

PRÉSIDENCE DU CONSEIL
COMMISSARIAT A
L'ÉNERGIE ATOMIQUE

Le traitement chimique des minerais d'uranium en France

par

P. MOURET et R. SARTORIUS

Rapport CEA n° **1020**

CENTRE D'ÉTUDES
NUCLÉAIRES DE SACLAY
SERVICE DE DOCUMENTATION
Boite postale n° 2 - Gif-sur-Yvette (S.-et-O.)

MOURET P., SARTORIUS R.

Rapport CEA n° 1020

Le traitement chimique des minerais d'uranium en France.

Sommaire. — Les différents procédés de traitement chimique des minerais uranifères sont exposés depuis les premiers jusqu'aux plus récents, en tenant compte des facteurs économiques, géographiques, techniques et de salubrité. L'intérêt d'obtenir un concentré final à l'état de nitrate d'uranyle est discuté.

1958

14 pages

MOURET P., SARTORIUS R.

Report CEA n° 1020

Chemical treatment of uranium ores in France.

Summary. — The various processes of chemical treatment of uranium ores, from the oldest to the recentest, are exposed, considering the following conditions : economics, geography, technics and safety. The interest of obtaining a final concentrate as uranyl nitrate is discussed.

1958

14 pages

LE TRAITEMENT CHIMIQUE DES MINERAIS D'URANIUM EN FRANCE

par

P. HOURET (*) et R. SARTORIUS (**)

Commissariat à l'Energie Atomique

(France)

-:-:-:-

I - USINES FRANCAISES.

Il y a dix ans, le Commissariat à l'Energie Atomique en France produisait à l'usine du Bouchet les premières tonnes d'uranium destinées aux piles expérimentales.

Jusqu'à la fin de 1956, cette usine a été alimentée en minerais à haute teneur (plus de 4%).

L'approvisionnement de ces minerais, après avoir été d'abord assuré par quelques minerais d'espèces secondaires provenant de fouilles superficielles effectuées sur de petits gisements anciennement exploités pour le radium, a principalement consisté en pechblende provenant du gisement de La Crouzille qui venait d'être découvert. La forte teneur de ces minerais était obtenue par concentration physique ou scheidage. Cette première usine déjà décrite (1) utilisait un procédé coûteux mais à haut rendement. Elle est aujourd'hui arrêtée après avoir fourni l'uranium nécessaire au démarrage du programme industriel du Commissariat.

Devant l'ampleur de la demande en uranium, l'industrie française met actuellement en place une exploitation industrielle des importantes réserves à faible teneur entre-temps découvertes et reconnues. Les usines de traitement chimique se construisent auprès des mines.

L'usine de Gueugnon (Saône-et-Loire) construite par la Société Potasse et Engrais Chimiques, a commencé à produire en 1955 selon le procédé au phosphate uraneux déjà décrit (2). Aujourd'hui, assez profondément remaniée par le Commissariat, elle traite des minerais à teneur moyenne (0,5 à 1%).

Deux usines ont été construites par les Etablissements Kuhlmann selon le procédé résines. L'usine de l'Ecarpière (Vendée) est

entrée en production en 1957. Elle traite des minerais à basse teneur (0,10 à 0,15%). L'usine de Bessines (Haute-Vienne) commence à traiter cette année des minerais à teneur assez basse (0,15 à 0,25%).

Il faut citer en outre la mise en construction cette année de l'usine du Forez (Saint Priest-La Prugne, Loire) également par les Etablissements Kuhlmann (minerais de 0,15 à 0,20%).

Parmi les projets futurs possibles, on peut mentionner une usine de traitement des schistes uranifères des Vosges (Schaentzel, Haut-Rhin).

L'organisation générale de cette industrie et son économie font l'objet d'une autre communication (3). Précisons seulement que l'uranium produit est alors transporté à l'état d'uranate au Bouchet (Seine-et-Oise), où il est purifié et transformé en métal. Une seconde raffinerie est en construction à Narbonne (Aude).

*
* *

Le but de la présente communication est de décrire l'expérience acquise dans le domaine des procédés chimiques de traitement des minerais d'uranium, et d'indiquer nos conceptions et tendances actuelles.

