

Contribution à l'étude des minerais d'uranium-radium portugais

PAR

M. Charles Lepierre

Le Portugal est un des rares pays d'Europe dont le sol renferme de grandes quantités de minerais d'uranium-radium. Aussi dès la découverte de M. et M^{me} P. Curie, l'attention des élèves et collaborateurs de ces savants fut-elle attirée sur les possibilités d'extraction du radium des minerais portugais. Jusqu'en 1910 on traita ces minerais en France puis au Portugal où l'on fonda quelques usines dont la plus importante fut celle de *Barracão*, près de *Guarda*. Une étude sur les minerais portugais et leur formation nous a semblé intéressante, les opinions à ce sujet étant fort divergentes. C'est le résultat d'une dizaine d'années de recherches et de notre long contact avec l'industrie du radium au Portugal que nous résumerons ici, nous limitant à l'étude des minerais, du point de vue chimique et minéralogique.

Gisements. — Les gisements urano-radifères se trouvent dans le massif granitique de la *Serra d'Estrela* au nord et à l'est de cette chaîne; on les trouve surtout dans les districts de Guarda et de Viseu et un peu dans celui de Castelo Branco. C'est donc, par rapport à l'ensemble de la masse granitique du pays, une zone assez limitée. Le nombre officiel des concessions était de 99 (1929): 82 d'uranium-radium, 4 d'U-Ra et tungstène et 13 d'U-Ra et étain. Ces concessions occupent 5000 hectares.

L'altitude de la région varie de 350 à 1000 m. Les filons généralement étroits sont de nature pegmatique. La roche, très dure, est souvent kaolinisée.

Minerais. — On divise généralement les minerais radio-actifs en 3 classes: 1.^o *minerais primaires*, restés inaltérés dans la roche éruptive (Monazite, Samarskite, Betafite, etc.); 2.^o *minerais de transformation*, produits par l'action des agents géologiques et restés en général sur place (Pechblend, Bröggerite); 3.^o *minerais d'altération*, résultant d'une transformation plus profonde par les mêmes agents ou par d'autres et surtout, d'après la plupart des minéralogistes, sous l'action de l'eau, de l'oxygène, de l'acide carbonique.

Nous y ajoutons l'action de l'acide sulfurique provenant de l'oxydation des sulfures, dont nous démontrons plus loin le rôle important.

Les minerais trouvés au Portugal sont: 1.^o le *minerai dit noir*; 2.^o l'Autunite $(\text{PO}_4)^2(\text{UO}_2)^2\text{Ca} \cdot 8\text{H}_2\text{O}$; 3.^o la *Chalcolite* ou *Torbernite* $(\text{PO}_4)^2(\text{UO}_2)^2\text{Cu} \cdot 10\text{H}_2\text{O}$. On n'a trouvé ni Carnotite, ni minéraux complexes (Betafite, Samarskite, Euxénite, etc.). Le *Thorium* et ses dérivés semblent être absents des minerais portugais et au cours de plus de 20 ans de recherche et de 15 ans de fabrication on n'a jamais observé que nous sachions, de troubles de mesures causés par ces corps radioactifs; la recherche chimique du Thorium n'a également donné que des résultats négatifs.

Au Portugal les *minerais primaires* sont jusqu'à ce jour inconnus: les *minerais de transformation* y sont peut-être représentés par le *minerai dit noir* qui s'altérant plus profondément, donnent l'autunite et la chalcolite (*minerai d'altération*).

Minerai dit noir. — Le minerai d'Uranium noir ne se trouve qu'en profondeur, les minerais jaunes ou verts (minerais clairs), formés d'autunite ou de chalcolite se trouvent à la surface, ou à peu de profondeur. C'est ce que l'on observe dans les mines les plus étudiées, *Urgeiriça* (Nellas) et *João Antão* (Belmonte), sur chacun des versants de la Serra d'Estrela.

