur- Géologue (Conférence donnée le 16 juin 2001)

Quand mes vieux amis Francis Chantret et Charles Scéméma m'ont demandé de participer à la conférence d'aujourd'hui, j'ai d'abord fait la sourde oreille et marmonné entre mes dents pour ne dire ni oui ni non... Puis, à la réflexion, je me suis dit qu'en matière d'uranium et de nucléaire la situation est quasiment figée depuis une bonne décennie. Alors je me suis replongé dans mes livres pour en extraire un certain nombre d'images, car comment compenser autrement l'évidente nécessité de visiter des mines et des affleurements pour évoquer les concentrations naturelles d'uranium. Et la présence de Michel Cuney nous permet d'accéder à la dernière actualité grâce à ses visites et études récentes (Athabasca, Russie et ex-pays de l'Est, Australie).

Une vue depuis Sirius sur l'uranium.

Pour toute chose il faut tenir compte du point de vue auquel on se place pour regarder choses et évènements : la question du nucléaire ne se pose-t-elle pas différemment selon que l'on est saoudien (pétrole source d'énergie illimitée) ou français (peu de ressources énergétiques contrôlables et 80 % de l'électricité d'origine nucléaire)?

Le chant du monde de Jean Lurçat.

Eliminons tout de suite l'une des deux faces du nucléaire, pour nous consacrer au nucléaire civil et à l'utilisation pacifique de l'uranium en laissant aux fous « la bombe » ou l'utilisation d'uranium « appauvri » dans les obus.

Sur une des tapisseries du musée d'Angers, Lurçat place l'homme au cœur d'un paradis, mais en prenant la précaution de lui mettre sur sa tête la chouette de Pallas Athénée, symbole de la sagesse. Quant à la nature du paradis, l'observateur doit l'imaginer: la nature vierge des chasseurs-cueilleurs pour les grands nostalgiques, celle des agriculteurs villageois chère à notre enfance ou celle du monde urbain d'aujourd'hui et de demain? Mais,

alors, désormais, la civilisation passe par le tout-à-l'égout, l'eau courante et l'électricité... Retour au nucléaire.

Sur une autre œuvre, Lurçat place l'humanité sous la menace de la bombe-«la grande menace»- et des radiations : un aigle, symbole éternel des empires, lance une bombe sur une masse ronde où figurent les symboles des grandes civilisations (cathédrale, tour Eiffel, temple, gratte-ciel, pagode...), tandis que l'homme, désormais maître de la création terrestre, navigue en tenant la barre d'une arche de Noé remplie des autres êtres vivants, mais sous la menace d'un taureau furieux qui émet des radiations symbolisées par des jets de mâle substance.

Enfin, sur une dernière image murale, l'homme, pour rappeler les trois jours de folie furieuse d'Hiroshima et Nagasaki, comprend, horrifié, qu'il peut s'auto-désintégrer, tandis qu'autour de lui, fleurs, fruits, livres, autant de symboles de la civilisation, mais aussi croix, croissant, faucille et marteau s'engloutissent dans le néant, la menace atomique n'épargnant aucune idéologie, aucun système...

Jachymov et le quadrilatère bohêmien.

<u>Le lieu de naissance</u> de l'uranium est le village de Jachimov (ex-Joachimsthal) dans les «monts métalliques»(Erzgebirge) où l'activité minière commença, pour le moins, à l'époque des celtes. Car la présence de cuivre et d'étain dans les montagnes font sans doute de cette région un des premiers foyers miniers de l'âge de bronze.

Les fabuleuses découvertes d'or et d'argent du Nouveau Monde avaient déclenché des ruées de prospecteurs à travers l'Europe, si bien qu'on redécouvrit alors les mines des monts métalliques et la galène argentifère de Jachymov ou de Pribram. C'est là que furent mises au point les nouvelles techniques minières rapportées par Georgius Agricola.

La mine filonienne de galène argentifère et de blende descend loin sous terre, mais, en profondeur, le minerai convoité cède la place à des concrétions minérales noires. Pour les mineurs c'était la «poisse», c'est-à-dire «pech» dans la langue du pays, d'où le nom de pechblende.

Un échantillon de ce matériau fut étudié par Martin Klaproth en 1789. Il pensa avoir découvert un nouveau métal qu'il baptisa uranium en l'honneur de la découverte de la planète Uranus quelques années auparavant. En fait il s'agissait d'un mélange d'oxydes d'uranium dont l'élément métallique ne fut séparé qu'au XIX e siècle par Eugène Péligot.

Le <u>quadrilatère bohémien</u> forme une unité géologique entourée de montagnes (Alpes, Sudètes, Erzgebirge, Fichtelgebirge,...) au cœur de l'Europe.

Une borne en marque l'endroit où, d'ailleurs, les troupes alliées et les armées soviétiques se rencontrèrent en 1945. Elle comprend des granitoïdes et des métasédiments d'âge précambrien et hercynien.