Jusqu'ici l'évolution de ces procédés en France correspond à l'évolution générale dans le monde. A l'attaque par l'acide nitrique utilisée au Bouchet, a succédé partout l'attaque oxydante par l'acide sulfurique. Aux méthodes de récupération de l'uranium par précipitation directe d'un uranate, ou d'un phosphate uraneux, a succédé l'emploi des résines échangeuses d'ions.

Au moment toutefois d'envisager l'emploi de solvants (essentiellement solvants aminés), des difficultés particulières à l'Europe sont apparues, dans le domaine des effluents par exemple. C'est pourquoi nous pensons que les facteurs économiques et géographiques propres à la France peuvent maintenant pousser à l'adoption de procédés plus particuliers, mieux adaptés à ses problèmes.

II - PREPARATION DES SOLUTIONS URANIFERES.

A - LIXIVIATION.

1. - Lixiviation acide

Il n'est pas facile de caractériser d'un mot les minerais français traités jusqu'ici. On peut cependant rappeler qu'ils sont jusqu'ici d'origine filonienne ; ces filons sont souvent encaissés entre éponges de granit ou tout au moins au contact de granit ; le minerai est en général constitué de pechblende dans une gangue silico-argileuse ou silico-fluorée ; cette pechblende peut être plus ou moins altérée (oxydes noirs, oxydes jaunes) ; on trouve aussi en surface des espèces secondaires (autunite). On n'a jamais trouvé jusqu'ici d'espèces particulièrement rebelles à la lixiviation. Dans aucun cas on n'a jamais eu à récupérer un autre élément de quelque valeur en même temps que l'uranium.

Jusqu'à fin 1956 on transportait à l'usine du Bouchet (1) des minerais à haute teneur (4%). Ils étaient attaqués par l'acide nitrique. Ce mode d'attaque coûteux (300 kg d'acide nitrique compté pur par tonne de minerai) se justifiait dans ce cas par le haut rendement obtenu (plus de 99%). Ce genre de lixiviation réservé donc aux minerais à haute teneur, n'est plus utilisé aujourd'hui que pour traiter les minerais d'urano-thorianite. Nous n'envisageons pas ici le cas de ce minerai très particulier dont le traitement fait l'objet d'une communication séparée (4).

Tous les minerais classiques d'uranium (0,1 à 1%) sont aujourd'hui attaqués par l'acide sulfurique en présence d'oxydant. La tendance en France est plutôt de faire ce traitement à chaud (50-70°C et relativement vite (4 heures). Comme oxydant on utilise le bioxyde de manganèse ou le chlorate de soude, selon les possibilités économiques.

Jusqu'ici on a utilisé l'attaque simple en équi-courant. A titre indicatif, la consommation moyenne d'acide est de l'ordre de 50 kg par tonne de minerai. Soulignons un détail important : il faut veiller à diluer l'acide avant l'introduction dans les cuves d'attaque. On diminue ainsi la dissolution des impuretés et donc la consommation d'acide, et on évite un dégagement possible d'acide fluorhydrique, certains minerais contenant de la fluorine.

On met en service cette année des circuits d'attaque plus complexes pour diminuer la consommation d'acide :

- a) Une voie développée par les Etablissements Kuhlmann et appliquée à l'usine de Bessines (figure I) consiste à diviser la pulpe en sables et fines et à attaquer séparément chacune de ces fractions. Les sables plus réfractaires à la lixiviation sont attaqués à chaud dans des trommels, les fines attaquées à froid et avec moins d'acide dans des cuves agitées classiques. Des recyclages de solutions provenant de l'attaque des sables ou des fines sont possibles suivant les cas.
- b) Une autre voie développée à l'usine de Gueugnon par le Commissariat en perfectionnement de l'attaque en équi-courant avec recirculation (figure II) consiste à employer une lixiviation à contre-courant en deux étages (figure III). Dans ce procédé les solutions recyclées sont utilisées pour attaquer partiellement la pulpe vierge. Menée à froid, cette "pré-attaque" solubilise déjà la moitié de l'uranium, et les espèces facilement attaquables du minerai servent à neutraliser la pulpe jusqu'au pH désiré pour les traitements ultérieurs. On a pu ainsi réduire à 20 kg par tonne de minerai la consommation d'acide, avec une amélioration sensible de la composition des liqueurs uranifères.