Ainsi à Urgeiriça, à 150 mètres de profondeur, c'est encore le minerai noir, plus ou moins terreux que l'on observe. Il se peut qu'à un niveau inférieur on trouve la véritable pechblende ou même l'oxyde noir uraneux UO_2 .

La pechblende *pure* n'a pas encore été signalée d'une manière formelle au Portugal: quelques rares échantillons rappellent vaguement cette espèce. En tout cas le minerai *noir* portugais est tout à fait distinct de la pechblende de Jachymov.

Pour nous et pour les mineurs portugais, le minerai primitif serait UO^2 qui s'oxydant donnerait des minerais type pechblende: $3UO^2 + O^3 \rightarrow U^3O^8$.

Le *minerai noir* est, au moins jusqu'à 150 mètres (Urgeiriça), un produit d'altération des oxydes UO^2 ou U^3O^8 ; ce minerai est *toujours accompagné* de phosphates, de sulfures, de sulfates.

Ceci résulte de longues recherches analytiques effectuées sur les minerais d'Urgeiriça (Lepierre) et sur ceux de João-Antão (Pio Leite). Les procédés mécaniques et physiques de purification des produits noirs ne nous ont jamais donné des oxydes purs.

Rappelons que dans leurs publications ou communications, De Launay, Maurice Curie, Boursat, A. Viana, Corrêa de Mello, considèrent aussi le *minerai noir* comme un terme de transition de la pechblende aux phosphates, ces auteurs ne semblent faire jouer aucun rôle aux *sulfures* présents dans le minerai. Pour nous au contraire le rôle joué par les sulfures facilement oxydables et surtout les pyrites est, nous le verrons, fondamental.

Minerais clairs. -- Ces minerais bien connus sont représentés au Portugal par deux espèces seulement: l'Autunite et la Chalcolite déjà citées. L'Autunite se présente sous deux aspects différents: beaux cristaux, brillants, jaune d'or ou poudre ou imprégnation jaunâtre, apparemment amorphe. De même pour la Chalcolite (beaux cristaux verts ou poudre).

Etude chimique des minerais noirs. — Le minerai d'Urgeiriça, dont la composition est fort complexe a été soumis à une analyse détaillée. Dans ce but, la mine nous envoya des échantillons pris dans des conditions différentes: à 15 mètres et à 95 m. de profondeur: minerais décomposé, non décomposé, plus ou moins décomposé.

L'analyse des minerais non décomposés et décomposés fut poussée le plus loin possible: 1° analyse élémentaire; 2° répartition du soufre ⁽¹⁾; 3° dosage du radium; 4° reconstitution probable du minerai. Les tableaux I et II donnent les résultats.

(1) Confiée à C. Caldeira.

TABLEAU I.

Mineral d'Urgeirica

	N.º 1 15 m. profund. non décomposé	N.º 2 15 m. profund. décomposé	N.º 3 95 m. profund. non décomposé	N.º 4 95 m. profund. décomposé
Perte au rouge . . .	4,35	3,17	5,54	2,55
Oxyde d'Uranie . . . U ⁸ O ⁸	5,60	1,34	9,43	0,56
Acide phosphorique P ² O ⁵	0,138	0,266	0,240	0,210
Silice SiO ²	64,30	74,88	55,22	69,43
Acide titanique . . . TiO ²	0,09	0,10	0,12	0,11
Chlore Cl	0,01	0,013	0,02	0,014
Fluor F	0,05	0,07	0,06	0,06
Soufre des sulfures. S	2,151	0,179	4,042	4,198
Acide sulfurique. . . SO ⁸	0,712	0,042	0,490	0,850
Alumine Al ² O ⁸	9,45	11,254	11,07	10,10
Oxyde ferrique . . . Fe ² O ⁸	2,38	3,760	5,36	5,557
Chaux CaO	3,46	1,700	1,75	1,42
Magnésie MgO	0,67	0,700	0,73	0,59
Soude Na ² O	0,92	0,12	0,95	1,52
Potasse. K ² O	1,41	1,39	0,62	1,39
Lithine Li ² O	traces	traces	0,022	0,012
Manganèse (oxyde). MnO	0,004	0,002	0,005	0,001
Arsenic As	0,01	0,003	0,131	0,001
Cuivre Cu	0,05	0,03	0,208	0,06
Plomb Pb	4,004	0,752	3,656	1,224
Acide tungstique . . WO ⁸	0,06	0,020	0,015	0,010
Nickel Ni	0,02	0,009	0,016	0,013
Cobalt Co	traces	traces		traces
Zinc Zn	0,037	0,021	0,040	0,027
Argent. Ag	0,002	0,001	0,004	0,002
	99,878	99,822	99,739	99,909

