

PRÉSIDENCE DU CONSEIL

COMMISSARIAT A L'ÉNERGIE ATOMIQUE

**UN PROCÉDE DE TRAITEMENT CHIMIQUE
DES MINÉRAIS PAUVRES D'URANIUM**

P. MOURET

Commissariat à l'Énergie atomique

et

P. PAGNY

Société Potasse et Engrais chimiques

Rapport C.E.A. n° 431

1955

Centre d'Études nucléaires de Saclay

Service de Documentation

Batte postale n° 2 Cef sur Yvette (S et O)

- Rapport C.E.A. n° 431 -

UN PROCEDE DE TRAITEMENT CHIMIQUE
DES MINERAIS PAUVRES D'URANIUM

par

P. MOURET

Chef de la Section d'Etude des Traitements chimiques
des Minerais pauvres du C.E.A.

et

P. PAGNY

Société Potasse et Engrais chimiques

Communication du C.E.A. à la Conférence de Genève

- Août 1955 -

R.1.2.

UN PROCEDE DE TRAITEMENT CHIMIQUE

DES MINERAIS PAUVRES D'URANIUM

Par MM. P. MOURET⁽¹⁾ et P. PAGNY⁽²⁾

PRINCIPE.

Les procédés chimiques généralement employés pour le traitement des minerais uranifères, consistent en une attaque acide suivie d'une séparation du résidu insoluble, du traitement de la solution obtenue par un excès de carbonate de sodium qui précipite les métaux étrangers et qui laisse l'uranium en solution sous forme d'un complexe, l'uranyl-carbonate de sodium. Après séparation du précipité des hydroxydes, l'uranyl-carbonate de soude est décomposé, soit par neutralisation par un acide, soit par addition de soude caustique, et transformé en uranate de soude.

Le Commissariat à l'Energie Atomique, afin de réunir rapidement les quantités d'uranium nécessaires à l'édification de ses premières piles, avait axé son effort sur la production de l'uranium à partir de minerais les plus riches dont il disposait.

C'est à cet effet qu'une usine de traitement chimique a été construite, usine qui employait un procédé s'apparentant à celui décrit ci-dessus.

(1) Chef de la Section d'Etude des Traitements Chimiques des Minerais Pauvres au C.E.A.

(2) De la Société Potasse et Engrais Chimiques.

Par suite des besoins sans cesse accrus en uranium, cet élément se trouvant principalement réparti sous forme de minerais pauvres, le traitement de ces derniers s'avérait nécessaire.

Pour des raisons économiques, il était exclu d'envisager l'emploi de procédés classiques. En effet, ces procédés ne permettraient d'extraire l'uranium qu'avec un faible rendement, fonction de la richesse du minerai et à un prix de revient plus élevé.

La possibilité de traitement de minerais pauvres en uranium, permettant d'accroître considérablement les tonnages disponibles d'uranium, nous avons recherché des procédés qui permettent d'obtenir cet élément à un prix de revient raisonnable.

Nous nous sommes orientés vers une attaque sulfurique, pour des raisons de prix, de facilité de stockage, de possibilité d'emploi de matériaux moins coûteux, et aussi dans le but de permettre de prendre en considération des procédés basés sur la réduction.

En ce qui concerne le traitement des solutions d'attaque, on a vu que, lorsque les minerais sont suffisamment riches, on effectue la séparation de l'uranium de ses principales impuretés par précipitation de ces dernières au sein de la solution ; lorsqu'on s'adresse à des minerais pauvres, le rapport de la fraction des impuretés en solution à la fraction de l'uranium en solution, devient très grand, aussi était-il séduisant, en vue de la séparation uranium/impuretés, de s'orienter vers la séparation par précipitation de la fraction la moins importante, c'est-à-dire celle de l'uranium - avec un ou des réactifs appropriés dont les quantités soient fonction de l'élément intéressant et dont les propriétés soient telles qu'elles n'altèrent pratiquement pas la solution d'attaque.

En opérant comme il est envisagé, on évite la séparation de précipités importants, et l'application d'un tel processus aurait l'avantage de permettre une récupération plus complète de l'uranium ; en effet, si au contraire on précipitait au préalable les impuretés, la quantité d'uranium étant peu importante vis à vis de celles-ci, on risquerait une perte non négligeable par adsorption.