Il n'est pas possible aujourd'hui d'indiquer ce que nous pensons être la meilleure voie. Celle-ci dépend sans doute beaucoup de la nature des minerais traités. Il est cependant à peu près certain que des schémas comportant une recirculation des solutions d'attaque seront appliqués dans toutes les usines.

29) Lixiviation alcaline -

La lixiviation alcaline a été étudiée pour extraire l'uranium des minerais qui jusqu'à présent sont traités par l'acide sulfurique, et des minerais schisteux qui ne peuvent être traités que par ce procédé. Son grand intérêt réside dans le fait que les solutions peuvent être recyclées après extraction de l'uranium et permettre des économies de réactifs.

Pour les minerais du premier type, il semble que la lixiviation par une solution de carbonate de sodium sous pression d'oxygène et à chaud soit possible dans de nombreux cas et présente un réel intérêt (5). Elle a fait l'objet en France de nombreux essais de laboratoire (6), elle exige cependant du point de vue appareillage une étude très approfondie. Elle n'a pas été employée industriellement jusqu'ici.

Par contre, nous avons trouvé (7) que les schistes des Vosges qui contiennent de 0,05 à 0,2% d'uranium en présence de matières organiques et une grande quantité de sidérose ne peuvent être traités autrement que par une solution de carbonate de soude, la consommation d'acide sulfurique étant trop importante (300 kg par tonne de minerai). Des études entreprises au laboratoire et en pilote ont permis de fixer les conditions de lixiviation et la consommation de carbonate de soude qui est d'environ 10 à 15 kg par tonne de minerai. Il n'est pas nécessaire d'opérer sous pression. La récupération de l'uranium permet de recycler la solution de carbonate de soude. En plus le milieu alcalin n'exige pas un matériel spécial ; il est de ce fait moins onéreux.

Un projet d'usine pour traiter ces minerais suivant ce procédé est actuellement à l'étude en collaboration avec la Société Pechiney.

B - SEPARATION SOLIDE-LIQUIDE.

Il a toujours été possible jusqu'ici en France d'effectuer une séparation solide-liquide satisfaisante après attaque acide. De la sorte il n'a pas été nécessaire d'avoir recours à des méthodes telles que la "résine en pulpe" pour récupérer l'uranium. Il est toutefois nécessaire de préciser que les adjuvants de décantation apparus depuis quelques années contribuent grandement à faciliter l'opération.

Filtration ou décantation à contre-courant ? Les deux méthodes sont employées en France, sans qu'il soit possible de discerner une tendance nette en faveur de l'une d'entre elles. On remarquera cependant que le prix de l'énergie électrique rend la filtration d'exploitation relativement plus coûteuse en Europe. A propos de la filtration également, indiquons avoir l'expérience d'un filtre horizontal à cellules basculantes. Malgré les résultats satisfaisants obtenus, il n'apparaît pas possible d'assurer un lavage complet des stériles en une seule filtration. Il vaut mieux repulper et filtrer à nouveau que pousser les lavages sur filtre.

III - RECUPERATION DE L'URANIUM DES SOLUTIONS URANIFERES.A - REVUE DES PROCEDES UTILISES EN FRANCE.1°) Liqueurs riches -

L'attaque nitrique de minerais à plus de 4% conduisait à l'usine du Bouchet (1) à l'obtention de liqueurs à plus de 10 g/l. Ces liqueurs étaient traitées par un excès de carbonate de soude pour précipiter les hydroxydes de fer, d'aluminium, etc... et complexer l'uranium. Celui-ci était récupéré par décomplexion acide, puis précipitation à l'ammoniaque. Cette méthode coûteuse se justifiait dans ce cas par son haut rendement (plus de 99%) et la teneur de ces liqueurs. L'uranate obtenu titrait de 65 à 70% d'uranium sur sec.

2°) Liqueurs à moyenne teneur -

Il est apparu en France un intérêt à pouvoir traiter à part des minerais à teneur moyenne (0,4 à 1%) provenant soit de gisements favorables à une telle exploitation, soit de pré-concentration physique de minerais plus pauvres. Il est vraisemblable que ce traitement continuera plusieurs années au moins à l'usine de Gueugnon.