Bi, V, Sn, Au, Sb, Hg, Cd, Pt,

Ti, Cr, Th, Ra, Sr, Cs, Rb . néant ou ind. néant ou ind. néant ou ind. néant ou ind.

Argent: (p. Tonne) 18 g. 10 g. 38 g. 16 g.

Radium:

Br²Ra.2.aq. (P. Tonne). 28mg,36 6mg,88 49mg,41 2mg,48

Ra — 15,20 3,69 26,48 1,33

Rapport $\frac{Ra}{U}$ $3,20 \cdot 10^{-7}$ (1) $3,25 \cdot 10^{-7}$ (2) $3,31 \cdot 10^{-7}$ (3) $2,80 \cdot 10^{-7}$ (4)(1) Ra/U 15,20:47,5.10⁶.(2) — 3,69:11,36.10⁶.(3) — 26,48:80,0.10⁶.(4) — 1,33:4,75.10⁶.

TABLEAU II.

Minerai d'Urgeirica, constitution probable.

	N.º 1 15 m. profond. non décomposé	N.º 2 15 m. profond. décomposé	N.º 3 95 m. profond. non décomposé	N.º 4 95 m. profond. décomposé
<i>Composés uraniques:</i>				
Oxyde d'uranium libre U ³ O ⁶ .	5,055	0,289	8,48	—
Autunite (PO ⁴) ₂ (UO ₂) ₂ Ca.	0,748	1,442	1,301	0,766
<i>Sulfures:</i>				
Galène PbS	4,723	0,868	4,221	1,413
Pyrite de fer FeS ²	2,720	0,034	5,968	7,367
Chalcopyrite CuFeS ²	0,140	0,080	0,603	0,172
Blende ZnS	0,055	0,031	0,060	0,040
Sulfure de Nickel NiS (traces de Cobalt)	0,030	0,013	0,024	0,020
Mispickel FeAsS	0,021	0,006	0,285	0,002
<i>Sulfates:</i>				
Sulfate ferrique (SO ⁴) ³ Fe ²	1,187	0,070	0,817	1,417
<i>Autres minéraux:</i>				
Wolfram WO ⁴ (Fe,Mn)	0,080	0,027	0,021	0,013
Roche feldspathique kaoli- nisée et micacée.	45,85	53,53	45,698	42,846
Quartz SiO ²	34,30	40,08	25,22	41,43
Acide titanique TiO ²	0,09	0,10	0,12	0,11
Argent.	0,002	0,001	0,004	0,002
Lithium	traces	traces	—	—
Fluor (1).	0,05	traces	traces	—
Chlore (1)	0,01	0,083	0,08	—
Apatite 3(PO ⁴) ₂ Ca ³ Ca(F ² Cl ²)	—	—	—	0,234
Perte au rouge	4,35	3,17	5,54	2,55
	99,411	99,824	98,442	98,382
Ra. par Tonne	15,20 mg.	3,69 mg.	26,48 ¹ mg.	1,33 mg.

(1) de l'apatite.

