

المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات  
المكتبة - BIBLIOTHEQUE  
Ecole Nationale Polytechnique

ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

DEPARTEMENT : Metallurgie

**PROJET DE FIN D'ETUDES**

**SUJET**

ETUDE DE LIXIVIATION  
ACIDE D'UN  
MINERAL D'URANIUM  
ALGERIEN

Proposé par :

M.E. DJEGLAL

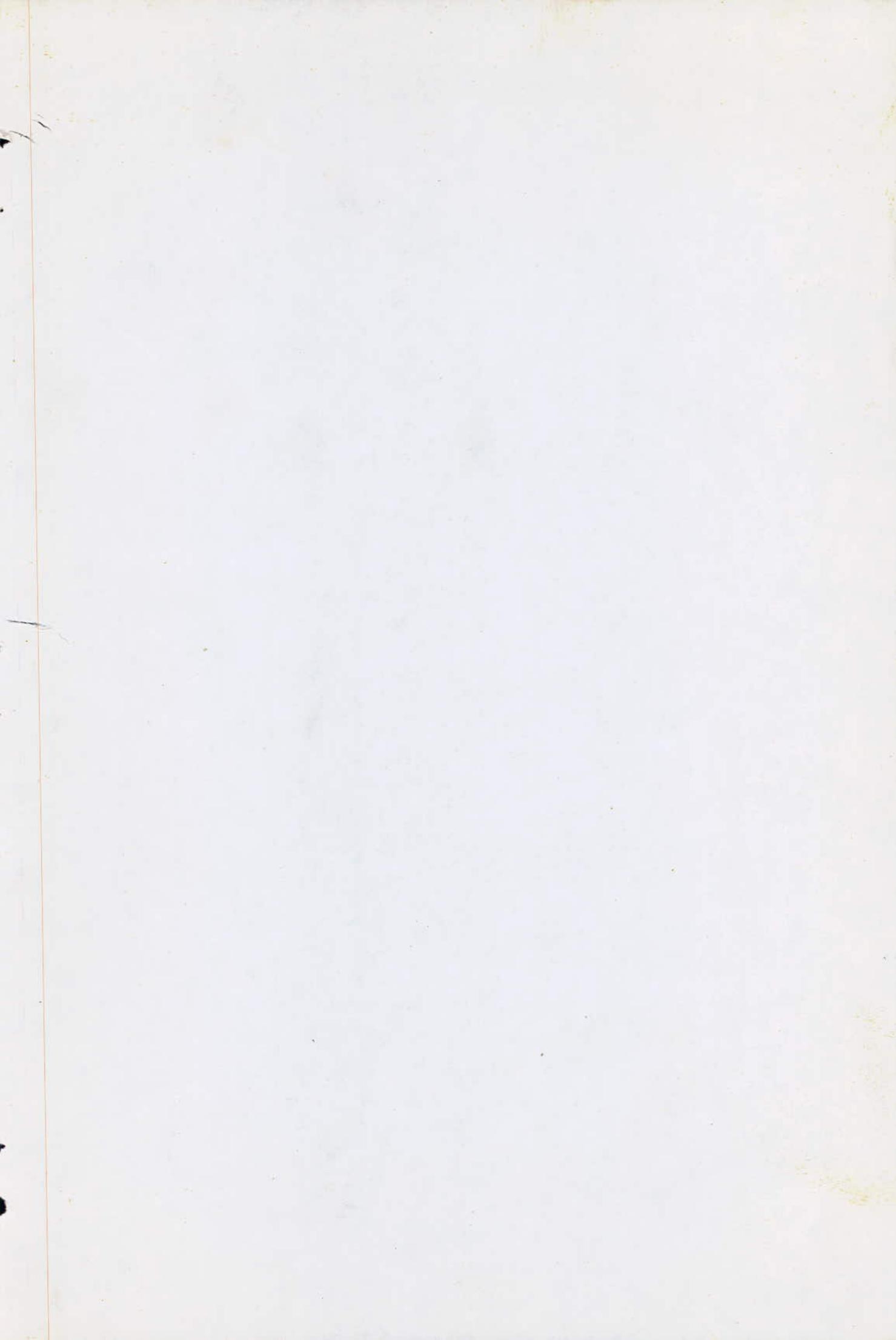
Etudié par :

Kechouane  
Karim

Dirigé par :

M.E. DJEGHLAL

PROMOTION : Juin 1990



DEDICACES

.....

Je dédie ce modeste travail à :

- Ma mère et mon père
- Mes freres et soeurs
- Mes amis
- la promotion de Metallurgie 1990

IMANE ET ZINEDDINE

R E M E R C I E M E N T S

.....

Je tiens à exprimer ma reconnaissance à MONSIEUR DJEGHLAL M.E pour les conseils qu'il m'a prodigués pour la réalisation de ce mémoire

J'exprime ma profonde gratitude à l'ensemble des enseignants du département de Metallurgie qui ont contribué à ma formation sans oublier notre secrétaire

Je remercie également le personnel du département des procédés chimiques du HAUT COMMISSARIAT A LA RECHERCHE ET PLUS spécialement MONSIEUR BRIKCI

Je remercie aussi MESSIEURS SAADA et NOURI K pour leur précieuse aide

Enfin, je tiens à exprimer ma vive gratitude à tous les étudiants de cinquième année Métallurgie (promotion 1990) pour leur soutien et leur aide qui m'ont permis de réaliser ce mémoire

& M E R C I &

.....

S O M M A I R E

PREAMBULE	I
INTRODUCTION	2
CHAPITRE I :	
I.1 LA LIXIVIATION	4
I.2 THEORIE DE LIXIVIATION	13
I.3 METHODES D'EXTRACTION DE L'URANIUM A PARTIR DES SOLUTIONS D'ATTAQUE	19
CHAPITRE II :	
II.1 MINERAIS ET MINERAUX D'URANIUM	24
II.2 MINERAI D'ABANKOR	26
II.3 PREPARATION DE L'ECHANTILLON	33
II.4 METHODOLOGIE	39
CHAPITRE III	
III.1 RESULTATS DE L'ANALYSE CHIMIQUE POUR LE CAS DU MOLYBDENE	43
III.2 RESULTATS DE L'ANALYSE CHIMIQUE POUR LE CAS DE L'URANIUM	49
III.3 CONCLUSION	60

PREAMBULE:

Uranium fut decouvert par le chimiste Allemand MARTIN KLAPROTH en 1789 lors d'une etude d'une pechblende de SAXE. Mais le premier qui reussit a produire de l'uranium metallique par reduction du tetrachlorure d'uranium fut PELIGOT.

A l'etat naturel, le metal uranium (assez souvent associe au thorium) se rencontre dans les mineraux accessoires de granite. Mais l'uranium, jusqu'à la guerre 39-45 resta un sous produit de la fabrication du radium, n'ayant guère d'autres utilisations que dans la fabrication de colorants pour faience et verrerie. A partir de la deuxieme guerre mondiale, ce metal est devenu veritablement un produit strategique lorsque les Etats Unis D'Amérique metterent en application le projet MANHATTAN dont l'aboutissement fut la fabrication de la premiere bombe atomique sur notre planete.

Dans les conditions terrestres, on peut produire de l'énergie à partir de l'uranium, la quantité d'énergie ainsi fournie est considerable. Un kilogramme d'uranium fournit approximativement près de 2.5 millions de tonnes de fois de plus qu'un kilogramme de charbon.

Les principaux gisements uranifères dans le monde se situent aux U.S.A en AFRIQUE DU SUD, NAMIBIE, Le ZAIRE, CANADA, AUSTRALIE, URSS et bien d'autres.

Comme nous l'avons mentionne plus haut, l'uranium fournit de l'énergie colossale par rapport aux sources d'énergie d'origine fossile (charbon, petrole gaz...etc). Il a de multiples applications civiles et militaires, il constitue le combustible irremplacable des centrales electronucleaires, dans la propulsion nucleaire des navires. Il est également utilisé dans les bombes à hydrogene pour amorcer (comme allumeur) la réaction de fusion utilisée principalement dans les bombes thermonucleaires, comme il joue le role de combustibles dans les réactions de fission.

L'Algerie, pour sa part, dispose de ressources en uranium qui peuvent justifier leur mise en exploitation.

## INTRODUCTION:

Dans un souci d'utilisation rationnelle des ressources énergétiques dont dispose notre pays, les conditions particulières des exploitations minières dans le HOGGAR, notamment les contraintes imposées par l'éloignement, la rareté de l'eau et le manque de main d'œuvre locale qualifiée, doivent être prises en considération.

Dans le cadre de la lixiviation conventionnelle, l'acide sulfurique est le réactif de choix. La lixiviation sulfurique constitue pour nous le traitement étalon à partir duquel peuvent être opérées les différentes substitutions afin d'avoir des rendements de récupération en uranium maximums pour des coûts d'exploitation minimums.

Dans le cadre de notre travail, nous nous proposons d'étudier quelques paramètres dont dépend le rendement comme la granulométrie, la concentration en réactif et la nature de l'oxydant.

L'avantage du procédé acide réside dans une meilleure récupération que le procédé alcalin, mais le soufre est importé alors que le carbonate de sodium est produit en ALGERIE. Cependant l'ignorance actuelle de la répartition des carbonates dans les gisements uranifères du HOGGAR ne nous permet pas de décider du choix du procédé.