Jusqu'ici les solutions provenant de l'attaque sulfurique oxydante de tels minerais (4 à 10 g/l.) étaient traitées par précipitation directe (complexion par le carbonate de sodium, précipitation de l'uranate par la soude caustique). On préfère maintenant une méthode plus économique consistant à précipiter d'abord par la chaux un préconcentré intermédiaire d'une teneur voisine de 20%, à redissoudre l'uranium par du carbonate de soude sous pression ordinaire et à le précipiter par la soude caustique. Les eaux mères de cette dernière précipitation sont carbonatées et recyclées. Une méthode analogue a été étudiée au Portugal (8) (9).

3°) Liqueurs à faible teneur -

La plus grande partie de l'uranium en France proviendra maintenant de minerais d'une teneur comprise entre 0,08 et 0,2%. Suivant la méthode de séparation solide/liquide adoptée, la lixiviation sulfurique oxydante de ces minerais fournit des liqueurs d'une teneur comprise entre 0,20 et 1,5 g/l.

Pendant un an environ (1955-1956), on a utilisé à l'usine de Gueugnon, la méthode au phosphate uraneux (2) sur des solutions titrant environ 0,7 g/l. La principale difficulté rencontrée tenait au fait que la nature du minerai et la méthode employée (neutralisation et réduction par le fer) conduisaient à un concentré ne titrant que 15% en moyenne. Il n'était pas suffisant de traiter ce concentré par la soude caustique. Il fallait le réattaquer, assez difficilement d'ailleurs, par le carbonate de soude en présence d'oxydant (MnO_4K) et reprécipiter un uranate à bonne teneur par la soude caustique. Malgré certains perfectionnements qui avaient été étudiés, cette méthode ne présente plus guère d'intérêt pour l'avenir.

Les usines de l'Ecarpière et de Bessines utilisent les résines

Il n'y a pas lieu d'insister sur ce procédé très classique. Précisons seulement qu'on y pratique l'élu­tion chlorhydrique (0,9 M de NaCl + 0,1 M de H₂SO₄) et la précipitation à la magnésie. Des difficultés dues à certains phénomènes d'empoisonnement des résines sont apparues, nécessitant une régénération assez fréquente (20 cycles) par la soude caustique. Une autre difficulté est due à la magnésie. On a dû refuser l'emploi de magnésie d'origine marine dont la teneur en bore était trop élevée (300 ppm) et utiliser une gibbertite calcinée. Peu réactive, cette dernière magnésie conduit à des uranates à teneur assez peu élevée (55% sur sec).

Précisons cependant que nous préférerions une élution nitrique à l'élution chlorhydrique, parce que conduisant (tableau I) à des solutions de cœur à teneur plus élevée (économie de magnésie) et ne nécessitant pas un lavage aussi poussé (élimination des ions chlorhydriques).

TABEAU I -
Comparaison de divers modes d'élution -
(Résultats de laboratoire) -
(Vitesse d'élution 2 volumes/heure).

Eluant	Volume total	Volumens des solutions			Teneur de la solution de cœur en ura- nium (g/l)
		(rapporté au volume de résine)	Tête (à rejeter)	Cœur (à pré- cipiter)	
0,9M NaCl + 0,1M H ₂ SO ₄	10	0,5	5	4,5	7
0,9M NaCl + 0,1N HCl	6,5	0,5	3,5	2,5	12
0,9M NaNO ₃ + 0,1N HNO ₃	5,5	0,5	2,5	2,5	15

B .. PROCEDES NOUVEAUX.

1°) Liqueurs acides -

a) Solvants -

La possibilité d'utiliser des solvants à la place des résines a été fortement envisagée en France. Des essais ont été effectués en pilote (Etablissements Kuhlmann, La Madeleine). Dès l'abord les amines ont paru plus simples d'emploi que les esters phosphoriques, et seules diverses amines ont été étudiées. Si les résultats techniques ont été très intéressants, une sérieuse difficulté est apparue au sujet des effluents. Ceux-ci sont en effet très toxiques vis-à-vis des poissons. Cette toxicité est due à la présence de traces d'amines, soit du fait de leur solubilité propre, soit du fait d'entraînements mécaniques.

