

# L'URANIUM DANS LES PHOSPHATES NATURELS DE KHOURIBGA

A. CHAMBIONNAT

## Introduction

La présence d'uranium dans les phosphates sédimentaires du Maroc fut découverte par HEBERT, en 1946, par spectrographie [1].

En 1951, ARAMBOURG et ORCEL identifièrent des dépôts de vanadate double d'uranyle et de calcium qui imprégnaient des fissures dans des bancs calcaires ou siliceux de certaines formations phosphatées [2].

En 1952, LENOBLE, SALVAN et ZIEGLER [3], puis DAVIDSON [4], BIZARD [5], VISSE [6], tentèrent de préciser les teneurs en uranium ainsi que la distribution de cet élément dans les gisements de phosphates, à l'aide de mesures de radio-activité gamma ou bêta. Quelques dosages par des méthodes chimiques ou physico-chimiques [4], [7], [8], furent également effectués.

La comparaison des teneurs en uranium trouvées à l'aide des diverses méthodes fait apparaître des écarts considérables.

Toutefois, la radio-activité gamma ou bêta ne provient pas de l'uranium, elle est uniquement due à ses produits de filiation. On pouvait donc se demander si les écarts, entre les résultats des diverses méthodes, ne provenaient pas d'une séparation dans le minerai, entre l'uranium et ses produits de filiation, sous l'action des eaux météoriques.

L'ancienneté des gisements, évaluée à 40 ou 50 millions d'années, la structure apatitique du phosphate naturel, sa porosité et sa nature chimique complexe, rendaient cette hypothèse plausible.

Nous nous sommes donc proposé d'étudier cette question, par différents processus revenant à :

— doser, par voie chimique, l'uranium dans les différentes couches d'un gisement et comparer nos résultats à ceux déduits des mesures de radio-activité,

— déterminer la teneur en uranium dans des phosphates dont la composition a été modifiée par l'action des eaux de ruissellement,

— doser l'uranium dans des couches de minerai exploité, puis le suivre dans les produits de transformation de ces phosphates (superphosphate et phosphate bicalcique),

— et enfin doser parallèlement, dans tous ces échantillons, les autres éléments du minerai, pour étudier les rapports pondéraux entre l'uranium et les constituants principaux ou les oligo-éléments du phosphate.

Toutes nos déterminations ont été effectuées sur des prélèvements qui provenaient de Khourigba, le gisement de phosphate le plus important du Maroc.

Pour mener à bien ce travail, il était nécessaire de procéder à un certain nombre d'études préliminaires sur la chimie de l'uranium ainsi que sur la séparation et le dosage de cet élément [9], [10], [11]. De plus, nous avons dû mettre au point des méthodes d'analyse des divers éléments du minerai ou adapter des méthodes, déjà existantes, au cas très particulier posé par la présence de l'ion phosphorique [11].

Nous traiterons ici uniquement des résultats fournis par l'analyse des divers prélèvements et de l'interprétation de ces résultats.

### **Etude des relations entre la teneur en uranium et l'ancienneté de la couche de phosphate**

Nous avons tout d'abord appliqué nos procédés de dosage à l'analyse d'échantillons prélevés sur une verticale dans les divers étages du gisement de phosphate naturel de Khourigba.

Ceci devait nous permettre d'étudier la répartition de l'uranium et de rechercher s'il existait un rapport entre la richesse en cet élément et l'ancienneté de la couche.

On peut distinguer, entre le niveau supérieur et le fond du gisement, 4 couches principales de phosphate, numérotées de haut en bas :

*C. 1 - C. 2 - C. 3 - C. 4*

Ces couches, d'âges géologiques différents, sont normalement séparées par des bancs calcaires, marneux ou siliceux, mais il arrive fréquemment qu'en certains endroits du gisement, deux couches soient confondues : les couches non séparées sont alors désignées par un indicatif double (C. 1/2 par exemple).