Il s'y trouve une pléiade de districts miniers dont certains sont toujours en activité: Fichtelgebirge, en Allemagne (Grossschloppen, Mahring en Erzgebirge, Pribram en République tchèque, Rosna-Olsi en Slovaquie. Sur le revers nord-ouest du massif Bohémien se trouve ce que Michel Cuney appelle le «grenier à uranium» de l'Europe d'où, pendant l'ère soviétique, la RDA fournit à l'URSS, quelques 260.000 tU à titre de compensation aux dommages de guerre, à partir de mines filonniennes, certaines atteignant 2000m de profondeur, et des mines sédimentaires.

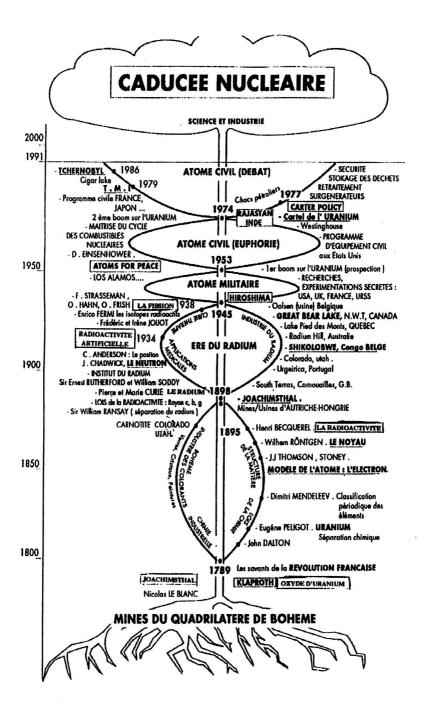
*Nb. De nos jours, les allemands réunis nettoient toujours les vestiges de l'exploitation du consortium germano-soviétique — le WISMUTH- qui se fit dans des conditions scandaleuses (esclavagisme et travaux forcés, pollution incontrôlée, absence de tout souci de rentabilité).

Le caducée nucléaire (figure 1)

Pour tenter de résumer l'histoire plus que bicentenaire de l'uranium et du nucléaire, pourquoi ne pas faire comme Lurçat et utiliser le symbolisme, celui du caducée dont le plus ancien connu figure sur un vase sumérien (2400 av JC).

L'axe des temps étant verticalisé et jalonné des dates entre 1789, date de naissance de l'uranium, et nos jours, on entoure de deux 'anguis'- celui de la science et de la recherche et celui de la technique et de l'industrie- un tronc central terminé en haut, et dans l'avenir, d'une bienfaisante frondaison. Mais cet arbre de vie peut aussi se transformer en champignon atomique... L'arbre s'enracine dans la Terre où, faut-il le rappeler, l'uranium se trouve partout à l'état de traces; en l'occurrence il s'agit de la terre des mines de *Bohême. Les deux 'anguis' se rejoignent à des moments cruciaux de l'histoire du nucléaire: 1789, découverte de l'uranium; 1898, découverte du radium;

1945, les premières explosions atomiques; 1953, « Atoms for Peace », le fameux discours du président Eisenhower offrant l'accès des connaissances nucléaires au monde à condition de ne pas les utiliser à des fins militaires; 1974, dur réveil avec l'explosion de la bombe indienne au Rajasthan.



*Nb. Curieux ce nom devenu symbole de vie désordonnée alors que l'utilisation de l'atome nécessite une discipline de fer et un ordre spartiate!

Ainsi apparaissent les grandes étapes du nucléaire faites de périodes d'exaltation suivies de moments d'inquiétude fondamentale :

<u>-1789-1898</u>: période des grands savants : découvertes des lois de la chimie, de la structure de la matière, de la radioactivité et du radium, tandis que l'uranium ne trouve guère d'application pratique.

<u>-1898-1945</u>: ère du radium qui trouve des applications en...médecine. Recherche de mines d'uranium. La recherche théorique s'emballe avec la découverte de la fission. Les savants pressés par la folie des temps se lancent dans le projet Manhattan pour mettre au point la bombe atomique.

-<u>1945-1953</u>: ère de l'atome militaire. Les Alliés d'un jour se lancent dans la compétition atomique jusqu'au jour où les protagonistes prennent peur.

-1953-1974: ère de l'atome civil. Les efforts sont tournés vers l'utilisation pacifique de l'uranium dans les centrales nucléaires. Les pays industriels se couvrent de centrales nucléaires jusqu'au jour où l'on découvre que de petits malins trichent et poursuivent leurs accès à l'armement atomique (Rajasthan en Inde, mais aussi Pakistan, Irak, Israël,..). Alors les dossiers se referment, mais trop tard.

-1974 à nos jours: grâce à d'âpres négociations et à la signature d'accords, l'atome militaire est mis au pas, sauf en Extrême-Orient (Chine, Corée du Nord, Japon) et au Moyen-Orient, tandis que des incidents (Three Mile Island, USA), des accidents (Tchernobyl, ex-URSS) et des problèmes techniques (surgénération, stockage des déchets radioactifs ou toxiques) engendrent un long débat sur l'atome civil (sécurité, prolifération), avec pour effet de ralentir le développement des centrales nucléaires; certains pays choisissent même de « sortir du nucléaire », tandis que d'autres poursuivent leur équipement (Chine, Iran..)