Au terme de notre travail, nous avons choisi le minerai provenant du gisement d'ABANKOR car le caractère peu prononcé du phénomène de carbonatation de ce gisement oriente vers un procédé de traitement par voie acide.

## CHAPITRE I

### PARTIE THEORIQUE

#### I.1 LA LIXIVIATION

I.1.1 LA LIXIVIATION ACIDE

I.1.2 LA LIXIVIATION ALCALINE

I.1.3 LA LIXIVIATION SOUS-PRESSION

I.1.4 LA LIXIVIATION EN TAS

I.1.5 LA LIXIVIATION BIOLOGIQUE

I.1.6 LA LIXIVIATION EN PLACE

#### I.2 THEORIE DE LA LIXIVIATION

I.2.1 PRINCIPES DE LA LIXIVIATION ACIDE

I.2.2 MECANISMES REACTIONNELS DE LA LIXIVIATION ACIDE

I.2.3 PROCESSUS DIFFUSIONNEL AU COURS DE LA LIXIVIATION.

I.2.4 FLUX DE LIXIVIATION

#### I.3 METHODES D'EXTRACTION DE L'URANIUM A PARTIR DES SOLUTIONS D'ATTAQUE

I.3.1 PREPARATION DES CONCENTRES

I.3.2 RAFFINAGE DES CONCENTRES

I.3.3 MISE EN SOLUTION DES CONCENTRES SOLIDES

I.3.4 PURIFICATION PAR SOLVANT

## I.I LA LIXIVIATION:

D'une façon générale, les minerais d'uranium se prêtent mal aux procédés de traitement classiques (gravimétrie, flottation), c'est pourquoi on s'est retourné vers les traitements chimiques qui ont été avérés d'un meilleur rendement, la méthode la plus utilisée est la lixiviation.

La lixiviation (lessivage, dissolution sélective) est une combinaison d'une dissolution et d'un lavage, c'est un procédé qui a pour but de dissoudre, dans une solution, un ou plusieurs constituants d'un matériau solide en faisant intervenir, ou non, une réaction chimique.

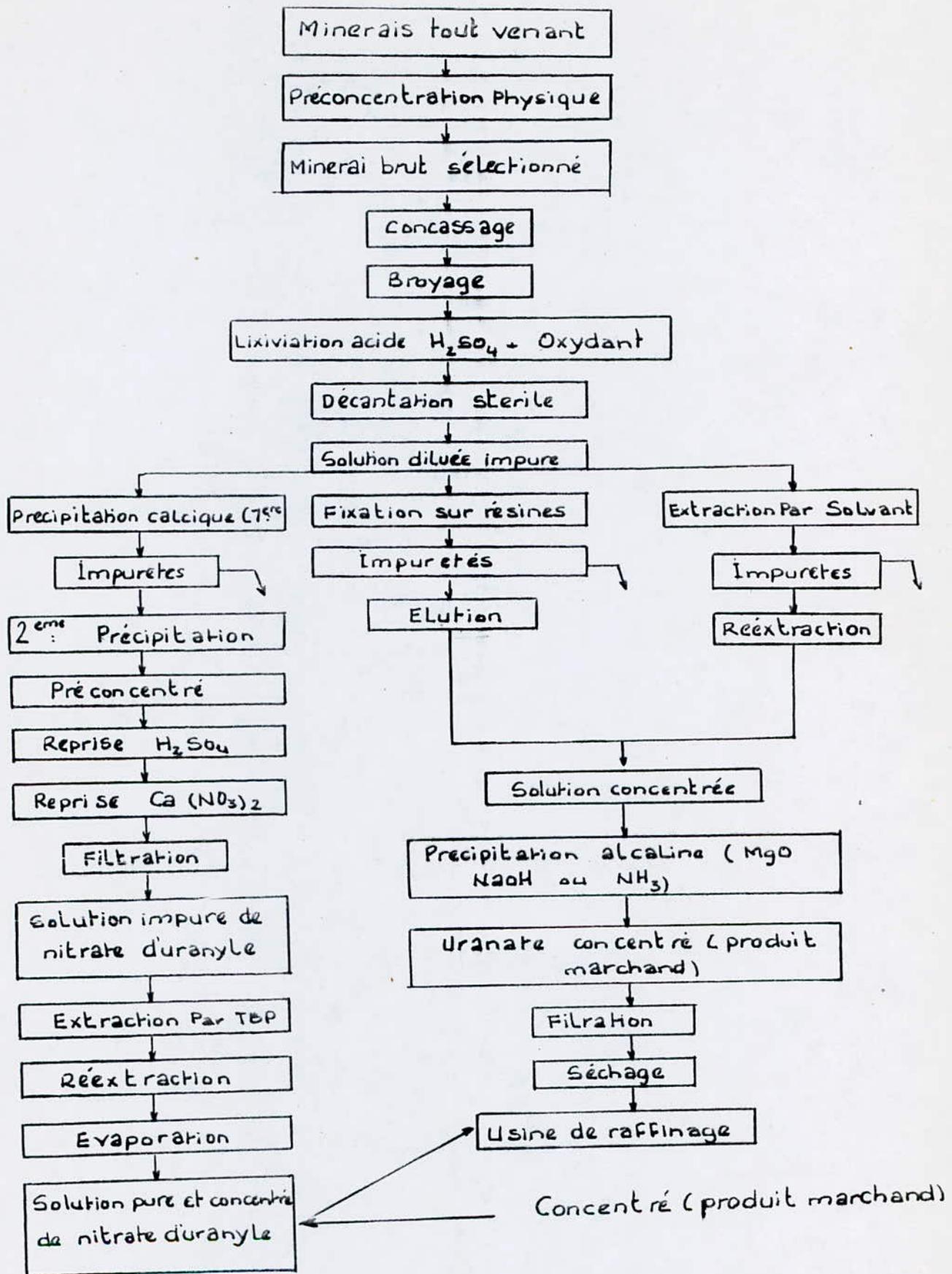
Le principe de l'extraction dans le cas de l'uranium est simple, il s'agit de faire passer en solution l'uranium de la roche mère où il se trouve sous forme d'un composé solide, puis de séparer cette liqueur mère du solide devenu stérile.

La mise en solution de l'uranium peut se faire, soit au moyen d'un réactif acide (le plus souvent, l'acide sulfurique), soit au moyen d'un réactif alcalin. Ces deux procédés représentent théoriquement l'ensemble des procédés de dissolution en hydrometallurgie, toutefois, il faut mentionner la lixiviation biologique, la lixiviation sous pression, la lixiviation en tas (cas de minerai pauvre) et la lixiviation en place.

En dehors de la métallurgie extractive, la lixiviation est également employée dans l'industrie alimentaire (sucrierie) et dans l'industrie chimique.

### I.I.I LA LIXIVIATION ACIDE:

Actuellement, la lixiviation acide des minerais uranifères et des concentrés est la méthode la plus répandue et la plus utilisée. Près de 90% (dans les pays capitalistes) des minerais uranifères sont traités par lixiviation à l'aide de solution d'acide sulfurique, chlorhydrique et nitrique. L'acide le plus utilisé est l'acide sulfurique avec un surplus, ou sans surplus d'oxydant. L'utilisation de l'acide chlorhydrique ou nitrique risque d'être prohibitive, car tout en étant



11) Flowsheet de la Lixiviation acide

de bons dissolvants, ces acides sont très chers et dégagent des vapeurs corrosives qui endommageraient les installations.

La lixiviation acide possède plusieurs avantages par rapport à la lixiviation basique, ces avantages se résument comme suit:

- 1) Permet d'obtenir un plus grand retrait d'uranium.
- 2) Exige un plus gros broyage du minerai.
- 3) Met moins de temps pour le traitement.
- 4) En général peut se faire dans des conditions normales ( $T=18$  à  $20^{\circ}\text{C}$ ).

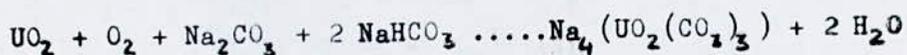
La lixiviation acide s'applique pour les minerais silicates, aluminosilicates, les sulfures et autres (avec un peu de carbonates).

En plus des avantages cités ci-dessus, l'acide sulfurique est le moins cher, sa consommation est estimée à 30 à 100 Kg/tonne de minerai et ne risque pas d'endommager les installations par corrosion. Mais l'utilisation de la lixiviation acide est déconseillée si les minerais contiennent des carbonates (1 Kg de carbonate consomme environ 1 Kg d'acide).

Le flowsheet représente ci-contre (1) est le schéma général de la lixiviation acide.