Nous avons recherché sous quelle forme on pouvait extraire l'uranium. Il s'agissait de précipiter l'uranium en milieu acide, de manière à laisser les métaux étrangers en solution. Les principaux sels d'uranium insolubles en milieu acide sont ceux de la valence IV ; on a retenu parmi ceux-ci : le phosphate uraneux et le pyrophosphate uraneux insoluble, et on les obtient par précipitation en milieu acide après la réduction de l'uranium en solution de la valence VI à la valence IV. Il y a donc deux phases distinctes dans le procédé envisagé :

- Réduction de l'uranium au sein de la solution de la valence VI à la valence IV.
- Addition d'un phosphate ou d'un pyrophosphate, soluble, donnant un sel insoluble avec l'uranium tétravalent.

Nous avons utilisé l'insolubilité des phosphates, car les minerais contiennent souvent des phosphates, et, suivant leur teneur en cet élément, l'uranium pourrait précipiter avec une addition moindre, voir sans addition d'ion phosphorique.

ESSAIS DE LABORATOIRE.

1ère variante : PHOSPHATE URANEUX.

Les essais de laboratoire ont porté, en premier lieu, sur le choix des différents réducteurs utilisables industriellement, c'est-à-dire :

- a) - l'hydrosulfite de sodium.
- b) - l'aluminium métallique.
- c) - le fer en fraisure. (déchets métalliques obtenus par fraisage).

a) - L'hydrosulfite de sodium -

La réduction peut être obtenue par l'hydrosulfite de sodium, réducteur qui nous a donné d'excellents résultats.

En vue de mettre le procédé au point, nous avons effectué des essais sur des solutions d'attaque sulfurique de minerais pauvres en uranium, dans lesquels les facteurs suivants ont été étudiés.

- Détermination de la quantité d'hydrosulfite de sodium à mettre en oeuvre.
 - Influence de la quantité de P_2O_5 mis en oeuvre.
 - Influence de l'acidité finale.
 - Influence de la température.
 - Influence de la concentration en uranium des solutions traitées par exemple.
- Détermination de la quantité d'hydrosulfite de sodium -

La solution d'attaque contenait :

- Uranium : 1 gr/litre
- Acidité : pH 2
- P_2O_5 : 3 gr/litre
- Température : 60°
- Durée d'agitation : 30'

Quantité d'hydrosulfite en gr/gr d'U	Teneur en U du filtrat après précipitation en mg/litre	Rendement de précipitation %
0,2	860	14,0
0,6	550	45,0
1,0	190	81,0
1,1	97	95,3
1,2	45	90,5
1,4	22	97,8
1,5	19	98,1
2,0	17	98,3
3,0	14	98,6
6,0	11	98,9

La quantité d'hydrosulfite de sodium, d'après ce tableau correspond à un rapport :

$$\frac{\text{Hydrosulfite}}{\text{Uranium}} = 3$$

- Influence de la quantité de P₂O₅ mis en oeuvre -

La solution d'attaque contenait :

- Uranium : 1 gr/litre
- Hydrosulfite de sodium : 3 gr/litre
- Acidité : pH 2
- Température : 60°
- Durée d'agitation : 30'

Quantité de P ₂ O ₅ en gr/litre	Teneur en U du filtrat après précipitation en mg/litre	Rendement de précipitation %
0,25	505	49,5
0,375	340	66,0
0,562	335	66,5
0,75	170	83,0
1,5	28	97,2
3,0	17	98,3
6,0	15	98,5

Il découle de cet essai que l'on n'a pas intérêt à dépasser la quantité de 3 gr de P₂O₅ par gramme d'uranium.

- Influence de l'acidité finale -

La solution d'attaque contenait :

- Uranium	:	1 gr/litre
- P ₂ O ₅	:	3 gr/litre
- Hydrosulfite de sodium	:	3 gr/litre
- Température	:	60°
- Durée d'agitation	:	30'

	Teneur en U du	Rendement
Acidité	filtrat après	de
	précipitation	précipitation
	en mg/litre	%
2 N	960	4,0
1 N	710	29,0
0,5 N	93	90,7
0,1 N	31	96,9
pH 2,05	18	98,0

Cet essai nous montre que, pour obtenir un bon rendement, il est nécessaire d'amener l'acidité finale à pH 2, du fait que le phosphate uraneux est soluble aux acidités supérieures.