Finalement en plaçant sur les deux anguis les principales dates de l'aventure nucléaire, on arrive au résumé mnémotechnique désiré.

Parmi les innombrables occurrences uranifères, des concentrations.

Les aspects scientifique, minéralogique et géochimique ne sont pas abordés ici -minéraux, associations minérales, paragenèse, concrétions amorphes, complexes ioniques, etc-pour en rester aux problèmes auxquels font face les prospecteurs.

Toutes les roches contiennent des traces d'uranium, le Clarke de la croûte terrestre étant d'environ 3ppm (1ppm pour la croûte océanique). Par rapport à ce fond géochimique commun, on distingue les <u>anomalies</u> (au moins trois fois le fond), les <u>indices</u> (expression minéralogique de l'uranium visible à la loupe), les <u>gîtes</u> (concentrations naturelles caractérisée, à une coupure donnée, par un tonnage et une teneur moyenne) et les <u>gisements</u> (concentrations économiquement exploitables à l'instant t).

Le phénomène de concentration géochimique et minérale fait appel à plusieurs processus dont les principaux sont la différenciation magmatique, l'hydrothermalisme, le piégeage chimique sur front d'oxydo-réduction en milieu aqueux, l'affinité chimique (matières organiques, phosphates, oxydes de fer,...) et le triage mécanique (placers côtiers).

Distribution des gîtes d'uranium dans l'espace et dans le temps.

Distribution géographique à l'échelle continentale.

Faute d'avoir recours aux cartes utilisées pour l'exposé, nous ne faisons ici que la liste des principales concentrations de gîtes (notion de province uranifère).

Europe: de très nombreux petits gîtes et gisements, qui firent l'objet d'une intense activité minière de 1945 à 1990. Il s'agit surtout de filons hercyniens et de quelques minéralisations sédimentaires mésozoïques et tertiaires. Les principaux districts miniers sont :

- -le quadrilatère de Bohême (environ 500.000t U produites),
- le <u>Massif Central français</u> et son apophyse vendéenne (50.000t U produites).
 - La Méseta ibérique (Espagne et Portugal)

Presque tous les gisements d'Europe sont fermés (mine épuisée ou rentabilité insuffisante). L'Europe, la France notamment, est donc dépendante de l'Etranger pour son approvisionnement à long terme.

Amérique du Nord : le Canada est devenu «le Moyen-Orient» de l'uranium, les Etats-Unis sont des «have been» et le Mexique est pauvre en gîtes exploitables.

L'activité minière a toujours été importante, d'abord dans l'Ouest des Etats Unis (années 40-50-60), puis, à partir des années 70, au Saskatchewan, Canada.

Par « <u>Plateau du Colorado</u> », on entend une unité géographique et structurale faite de bassins sédimentaires méso-cénozoïques séparés par des horts du socle précambrien et hercynien. À partir du Jurassique, une intense activité volcanique entre en jeu. Elle continuera, épisodiquement, pendant le Tertiaire.

C'est le domaine des « rolls», c'est-à-dire des concentrations sur front d'oxydo-réduction au sein des nappes aquifères.

On distingue plusieurs sous-provinces dont :

- -Shirley Basin, Gas Hills, (Wyoming),
- Grants, Ambrosia lake,.. (New Mexico)
- Blanding, Uravan Belt,.. (Utah et Colorado)
- Breccia Pipes (Arizona)-Crow Butte (Nebraska)

Le <u>bassin d'Athabasca</u> occupe la partie nord de la province de Saskatchewan. Il en est question plus loin.

D'autres districts miniers, maintenant abandonnés, furent longtemps exploités : Elliot lake (Canada) , Sud-Texas (Etats-Unis), les phosphates de Floride, Radium City, Beaverlodge.

Amérique du Sud. Ce continent contient beaucoup de gîtes mais peu de gisements, notamment en Argentine, en Bolivie et au Pérou. C'est aussi le cas du Brésil, sauf en ce qui concerne la province du Nordeste : là se trouvent les principales réserves du pays, dans des albitites et des phosphates (Lagoa Real, Itataïa, etc..)

Asie septentrionale. (ex-territoires de l'URSS). Les informations sur les gisements de la Sibérie ont commencé à parvenir en Occident après 1990. Ils sont mal connus de l'auteur, mais Michel Cuney et le CREGU en ont visité certains. Il existe plusieurs provinces. Certaines, exploitées au temps des Soviétiques, ne contiennent que des gîtes inexploitables de nos jours, notons:

- le district des albitites uranifères de Krivoï Rog(Ukraine)

- les minéralisations sédimentaires de type « roll » d'Asie centrale (Ouzbékistan, Tadjikistan, Kirghizstan et surtout du Kazakhstan)

Asie méridionale . Nombreux petits gîtes dont certains ne sont exploités que pour des raisons nationales en Chine , au Pakistan ou en Inde (uranium militaire). Notons :

- -le district des filons intra-granitiques de la Chine du Sud-Est,
- -les minéralisations à U-Mo-CaF₂ des complexes volcaniques à calderas du point « triple » (Russie, Chine, Mongolie),
- l'uranium des bassins sédimentaires intra-montagneux (Chine, Mongolie),
- -les phosphates uranifères « araméens » (Irak, Syrie, Jordanie, Arabie).