Sur la verticale où nous avons effectué nos prélèvements, nous avons recueilli 4 échantillons numérotés (I), (II), (III) et (IV) qui correspondaient respectivement aux couches C. 1/2, C. 3, C. 4, et à la roche calcaire dure, M. 1. Cette dernière supporte la couche de phosphate la plus ancienne, le mur du gisement.

Le TABLEAU 1 reproduit l'ensemble des résultats des analyses effectuées sur ces échantillons.

TABLEAU 1

## Echantillons prélevés suivant une verticale traversant le gisement

ÉLÉMENTS	ECHANTILLONS ET COUCHES			
	(I) C. 1/2	(II) C. 3	(III) C. 4	(IV) M. 1
Uranium ppm *	56	38	250	256
Anhydride phosphorique $P_2O_5$ %	20,15	22,43	28,96	17,78
Fluor F %	1,28	2,19	2,40	0,98
Calcium Ca %	35,93	32,07	34,30	35,17
Anhydride carbonique $CO_2$ %	19,18	12,05	7,83	20,72
Silice $SiO_2$ %	3,05	9,36	5,16	4,74
Sulfates $SO_3$ %	0,74	1,07	1,50	0,85
Aluminium Al %	0,07	0,36	0,23	0,03
Fer Fe %	0,40	0,75	0,49	0,28
Magnésium Mg %	0,60	0,60	0,55	0,50
Chrome Cr ppm	58	170	89	39
Cuivre Cu ppm	192	405	206	435
Manganèse Mn ppm	38	53	41	27
Zinc Zn ppm	3	4,5	4	10
Vanadium V ppm	< 2	< 2	< 2	< 2
Thorium Th ppm	< 2	< 2	< 2	< 2

\* ppm = partie par million.

Si l'on examine, dans le TABLEAU 1, les teneurs en uranium des différentes couches, on peut faire les constatations suivantes :

— la couche de phosphate la plus riche (C. 4) est bien la plus ancienne ;

— la couche la plus récente (C. 1/2) est plus riche que la couche qu'elle surmonte (C. 3) ;

— la roche calcaire dure sous-jacente (M. 1), prélevée juste à la surface de séparation, contient davantage d'uranium que la couche qu'elle supporte (C. 4).

Ce dernier phénomène est extrêmement curieux ; le TABLEAU schématique ci-dessous fait ressortir l'anomalie de cette distribution à la surface de séparation.

DÉSIGNATION DE LA COUCHE	ÉLÉMENTS		
	fluorapatite %	calcaire %	uranium ppm
Couche de phosphate C. 4	69,0	17,8	250
Roche calcaire sous-jacente à la limite de séparation	41,4	47,4	256
Roche calcaire sous-jacente à 50 cm au-dessous de la surface de séparation	6,0	90,0	< 8

Les chiffres de ce tableau nous permettent de noter que :

1. L'uranium n'existe pas dans la roche calcaire située en dessous du gisement de phosphate, (couche M. 1 prélèvement effectué à 50 cm au-dessous de la surface de séparation). L'absence d'uranium dans cette roche peut s'expliquer chimiquement : nous avons montré en effet que les sels d'uranyle réagissent sur le carbonate de calcium pour donner des uranyltricarbonates solubles [9] ;

2. L'uranium existe dans le phosphate qui se trouve au-dessus de cette roche (couche C. 4). Sa rétention par le minéral de phosphate s'explique également chimiquement : il peut en effet donner des phosphates doubles de calcium et d'uranyle peu solubles et même des fluorapatites complexes très peu solubles.

En partant de ces résultats, on devrait s'attendre à trouver, à la limite de séparation de la roche sous-jacente et du phosphate (dans les premiers centimètres de roche dure), une teneur en uranium comprise entre celle du phosphate (250 g/t) et celle du calcaire (voisine de 0) ; on voit au contraire que ce calcaire phosphaté est plus riche en uranium que le plus riche des deux constituants.