On voit que les éléments les plus variés font partie du minerai: 1º il y a plus d'uranium dans les minerais non décomposés que décomposés; 2º à 95 m. la teneur en U est plus élevée qu'à 15 m.; 3º l'acide phosphorique existe en quantité à peu près égale à tous les niveaux, que le minerai soit altéré ou non; 4º le chlore et le

fluor sont ici des éléments de l'apatite. L'arsenic, le lithium, le cuivre, le nickel, le zinc, le plomb existent aux deux niveaux. *Aucun rapport* entre le plomb et l'uranium ou le radium. Ce que démontre le petit tableau suivant:

Minerai	Pb %	U ⁸⁰⁸ %	Ra (mg.) par T	Rapport Boltwood
1. non décomposé 15 m. . .	4,004	5,60	15,2	3,2.10 ⁻⁷
2. décomposé 15 m. . .	0,752	1,34	3,69	3,25 —
3. non décomposé 95 m. . .	3,656	9,43	26,48	3,31 —
4. décomposé 95 m. . .	1,224	0,56	1,33	2,80 —

Rapport Boltwood. — Le rapport $\frac{Ra}{U}$ est constant et normal (3,2 à 3,3.10⁻⁷) pour les échantillons nos 1, 2 et 3; mais il tombe à 2,80 pour le n° 4 (95 m., décomposé).

L'analyse démontre la présence d'éléments relativement rares; le *titane*, l'*argent*, le *nickel*, le *cobalt*, le *tungstène*: mais la recherche de certains éléments intéressants au point de vue de la radioactivité (*thorium*, *bismuth*, *vanadium*, *baryum*) a été infructueuse; l'analyse spectrale donnerait peut-être des résultats positifs. Les autres éléments dosés appartiennent à la masse granitique, plus ou moins altérée, de la région.

Le soufre dans le minerai d'Urgeiriça. — Le soufre est un des facteurs importants de ces minerais; les sulfures primitifs, sous l'influence de l'air et de l'eau s'oxydent; les sulfates et l'acide sulfurique formés précipitent le radium.

Le *soufre total* a été dosé, après oxydation à l'eau régale, en tenant compte de la présence du plomb. Le dosage des *sulfates*, produit d'oxydation des sulfures, est plus délicat; les sulfates existant dans le minerai sont tous, sauf celui de radium (dont la masse ne pouvait avoir d'influence) solubles dans ClH dilué à chaud, toutefois l'expérience nous a prouvé que pendant cette attaque acide certains sulfures s'oxydaient, d'où augmentation du poids des sulfates. Mais en faisant la dissolution chlorhydrique en gaz inerte (CO²) il n'y a pas d'oxydation et le dosage des sulfates est correct.

Cette observation est importante non seulement du point de vue analytique, mais des points de vue industriel et minéralogique. En effet elle explique l'augmentation des sulfates solubles dans les

minerais exposés à l'air, en milieu acide, soit à la mine, soit à l'usine. De plus elle démontre que dans tout traitement industriel acide, les sulfates augmenteront; c'est ce qui ressort du tableau suivant:

Profondeur	Etat du minerai	Soufre total ‰	Soufre des sulfates (ClH dilué)	Soufre des sulfates (gaz inerte)	Rapport S (de SO ⁴)	Rapport S (de SO ⁴)
			I ‰	II ‰	S total ‰	S total ‰
15 m.	Décomposé . . .	0,196	—	0,017	—	17,7
	Assez décomposé . . .	4,096	0,604	0,485	14,7	11,8
	Non décomposé . . .	2,436	0,363	0,285	14,9	11,7
95 m.	Décomposé . . .	4,538	0,727	0,340	16,02	7,5
	Assez décomposé . . .	3,507	0,360	0,211	10,26	6,01
	Non décomposé . . .	4,220	0,270	0,196	6,4	4,64

On voit aussi que les sulfates existent aux 2 étages et aussi bien dans le minerai tel quel, que dans le minerai décomposé; la *sulfatation* est plus élevée vers la surface, ce qui est logique; à 95 m., elle atteint 5 ‰ en moyenne du soufre total et à 15 m. 11 à 17 ‰. Cette teneur en SO⁴ est plus que suffisante pour *insolubiliser sur place* tout le radium existant si les circonstances sont favorables à la dissolution de la partie uranique (action des eaux acides provenant de l'oxydation des sulfures, surtout la pyrite); la teneur en SO⁴ est plus élevée dans le minerai altéré.