On rapporte au tableau II les résultats d'essais effectués aux laboratoires des Etablissements Kuhlmann sur de petits poissons de 5 à 8 cm de long, les vairons (*Phoxinus phoxinus* Ag). Le choix de ces poissons assez fragiles a été fait parce que de nombreuses rivières françaises sont des rivières à truites, lesquelles se nourrissent de ces vairons.

Pour ces essais, les solutions, après extraction de l'uranium par le solvant étudié, ont été neutralisées jusqu'à pH 9 par la chaux pour éliminer le manganèse. Après filtration, on ramenait le pH à 7 et on diluait 3 fois, ceci pour reconstituer les conditions pouvant se produire industriellement. On plaçait cette solution dans des bécards de 2,5 litres, et on y introduisait 3 poissons dont on notait la durée de survie.

TABLEAU II -

Comparaison de la toxicité de divers solvants vis-à-vis des vairons -

Solvant	Concentration (en ng/l)	Durée de vie (en heure)
Benzyl lauryl amine (Ets Kuhlmann)	0,1	12
	1	1
	5	1
	20	< 1
Primène JMP (Rohm et Haas)	5	< 1
Benzyl primène JMT (benzylation du Primène JMT, Rohm et Haas)	5	12
	10	< 1
B 13A (benzyl amine secondaire à 13 carbones, préparé par les Ets Kuhlmann)	1	< 1
Noran 2 C (amine secondaire, Prochinor)	5	normale
Dilauryl amine (Ets Kuhlmann)	saturation	normale
9 D 178 ou LA 1 (Rohm et Haas)	5	< 1
N-benzylamino-6,diéthyl-3,9- tridécane (Rhône-Poulenc)	5	4
Acide di-éthyl phosphorique (Vitro Chemical Corp.)	1	normale
	10	normale
	26	24
	30	24

Divers traitements pour détruire les dernières traces de solvant dans les effluents sont sans doute possibles. Citons par exemple l'addition d'hypochlorites (0,1 à 0,2% d'une solution à 10%).

Néanmoins, il faut tenir compte de la possibilité d'un accident de fabrication conduisant à une pollution brutale de la rivière. Du fait de cette difficulté, il n'est pas apparu possible jusqu'ici d'adopter les solvants pour des usines dont les effluents ne peuvent être rejetés directement dans une rivière suffisamment importante, et d'ailleurs les traitements supplémentaires font perdre à cette méthode ses avantages économiques.

A ce point de vue cependant, on ne doute pas que l'emploi des solvants soit certainement préférable à celui des résines pour les liqueurs assez riches (plus de 2 g/l). Pour des liqueurs plus pauvres, cet avantage décroît jusqu'à s'annuler. Nous n'avons pas encore déterminé cette limite (0,5 g/l ?).

b) Procédé calcique -

Sans doute toutes les usines françaises de traitement de minerais d'uranium ne déverseront pas leurs effluents dans des rivières à truites et un traitement aussi poussé des effluents ne sera pas nécessaire. Dans tous les cas cependant, du fait de la législation, on ne peut rejeter que des eaux très voisines de la neutralité. Quelle que soit la méthode adoptée pour extraire l'uranium, les effluents doivent être traités jusqu'à neutralité par le calcaire et la chaux.

De cette nécessité est née l'idée du "procédé calcique" qui consiste à précipiter, presque sans frais supplémentaires, un pré-concentré intermédiaire titrant de 10 à 20% d'uranium, par traitement direct des solutions d'attaque par la chaux.

Diverses voies peuvent être utilisées pour convertir ce pré-concentré en uranate à haute teneur. La plus simple, mais la plus coûteuse, consiste à reprendre l'uranium par le carbonate comme il a déjà été mentionné. La plus intéressante à notre avis consiste à calciner ce préconcentré vers 800°, à le réattaquer par l'acide nitrique et à extraire l'uranium par le tributyl-phosphate.

Ce "procédé calcique" donne un rendement en uranium équivalent à celui des résines. Nous le pensons plus économique de 200 à 400 Francs par kg d'uranium. Sans doute sa réussite est-elle liée à la nature du minerai. Nous pensons cependant ce procédé intéressant même pour des minerais à 0,1%, pourvu que soit possible une lixiviation ménagée.