Une autre anomalie apparaît également dans le TABLEAU 1 : les teneurs en vanadium sont toutes inférieures à 2 ppm (limite de sensibilité

de la méthode que nous avons utilisée), c'est-à-dire que le gisement ne contient pratiquement pas de vanadium. On a cependant identifié, dans des bancs calcaires ou siliceux qui séparent les couches de phosphate, des dépôts de vanadates doubles d'uranyle et de calcium [2].

Nos résultats confirment d'ailleurs sur ce point ceux que HEBERT avait obtenus par spectrographie [1].

Il est intéressant de comparer les teneurs en uranium obtenues suivant une coupe verticale dans le gisement, à celles trouvées en dosant l'uranium selon une coupe horizontale — en divers points du gisement — dans la couche C. 1/2 qui fournit une forte proportion du minerai exploité.

Le TABLEAU 2 reproduit les résultats des différents dosages.

TABLEAU 2  
Teneurs en uranium dans la couche C. 1/2  
en divers points du gisement

ÉLÉMENT	ECHANTILLONS			
	(I)	(VII)	(IX)	(XI)
Uranium ppm	56	107	102	58

Ce tableau fait également apparaître des écarts importants entre les teneurs en uranium d'échantillons prélevés dans le même gisement et dans la même couche.

#### Etude de l'action des eaux de ruissellement sur les teneurs en uranium et en oligo-éléments

On rencontre, dans le gisement de phosphate, des zones qui ont été soumises à l'action des eaux de ruissellement de telle sorte que le minerai a échangé tout ou partie de sa gangue calcaire contre de l'argile.

Les phosphates ainsi transformés, qui ont reçu le nom de phosphates « *pédimentés* », peuvent être « lavés » après broyage. L'eau entraîne l'argile, le minerai recueilli et séché après le lavage est ainsi enrichi en  $P_2O_5$ , ce qui accroît sa valeur marchande.

L'analyse de ces phosphates nous a paru particulièrement intéressante car nous avons pu prélever, sur le terrain, des échantillons non transformés, préservés de l'action des eaux de ruissellement et accolés aux phosphates

transformés ; il était possible, alors, d'établir avec certitude l'action des eaux.

Le TABLEAU 3 reproduit les résultats analytiques obtenus, la nature des prélèvements étant indiquée de la façon suivante :

- P.O.C. 1 : phosphate d'origine appartenant à la couche C. 1.  
 P.T.C. 1 : phosphate transformé par les eaux, provenant du précédent.  
 P.O.C. 1/2 : phosphate d'origine appartenant à la couche C. 1/2.  
 P.T.C. 1/2 : phosphate transformé par les eaux, provenant du précédent (C. 1/2).  
 P.C. 1 lavé : phosphates obtenus par « lavage » (après broyage) des phosphates transformés par les eaux.  
 P.C. 1/2 lavé : phosphates obtenus par « lavage » (après broyage) des phosphates transformés par les eaux.

TABLEAU 3  
 Action des eaux de ruissellement

ELÉMENTS	ECHANTILLONS					
	(V)	(VI)	P.C. 1 lavé	(VII)	(VIII)	P.C. 1/2 lavé
	P.O.C. 1	P.T.C. 1		P.O.C. 1/2	P.T.C. 1/2	
Uranium ppm	109	113		107	110	
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> %	31,40	34,97	38,70	34,12	32,21	34,50
F %	2,56	2,78		2,52	2,90	
Ca %	37,31	34,93		37,22	35,56	
CO <sub>2</sub> %	7,72	2,09	2,42	4,68	4,40	4,99
SiO <sub>2</sub> %	0,96	4,51		1,04	4,41	
SO <sub>3</sub> %	1,65	0,45		1,58	1,51	
Al %	0,01	0,45		0,004	0,23	
Fe %	0,18	1,51		0,19	0,54	
Mg %	0,10	0,12		0,16	0,16	
Chrome ppm	221	280		272	289	
Cuivre ppm	118	124		132	129	
Manganèse ppm	32	48		30	46	
Zinc ppm	7	7		6	6	
Vanadium ppm	< 2	< 2		< 2	< 2	
Thorium ppm	< 2	< 2		< 2	< 2	

Si l'on compare les résultats des analyses des échantillons (V) et (VI), on voit que l'action des eaux de ruissellement a notablement transformé le phosphate d'origine ; cependant on peut constater que la teneur en uranium n'a pratiquement pas été modifiée.