Afrique. Contrairement aux autres continents, les provinces uranifères sont rares, mais certaines jouent un grand rôle économique : Agadès (Niger) ; Witwatersrand (R.S.A; sous-produit des mines d'or); Franceville (Gabon, maintenant fermée); Rössing (Namibie; le « miracle anglais »); calcrètes et phosphates « atlantes ».

Australie. Situation semblable à celle de l'Afrique.

- Province géante de <u>Pine Creek</u>, Territoire du Nord (Ranger, Jabiluka, Rum Jungle,..)
- Olympic Dam, mine et exploitation géante de cuivre avec or et uranium en sous-produits, Australie du Sud.
 - uranium sédimentaire de la région du lac Frome,
- .minéralisations à U-Mo-Ca F_2 des complexes volcaniques à calderas du Nord-Est Oueensland.

Conclusion : de l'uranium concentré sur tous les continents et peut-être sous les glaces de l'Antartique ; mais là elles sont préservées pour les générations futures... Notons aussi la présence d'uranium à la gueule de certains « fumeurs noirs » des dorsales sous-marines.

Distribution au cours des temps géologiques.

- De même qu'il y a des <u>lieux à uranium</u>, il a existé des <u>temps à uranium</u>. On le constate aisément en plaçant la date de formation des principales concentrations d'uranium en face de l'échelle des temps

géologiques. Certes, la datation d'une minéralisation donne souvent plusieurs âges de formation, car les remaniements et altérations sont fréquents. C'est de l'âge de la formation principale qu'il s'agit.

-Origine nébuleuse de l'uranium terrestre.

Les physiciens nous disent que les conditions physico-chimiques et énergétiques qui ont régné dans la Terre depuis son origine ne permettent pas d'envisager la formation de l'élément uranium en son sein. Il y a donc eu héritage, transmis par un système préexistant à la formation de notre globe et du système solaire et que l'on qualifie de nébuleuse.

Cet uranium hérité, on s'attendrait à le trouver concentré par gravité vers le centre de la Terre. Or les physiciens n'observent pas cela et nous parlent d'un noyau dont la composition est celle d'un assemblage de fer et de nickel.

Bien au contraire, l'uranium semble se concentrer dans la croûte terrestre par un effet d' «ascenseur» que Michel Cuney et al rattachent au mécanisme de fusion partielle du manteau, à la convection et à la différenciation magmatique. A cause de leur taille, en effet, les ions des éléments lourds comme celui de l'uranium à la valence 4⁺, ne peuvent pas entrer dans la structure des silicates au moment de la formation de ceux-ci. Dès lors ils se concentrent dans les fluides résiduels (liquide et gaz) qui véhiculent vers la surface ces éléments dits « incompatibles » que sont U, Th, les terres rares, le niobium, etc. Rappelons notamment qu'avec H⁺ on obtient des hydrures d'uranium et avec les halogènes (F,Cl,Bi,I) des complexes gazeux, notamment UF₆.

Finalement, dans la croûte terrestre, l'uranium se trouve :

- soit piégé dans des minéraux formés par différenciation magmatique, anatexie ou métasomatisme,
- soit entraîné avec les fluides magmatiques résiduels dans des systèmes hydrothermaux.

De surcroît, l'uranium s'oxyde à la surface de la Terre après altération des minéraux uranophores et mise en solution, et passe à la valence 6⁺. Libéré par l'altération météorique et physico-chimique, l'uranium est entraîné dans le système hydrogéologique - eaux de ruissellement, nappes, pour finir:

- soit dans les océans,
- soit piégé en cours de route par des mécanismes variés que sont l'affinité chimique (matière organique, phosphates, oxydes de fer..), l'évaporation, la fixation à des interfaces d'oxydo-réduction, etc.

Les époques métallogéniques de l'uranium.

On conçoit que les conditions physico-chimiques et énergétiques qui ont varié au cours des temps géologiques -refroidissement, formation des océans, enrichissement de l'atmosphère en oxygène grâce à l'éclosion de la vie sous forme d'algues (algues bleues, stromatolithes), apparition de nouvelles formes de vie (microorganismes, végétation, faune aquatique et terrestre) - aient influencé les processus de concentration de l'uranium.

Les premières concentrations apparaissent dans les granites archéens (Yilgarn d'Australie de l'Ouest), puis après le grand changement de 2,6 milliards d'années dans les Q-P-C (Quartz-Pebble-Conglomerates) du Witwatersrand et d'ailleurs.

A partir de cette date-clef, les «temps à uranium» sont rythmés par les cycles orogéniques (accumulation sédimentaire dans les sillons de l'écorce terrestre -géosynclinaux, rifts- suivie de l'édification de chaînes de montagnes, processus accompagnés de métamorphisme régional, de granitisation diapyrique, d'hydrothermalisme, de mouvements tectoniques et de manifestations volcaniques). Le démantèlement mécanique et chimique des montagnes conduit à la formation d'un détritus sédimentaire. Des épisodes plutoniques résiduels (diapirisme) et le volcanisme fissural acide ou basique interviennent alors.