- Influence de la température -

La solution d'attaque contenait :

- Uranium	:	1 gr/litre
- P ₂ O ₅	:	3 gr/litre
- Hydrosulfite de sodium	:	3 gr/litre
- Acidité	:	pH 2
- Durée d'agitation	:	30'

	Teneur en U du	Rendement
Température	filtrat après	de
	précipitation	précipitation
	en mg/litre	%
20°	24	97,6
30°	17	98,3

La solubilité du phosphate uraneux n'est pas notablement modifiée lorsqu'on élève la température.

- Influence de la concentration en U -

La solution contenait :

- Rapport P_2O_5/U , en grammes, = 3
- Rapport hydrosulfite/U, en grammes, = 3
- Acidité = pH 2
- Durée d'agitation = 30'

Concentration en U gr/litre	Teneur en U du filtrat après précipitation en mg/litre	Rendement de précipitation %
3,0	6	99,4
1,0	17	98,3
0,5	18	96,4

De cette étude, il ressort, et ceci pour des solutions de minerais déterminés, qu'il est nécessaire de mettre en oeuvre, de l'ordre de 3 kilogrammes d'hydrosulfite de sodium par kilogramme d'uranium ; que la quantité d'ions PO_4^{4-} présents dans la solution doit être au moins égale à 3 kg, calculée en P_2O_5 par kg d'uranium ; que le pH final soit de l'ordre de 3 ; que la température n'influe pas d'une manière très sensible, et que le rendement de précipitation augmente avec la concentration en uranium de la solution initiale.

Il est bien entendu que les quantités d'hydrosulfite de sodium et de phosphate nécessaires à la précipitation, ne sont pas fonction uniquement de la teneur des solutions en cet élément - celles-ci dépendant également des éléments étrangers susceptibles de réagir avec ces produits.

Lorsque les solutions renferment au départ des ions phosphorique en quantité insuffisante, il est convenable d'ajuster la teneur en ajoutant du phosphate de soude, et ceci avant d'effectuer la réduction, l'uranium précipitant pendant la réduction.

Si l'acidité résiduaire des jus d'attaque est trop forte, il est nécessaire d'ajuster le pH de la solution avant réduction, de manière à obtenir un bon rendement de précipitation.

Mentionnons que pour un de nos minerais pour lequel la teneur des solutions d'attaque variait de 0,8 gr à 2 gr d'uranium au litre,

nous avons obtenu, après précipitation de l'uranium, des jus résiduels - dont la teneur était comprise entre 7 et 15 mg d'uranium au litre - et des précipités, renfermant le phosphate uraneux, et titrant sur sec de 15 à 20 % en uranium.

De cette étude il ressort que l'hydrosulfite de sodium est un réducteur convenable pour précipiter quantitativement l'uranium en milieu contenant des ions phosphoriques, mais son prix est relativement élevé. On a cherché si des agents réducteurs moins coûteux, comme l'aluminium ou le fer, ne pouvaient pas lui être substitués.

b) - L'aluminium métallique -

Sur des solutions provenant d'attaque de minerai, des essais de réduction par l'aluminium ont donné des rendements de précipitation de 86 %.

Par contre, des essais de réduction en présence de sulfite de sodium ou d'hydrosulfite de sodium ont donné des rendements de précipitation de 98,9 %.

Le rapport $\frac{P_2O_5}{U}$ est 3 comme dans le cas d'une réduction à l'hydrosulfite de sodium.

Bien que les résultats obtenus soient encourageants, nous nous sommes orientés vers l'utilisation du fer qui est meilleur marché.

c) - Le fer -

La réduction par le fer a été étudiée également sur des solutions d'acide sulfurique de minerais pauvres.

Les points suivants ont été examinés :

- Influence de la quantité de P_2O_5 mis en oeuvre -

Les essais qui ont été effectués, ont montré que la quantité de P_2O_5 nécessaire à la précipitation totale de l'uranium doit être égale à 3 gr/gr d'uranium.