#### 1.1.2 LA LIXIVIATION ALCALINE:

La lixiviation alcaline est basée sur la propriété qu'a l'uranium hexavalent à former des sels stables avec des solutions carbonatées et tricarbonatées. Les sels de tricarbonatés d'uranyle sont le résultat de la réaction suivante:

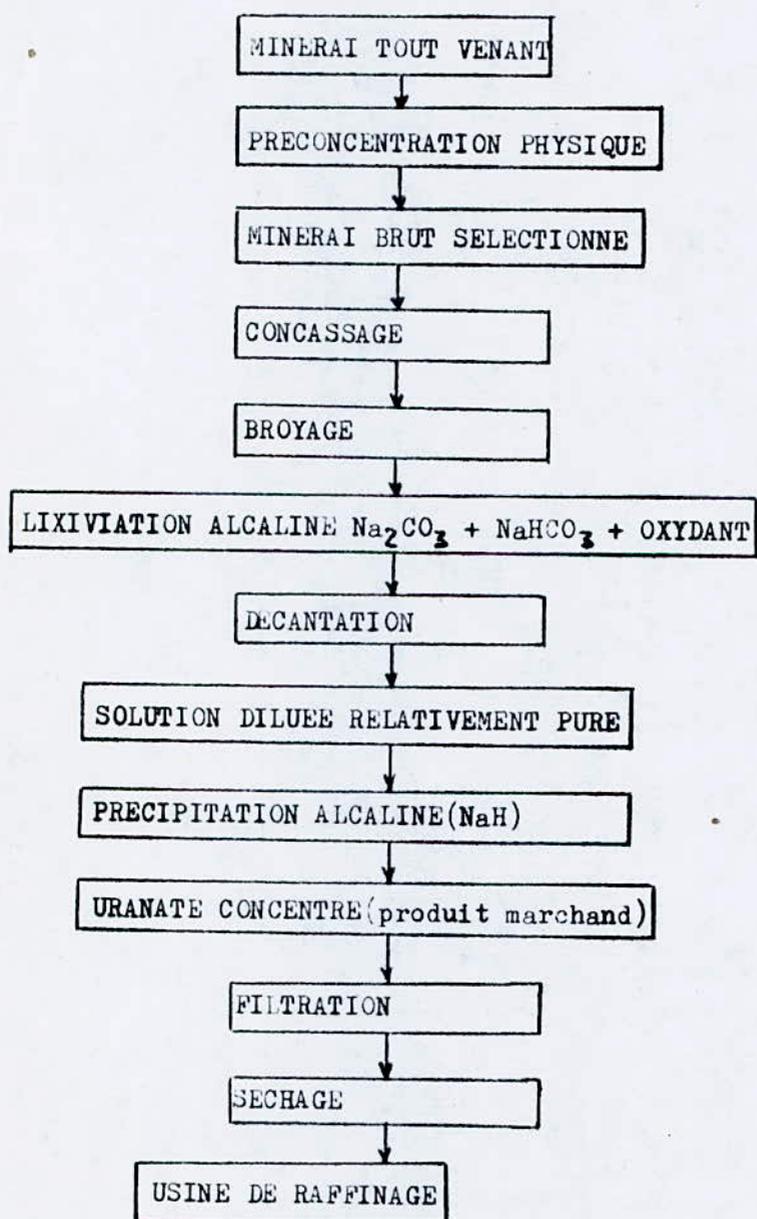


La lixiviation alcaline ou carbonatée est utilisée pour extraire l'uranium des minerais carbonatés et plus généralement des minerais ayant une forte teneur en carbonates de fer, de calcium et de magnésium.

La lixiviation alcaline possède certaines qualités qui sont:

- 1) Endommagement par corrosion moins important.

Fig 2: FLOWSHEET DE LA LIXIVIATION ALCALINE



- 2) Selectivité de l'action sur les minerais uranifères.
- 3) Faible consommation de réactifs.
- 4) Permet l'extraction des éléments d'uranium et de molybdène.

En plus des qualités que possède la lixiviation alcaline, elle présente certains inconvénients qui sont:

- 1) Récupération en uranium moins importante.
- 2) Le bicarbonate est plus cher que l'acide sulfurique (1,5 à 2 fois plus).

La lixiviation basique par les solutions carbonatées nécessite l'emploi d'oxydants tels que l'hypochlorite, le permanganate, le ferrocyanure de sodium, l'ammoniaque, le cuivre et l'oxygène de l'air. Mais la plus part de ces oxydants coutent cher, c'est pourquoi on a recours à l'oxygène de l'air où l'oxygène gazeux qui sont suffisamment puissants pour oxyder beaucoup de métaux.

Souvent, on opère une élévation de la pression partielle de l'oxygène pour accélérer la cinétique d'oxydation

La figure n° 2 représente le flowsheet de la lixiviation alcaline

### I.1.3 LA LIXIVIATION SOUS PRESSION:

En hydrometallurgie, pour qu'une réaction utilisant des solutions aqueuses puisse avoir lieu, il faut atteindre une température bien définie qui est à la limite égale à la température d'ébullition (et ceci à la pression atmosphérique)

Certaines réactions nécessitent des températures supérieures au point d'ébullition pour qu'elles s'effectuent avec des vitesses notables, ce type de réactions exige l'emploi d'autoclave (récipient à parois épaisses et à fermeture hermétique). En général, pour des raisons purement technologiques, la température et la pression ne dépassent pas 200°C et 15 bars respectivement.

La lixiviation sous pression peut s'effectuer aussi bien en milieu acide qu'en milieu basique. Elle est employée dans le but d'améliorer les réactions ayant lieu au cours du processus de lixiviation, car la cinétique et l'équilibre des réactions sont fortement influencés par la température et la pression.

#### I.1.4 LA LIXIVIATION EN TAS:

La lixiviation en tas est appliquée essentiellement pour les minerais marginaux, c'est une opération lente, mais en revanche; elle permet de récupérer 10 à 70 % d'uranium qui serait perdu sans cela. Ces dernières années, ce procédé est devenu une méthode pratique de lixiviation et tend à se généraliser de plus en plus.

Elle est la succession de plusieurs opérations qui sont:

##### 1) Préparation de l'aire:

Elle consiste à créer une aire étanche (nivellement et revêtement étanche).

##### 2) Préparation du tas:

Elle consiste à charger l'aire, la dimension (hauteur) du tas dépend principalement de la nature du minerai.

##### 3) LA lixiviation:

Elle consiste à envoyer le réactif approprié à travers des tubes en plastic perforés placés en haut du tas.

##### 4) Récupération des solutions:

Une partie des solutions récupérées est destinée à la production de concentrés et est remplacée par des réactifs neufs. Le reste est recyclé sur le tas en constituant ainsi un circuit fermé.

La lixiviation se termine généralement par un lavage avec de l'eau acidulée.

La lixiviation en tas possède certains avantages qui sont:

-Utilisation de matériel réduit.

-Ne nécessite qu'un éventuel concassage, élimine certaines opérations onéreuses telles que la séparation liq uide/ solide et le broyage fin.

Dans certains cas, la lixiviation en tas nécessite l'emploi de quelques techniques pour augmenter son rendement. C'est le cas de minerais dont les éléments de la gangue consomment beaucoup d'acide, en ce sens, une immersion

du minerai dans le lixiviant pendant une durée bien déterminée est souvent recommandée.

Il existe d'autres techniques susceptibles d'apporter une amélioration à ce procédé comme:

° Mélange avec d'autres minerais.

° Prétraitement du minerai.

° Séparation préalable des fines et leur traitement.

### I.1.5 LA LIXIVIATION BIOLOGIQUE:

#### I.1.5.1 Historique:

Des la fin de la deuxième guerre mondiale, des bactéries ont été isolées dans le but de les utiliser à une échelle industrielle. Ces bactéries ont comme source d'énergie le soufre élémentaire, l'anhydride sulfureux ou le thiosulfate et survivent dans des milieux relativement acides en construisant leur organisme à partir du carbonate et de l'anhydride carbonique.

L'espèce la plus connue est le thiobacillus, mais à partir de l'année 1949, un autre type de bactérie fut isolé dans les eaux des mines de charbon aux ETATS UNIS D'AMERIQUE, il s'agit du thiobacillus ferrooxidans. Plus tard, vers les années cinquante, d'autres bactéries ont été isolées comme le ferrobacillus ferrooxidans et vers les années soixantes, le ferrobacillus sulfooxidans.

#### I.1.5.2 PRINCIPE DE LA LIXIVIATION BIOLOGIQUE:

Il est possible d'utiliser la propriété qu'ont les thiobacillus d'oxyder le fer ferreux en fer ferrique et de produire à partir de la pyrite de l'acide sulfurique et du sulfate de fer dans la mise en solution de certains métaux. Dans certains cas, on est parvenu à extraire 90 % d'uranium à partir d'un minerai ayant une granulométrie inférieure à 2.5 mm en utilisant des solutions dont le pH est de 1.5 après une durée de 5 à 100 semaines à une température de l'ordre de 32°C.

Dans le cas de boue provenant de mines d'or par exemple, l'étude des facteurs influençant montre que par suite de la finesse des produits, il est nécessaire d'introduire de l'air pour accélérer la cinétique de mise en solution, d'autant plus que l'oxygène de l'air est un puissant oxydant

Certe, ce procédé de lixiviation est relativement lent, mais la consommation en réactif est nulle.

Parmi les méthodes de lixiviation, on distingue:

-Lixiviation avec agitation.

-Lixiviation statique ou en tas: utilise surtout pour les minerais pauvres

-Lixiviation sous-pression.

Enfin, la lixiviation biologique est utilisée pour un bon nombre de minerais comme les minerais sulfurés et les minerais oxydés.

#### I.1.6 LA LIXIVIATION EN PLACE :

La lixiviation en place des minerais est une méthode d'exploitation qui consiste à établir dans la masse d'un gisement un flux de solvant sélectif de la substance utile. Le solvant est pompé dans des installations de surface où il est épuisé du métal contenu et est recyclé vers le gisement après reconditionnement.