Hors cycle orogénique, l'uranium se concentre dans les zones de bombement de l'écorce terrestre là où, en clef de voûte, des fractures finissent par se former (rifts, graben) et le volcanisme anorogénique par intervenir (volcanisme effusif, caldéras, chaînes de volcans). En se limitant à quelques exemples, on individualise :

Age	Concentration d'uranium	<u>Uranium tardi-</u> orogénique	uranium anorogénique
Archéen	granites de Yilgarn		
2,6MMMA	Q.P.C Witwaterszand	orogén. kénoréenne	
1,7 à 1,4	Francevillien Pine Creek	orogén. hudsonienne	
1	Athabasca Olympic Dam		volcanisme (Gawler Block)

0,8-0,6 300à 250 MMA	Rössing filons hercy- niens	orogén. panafricaine orogén. hercynienne	
150à60	Colorado Pla. Agadès Phosphates ma- rins		Volcanisme (Aïr)
60 à nos jours	rolls des bassins sédim: wyoming Kazakhstan calcrètes tourbières	orogénies laramide et alpine	

Classification des concentrations naturelles d'uranium

Depuis l'origine, on s'est efforcé de classer les concentrations naturelles d'uranium. De façon empirique, on les a rattachées à leurs roches-hôtes. Ce classement traditionnel est toujours en vigueur à l'Agence Internationale de l'Energie Atomique. C'est ainsi qu'on distingue l'uranium des granites, celui des grès ou des conglomérats. Le nombre de classes est passé de 8 (en 1993) à 15, dont une « classe poubelle » ...

Mais les géologues s'intéressent aussi à la genèse des concentrations et cherchent même à établir des lois en raccrochant à des phénomènes physicochimiques (hydrothermalisme: épi-, méso- ou cata- voire télé-thermal!) ou à des événements géologiques de grande ampleur (la subduction par ISOCEVIC dans les années 80), pour élucider la formation des gisements.

D'une façon très générale, on distingue trois grands domaines géologiques :

- <u>le domaine océanique</u> où les possibilités de concentration sont rares, mais elles existent: phosphates uranifères crétacés et éocènes; boues noires métallifères à uranium de la côte namibienne,
- les bordures continentales en voie d'accrétion et de cratonisation où s'érigent les montagnes. L'uranium s'y trouve associé à certains magmas (concentration magmatique), aux phénomènes hydrothermaux (filons, amas) et volcaniques (filons ,amas, imprégnations). Ces granitoïdes et ces volcanites contiennent aussi de l'uranium diffus qui, libéré par l'altération météorique, devient disponible pour des formes de concentrations superficielles (front-rédox, tourbières, calcrètes, etc). Le magma peut-être primaire, et provenir du manteau, ou secondaire (anatexie de sédiments),

- <u>la masse continentale cratonisée</u> où l'on trouve des bassins sédimentaires intracratoniques, des bombements crustaux lieux de formation de graben et d'appareils volcaniques (ignimbrites, tufs, volcano-sédiments, intrusions) là où le magma calco-alcalin ou alcalin tente d'arriver, ou parvient, jusqu'à la surface. L'uranium magmatique, hydrothermal ou piégé à faible température est très présent dans ces environnements.

Les protagonistes de l'activité minière s'intéressent avant tout au « poids » économique des concentrations et parlent de masse minérale (tonnage de métal inclus dans le minerai) et de teneur moyenne d'un volume donné. En adoptant <u>l'indice de concentration</u> utilisé par Hubert Pelissonier pour les métaux de base (unité: tonnage U exprimé en tonnes multiplié par la teneur en %U, multiplié par un coefficient de 10⁻⁶), on obtient un classement. Ainsi Mac Arthur River (13) devance, et de loin, toutes les autres concentrations, même l'énorme Cigar Lake (1,5), les grands gisements de l'Athabasca et du Pine Creek (entre 1 et 0,02) et tous les autres « grands » (entre 0,02 et 0,005). Dans le <u>tableau 1</u>, joint, les concentrations des ex-pays de l'Est sont exclues. Notons que le plus grand gisement français ne figure pas dans les 20 premiers.

Typologie des concentrations d'uranium. (tableau 2)

Sous une diversité apparente, l'observation et l'expérience décèlent cependant un nombre réduit de processus de concentration métallique (8) et une vingtaine de types (18), dans l'état actuel de nos connaissances. Le fil d'Ariane qu'il faut suivre, pour ne pas se perdre dans le labyrinthe des formes géologiques et minéralogiques, étant le « cycle géochimique » de ce métal dans et à la surface de la Terre.

Exemples de provinces uranifères et de types de gîte.

La fin de l'exposé du 16 juin 2001, consacré à quelques exemples de provinces uranifères et de types de concentration naturelle d'uranium, repose sur une abondante iconographie. Nous ne ferons donc que la liste des exemples choisis.

Provinces uranifères.

- l'Europe hercynienne et le Limousin en particulier,
- la province d'Agadès au Niger,
- l'Asie centrale (Kazakhstan),

- l'Athabasca au Saskatchewan, Canada, le Pine Creek, le Territoire du Nord, Australie.