- Influence de la quantité de fer mis en oeuvre -

Les essais ont été effectués à froid avec addition de phosphate disodique, une fois la réduction achevée et la solution séparée de l'excès de fer, sur une solution d'attaque contenant 1,58 gr d'uranium par litre et dont l'acidité initiale était de 0,75 N.

Les résultats sont consignés dans le tableau suivant.

Durée d'agitation en heures	Acidité		Fer en gr/gr U		P ₂ O ₅
	finale en N	consommée en N	mis en oeuvre	consommé	introduit en gr/gr d'U
1	0,65	0,10	32	1,77	3
2	0,35	0,40	21	7,1	3
1	0,20	0,55	52	9,7	3
1	0,20	0,55	105	9,7	3

Teneur en U du filtrat après précipitation en mg/litre	Rendement de précipitation %
385	75
78	95
50	97
48	97

Il ressort de ces résultats que la réduction est d'autant plus rapide que la quantité de fer mis en oeuvre est plus grande, c'est-à-dire que le débit d'hydrogène naissant est plus élevé. La quantité de fer consommé ne dépend, évidemment, que des acidités initiale et finale. La consommation du fer dans ces essais est de 10 parties environ pour une partie d'uranium.

- Influence de la température -

Sur la même solution initiale à une température de 50° avec 21 parties de fer mis en oeuvre et 3 parties de P₂O₅ par partie d'U, on a obtenu en 1h $\frac{1}{2}$:

- Acidité finale	: 0,23 N
- Acidité consommée	: 0,52 N
- Fer consommé	: 9,2 gr/gr U
- U dans le filtrat	: 61,0 mg/litre
- Rendement de précipitation	: 96 %

A 50° la réduction est plus rapide qu'à la température ordinaire, toutes choses égales d'ailleurs ; d'autre part, l'augmentation de la température n'a pas une influence sensible sur le rendement de précipitation.

- Influence de l'acidité finale sur le rendement de précipitation -

Les essais ont été effectués dans les conditions suivantes :

- Teneur en U de la solution initiale : 0,875 gr/litre
- Acidité initiale de la solution : 0,7 N
- Quantité de fer mis en oeuvre : 60,0 gr/gr U
- Quantité de P₂O₅ mis en oeuvre : 3,0 gr/gr U
(sous forme de phosphate disodique) :
- Température : 50°

L'acidité et la teneur en U des solutions ont été mesurées sur des prélèvements effectués à intervalles réguliers. Les résultats sont consignés dans le tableau suivant.

Acidité finale en N	Teneur en U du filtrat après précipitation en mg/litre	Rendement de précipitation %
0,60	580	34
0,52	335	62
0,46	150	83
0,33	80	91
0,20	55	93,5
0,07	35	96
pH 3	10	98,8

Les résultats précédents montrent que, pour obtenir un rendement de précipitation acceptable, il suffit de terminer la réduction à un pH compris entre 2 et 3.

Comparaison des procédés à l'hydrosulfite de sodium et au fer.

Les études menées avec l'hydrosulfite de sodium et avec le fer montrent que dans les deux cas :

Le rapport $\frac{P_{2O_5}}{U}$ doit être égal à 3.

La réduction doit être terminée à un pH compris entre 2 et 3. La température n'a pas une influence sensible sur le rendement de précipitation.

Les résultats étant satisfaisants avec les deux procédés envisagés, la comparaison des consommations et des prix respectifs des deux réactifs nous a conduit à adopter industriellement le procédé au fer.

ESSAIS DE LABORATOIRE.

2ème variante : PYROPHOSPHATE URANEUX.

La précipitation de l'uranium dans les solutions sulfuriques provenant de l'attaque des minerais, peut être améliorée dans le procédé décrit précédemment par une variante qui consiste à isoler l'uranium IV sous forme de pyrophosphate.

L'intérêt de ce sel réside dans sa faible solubilité qui, étant inférieure à celle du phosphate uraneux permet de travailler à des concentrations acides plus élevées.

Il en résulte que la proportion d'impuretés précipitant avec l'uranium est diminuée et que les opérations ultérieures sur un produit plus riche et plus pur peuvent se limiter à un traitement sodique sans carbonatation préalable.