Idealement, la lixiviation en place fait donc l'économie des opérations d'extraction, de concassage, de broyage et le solvant sélectif utilisé est non polluant.

Selon la nature du gisement, la lixiviation en place nécessite souvent des opérations préalables qui permettent de préparer le minerai. Dans le cas de gisements non poreux, par exemple, on procède à une fragmentation par tir d'explosifs.

Pour l'uranium au moins, cette technique est éprouvée et performante.

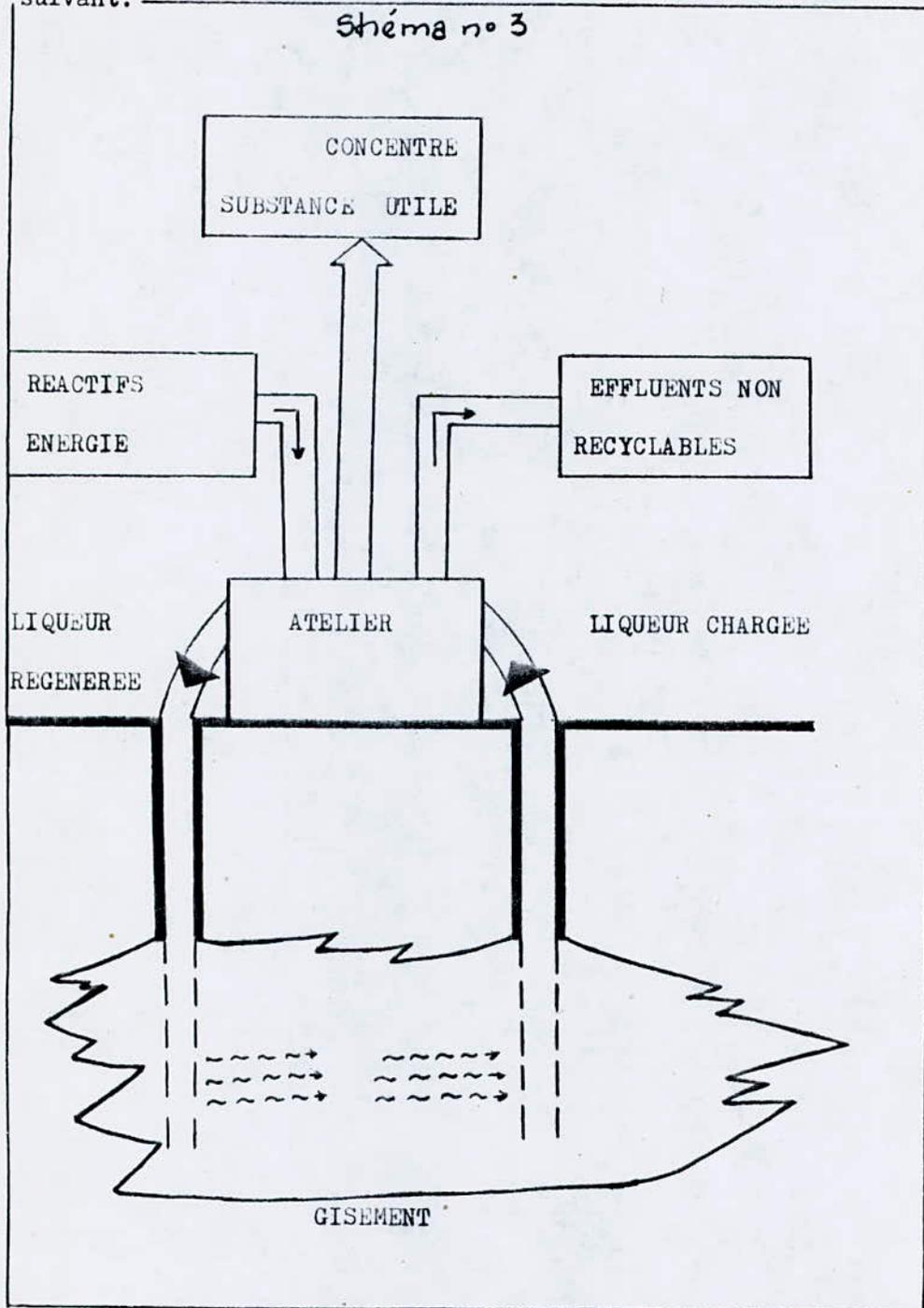
Principe réactionnel de lixiviation:





(12) Le principe de la lixiviation en place est represente dans le schema n° 3

suivant:



## I.2 THEORIE DE LA LIXIVIATION:

### I.2.1 PRINCIPES DE LA LIXIVIATION ACIDE: (9)

Le procédé de lixiviation dépend des caractéristiques physiques du minerai telles que le type de minéralisation, la facilité de libération du minerai et la nature des constituants du minerai.

La lixiviation acide utilise le plus souvent l'acide sulfurique comme lixiviant, l'acide nitrique est un puissant oxydant mais il est très cher et forme des nitrates d'uranyle qui sont incompatibles avec l'utilisation des membranes échangeuses d'anions dans la phase extraction. Quant à l'acide chlorhydrique, il est encore plus cher et corrosif.

Le processus de lixiviation a été l'objet de recherches de nombreux chercheurs. Ces derniers ont établi certains principes de bases qui régissent la vitesse de dissolution d'un composé dans une solution déterminée, on peut résumer ces principes comme suit:

1) La lixiviation est un processus de diffusion avec une vitesse de dissolution proportionnelle à la concentration en réactif, la température, l'aire de la surface du solide et la vitesse de diffusion à travers la couche de solution adjacente à la surface solide.

Généralement, la vitesse de lixiviation (dissolution) augmente de 1.5 à 2 fois pour un accroissement de température de 10°C.

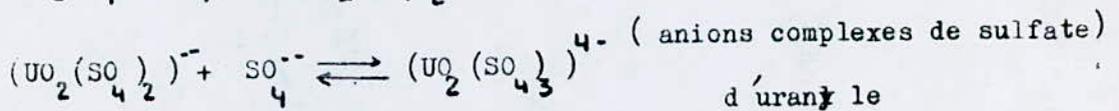
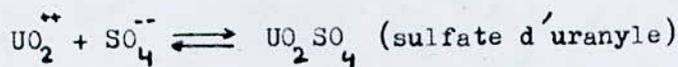
2) La vitesse de diffusion est fonction de l'épaisseur de la couche de diffusion et est inversement proportionnelle à la racine carrée de la vitesse de mouvement des phases (liquide et solide) l'une par rapport à l'autre. L'agitation de la pulpe réduit l'épaisseur de la couche de diffusion et améliore la vitesse de lixiviation. Avec une agitation suffisante, la vitesse n'est plus contrôlée par la diffusion, mais est proportionnelle à la réaction chimique à la surface du minerai et donc à l'aire de la surface.

3) Dans le cas de la lixiviation sous-pression, la vitesse d'oxydation est directement proportionnelle à l'aire de la surface et à la pression partielle de l'oxygene.

4) Le coefficient de diffusion diminue avec l'augmentation de la viscosite, cette augmentation est causée, soit par une grande densité, soit par une grande concentration des boues.

#### I.2.2 MECANISMES REACTIONNELS DE LA LIXIVIATION ACIDE:

L'acide sulfurique s'ionise en solution pour former des ions sulfates bisulfates et d'hydrogene. La reaction avec l'uranium hexavalent, qui se dissout sous forme de  $UO_2^{++}$ , produit du sulfate d'uranyle et des anions complexes de sulfate d'uranyle selon les réactions suivantes:



L'uranium dissout peut exister sous les formes ci-dessus et ceci en dependance de la concentration en acide, la teneur en uranium, la temperature et d'autres variables complexes.

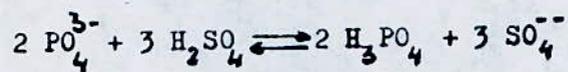
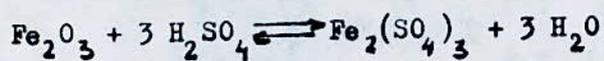
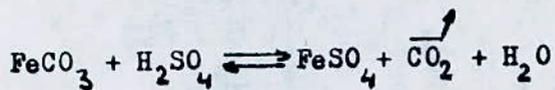
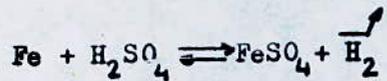
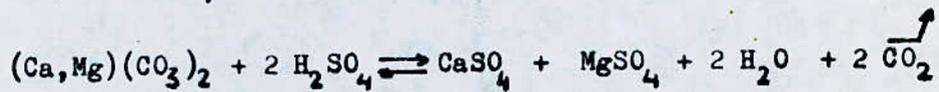
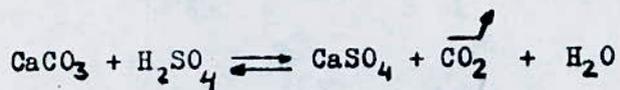
L'uranium tetravalent doit passer à la valence six pour que la dissolution puisse avoir lieu. Le fer ferrique est employé abondamment comme oxydant dans les opérations de lixiviation des mineraux dont l'uranium est en majeure partie tetravalent.