Les types de concentration.

- Cigar Lake, Athabasca (concentration liée à une discordance),
- Le Bernardan, Limousin (colonne d'épisyénite minéralisée),
- -« Breccia Pipe », Arizona (infiltration dans une cheminée karstique).

L'alpage nissart Juillet 2001

Classement des gisements d'uranium en utilisant l'indice de concentration (tonnage U * teneur en % * 10-6)

N°	Gisement	Indice de concentration		
	Province uranifère		tU	% U
1	MC.Arthur River*, Athabas.	12,75	850 000	15
2	Cigar Lake, Athabasca	1,5	150 000	10
3	Key Lake, Athabasca	0,177	71 000	2,5
	(2amas)	(5)		
4	Eagle Point, Athabasca	0,1	50 000	2
	(2 amas)			
5	Collins Bay, Athabasca	0,075	20 000	3,75
	(4 amas)			
6	Olympic Dam	0,07	1 000 000	0,07
7	Jabiluka, Pine Creek	0,0525	175 000	0,3
	(2 amas)			
8	Midwest, Athabasca	0,04	20 000	2
9	Ranger, Pine Creek	0,025	100 000	0,25
	(2 amas)			
10	Dawn Lake, Athabasca	0,0225	15000	1,5
11	Mt Taylor, Grants	0,015	30 000	0,5
12	lmouraren, Agadès	0,015	100 000	0,15
13	Akouta, Agadès	0,012	30 000	0,4
14	Elliot Lake(Denison), lac	0,01	100 000	0,1
	Supérieur			
15	Itataïa, Nordeste	0,0096	120 000	0,08
16	Lagoa Real, Nordeste	0,0085	66 000	0,13
17	Arlit, Agadès	0,0075	20 000	0,3
18	Oklo, Franceville	0,006	15 000	0,4
19	Yeelirrie, Yilgarn	0,0059	45 000	0,13
20	Kiggavik, Thélon	0,0052	15 000	0,35
A titre de Co				
	Rössing, Damara	0,0026	75 000	0,035
	Le Bernardan, Limousin	0,0036	6 000	0,6
N.B.: données datant du début des années 90, sauf (*) (2001)				

Tableau 1

Typologie des concentrations naturelles d'uranium

	Processus principal de concentration	Modèle	Autres	Localisation en profondeur
1	Différentiation magmatique	Rössing	Poços de Caldas Ilimausaq,Palabora Ross Adams	Profond
2	Fissural: filons,veines, épisyénites	Le Bernardan (épisyénite) Margnac (filons monométalliques) Grossschloppen (filons polymétal.))	Profond
3	Lié à la présence d'une discordance	Cigar Lake	Jabiluka Kiggavik	Sub-surface
4	Lié aux ensembles volcano- plutoniques calco-alcalins.	Ben Lomond	Streltsovska Marysvale	Sub-surface
4 bis	Llié à des brèches volcano- plutoniques calco-alcalins.	Olympic Dam		Sub-surface
5	Superficiel:	Witwatersrand	Elliot Lake	Comform
	mécanique (placer) mécanique (côtier)	minéraux lourds	Elliot Lake	Surface
	chimique (tourbières)	Flodelle Creek	Tullow	**
	schistes noirs	Randstad	Midnite	**
	évaporation (calcrètes)	Yeelirrie	Langer Heinrich	
	gîtes ibériques	Fe	Nisa	"
6	par infiltration : "roll"	Wyoming		Sub-surface
	fond de vallée	Manyingee	Blizzard Lake	**
	cheminées karstique	Arizona Breccia Pipes		•
	stratoïde/penéconcordant	Arlit	Akouta, Oklo	**
			Coutras	"
7	Par métamorphisme	Mary Kathleen	Fort dauphin Rodium Hill Jaduguda	Profond
8	par métasomatisme:		-	Profond
	albitites linéaires	Lagoa Real	Itataïa Krivoï Rog	

Tableau 2

L'URANIUM EN FRANCE AVANT 1945 Par Pierre Bariand

D'abord utilisé pour colorer en jaune les verres, cristaux et céramiques, l'uranium fut utilisé ensuite pour les papiers photographiques et en pharmacologie.

De 1900 à 1940 les minerais d'uranium furent exploités pour le radium et l'on tenta, avant la guerre de 1914 d'utiliser l'uranium lui-même pour des aciers à canons. Depuis la seconde guerre mondiale il est recherché et exploité pour les réacteurs nucléaires (civils et militaires), etc.

Avant la création du CEA, la minéralogie de l'uranium en France était réduite à trois espèces minérales définies : l'autunite, la chalcolite (tobernite), la zeunérite (A.Lacroix 1904). D'autres espèces uranifères étaient signalées mais sans étude scientifique préalable telles : l'uranocre signalée par Didier dans les pegmatites du Limousin, terme vague désignant sans doute des sulfates comme l'uranopilite ou peut-être des gummites altérées.