Les conditions optima de précipitation du pyrophosphate d'uranium dépendent de divers facteurs :

- Concentration des ions hydrogène,
- Concentration relative du pyrophosphate de sodium,
- Ions étrangers présents dans la solution.

L'influence de ces facteurs a été étudiée sur des solutions de sulfate d'uranyle et des mélanges synthétiques qui étaient réduits par l'amalgame de zinc pour amener l'uranium VI à la valence IV.

- Influence de la concentration des ions hydrogène dans la solution -

250 cm³ d'une solution de sulfate d'uranyle contenant 250 mg d'uranium, ont été traités après réduction par du pyrophosphate de sodium. L'uranium restant dans le filtrat a été dosé par la méthode fluorimétrique. Les résultats sont donnés dans le tableau ci-après.

On voit, que la solubilité du pyrophosphate uraneux, reste très faible jusqu'à l'acidité N.

Elle augmente ensuite pour devenir totale à l'acidité 6 N.

Il est à noter que la solubilité du pyrophosphate uraneux est indépendante de la concentration en uranium des solutions.

Acidité de la solution	Teneur en U du filtrat après précipitation en mg/litre
0,25 N	7
0,5 N	6
N	8
2 N	25
3 N	36
4 N	150
6 N	1.000

- Influence de la concentration relative des ions pyrophosphorique dans la solution.

Le pyrophosphate d'uranium se dissout dans un excès de pyrophosphate de sodium. Ceci nous a amené à étudier la marge d'utilisation du réactif. Celle-ci, comme le montrent les résultats suivants, est située, d'après le rapport moléculaire $\frac{P_{207}Na_4}{U}$, entre 1,25 et 2.

Elle est donc suffisamment large pour qu'il ne soit pas nécessaire d'opérer en utilisant une quantité rigoureusement exacte de pyrophosphate de sodium.

$\frac{P_{207}Na_4}{U}$	Teneur en U du filtrat après précipitation en mg/litre
1,25	7
2	8
3	20
4	45

- Influence des ions étrangers -

Les ions étrangers présents en solution avec l'uranium peuvent gêner la précipitation du pyrophosphate d'uranium :

- en réagissant avec le pyrophosphate de sodium,
- en complexant l'uranium,
- en servant de catalyseur d'oxydation comme Fe^{+++} ou d'inhibiteur de floculation.

Nous avons étudié surtout l'influence du fer, qui, avec l'aluminium, sont les principales impuretés des solutions provenant de l'attaque de nos minerais. Ces solutions contiennent également des phosphates et un peu de fluor qui, lorsqu'il n'est pas complexé, peut empêcher totalement la précipitation de l'uranium.

Le fer ferrique est précipité par le pyrophosphate de sodium. Par contre, l'aluminium et le fer ferreux ne précipitent pas aux acidités auxquelles nous opérons (0,5 N et N). Il est donc nécessaire d'ajouter le pyrophosphate de sodium à la solution déjà réduite.

Lorsque les solutions d'uranium contiennent du fer, la solubilité du pyrophosphate d'uranium s'accroît.

La quantité d'uranium trouvé dans le filtrat, après précipitation, passe de 7 ppm à 25 ppm. Ceci est dû à l'oxydation rapide de Fe^{++} au contact de l'air et de U^4 par Fe^{+++} . Cet inconvénient est évité par addition de thiosulfate.

Après avoir fait l'étude des principaux facteurs pouvant intervenir dans la réaction de précipitation du pyrophosphate d'uranium, nous avons cherché à adapter les résultats obtenus à la réalisation d'un procédé industriel, les conditions expérimentales étant ainsi définies :

- Le pyrophosphate de sodium doit être ajouté après réduction de la solution.
- L'acidité du milieu ne doit pas dépasser la normalité au moment de la précipitation.
- La quantité de pyrophosphate de sodium à utiliser, est comprise entre les valeurs 1,15 et 2 du rapport moléculaire $\frac{P_2O_7Na_4}{U}$. (Nous utilisons, dans les essais sur les solutions d'attaque, le rapport 2).