La consommation en acide est fonction des constituants présents dans la gangue. La calcite, dolomite, magnesite et la siderite reagissent facilement avec des acides a faibles concentrations et à temperatures ambiantes.

Les sulfures, les métaux ferreux, les phosphates, les molybdates, les vanadates, les oxydes...etc, consomment plus d'acide et contaminent les so-

-lutions quand la température ou la concentration en acide augmentent

Les réactions sont de la forme :



### I.2.3 PROCESSUS DIFFUSIONNEL AU COURS DE LA LIXIVIATION:

La lixiviation est un ensemble de processus complexes hétérogènes, ces processus sont de nature physique ou chimique ou les deux à la fois.

La vitesse de lixiviation, donc la quantité de produit passant dans la solution par unité de temps, est en étroite liaison avec certains facteurs notamment la température, la concentration en réactif et la nature de l'oxydant s'il y'a lieu. Cette vitesse varie de façon continue et peut être représentée par la formule suivante:

$$\frac{dG}{dt} = - J \cdot S \quad (1)$$

J: flux de lixiviation, donc la quantité de l'élément lixivié passant en solution par unité de temps et par unité de surface de la phase solide ou autrement, c'est la vitesse spécifique de lixiviation.

G: quantité de produit lixivié dans la phase solide.

S: surface de contact liquide/solide.

Le processus de lixiviation est essentiellement lié au transfert de matière d'une phase solide dans une phase liquide et sera régi par les lois de la diffusion.

Au cours de la lixiviation, deux types de diffusion entrent en compétition:

- La diffusion a lieu à la surface de la particule (diffusion externe), ce type de diffusion se rencontre dans le cas de minéralisation existant sous forme de grains poreux, c'est à dire à une taille inférieure à la maille de libération du minéral.

- La diffusion s'effectue vers l'intérieur de la particule et dans son volume (diffusion interne), c'est le cas de minéralisation existant sous forme disséminée (où il est difficile d'atteindre la maille de libération)

#### I.2.4 FLUX DE LIXIVIATION :

Considerons la reaction hétérogène liquide-solide du type :



b, c et d : coefficients stoechiométriques .

Le processus de lixiviation évolue suivant la réaction ci-dessus en passant par les étapes suivantes :

- 1) Transfert de masse des éléments réagissant entre le volume de la solution liquide et la surface externe des particules solides.
- 2) Reaction chimique entre réactif et particules solides.
- 3) Diffusion des produits de la réaction à travers les pores du solide.

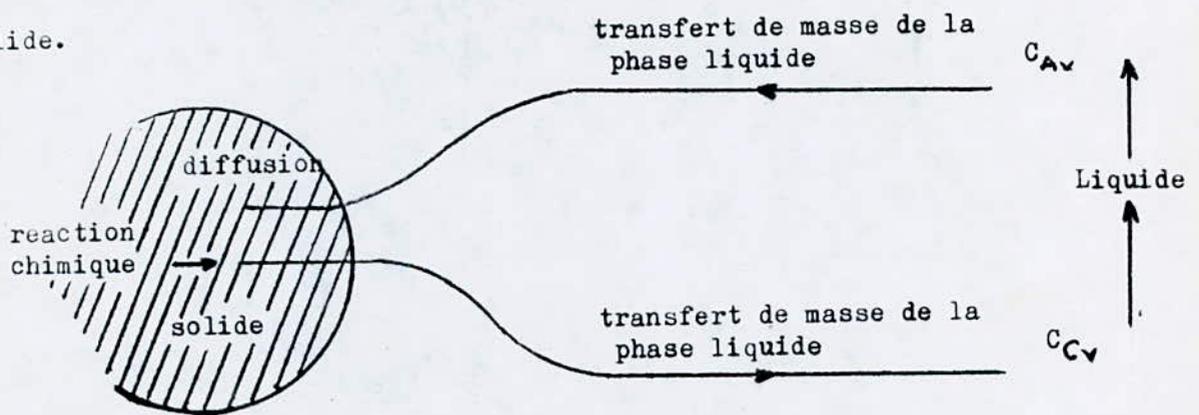


DIAGRAMME SCHEMATIQUE DU PROCESSUS REACTIONNEL (7)

Soit  $n_A$  le flux de lixiviation de A, il est donné par la formule suivante :

$$n_A = k_m (C_{Av} - C_{As}) \quad (7)$$

$k_m$  : coefficient de transfert de masse (matière) .

$C_{As}$  : concentration en A près de la surface solide.

$C_{Av}$  : concentration en A dans le volume de la solution liquide.

Le processus hétérogène de lixiviation passe en réalité par les

$C_{Cv}$  : concentration en C dans le volume de la solution .

étapes suivantes :

1- Transport diffusionnel vers la surface de la phase solide à travers la couche liquide.

2- Transport de diffusion du réactif à travers la couche du produit solide de la réaction.

3- Réaction chimique à l'interface.

a) Adsorption du réactif

b) Réaction chimique proprement dite

c) Désorption des produits

4- Diffusion des produits à partir de l'interface

5- Transport de diffusion des produits de la réaction à travers la couche du liquide adjacente à la surface de la phase solide.

### I.3 METHODES D EXTRACTION DE L URANIUM A PARTIR DES SOLUTIONS D ATTAQUE:

Il est possible de recuperer par precipitation l uranium contenu dans les jus d attaque, toutefois, il est generalement necessaire de le concentrer par des procedes physico-chimiques qui permettent en plus d isoler l uranium des impuretes et de ce fait eviter des precipitations simultannees.

On distingue deux methodes d extraction qui sont :

a) Sur membranes echangeuses d ions:

On utilise surtout des resines (membranes) echangeuses d anions du type base forte a ammonium quaternaire, genre Amberlite. L uranium se fixe sous formes de complexes. Quand la resine est saturee, on elue l uranium par passage de chlorure ou de nitrate qui retiennent l uranium et regenere la resine. L uranium est ensuite precipite sous forme d uranate.

Deux cas de recuperations doivent etre soulignes selon que l on utilise un milieu sulfurique ou alcalin.

- Milieu sulfurique:

L uranium hexavalent est present sous forme de  $UO_2^{4+}$  et de molecules non dissociées  $SO_4UO_2$  pour un domaine de pH compris entre 1 et 2, pour des concentrations inferieures a 2 gr/l.

- Milieu alcalin:

L interet de la recuperation de l uranium en milieu alcalin est le recyclage de la liqueur de carbonate de sodium  $NaCO_3$  apres qu elle ait ete epuisee en uranium

Le complexe uranyle carbonique  $(UO_2(CO_3)_3)^{4-}$  se fixe sur la resine suivant la reaction qui suit:



R: cation de la resine ; X: anion ( $Cl^-$ ,  $NO_3^-$ )

b) A l' aide de solvant organique:

Cette methode est universellement employée, elle a sur la methode aux resines l'avantage d'operer en continu et d'etre peut etre plus selective, mais les solutions doivent etre plus concentrées et les solvants utilisés risquent de se montrer dangereux pour l'environnement. On utilise comme solvants des alcoylphosphates, le tributylphosphate ou des amines.

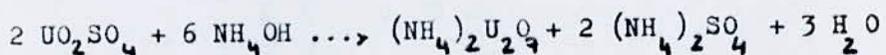
### I.3.1 PREPARATION DES CONCENTRES:

Les solutions provenant de l'elution des resines ou de la reextraction des solvants sont assez diluées (de quelques grammes a quelques dizaines par litres), on les precipite generalement en deux temps: d'abord a la chaux, qui élimine surtout le fer et les sulfates, puis à la soude, l'ammoniaque ou la magnesie, ce qui donne l'uranate correspondant suivant les reactions:

- Avec la soude (apres reextraction à la chaux):



- Avec l'ammoniaque:



- Avec la magnesie:



Ces uranates sont separés par filtration, séchés et parfois calcinés. Il constituent le produit marchand par excellence, appelle ' yellow cake ' à cause de sa couleur.

### I.3.2 RAFFINAGE DES CONCENTRES:

Les concentres ainsi obtenus, meme ceux à l'etat de nitrate d'uranyle en solution, sont insuffisamment purs. Il s'agit de leur conferer la purete dite 'nucleaire'

### I.3.3 MISE EN SOLUTION DES CONCENTRES SOLIDES:

Elle s'effectue facilement à chaud dans l'acide nitrique. On s'arrange de maniere à obtenir, apres attaque, une concentration voisine de la saturation (environ 370 gr de nitrate d'uranyle/l). L'utilisation du TBP comme solvant d'extraction dispense d'y ajouter des relargants (nitrates divers, facilitant le passage de l'uranium dans la phase solvant)

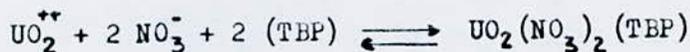
Les impuretes (silice, phosphate, oxyde de titane et autres) sont separees par essorage ou filtration, mais cela provoque des effluents, et certains producteurs preferent operer l'extraction par solvant directement (dans le cas de concentres relativement purs).