Saône et Loire

Vers 1760 un habitant de ce département, Pigenat remet à Monsieur Rémond, collectionneur, un morceau de roche recouvert de poussière jaunâtre. En 1797 un ingénieur du Corps des Mines , Joseph-François de Champeaux remarque « un minéral d'un beau jaune verdâtre formé de lames placées les unes sur les autres et divergentes entre elles », dans la collection du citoyen Rémond, fils du précédent à Semur-en-Auxois.

En 1798 Lelièvre et Haüy identifient l'urane sur un échantillon présenté par de Champeaux.

L'année suivante, de Champeaux rencontre Pigenat qui lui indique que l'échantillon donné à Rémond il y a une quarantaine d'années provient de Saint-Symphorien de Marmagne.

Brumaire An VIII (1800), un métayer indique à de Champeaux le lieu exact de collecte de l'échantillon : les Ruaux.

En 1855 le gisement des Ruaux était mis à jour, mais il a fallu attendre le début du siècle pour voir le réel développement de la prospection minière, de cette région.

C'est en effet en répondant à l'appel de Pierre et Marie Curie dans le « Journal des Voyages » qu'un prospecteur de la région Hippolyte Marlot se mit en quête de minerai de radium, ayant été mis au courant de la découverte, lors de l'établissement de la route de Grury à Issy l'Evêque au

lieu dit, les Dorains, « d'une pierre lourde de couleur verte » : la pyromorphite. Marlot soupçonne la présence de radium dans cette pyromorphite. Exploitée dès 1904, les Dorains, fourniront le minerai d'où sera extrait le premier radium français. En 1910 la minéralisation disparut en profondeur et les travaux furent abandonnés .

D'autres indices uranifères furent découverts en France : en 1846 dans la même région, par un laboureur, à la Troche : la chalcolite en 1852 par Boisse près d'Entraygues dans l'Aveyron, puis en 1888 par Gonnard dans le Puy de Dôme et en 1893 dans la mine du Cap Garonne dans le Var, qui se révèlera être de la zeunérite son équivalent arséniaté.

Le minéral d'uranium le plus anciennement connu est l'autunite, découvert à Saint-Symphorien de Marmagne par de Champeaux (1800). Décrit en 1819 sous le nom de « sel à base de chaux et où l'urane joue le rôle d'acide » par Berzélius qui en 1823 le définit et lui donna le nom d'uranite transformé en autunite par Brooke et Miller en 1852.

En 1930, M.Lassalle signale la chalcolite dans le filon de fluorite du Croc-Blanc.

Puy de Dôme

Avant la seconde guerre mondiale une concession pour radium avait été demandée par M. Thave dans la région de Lachaux dans les Monts du Forez.

En 1934 A.Demarty signale des minéraux uranifères à Saint-Rémy sur Durolle, gisement qu'il exploite pour le radium. La première pechblende française y sera découverte associée à la gummite orange que Demarty confondra avec la curite du Katanga. La disparition de la minéralisation en profondeur arrêtera les travaux.

Haute-Vienne.

Au XIXe siècle de nombreuses pegmatites de la région située au Nord de Limoges, étaient exploitées pour le feldspath et le kaolin, matériaux nécessaires pour alimenter l'industrie de la porcelaine qui prenait un grand développement. De nombreux minéraux rares y furent découverts, certains pour la première fois et rendirent cette région célèbre dans le monde des minéralogistes. A Margnac, Chanteloube, Chabane, etc. des minéraux uranifères étaient signalés depuis longtemps comme le confirme cette note parue au Conseil de mines de la Haute Vienne en 1804. Autunite, chalcolite, uranocre étaient signalées par ailleurs dans les ouvrages de Barret (géologie du Limousin) en 1892 et de P.Didier (Les espèces minérales du Limousin) en 1926...

Toutes ces occurrences étaient répertoriées dans le célèbre ouvrage d'Alfred Lacroix la Minéralogie de la France dont le premier tome fut publié en 1893.

Alfred Lacroix avait-il pressenti l'intérêt des minéraux radioactifs et de la radioactivité que son collègue H.Becquerel venait de découvrir en 1896? Après une note sur l'autunite de Saint-Symphorien de Marmagne, sans doute en vue de la *Minéralogie de la France*, on relève un certain nombre d'écrits sur les minéraux radioactifs de Madagascar: bétafite, euxénite, thorianite, etc.

Créé le 18 octobre 1945, par le Général de Gaulle, le Commissariat à l'Energie Atomique, va organiser et contôler, en accord avec les ministères concernés, la prospection et l'exploitation des gisements d'uranium.

A cet effet une école de prospection est installée dans les laboratoires de minéralogies du Muséum d'Histoire Naturelle, dont le directeur était à cette époque Jean Orcel; Louis Barrabé, professeur de géologie appliquée à la Sorbonne, viendra jean Orcel. Le Service des Mines proposera André Savornin, qui sera chargé d'organiser les diverses équipes qui se seront spécialisées dans la prospection des minerais d'uranium.

Rappelons que les premiers prospecteurs d'uranium formés au Muséum parcouraient la France avec des reproductions photographiques des pages de la Minéralogie de la France qui étaient susceptibles de leur être utiles.