Lorsque la réduction est faite par le fer, à la température de 50°, sur des solutions d'attaque sulfuriques, il se forme des sulfures, qui influent sur la solubilité du pyrophosphate d'uranium. Il est essentiel de réoxyder, par l'air, les solutions après l'addition de pyrophosphate de sodium, en contrôlant le potentiel d'oxydo-réduction par la phénosafranine, afin d'obtenir un meilleur rendement de précipitation du pyrophosphate d'uranium.

Teneur des solutions mg/litre	Teneur en U du filtrat mg/litre sans oxydation	Rendement de précipitation %	Teneur en U du filtrat mg/litre avec oxydation jusqu'à virage de la phéno-safranine	Rendement de précipitation %
1.000	71	93,0	12,2	98,8
1.000	93	91,0	20,0	98,0
1.000	130	87,0	17,0	98,3
1.000	75	92,5	9,8	99,2
1.000	72	92,8	10,0	99,0
1.000	43	95,7	11,0	98,9

Dans les solutions étudiées dont l'acidité libre est 0,8 N , la réduction est terminée à pH 0,7.

A ce pH nous n'avons constaté qu'une très faible précipitation de phosphate uraneux (précipitation inférieure à 2 mg en U/litre) due aux ions phosphoriques présents en solution.

Ce dernier résultat nous permet de filtrer la solution d'attaque après la réduction, et avant la précipitation de l'uranium, afin d'éliminer les sulfures insolubles qui se sont formés durant la réduction, et les particules de fer métallique qui restent en suspension.

Les pyrophosphates obtenus titrent 25 à 30 % d'uranium.

Ils contiennent comme impuretés, principalement du fer à l'état de pyrophosphate ferrique (qui s'est formé lors de la réoxydation des sulfures par l'oxygène de l'air), un peu d'aluminium et de silice.

Le traitement ultérieur du pyrophosphate d'uranium par l'hydroxyde de sodium qui a pour but d'éliminer certaines impuretés (phosphate, alumine, silice), permet d'obtenir des produits titrant entre 50 et 60% d'uranium.

L'avantage d'isoler l'uranium à l'état de pyrophosphate uraneux, s'appuie sur deux raisons : la première nous permet d'obtenir un précipité plus riche en uranium (25 à 30 %), en milieu plus acide, et d'augmenter ainsi la capacité des filtres-presses.

La deuxième est d'éviter la carbonatation comme dans le cas du phosphate uraneux par traitement sodique direct du précipité. Ceci nous permettant de faire des économies substantielles.

DESCRIPTION DE LA REALISATION INDUSTRIELLE.

Dans la première usine française traitant chimiquement des minerais pauvres, le procédé de précipitation du phosphate uraneux après réduction par le fer a été adopté et s'est révélé parfaitement exploitable.

Cette usine, située à GUEUGNON (Saône-et-Loire), et qui traite les minerais du gisement de GRURY, a été construite en 1954, pour le Commissariat à l'Energie Atomique, par la Société Potasse et Engrais Chimiques qui a également effectué la mise au point du procédé qui comprend :

- Broyage du minerai contenant environ 1°/oo d'uranium - attaque sulfurique à chaud et séparation de la solution d'attaque des stériles par filtration en continu.
- Réduction-précipitation de l'uranium par addition de fraisure de fer et de phosphate, suivie d'une filtration du précipité.
- Transformation du phosphate uraneux contenu dans le précipité en uranate de soude.

- Broyage du minerai -

Les minerais pauvres que nous traitons, composés en grande partie de quartz et de silice (60 à 80 %), ne contiennent que fort peu d'éléments solubles (de 5 à 10 %), dans lesquels l'uranium se trouve sous différents aspects minéralogiques : Pechblende - Autunite - Chalcocite - Gummite - etc ; la teneur en uranium de ces minerais varie entre 0,6 et 1,2 °/oo.

Le broyage du minerai s'effectue en 3 phases.

- Broyage primaire par concasseur à mâchoires réduisant le calibre de 300 à 60 m/m.
- Broyage secondaire par concasseur giratoire réduisant le calibre de 60 à 25 m/m.
- Broyage tertiaire humide par un broyeur à barres réduisant le minerai à la finesse de 40 meshs.

Après classification, la pulpe obtenue est dirigée sur un épaisseur qui alimente les cuves d'attaque par l'intermédiaire de pompe à diaphragme.