Nous ne discuterons plus ici les détails de ce procédé qui fait l'objet d'une communication séparée (10). Notons qu'il ne demande que des réactifs courants, et non des produits comme résines et solvants, que seule fournit une industrie chimique assez développée.

2°) Liqueurs alcalines -

On n'a pas encore traité industriellement en France de minerais d'uranium par voie alcaline.

Des études approfondies ont cependant été menées pour précipiter l'uranium à l'état d' UO_2 par l'effet de l'hydrogène sous pression en présence d'un catalyseur. Cette méthode, suggérée par

les travaux de Messieurs FORWARD et HALPERN, est détaillée dans une autre communication (6).

Plusieurs voies différentes ont été également approfondies à propos du traitement des schistes uranifères des Vosges qui ne peuvent être attaqués, nous l'avons déjà dit, que par voie alcaline. Citons la possibilité d'utiliser des résines, ou de précipiter un uranate de sodium après concentration par évaporation en présence d'anorace constituée par une recirculation de l'uranate, ou de précipiter un oxyde UO_2 par électrolyse en présence de catalyseurs. Ces méthodes sont détaillées dans une autre communication (7).

IV - DU MINERAI AU METAL.

La question s'est déjà posée de savoir si l'obtention d'un uranate de pureté "technique" était le but idéal des usines de traitement des minerais d'uranium. La réponse à cette question peut être fortement influencée en France par la texture géographique et économique de cette industrie : distances relativement faibles et intégration assez poussée.

La croissance rapide et continue de la production française d'uranium conduit à rechercher la solution actuelle d'ensemble la plus économique. La mise en chantier d'une raffinerie nouvelle nous donne l'occasion de remettre en question certaines habitudes antérieures.

S'il n'a pas paru opportun jusqu'ici de pousser dans les usines de minerais elles-mêmes jusqu'à l'obtention d'un tétrafluorure de pureté nucléaire par exemple, il semble intéressant par contre de transporter l'uranium en solution de nitrate concentré (400 g/l) plutôt que sous forme d'uranate.

L'uranate est relativement coûteux à précipiter, à sécher, à échantillonner, à analyser, à redissoudre dans l'acide nitrique à l'arrivée à la raffinerie.

Tous les procédés utilisés actuellement (résines, solvants aminés, procédé calcique) se prêtent bien à la substitution d'une extraction par le TBP à la précipitation classique de l'uranate. Dans le cas des résines et solvants, il suffit de pratiquer l'élu-tion nitrique. Dans le procédé calcique on dissout le préconcentré dans l'acide nitrique. La solution d'uranium réextraite peut être économiquement concentrée par évaporation et expédiée en réservoirs d'acier inoxydable.

Nous estimons cette voie économiquement intéressante : la fabrication de nitrate d'uranyl n'est pas plus coûteuse que celle de l'uranate (dans le cas du procédé calcique, elle est même sensiblement moins chère) ; les frais de transport sont à peine plus élevés ; il y a enfin une économie importante à la raffinerie. Par ailleurs, la pureté chimique évidente du nitrate d'uranyl fournirait à la raffinerie une régularité très enviable dans la qualité de ses approvisionnements. Ces solutions peuvent être purifiées à nouveau par le TBP à la raffinerie, pour une faible dépense.

V - CONCLUSIONS.

Le programme français conduit à développer fortement la production d'uranium dans les années qui viennent. On constate que la situation des procédés chimiques utilisés pour traiter ces minerais n'est pas encore arrivée à son développement final. Dans la construction de chaque usine nouvelle, des moyens nouveaux sont mis en oeuvre. Un abaissement des prix de revient est recherché dans le perfectionnement des procédés de lixiviation ; nous pensons qu'une autre cause de cet abaissement peut résulter d'une meilleure intégration de l'ensemble de cette industrie.

(*) Chef de Section d'Etude des Traitements Chimiques de Minerais,
Département de Chimie.