En réalité *le minerai considéré au point de vue chimique et minier comme non décomposé*, est déjà en voie de *profonde altération*.

Le minerai d'*Urgeiriça* est donc très complexe; d'une manière générale il est formé d'un mélange de sulfures (galène, blende, pyrite, arsénopyrite, chalcopyrite) faciles à reconnaître. On y trouve la roche constitutive de la région, les granites à mica blanc (pegmatites remplissent les filons (Ing. A. Vianna); granite plus ou moins kaolinisé; le tout accompagné des minéraux communs à ces formations (apatite, wolfram, ilménite, mica lithifère, etc.). A la surface et à l'intérieur de cette masse se trouve l'imprégnation quelquefois légère, quelquefois plus abondante, de composés uraniques et avec eux le radium.

Dans quel état l'Uranium se trouve-t-il dans le minerai noir?

Le minerai noir contient toujours du phosphore; s'agit-il d'un

phosphore uraneux, d'un sulfure uraneux? hypothèses qui ont été formulées. Par nous il s'agit d'un mélange de phosphates uraniques et d'oxyde uraneux, ou uraneux-uranique.

Remarquons en effet que l'acide phosphorique existe aussi bien en surface qu'à 15 m. de profondeur ou à 95 m. (voir le tableau I) et cela en quantité assez semblable. Comme d'autre part nous démontrons que la *sulfatation* se poursuit au moins jusqu'à 95 m. (elle y atteint même le maximum dans le minéral n° 4), il en résulte qu'à ce niveau le minéral est déjà très modifié dans sa texture primitive; aussi, au lieu d'y trouver seulement de l'apatite, y trouve-t-on le plus souvent de l'*Autunite* et de la *Chalcolite*; si la loupe ou le microscope ne révèlent pas ces phosphates, n'oublions pas que les éléments de leur formation y sont présents et que sous l'influence continue de l'eau, de l'air, des liquides acides, venant de la surface *il se formera tôt ou tard* des autunites, des chalcolites.

La quantité d'acide phosphorique peut être suffisante pour transformer tout l'uranium en phosphate (c'est le cas du n° 5, 95 m. décomposé), il y aura *même excès* de phosphore (apatite libre).

Dans les 3 autres échantillons, au contraire, l'acide phosphorique est *insuffisant* pour donner les phosphates uraniques; il y aura, à côté l'un de l'autre, autunite ou chalcolite et *oxyde d'urane libre*. Quelle est la formule de cet oxyde? nous ne le savons au juste; il faudrait séparer cette espèce pure, mais je l'ai dit les essais faits dans ce sens ont été infructueux; la poudre noire purifiée contient toujours des phosphates, des sulfures, etc.

Quant à l'état où se trouve le radium, notre ignorance est aussi grande: il est probable et cela est généralement admis, que dans les minerais sulfatés comme ceux-ci, le sulfate est le sel prédominant. Toutefois de longues recherches de laboratoire et des essais industriels répétés démontrent que dans les minerais noirs le radium se trouve sous une forme — ou passe à une forme telle — qu'une partie est soluble dans les acides et inattaquable par les carbonates alcalins dissous, tandis qu'une autre partie est insoluble dans les acides et attaquant par les carbonates alcalins. Cela résulte des recherches de l'auteur de cette note (1922) et indépendamment (1927) de son assistant A. Pio Leite.