L'attaque sulfurique s'effectue en écoulant à une température de 70°, dans 4 cuves caoutchonnées, le rapport Solide/Liquide étant de 0,75, la quantité d'acide sulfurique de 150 kg par tonne de minerai, afin d'obtenir des solutions aussi concentrées que possible en uranium.

Dans le but de réduire la consommation d'acide sulfurique, nous avons effectué des attaques en présence de bi-oxyde de manganèse lorsque le minerai contient l'uranium sous forme de Pechblende ; nous avons pu ainsi réduire la consommation des 2/3.

Les stériles provenant de l'attaque sont filtrés sur un filtre horizontal rotatif (construit par la Société "Engineering and Industrial Corporation" - Luxembourg -) en continu et lavés à l'eau chaude. Les solutions d'attaque et les eaux de lavages représentant un volume de 1.600 litres par tonne de minerai traité, sont ensuite dirigées vers la réduction.

- Réduction-précipitation de l'uranium -

Les solutions filtrées contiennent de 0,6 gr à 1 gr au litre d'uranium à la valence VI, 0,75 N en acide sulfurique libre, et en général suffisamment de P_2O_5 pour précipiter l'uranium, le rapport - P_2O_5/U étant égal à 3. Si la quantité de P_2O_5 est insuffisante, on ajoute du phosphate en complément.

La solution est portée à une température de 50° dans le but d'augmenter la vitesse de réduction. (La température ne modifiant pas sensiblement la solubilité du phosphate uraneux.)

La réduction est alors effectuée par addition de fraisure de fer en quantité supérieure à celle nécessaire pour amener l'acidité à un pH compris entre 2 et 3. Nous avons toujours constaté qu'en partant d'une acidité de 0,75 N, la quantité de fer était suffisante pour réduire non seulement l'uranium, mais le fer provenant de l'attaque, ainsi que les autres éléments réductibles.

Le phosphate uraneux précipite au fur et à mesure que la réduction et la neutralisation s'effectuent.

La durée de l'opération est de une heure environ. On décante de façon à éliminer le maximum de fer en suspension et on filtre le phosphate sur un filtre-presse.

Le gâteau obtenu contient du sulfate de fer provenant aussi bien de l'attaque du minerai que de l'attaque de la fraisure de fer ayant servi à la réduction. On lave à l'eau de façon à éliminer la majeure partie du sulfate de fer.

Le gâteau démoulé contient 50 % d'humidité, et environ 10 %

d'uranium rapporté en produit sec. Les impuretés principales sont constituées par du fer métallique qui a été entraîné.

- Transformation en uranate de soude -

Le gâteau contenant le phosphate uraneux est délité et mis en suspension dans le rapport de 1 tonne de gâteau humide pour 3.200 litres d'eau. On introduit ensuite 1 tonne de carbonate de soude anhydre par tonne de gâteau humide. Après dissolution du carbonate de soude, on ajoute 100 kg de permanganate de soude dissous dans le minimum d'eau. On porte la température à 90° et l'on maintient l'agitation pendant 8 heures à cette température.

Le produit est ensuite filtré sur filtre-presse, le gâteau contenant les impuretés est lavé à l'eau chaude avec environ 2.500 litres par tonne de gâteau.

Le résidu est ensuite éliminé.

L'uranium contenu dans la solution à l'état d'uranyl-carbonate de sodium est ensuite précipité de cette dernière par addition de soude et l'on obtient après filtration, un gâteau d'uranate de sodium dont la teneur en uranium, ramené au produit sec, est d'environ 65 % ; ce dernier est ensuite envoyé pour raffinage et transformation en métal à notre usine centrale du BOUCHET (Seine-et-Oise).

CONCLUSION.

Il ressort de ce procédé, que l'on peut extraire chimiquement l'uranium à partir de minerais pauvres similaires contenant 1°/oo d'uranium et même descendre à des teneurs de l'ordre de 0,5°/oo, voir même inférieures et obtenir un produit final à l'état d'uranate de soude contenant 60 à 65 % d'uranium, avec un prix de revient acceptable et avec un rendement global d'extraction situé entre 90 et 95 %.

*
* *

FIN