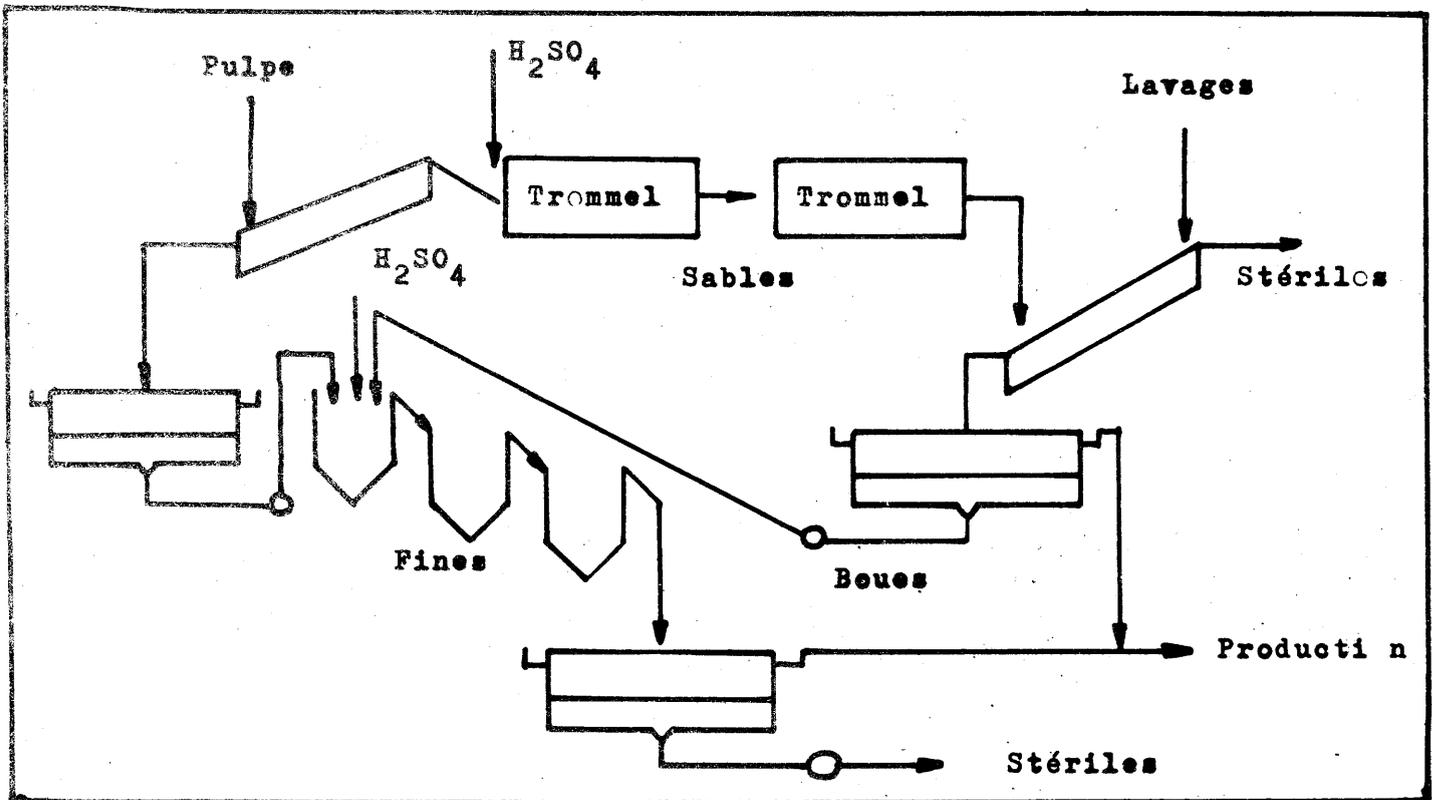
(**) Adjoint au Directeur du Département de Chimie.

BIBLIOGRAPHIE.