On a admis aussi l'existence possible du *silicate de radium* inattaquable ou difficilement attaquant, pour expliquer les faits

précédents. Nous nous en tenons à l'idée du simple sulfate de radium. Ce sel se fixant par *adsorption* sur des supports minéraux (argile par exemple) serait difficilement et incomplètement attaquant soit par les acides, soit par les carbonates alcalins dissous, tandis que l'action des premiers, suivie de celle des seconds modifiant les conditions du support, permettent une extraction complète du radium.

Au laboratoire on peut obtenir la totalité du radium du minerai par fusion au rouge avec les carbonates alcalins, suivie s'il le faut, d'une désagrégation par l'acide fluorhydrique comme le recommande *A. Lepape*.

Afin de donner une idée plus concrète de la composition du minerai, j'ai dressé le tableau II.

Ce tableau est la *reconstitution probable du minerai d'Urgeirica* basée sur les précédentes analyses: reconstitution établie par une méthode semblable à celle employée dans l'étude des roches; cette reconstitution n'est toutefois donnée qu'à titre documentaire. (Voir tableau, p. 19).

Minerai noir de João Antão (Belmonte). — Dans le même ordre d'idée *A. Pio Leite* a obtenu les résultats suivants :

Minerai de João Antão (Belmonte)
(Echantillons classés par tamisage)

Tamis	U ³ O ⁸ %	S total	S des sulfates	S des sulfures	Radium. Ra mg. p. tonne
N ^o 40	12,25	2,80	0,18	2,72	18,82
N ^o 60	11,40	3,30	0,18	3,12	19,34
N ^o 80	12,41	2,98	0,23	2,75	24,03
N ^o 100	13,52	3,16	0,25	2,91	28,14

Les teneurs en radium correspondent à celles d'un traitement industriel; ce sont des minima.

D'autres essais ont donné pour la même mine:

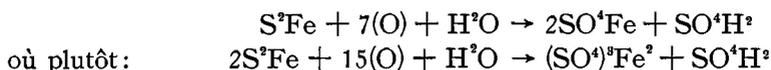
N ^o	U ³ O ⁸	P ² O ⁵	S total
1	22,95	3,87	14,78
2	4,93	2,63	4,56
3	3,73	1,15	2,74
4	4,41	1,74	15,43

On observe très souvent que le minerai noir exposé à l'air humide se recouvre de dépôts jaunes ou verdâtres de phosphates uraniques. Ce sont des phénomènes semblables à ceux qui se passent dans les mines et *qui confirment la théorie* ci-dessus exposée. Toutefois un certain nombre de points sont encore à élucider : leur étude est poursuivie dans notre laboratoire par Pio Leite. Disons déjà qu'en soumettant à l'action de l'air, de l'eau, de l'acide carbonique le minerai noir le moins attaqué possible on observe la dissolution du phosphore et de l'uranium ; si le minerai est très pyriteux il se désagrège. Ce qui confirme nos analyses. Il s'agit là en somme d'un phénomène analogue à celui de l'oxydation lente les pyrites des grandes mines portugaises et espagnoles (oxydation qui permet on le sait l'extraction ultérieure du cuivre).

Pour nous et *en résumé* on peut expliquer la formation des minerais portugais de la manière suivante :

Le minerai primaire UO^2 , par exemple ⁽²⁾ par oxydation pourrait donner U^6O^8 : $(3UO^2 + O^2 \rightarrow U^6O^8)$.

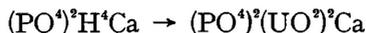
La pyrite s'oxydant (eau et air) donnerait :



dans les deux cas on a SO^4H^2 libre qui attaque alors l'*apatite* en donnant du phosphate monocalcique ou de l'acide phosphorique. Parallèlement les oxydes urano-uraniques se dissolvent en donnant des sulfates uraneux et uranique :



Le sel uranique SO^4UO^2 par double décomposition avec le phosphate monocalcique donne de l'*Autunite* :



Le sulfate uraneux très oxydable en présence de l'air donnera du sulfate uranique, etc. La chalcoprite se formera d'une manière semblable par oxydation de la chalcopyrite.