### I.3.4 PURIFICATION PAR SOLVANT:

Cette operation s'effectue en trois phases:

#### - Extraction:

Le TBP forme un complexe avec le nitrate d'uranyle selon la reaction d'equilibre suivante:



#### - Lavage:

Le lavage s'effectue avec de l'eau (10 % environ) ou encore avec de l'acide nitrique diluée (ameliore la purification)

#### - Reextraction:

Elle consiste à faire repasser l'uranium en phase aqueuse, operation facilitée par une faible elevation de temperature (40°C) et eventuellement

par une faible addition d'ammoniaque qui neutralise l'acide nitrique libre

Ces trois opérations se font soit à contre courant, soit en mélangeur-  
decanteur ou soit en colonnes.

## CHAPITRE II

### PARTIE EXPERIMENTALE

#### II.1 MINERAIS ET MINERAUX D URANIUM

##### II.1.1 MINERAIS D URANIUM

##### II.1.2 MINERAUX D URANIUM

#### II.2 MINERAIS D ABANKOR

##### II.2.1 APERCU GEOLOGIQUE ET METALLOGENIQUE SUR ABANKOR

###### II.2.1.1 GEOLOGIE REGIONALE

###### II.2.1.2 MINERALISATION URANIFERE D ABANKOR

###### II.2.1.3 SYNTHESE PETROGRAPHIQUE

###### II.2.1.4 CARACTERISTIQUES CHIMIQUES DU MINERAI D ABANKOR

#### II.3 PREPARATION DE L'ECHANTILLON

##### II.3.1 ENRICHISSEMENT

##### II.3.2 FRAGMENTATION

###### II.3.2.1 CONCASSAGE

###### II.3.2.2 TAMISAGE ET CLASSIFICATION

#### II.4 METHODOLOGIE

##### II.4.1 BUT RECHERCHE

##### II.4.2 MATERIEL UTILISE

##### II.4.3 MODE OPERATOIRE

## II.I MINÉRAIS ET MINÉRAUX D'URANIUM:

### II.I.I MINÉRAIS D'URANIUM:

Actuellement, on connaît une centaine de minerais d'uranium divers, ces derniers se répartissent en trois catégories:

#### - Minerais primaires ou hypogènes:

L'uranium s'y trouve en majeure partie sous formes d'oxydes et à l'état tétravalent. Les principaux sont la pechblende et l'uraninite. Certains uraninites contiennent de l'oxyde de thorium et sont connus sous le nom de urano-thorianites. On distingue aussi les niobio-titano-tantalates d'uranium tels que: betafite, brannerite, davidites et bien d'autres.

#### - Minerais secondaires ou supergènes:

L'uranium s'y trouve essentiellement à la valence six. Ces minerais sont l'aboutissement d'une oxydation suivie d'une hydratation des minerais primaires. Les principaux sont: les gunnites, les phosphates (autunite), la chalcocite, parsonite, carnotite ....etc

Ce genre de minerais se rencontre en général près de la surface, par contre le premier genre cité plus haut se rencontre en profondeur.

#### - Substances à uranium dispersées:

C'est un mélange d'uranium tétravalent et d'oxydes de métaux (titan, niobium, thorium)

### II.I.2 MINÉRAUX D'URANIUM:

On distingue deux catégories:

- Minéraux primaires ou endogènes.
- Minéraux secondaires ou exogènes

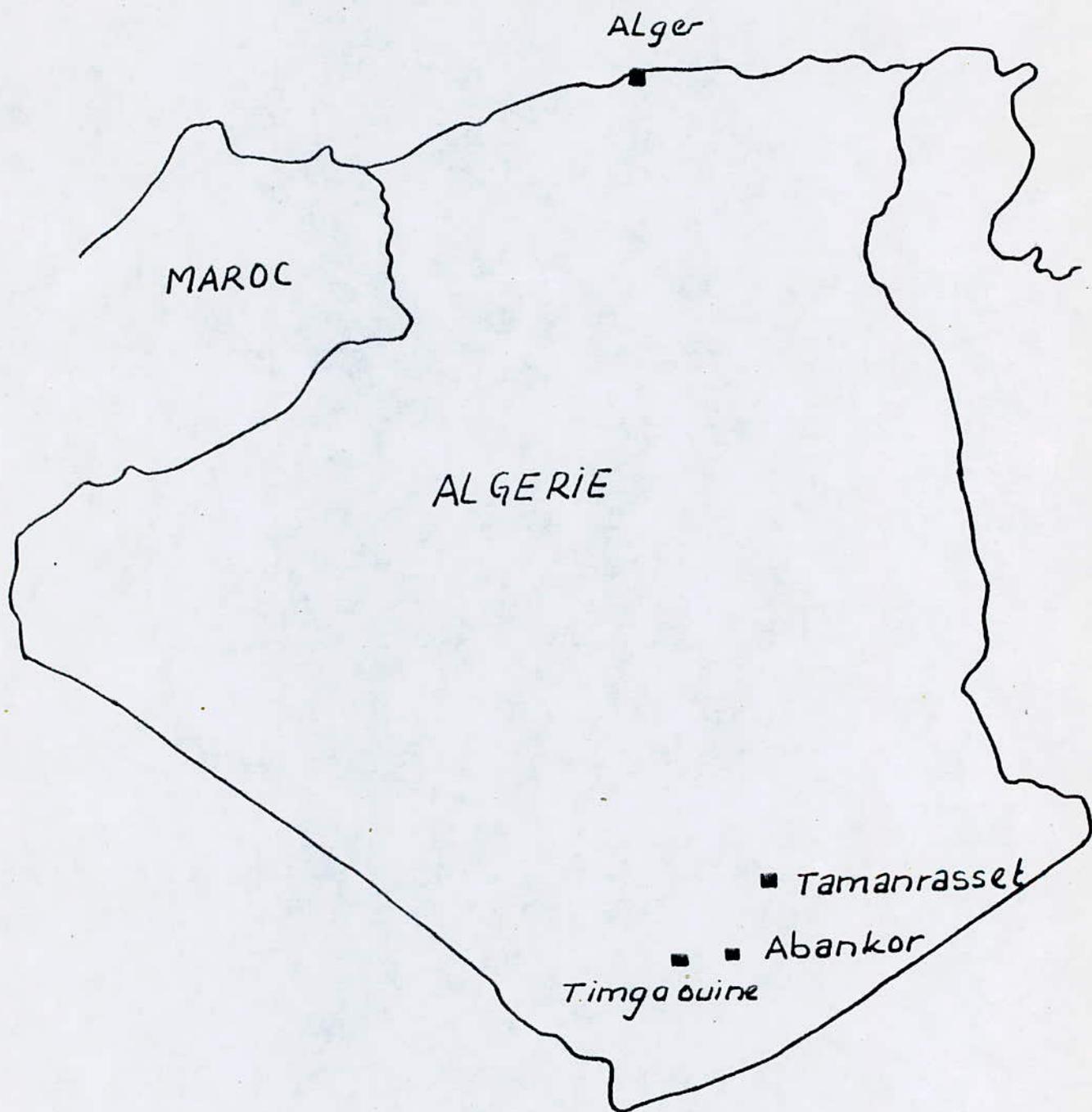
Du point de vue chimique, les minéraux d'uranium peuvent se classer

de la maniere suivante:

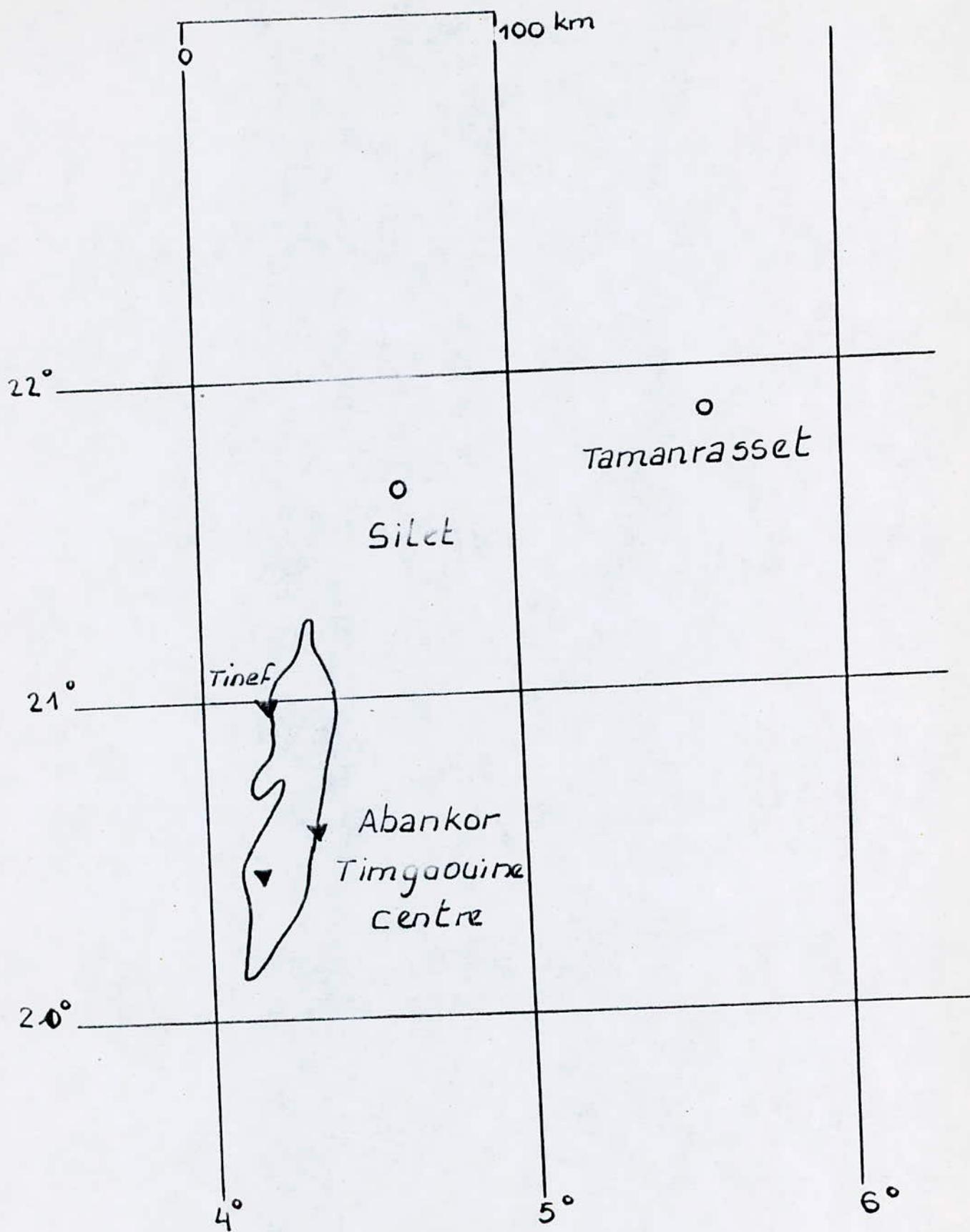
- 1) Oxydes
- 2) Silicates
- 3) Titanates
- 4) Tantalo-niobium
- 5) Titano-tantalo-niobium
- 6) Sulfates
- 7) Carbonates
- 8) Sulfato-carbonates
- 9) Phosphates
- 10) Arsenates
- 11) Vanadates
- 12) Molybdates
- 13) Liaisons organiques contenant de l uranium