On remarquera d'autre part que le « lavage » après broyage a eu pour effet d'augmenter la teneur en  $P_2O_5$  de près de 4 %.

Quant à la teneur en uranium de l'échantillon (VIII), elle est restée pratiquement identique à celle du minerai d'origine (VII) ; la transformation produite par les eaux de ruissellement sur le minerai est d'ailleurs beaucoup moins marquée dans ce dernier cas.

Les proportions d'oligo-éléments ont également très peu varié sous l'action des eaux de ruissellement, seule la teneur en manganèse subit une augmentation notable. Il est probable que cette augmentation est liée à celle de la teneur en argile.

La similitude des teneurs en uranium dans les phosphates d'origine, protégés de l'action des eaux de ruissellement, et dans les mêmes phosphates altérés par l'action de ces eaux, incline à penser que le minerai actuel ne contient vraisemblablement ni uranylcarbonate de calcium, ni uranates de calcium puisque ces composés sont solubles respectivement dans l'eau pure [9] ou dans l'eau contenant du gaz carbonique [10].

Ces conclusions confirment des essais de laboratoire qui nous avaient montré que le traitement du minerai par l'eau distillée ou par l'eau chargée de gaz carbonique ne provoquait pas la dissolution de l'uranium.

#### **Etude des teneurs en uranium et oligo-éléments dans les couches en exploitation et dans quelques produits de transformation des phosphates**

Dans cette série d'essais, nous avons étudié les éléments suivants :

- *un hyperphosphate* : phosphate naturel finement broyé, qui passe intégralement au tamis 300 et qui titre au minimum 32-33 % de  $P_2O_5$  ;
- *un phosphate en exploitation* de la couche C. 1/2, désigné sous l'indicatif « Brut S » ;
- *un superphosphate* provenant de la transformation industrielle du phosphate précédent, désigné sous l'indicatif « Super » ;
- *un phosphate en exploitation*, désigné sous l'indicatif « Brut B » ;
- *un phosphate bicalcique* provenant de la transformation industrielle du précédent, désigné sous l'indicatif « Bical ».

Les correspondances entre les phosphates et leurs produits de transformation ne peuvent être considérées comme absolues, puisqu'il s'agit de prélèvements d'usines, effectués sur les fabrications en cours. Néanmoins

les exigences commerciales obligent à standardiser au maximum les produits livrés aux industriels et les comparaisons entre le phosphate d'origine et le produit transformé sont malgré tout valables.

On verra d'ailleurs que les échantillons (XI), (IX), et (XII) qui sont des phosphates bruts et qui ont été prélevés à des époques très différentes dans des usines situées en des points très divers (Berrechid et Casablanca au Maroc, Grand Couronne en France) ont cependant des compositions très voisines, même les teneurs en oligo-éléments varient relativement peu d'un échantillon à l'autre. Seules les teneurs en uranium diffèrent notablement.

Les résultats des analyses de ces 5 échantillons sont rassemblés dans le TABLEAU 4.

TABLEAU 4

ELÉMENTS	ECHANTILLONS				
	(XI) Hyper	(X) Super	(IX) Brut S	(XIII) Bical	(XII) Brut B
Uranium ppm	58	60	102	67	98
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> %	32,85	18,76	34,22	41,09	33,03
F %	2,81	0,56	2,90	0,1	3,22
Ca %	35,43	20,08	36,31	25,33	36,15
CO <sub>2</sub> %	4,64	0	4,07	0	4,60
SiO <sub>2</sub> %	2,79	1,57	2,26	0,09	2,62
SO <sub>3</sub> %	2,25	28,56	1,64	1,70	1,73
Al %	0,40	0,015	0,22	0,04	0,26
Fe %	0,22	0,25	0,32	0,09	0,29
Mg %	0,09	0,04	0,18	0,03	0,10
Chrome ppm	238	149	280	68	287
Cuivre ppm	45	30	61	79	60
Manganèse ppm	25	25	30	46	27
Zinc ppm	4	2,5	5	0	9
Vanadium ppm	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2
Thorium ppm	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2