Ce n'est pas le fait du hasard que les premières prospections pour l'uranium débutèrent sur les département de Saône et Loire, Puy-de-Dôme et Haute-Vienne où la découverte de pechblende exploitable, le 25 novembre 1948 allait donner une impulsion extraordinaire à la recherche et l'exploitation de l'uranium et assurer à la France un avenir nucléaire.

Bibliographie:

La mine et les mineurs de l'uranium français COGEMA (tome 1) Antoine Paucard 1992.

La mine Les minerais uranifères français, Presses Universitaires de France (tome 1) 1960.

la Minéralogie de la France de Alfred Lacroix

Conseil Département de l'Intérieur. Dea Minex Siberio. la République. Egalito. Division Paria, to 3 Plania Republique française, une a indivisible. Section recurie Le Conseil des Mines de la République, Outleyen Propous Pagenier Note Les leures doires et ous avous reus, litogen, votro lette fire adressfes au CONSEIL DES MINES, en nom collecif, sons deux bandes crointes, rue de l'Université, N. 299. ~ ous nous aussières quelques enhantitles, On avez soin de rappeter d'erræne voirdes Dond ~ ous avez trouvel dans les réponses, le nom de la Dond nous avez trouvel les giffremme Sur la conte de d'ausges Division et le Nº des leures. opaine continued on when I anties Inditance quesnous nous numering wous alt promounes, I us offile but artuellemens - Dinosis an Cabout de Unionalogie. Kous vous en remoire Mong wows Nathersung

Fig. 124. — Photocopic d'une lettre du Conseil des Mines de la République datant du 3 Pluviose de l'an XII de la République, au Citoyen Cressac, ingénieur, lui accusant réception de quelques échantillons d'urane oxydé trouvés sur la route de Limoges à Paris: ce qui fuit remonter à 1804 le premier indice uranifère signalé dans la région.

La vie de la collection

Tout comme l'an dernier, le début de l'année minéralogique 2002 est caractérisé par la vente d'une importante collection qui de surcroît est française. Il s'agit de la collection de La Moineaudière à Xorunt-Longemer à proximité Gerardmer. Rappelons que cet établissement avait pour vocation l'aide à des adolescents en difficulté. Dès 1949, son fondateur et directeur, l'abbé Blaise avait axé les activités autour de l'horticulture et plus tard autour d'une exposition constituée de minéraux, d'insectes et d'art africains. Durant de nombreuses années. La Moineaudière était devenue un but d'excursion très apprécié (jusqu'à 600.000 visiteurs par an). Au décès de l'Abbé, le 4 mars 1980, ces activités ont périclité et les nouveaux repreneurs ont décidé l'an dernier de vendre les collections. Lassés d'avoir des propositions d'achat fantaisistes, ils ont finalement confié l'organisation de la vente à un membre éminent de notre association, M Alexandre Delerm qui est réputé pour la grande compétence qu'il a acquise lors de son activité d'expert dans des ventes aux enchères. Sensible au patrimoine national M Delerm a organisé une journée de vente réservée aux collections publiques parisiennes, le 23 janvier. Malgré un emploi du temps chargé et la proximité de la Bourse de Tucson, je m'y suis rendu. Bien m'en a pris car j'ai eu l'heureuse surprise de constater que j'étais le seul présent ce qui m'a permis d'analyser tranquillement cette collection que je n'avais pas revisitée depuis une quinzaine d'années. Cette collection se caractérise par des spécimens acquis durant les années 1960 et 1970, elle comprend donc de nombreux minéraux que l'on ne trouve plus actuellement sur le marché. Les minéraux vosgiens sont particulièrement bien représentés ainsi que les localités roumaines américaines et africaines. L'absence de concurrence m'a aussi permis de prendre mon temps pour étudier les spécimens susceptibles d'entrer dans la collection de Jussieu. Finalement, j'ai choisi une natrolite d'Inde (achat AMIS) qui est certainement l'un des meilleurs spécimens connus. Elle se présente comme une boule ovale dépassant 15cm, sur gangue, avec une gerbe plus petite de natrolite. Après mon passage, il y a eu quelques jours de vente seulement et de nombreux échantillons de qualité sont encore disponibles. La prochaine session de vente aura lieu du 10 au 13 avril. Les membres de l'AMIS intéressés peuvent contacter M Delerm (tel: 01 45 32 73 83- fax: 01 58 45 23 94).

Durant le mois de janvier, j'ai pu aussi acquérir une extraordinaire schéelite de Chine (mine Zinyang, Sichuan) par échange (UPMC). Il s'agit d'un cristal complexe (de13cm environ) possédant une couleur orangé et un éclat très inhabituels. Malgré leur relative abondance depuis une dizaine d'années, l'expérience a montré que les schéelites chinoises combinant une grande dimension, une bonne couleur et un éclat correct, sont d'une très grande rareté. L'échantillon acquis est le meilleur connu exposé en France.

Après un mois de janvier aussi riche en acquisitions, j'ai pu aborder avec un esprit plus serein la bourse de Tucson qui fera l'objet de la prochaine rubrique sur la vie de notre collection.

A.MI.S

Association des Amis de la Collection de Minéraux de la Sorbonne.

Tour 25 - Rez de chaussée

4, place Jussieu 75252 PARIS Cedex 05