Remarque:

L'uranium n'existe pas dans la nature à l'état métallique ( uranium natif)



Carte Géographique des Gisements  
Uranifères d'ALgerie



Position Géographique du Gisement  
D'Abankor

## II.2.1.2 MINERALISATION URANIFERE D ABANKOR:

Cette mineralisation est liée à la zone de fracture 4°50 située dans la partie axiale des faciés quartzo-feldspathiques mylonitises. Cette zone de fracture représente le canal principal ayant permis la circulation des solutions métalliques qui se sont digitées suivant l'existence de cassures connexes retraçant la structure hétérogène des dépôts mineralisés en uranium.

Cette zone a été interceptée par sondage et son extension a été prouvée par tranches et sondages carottants.

La complexité de cette zone a nécessité une maille de sondage serrée avec des forrages inclinés qui ont abouti à une première évaluation des réserves du gisement. Mais nous devons toutefois, ajouter que la géométrisation des filons d'uranium ne peut être faite de façon définitive que par des sondages de contrôle ou de confirmation qui leveront les indéterminations relatives à des extrapolations parfois hasardeuses.

Le calcul effectué par la SONAREM a abouti à environ 8200 tonnes d'uranium à une teneur moyenne de l'ordre de 0.275 %.

Selon les données de sondage, on constate une grande variation des réserves et environ 6000 tonnes de métal se trouvent concentrés entre les différentes coupes.

D'autre part, on constate également une diminution des réserves avec la profondeur et une chute brusque du volume de métal entre 100 et 250 m de profondeur; mais un bon nombre de sondages se sont arrêtés entre 100 et 150 m alors qu'aucun critère n'excluait la présence d'uranium plus bas.

L'extension des zones mineralisées aussi bien au nord qu'au sud d'ABANKOR centre a été prouvée par sondages et tranchées. Ainsi, il a été mis en évidence à DAIRA SUD 2000 tonnes d'uranium métal ainsi que la présence de bonnes teneurs à LAKHDAR, HICHEM et ABANKOR NORD (une teneur moyenne de 0.09 % d'uranium. Ces zones obéissent aux mêmes critères pétrographiques que

ceux d'ABANKOR centre.

Les éléments uranifères de la région d'ABANKOR sont soulignés essentiellement par des produits jaunes (gummite, uranolite et autunite) caractéristiques de la zone d'oxydation, et les produits noirs (pechblende, uraninite) dans les niveaux inférieurs. Ces derniers ne sont visibles qu'en section polie ou en lames minces.

D'intenses phénomènes hydrothermaux ont affecté la région d'ABANKOR et différents processus de transformations se sont caractérisés au niveau de cette région. Une intense hématite a été observée dans les zones minéralisées, mais ce phénomène diminue d'intensité à mesure que l'on s'éloigne des zones minéralisées.

Le mur du gisement d'ABANKOR est marqué d'après les données de sondages par une faille à remplissage argileux avec des teneurs en uranium exceptionnelles (de l'ordre de 2 à 3 % d'uranium et présence de molybdène)

### II.2.1.3 SYNTHÈSE PETROGRAPHIQUE:

La synthèse pétrographique est effectuée selon deux méthodes qui sont:

- En lames minces:

L'association minéralogique est représentée essentiellement par: uranolite, gummite, phosphate d'uranium, oxyde et hydroxyde de fer, minéraux de titane, zircon, quartz et carbonates....etc.

Plus rarement, on observe de petits agrégats micacés et des écailles verdâtres de disparates, ayant les caractéristiques optiques de certains phosphates d'uranium (autunite et torbernite)

Parfois, on observe de minces filonnets de minéraux d'uranium secondaire qui s'ordonnent en agrégats parallèles perpendiculairement aux filonnets et ayant les caractéristiques optiques de l'uranotile.

Communément, les minéraux secondaires d'uranium sont associés aux hydroxydes de fer et assez souvent à des minéraux de titane.

- En sections polies:

L'association des minéraux métalliques est généralement représentée par la pyrite en grande partie et plus rarement par la marcassite, galène, la blende et mospickel ainsi que des oxydes de fer, cependant l'absence d'analyse diffractométrique ne permet pas de déterminer exactement la composition mineralogique des produits noirs de la mineralisation d'ABANKOR.

Une analyse aux rayons x de ces produits permet de distinguer deux types de constituants.

L'un, dont la structure est celle d'une pechblende, connu sous le nom de 'neopechblende'

L'autre, dont les caractéristiques cristallographiques sont celles de la coffenite.

#### II.2.1.4 CARACTERISTIQUES CHIMIQUES DU MINERAIS D'ABANKOR:

La matrice de la mineralisation joue un rôle très important dans le choix des paramètres de traitement.

Les constituants de la matrice sont portés sur le tableau suivant:

CONSTITUANTS	SiO <sub>2</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	TiO <sub>2</sub>
TENEURS EN %	63.79	4.6	12.25	2.42	2.9	0.6

ELEMENTS	TENEURS EN %
Mn	$5.10^{-2}$
Ni	$2.10^{-3}$
Co	$8.10^{-3}$
Ti	$3.10^{-1}$
V	$3.10^{-3}$
Cr	$2.10^{-2}$
Mo	$\geq 10^{-4}$
Zr	$5.10^{-2}$
Cu	$6.10^{-3}$
Pb	$4.10^{-2}$
Ag	$5.10^{-5}$
Bi	$< 10^{-4}$
As	$2.10^{-2}$
Zn	$4.10^{-2}$
Cd	$< 10^{-3}$
Sn	$8.10^{-4}$
Ga	$4.10^{-3}$
Be	$< 10^{-4}$
Y	$5.10^{-3}$
Yb	$10^{-3}$
Li	$< 10^{-3}$
U	$2.10^{-1}$
Th	—
P	—
Nb	—

TABLEAU : RESULTATS DE L'ANALYSE  
SPECTROGRAPHIQUE

### II.3 PREPARATION DE L 'ECHANTILLON :

A la sortie de la mine, le minerai brut ou tout venant est généralement à faible teneur, c'est pourquoi il est plus économique de le transformer sur place par des procédés physiques en concentrés.

#### II.3.1 ENRICHISSEMENT :

On utilise diverses méthodes pour l'enrichissement des minerais uranifères selon leur minéralogie :

- Méthode de triage radiométrique
- Séparation des suspensions lourdes
- Gravimétrie
- Flottation

D'une façon générale, les minerais d'uranium se prêtent mal à la concentration par voie physique (gravimétrie, flottation...etc ), les traitements chimiques se sont avérés d'un meilleur rendement

#### II.3.2 FRAGMENTATION :

##### II.3.2.1 CONCASSAGE :

Le concassage est une opération qui a pour but d'amener le minerai à un certain degré de libération, il est effectuée en deux étapes (dans notre cas) qui sont :

- Sur concasseur à cylindres : a permis d'amener la taille des particules à quelques centimètres .
- Sur concasseur à mâchoires : a permis de réduire la taille des à l'ordre du millimètre (c'est le concassage à percussion)

##### II.3.2.2 TAMISAGE ET CLASSIFICATION :

Ces operations amènent le minerai à une granulométrie favorable au mode de traitement envisagé.