Afin de pouvoir comparer commodément les teneurs en uranium et en oligo-éléments dans les phosphates bruts ainsi que dans leurs produits de transformation, nous avons exprimé les résultats en rapportant les quantités d'uranium et d'oligo-éléments (en milligrammes) à 1 000 grammes de  $P_2O_5$ .

Le TABLEAU 5 rassemble les résultats ainsi obtenus.

TABLEAU 5  
Uranium et oligo-éléments  
en mg pour 1 000 g de  $P_2O_5$

ELÉMENTS		ECHANTILLONS					
		(IX) Brut S	(X) Super	écarts	(XII) Brut B	(XIII) Bical	écarts
Uranium	mg	294	320	+ 9 %	296	163	- 45 %
Chrome	mg	820	794	- 3 %	870	165	- 81 %
Cuivre	mg	178	160	-10 %	181	192	+ 10 %
Manganèse	mg	93	85	- 9 %	82	112	+ 36 %
Zinc	mg	15	13	-13 %	27	0	-100 %

On constate que l'uranium, le chrome, le cuivre et le zinc du phosphate se retrouvent presque intégralement dans le superphosphate lorsqu'on ramène les proportions de ces éléments à une même teneur en  $P_2O_5$ .

Par contre, lors de la fabrication du phosphate bicalcique, on élimine complètement le zinc, 80 % du chrome et 45 % de l'uranium, le taux du cuivre restant pratiquement inchangé. L'augmentation de la teneur en manganèse peut provenir, soit d'une attaque des matériaux (fonte manganésifère), soit d'une hétérogénéité de l'échantillon. Cependant, le chiffre en valeur absolue reste malgré tout très faible.

Au cours de la fabrication du phosphate bicalcique, l'élimination du chrome, élément phytotoxique, est intéressante sur le plan agricole.

On devrait normalement retrouver des résultats du même ordre avec les superphosphates triples, puisqu'on libère également l'acide phosphorique en cours de fabrication.

### Etude des rapports pondéraux entre l'uranium et les autres constituants des phosphates

Nous avons cherché à déterminer s'il existait des rapports pondéraux entre l'uranium et les autres constituants du minéral.

Pour mettre en évidence l'existence ou l'absence de corrélation entre les teneurs en deux constituants A et B, nous avons utilisé les relations d'ordre : si on classe par exemple les valeurs de A dans l'ordre croissant 1, 2, 3, ..., n, et si B est croissant avec A, les valeurs correspondantes de B se classeront dans le même ordre; si au contraire B décroît quand A croît, ses valeurs se classeront dans l'ordre inverse : n, (n-1), (n-2), ..., 3, 2, 1.

Par contre si le classement de B est désordonné, on en déduit qu'il n'y a pas de corrélation entre les 2 grandeurs A et B.

Nous avons appliqué ce mode d'expression à la recherche des corrélations entre les proportions d'uranium et celles des autres constituants des phosphates.

Dans le TABLEAU 6, les échantillons sont classés dans l'ordre croissant des teneurs en uranium et nous avons comparé les ordres de classement des autres constituants ou éléments.