⁽²⁾ Inconnu pur, nous l'avons dit.

A titre documentaire nous transcrivons ici quelques analyses de minerais d'Uranium du Portugal dues à différents auteurs.

Maurice Curie dans son traité (p. 121, *Le Radium et les Radio-Éléments*, Paris, 1925) donne l'analyse suivante d'un minerai de la région de Nellas, de couleur noirâtre. Fragments riches :

U⁸O⁸, 6,6 0/0; P²O⁵, 1,50; S, 3,00; Pb, traces; Fe²O³, Al²O³, 7,00; CaO, 8,83; SiO², 67,50.

E. Urbain et *Feige* (Rapport E. Urbain) donnent l'analyse suivante d'un échantillon de *Pechblende* (?) de *Coitos* :

UO², 75,00; FeO, 5,42; CaO, 3,90; MgO, 0,70; SiO², 2,05; Pb, 5,70; As, 1,12; Mn, 5,66; S, 0,42; Bi, 0,71; Zn, Cu, CO², nuls; H²O, 0,22; P²O⁵, 1,02; Radium, $1,99 \cdot 10^{-6}$; $\frac{Ra}{U} = 3,22 \cdot 10^{-7}$.

Une *chalcolite portugaise* a donné à *E. Urbain*.

P²O⁵, 14,71; U⁸O⁸, 44,0; CuO, 5,52; H²O, 13,75; Fe²O³, 1,19; Bi²O³, 1,98; SiO², 18,02, Ra 0/0 $1,19 \cdot 10^{-6}$ $\frac{Ra}{U} = 3,20 \cdot 10^{-7}$.

Le *minerai «noir» d'Urgeiriça* a donné à *M. Auger* les résultats suivants :

Perte au feu	4,6
Alumine	5,46
Oxyde ferrique	5,5
Sulfure de plomb	1,7
Potasse	0,9
Soude	1,66
Oxyde d'Uranium U ⁸ O ⁸	3,24
Chaux	0,15
Oxyde de cuivre	0,09
Anhydride phosphorique	0,47
Silice	72,20
Soufre	2,53
	<hr/>
	98,50

L'ensemble des minerais portugais a un bas pourcentage en uranium et par suite en radium. Cet ensemble titre 0,5 0/0 à 1,5 0/0 U⁸O⁸, soit 0,5 à 1,3 0/0 environ d'uranium élément. Leur teneur en radium varie de 1 à 5 milligrammes de radium-élément par tonne. Certains gisements sont cependant très riches. La concentration des minerais pauvres est en général facile, soit par

flottage pour les minerais clairs, soit par des procédés physico-mécaniques pour les noirs.

Rappelons que d'après les mesures de *G. Costanzo* ⁽³⁾.

1° Les roches granitiques portugaises des *regions radifères* contiennent en moyenne $9,04 \cdot 10^{-12}$ de Ra par gramme; 2° les roches granitiques portugaises des régions *non radifères* n'en contiennent que $3,57 \cdot 10^{-12}$ g. Cet auteur calcule que si les granites occupent seulement un carré de 40 km. de côté avec une profondeur de 200 m., cela fait pour une teneur de $3,57 \cdot 10^{-12}$ g. une richesse en radium de 3000 kilogrammes!

Le rapport de Boltwood, $\frac{Ra}{U}$ est presque normal dans les minerais non ou peu altérés ($3,2$ à $3,4 \cdot 10^{-7}$), mais peut descendre à $2,80 \cdot 10^{-7}$ dans les minerais très décomposés.

La découverte des riches gisements du Katanga belge a momentanément paralysé l'industrie du radium au Portugal, industrie qui s'y est exercée brillamment pendant une quinzaine d'années et au progrès de laquelle la France a largement contribué.

(3) G. COSTANZO, *Rev. de Química pura e aplicada*, Porto, 1928.