- (1) La préparation de l'uranium métal pur.
B. GOLDSCHMIDT et P. VERTES
P/341 Genève 1955.
- (2) Un procédé de traitement chimique des minerais pauvres d'uranium.
P. MOURET et P. PAGNY
P/339 Genève 1955.
- (3) Développement de l'industrie minière de l'uranium en France et dans l'Union française.
J. HABILE
P/1247 Genève 1958.
- (4) Fabrication du nitrate de thorium pur à l'usine du Bouchet.
BRAUN et autres
P/1251 Genève 1958.
- (5) Développements in the carbonate processing of uranium ores.
FORWARD F.A. et HALPERN J.
J. of Metals, Décembre 1954, p. 1408.
- (6) Lixiviation oxydante des pechblendes en milieu carbonaté, réduction par l'hydrogène.
BALACEANU, COUSSEMANT et MOURET
P/1256 Genève 1958.
- (7) Application de la lixiviation alcaline à l'extraction de l'uranium des schistes des Vosges.
MOURET, POTTIER, SOUDAN et LE BRIS
P/1253 Genève 1958.
- (8) Quelques aspects du traitement chimique des minerais d'uranium portugais.
VIDEIRA F., MARRECAS FERREIRA P., ALMEIDA J.D.
P/977 Genève 1955.
- (9) Enrichissement chimique des concentrés uranifères à faible teneur.
MARRECAS FERREIRA P.
XXIXe Congrès International de Chimie Industrielle, Paris, Novembre 1956.
- (10) La chaux comme agent de concentration de l'uranium.
MOURET, GAUTIER, KREMER et LE BRIS
P/1255 Genève 1958.

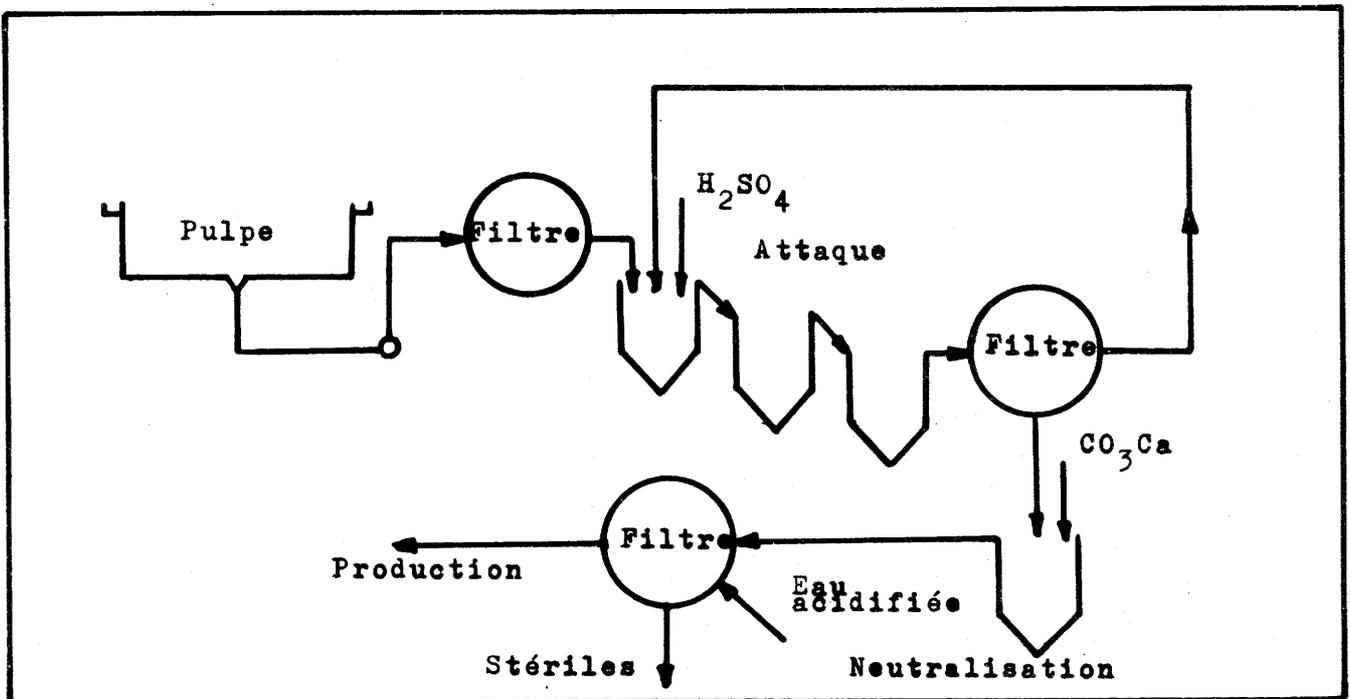
- FIGURE I -

- ATTAQUE EN DEUX LIGNES DES SABLES ET DES FINES -



- FIGURE II -

ATTAQUE AVEC RECIRCULATION DES SOLUTIONS



- FIGURE III -

- LIXIVIATION EN DEUX ETAGES -