TABLEAU 6

#### Corrélations entre les divers constituants des phosphates

ELÉMENTS	ECHANTILLONS							
	(II)	(I)	(XI)	(XII)	(IX)	(VII)	(V)	(III)
Uranium ppm	38	56	58	98	102	107	109	250
Classement suivant la teneur en Uranium	1	2	3	4	5	6	7	8
Classement correspondant de								
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	2	1	5	6	8	7	4	3
F	2	1	6	8	7	4	5	3
Ca	1	4	3	5	6	7	8	2
CO <sub>2</sub>	7	8	5	4	2	1	3	6
SiO <sub>2</sub>	8	5	4	3	2	1	6	7
SO <sub>3</sub>	2	1		7		4	6	3
Al	6	1	7	5	2	8	3	4
Fe	7	4	1	2	3	8	6	5
Mg	7	8	1	2	5	4	3	6
Cr (chrome)	3	1	5	8	7	6	4	2
Cu (cuivre)	8	6	1	2	3	5	4	7
Mn (manganèse)	8	6	1	2	3	4	5	7
Zn (zinc)	3	1	4	8	5	6	7	2

On constate qu'il n'existe aucune corrélation entre, d'une part, la proportion d'uranium et, d'autre part, les proportions des constituants principaux du phosphate et des oligo-éléments.

Par contre on peut observer des similitudes entre certains classements:

$P_2O_5$  et F ont des classements peu différents : il y a donc corrélation entre ces 2 constituants ;

le cuivre et le manganèse ont des classements presque identiques : il y a donc une corrélation très nette entre ces deux éléments ;

le chrome et le zinc sont également liés, leurs ordres de distribution étant peu différents.

#### **Comparaison des résultats des dosages chimiques avec ceux déduits des mesures de radio-activité**

Au moment des prélèvements des échantillons, nous avons effectué sur le terrain un certain nombre de mesures de radio-activité.

Les appareils utilisés étaient de deux types, l'un était sensible uniquement aux radiations gamma, l'autre aux rayons gamma et bêta ; ces appareils étaient gradués en coups/minute et une table permettait de déduire des mesures la teneur en uranium du minerai.

Les mesures de radio-activité ont porté au total sur 8 échantillons : dans tous les cas les deux appareils ont donné des teneurs en uranium concordantes.

Nous avons comparé les résultats des dosages chimiques et des dosages par radio-activité dans le TABLEAU 7.

Les échantillons sont classés selon l'ordre des écarts décroissants entre le dosage chimique et l'évaluation déduite de la radio-activité.

Ce TABLEAU comporte également les indications concernant l'épaisseur de la couche où fut effectué le prélèvement ainsi que des observations sur son aspect.

La moyenne des écarts relatifs est de 77 % ; on constate des différences considérables entre les résultats des 2 méthodes, principalement lorsque les couches où sont effectuées les mesures sont minces et hétérogènes.

Le dosage chimique et l'évaluation par mesure de la radio-activité ne concordent que lorsque la couche radio-active est parfaitement homogène et présente une épaisseur d'au moins 3 à 4 mètres.

TABLEAU 7  
**Comparaison des méthodes de dosage de l'uranium**

ÉLÉMENTS DE COMPARAISON	ECHANTILLONS							
	(II)	(I)	(IV)	(III)	(VII)	(V)	(VI)	(VIII)
Uranium ppm								
— dosage chimique	38	56	256	250	107	109	113	110
— dosage par radio- activité	200	110	150	290	90	100	112	110
écarts % rapportés au dosage chimique	+425	+114	-41	+16	-16	-8	-0,9	0
épaisseur de la cou- che (en m)	0,5	1,5	0,1	3	4	6	6	4
Observations	couches non homogènes		roc sous- jacent	couches relativement homogènes		couches très homogènes		

### Conclusion

Cette étude nous a permis de constater que les teneurs en uranium varient notablement dans le même gisement de phosphates. Elles varient aussi bien dans le plan vertical, quand on passe d'une couche à l'autre, que dans le plan horizontal dans une même couche.

Il n'y a pas de corrélation systématique entre l'ancienneté d'une couche et sa teneur en uranium, il semble cependant que la couche la plus profonde soit aussi la plus riche.

Nous avons observé que l'action des eaux de ruissellement ne modifie pratiquement pas les teneurs des minerais en uranium et en oligo-éléments, seule est modifiée la composition de la gangue argilo-calcaire.

La résistance de l'uranium à l'entraînement par les eaux de ruissellement, ainsi que les essais de laboratoire effectués semblent prouver que l'on ne peut espérer extraire l'uranium du phosphate par des moyens physico-chimiques simples et économiques tels que lavages, percolations, etc.

Au cours de notre étude sur les incidences des transformations industrielles des phosphates en superphosphate et en phosphate bicalcique sur

les teneurs en uranium et en oligo-éléments, nous avons constaté que l'on retrouve, dans le superphosphate, l'uranium et les oligo-éléments du phosphate d'origine ; par contre, dans le phosphate bicalcique, on ne décèle que 55 % environ de l'uranium et 20 % de chrome. Ces éliminations, qui devraient se reproduire au cours de la fabrication du superphosphate triple, sont intéressantes sur le plan agricole.

Nous avons montré qu'il n'existait pas de rapports pondéraux entre l'uranium et les autres éléments du phosphate, qu'il s'agisse d'éléments principaux ou d'oligo-éléments.

Les teneurs en uranium oscillent entre 38 et 256 g par tonne, la teneur moyenne dans les couches en exploitation étant d'environ 100 g d'uranium par tonne de minerai.

Parmi les oligo-éléments dosés dans les couches en exploitation, le plus abondant est le chrome (220 à 290 g/t) puis le cuivre (60 à 130 g/t), et enfin le zinc en quantité minime (4,5 à 9 g/t). Par ailleurs le minerai ne paraît contenir ni vanadium, ni thorium.

Enfin, nous avons établi que les résultats des dosages chimiques diffèrent parfois considérablement de ceux déduits des mesures de radio-activité effectuées sur le terrain. Les résultats des deux méthodes ne concordent que lorsque la couche radio-active est parfaitement homogène et atteint une épaisseur d'au moins 3 mètres.

Manuscrit déposé le 10.7.62

## ملخص

درس المؤلف بواسطة طرق كيميائية محتويات الاورانيوم وإصلاح هذا العنصر في الفوسفات الطبيعي بغريكتة. وقد أجريت هذه التحليل على انواع من الفوسفات أخذت من طبقات مختلفة تبعا لعمود يخترق مركز المعدن. وقد استطاع أن يلاحظ كذلك أن هذه المحتويات من الاورانيوم تتغير وهى مستقلة عن تاريخ الطبقة المعدنية، فقد يمكن أن يكون الأقدم هو الاكثر احتواءاً للمادة. وقد يكون لمياه الترشيح تأثير قليل على محتويات الاورانيوم الفوسفاتي الخاضع لمؤثراته، وهذه الاخيرة تبقى متحدة عمليا مع تلك الموجودة في الفوسفات من نفس الاصل والتي كان قد احتفظ بها. ونلاحظ عند تحويل الفوسفات إلى فوسفات ممتاز أن الاورانيوم وعناصر ليزوليكو للمنتوج المشاهد، توجد كلها غالبا في الفوسفات الممتاز. وعلى العكس فإن طريقة انتاج الفوسفات ثنائي الجير تنقص تقريبا 50 % من الاورانيوم و 80 % من الكرم. ومن جهة أخرى قد أجريت في نفس الوقت تجارب لجميع الطبقات أظهرت أنه لا توجد علاقات توازن بين الاورانيوم والعناصر الاخرى وبالاخص عناصر ليزوايكو في الفوسفات. وأخيراً وعلى العموم فإن نتائج المقادير الكيميائية للارانيوم تظهر على وجه المقارنة اختلافات قوية مع تلك التي حصل عليها بطريقة القياسات الاشعاعية المنجزة في الارض.

## RÉSUMÉ

L'auteur a étudié, par des méthodes chimiques, les teneurs en uranium et la répartition de cet élément dans les phosphates naturels de Khouribga. Ces analyses ont été effectuées sur des échantillons de phosphate prélevés dans diverses couches, selon une verticale traversant le gisement.

On a pu ainsi remarquer que les teneurs en uranium varient indépendamment de l'âge de la couche, bien que la plus ancienne soit aussi la plus riche. Les eaux de ruissellement, quant à elles, ont peu d'influence sur la teneur en uranium des phosphates soumis à leur action. Celle-ci

reste pratiquement identique à celle des phosphates de même origine qui en ont été préservés.

Lorsqu'on transforme le phosphate en superphosphate, on constate que l'uranium et les oligo-éléments du produit brut se retrouvent presque intégralement dans le superphosphate ; par contre, le procédé de fabrication du phosphate bicalcique élimine environ 50 % d'uranium et 80 % de chrome.

Un dosage, effectué parallèlement dans tous les échantillons, montre qu'il n'existe pas de rapports pondéraux entre l'uranium et les autres éléments — principaux ou oligo-éléments — du phosphate.

Enfin, dans l'ensemble, les résultats des dosages chimiques de l'uranium présentent, comparativement, de fortes différences avec ceux obtenus par des mesures de radio-activité effectuées sur le terrain.

#### RESUMEN

El autor ha estudiado por métodos químicos el contenido en uranio y su reparto en los fosfatos naturales de Kfouribga. Estos análisis se han efectuado en muestras tomadas en diversas capas, según una vertical que atraviesa el yacimiento.

De este modo, se ha comprobado que el grado en uranio varía independientemente de la edad de las capas aunque la más antigua resulta ser la más rica. En cuanto a las aguas de chorreo no ejercen ninguna influencia, ya que el contenido en uranio de los fosfatos sometidos a su acción, permanece prácticamente idéntico al de los fosfatos del mismo origen y que han sido preservados de dicha acción.

Se ha constatado que, cuando se transforma el fosfato en superfosfato, el uranio y los oligo-elementos se encuentran casi integralmente en el superfosfato; por el contrario, el procedimiento de fabricación del fosfato bicalcico suprime un 50 % de uranio y 80 % de cromo.

Los resultados de los análisis efectuados en todas las muestras, demuestran que no existen relaciones ponderales entre el uranio y los demás elementos, principales u oligo-elementos, del fosfato.

Finalmente, en general, dichos resultados presentan grandes diferencias con los obtenidos por medidas de radio-actividad en el terreno.

## SUMMARY

Using chemical methods the author has studied uranium content and distribution in the natural phosphates of Khouribga. The determinations were effected on samples taken from different layers along a vertical passing through the strata.

The uranium content was observed to vary independently from the age of the layer, though the oldest one proved also the richest. As to run-off water, its influence on the uranium content of the phosphates exposed to it is negligible, as their content remains practically identical with that of phosphates having the same origin but protected from run-off.

It is stated that after converting phosphate into superphosphate the uranium and the micro-elements of the raw material are met with nearly in full in the superphosphate ; on the contrary, the manufacturing process of dicalcic phosphate eliminates about 50 per cent of the uranium and 80 per cent of the chromium.

Comparative determinations effected on all of the samples do not reveal ponderal correlations between uranium offer, on the whole, considerable differences from those obtained by measuring radio-activity in the field.

## BIBLIOGRAPHIE

1. HEBERT, C. — 1946. Thèse d'Ingénieur-Docteur, Paris.
2. ARAMBOURG, C. & J. ORCEL — 1951. C. R. Acad. Sc., **233** - 1635.
3. LENOBLE, A., H. SALVAN & V. ZIEGLER — 1952. C. R. Acad. Sc., **234** - 976.
4. DAVIDSON, A. — 1952. Congrès géologique international, C. R. — 19<sup>e</sup> session, Alger.
5. BIZARD, C. — 1953. C. R. Acad. Sc., **236** - 1587.
6. VISSÉ, L. — 1954. C. R. Acad. Sc., **238** - 547.
7. HEBERT, C. — 1947. Ann. des Mines, mémoire 4, 136.
8. GUNTZ, A. — 1952. C. R. Acad. Sc., **234** - 868.
9. CHAMBIONNAT, A. — 1960. C. R. Acad. Sc., **251** - 2377.
10. ———— 1962. C. R. Acad. Sc., **254** - 2345.
11. ———— 1962. Thèse Doctorat Université de Paris.