Le tamisage consiste à placer, sur une surface comprenant des vides calibrés, un mélange de particules initialement concassées. Les particules dont deux dimensions au moins sont inférieures à celles des vides traversent la surface, les autres sont retenues

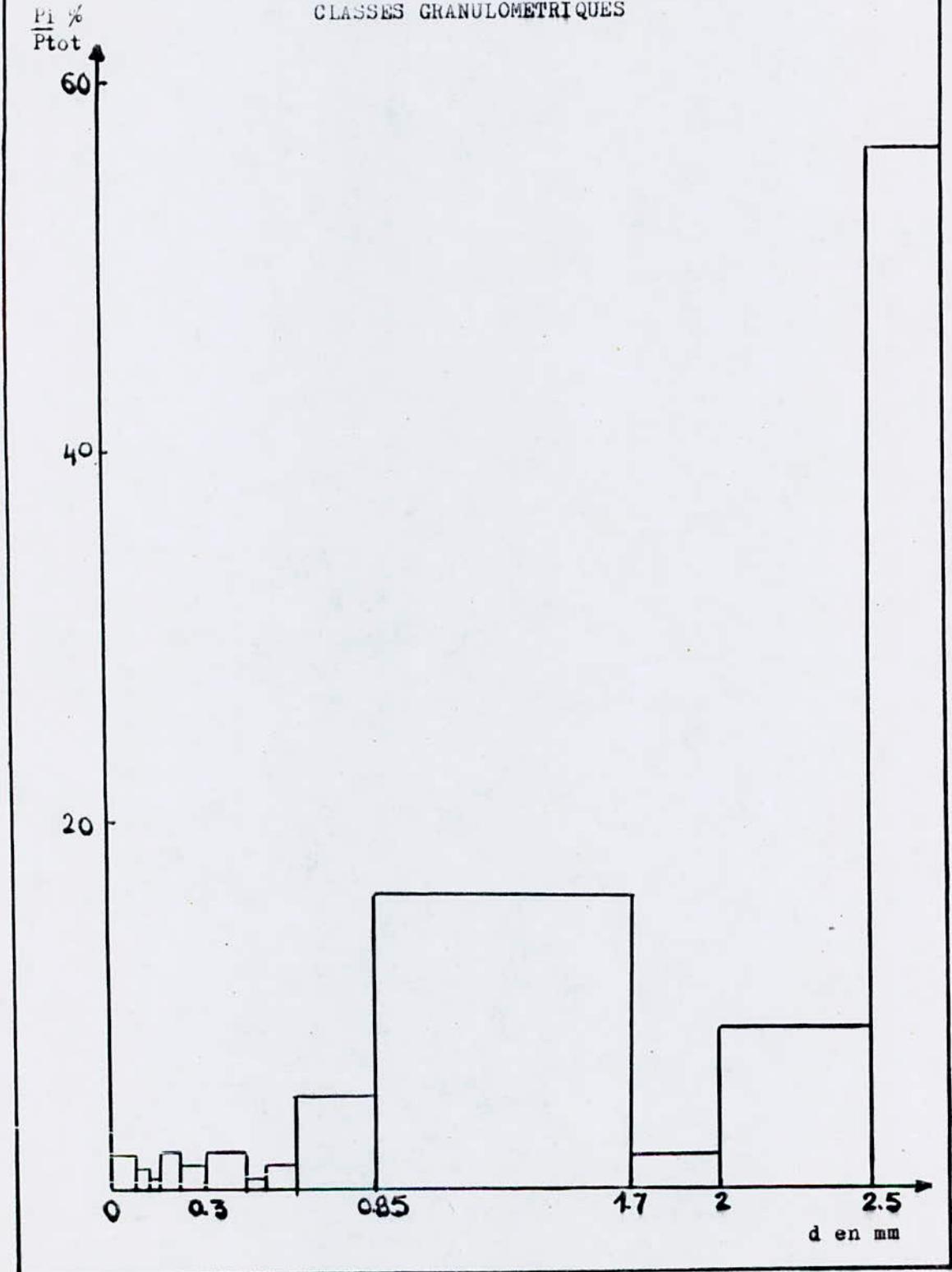
Le tamisage et la classification ont permis de faire la répartition granulométrique en fonction des pourcentages massiques (voir tableau)

Classes granulométriques	Poids en gr P <sub>i</sub>	$\frac{P_i}{P_{total}}$ %	Refus cumules %	Passes en % cumules
d > 2.5	3980	57.2	57.2	48.8
2 < d < 2.5	600	8.62	65.82	34.18
1.7 < d < 2	125	1.79	67.61	32.39
0.85 < d < 1.7	1105	15.89	83.5	16.5
d > 0.6	350	5.03	88.53	11.47
0.5 < d < 0.6	90.5	1.3	89.83	10.17
0.425 < d < 0.5	40.5	0.58	90.41	9.59
0.3 < d < 0.425	150.5	2.16	92.57	7.43
0.2 < d < 0.3	95	1.36	93.93	6.07
0.125 < d < 0.2	150	2.15	96.08	3.92
0.106 < d < 0.125	40.5	0.58	96.66	3.34
0.08 < d < 0.106	90.5	1.3	97.96	2.04
d > 0.08	140.5	2.02	100	0
Somme $\Sigma$	6958	100		

(D.3.2.2) TABEAU: POURCENTAGES MASSIQUES EN FONCTION DES CLASSES GRANULOMETRIQUES

(1.3.2.2)

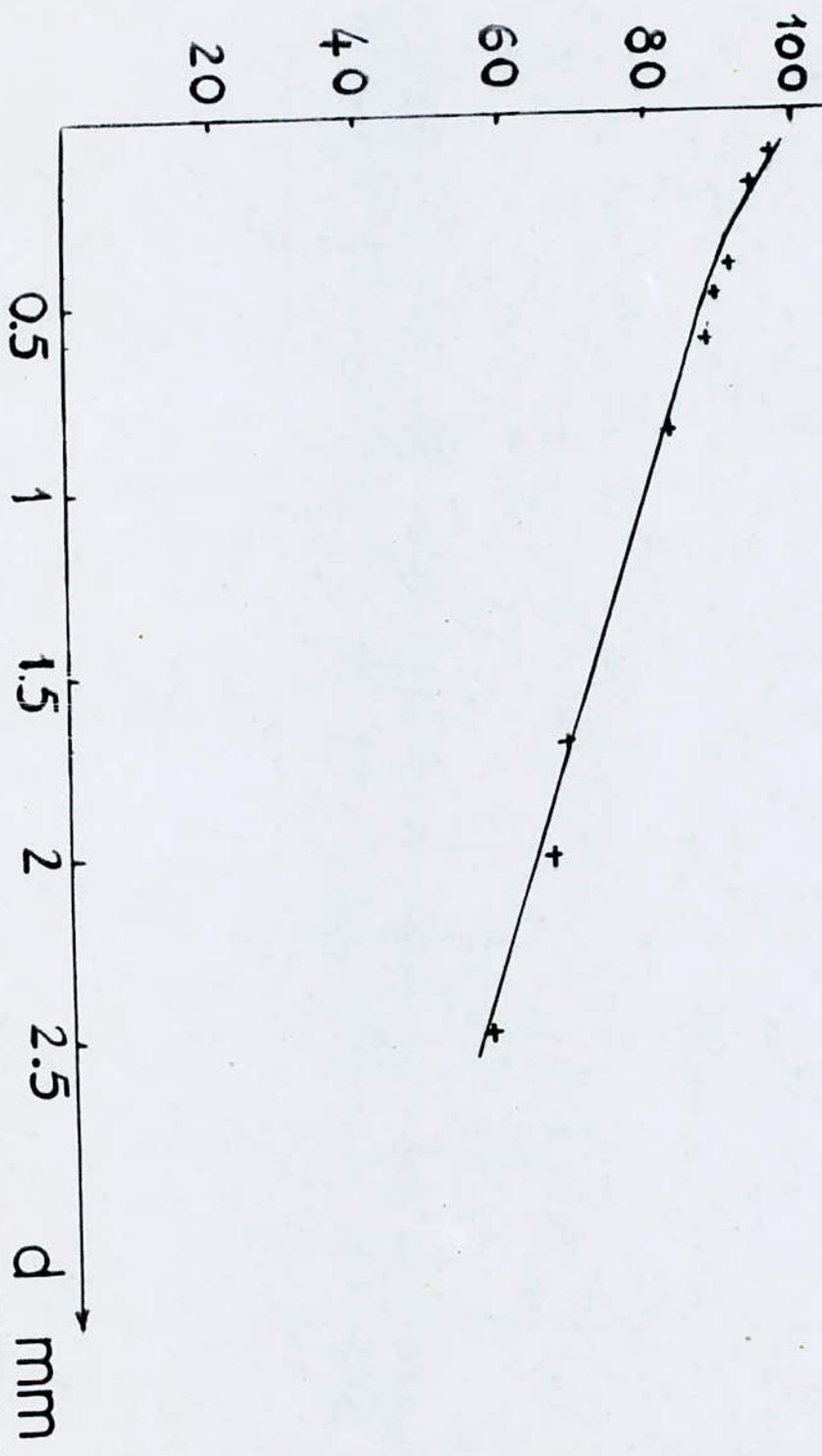
GRAPHE : POURCENTAGES EN POIDS EN FONCTION DES  
CLASSES GRANULOMETRIQUES



Retus Cumulés

(D. 3.2.2)

Graphne: RETUS CUMULES A TRAVERS LES DIFFERENTS  
TAMIS

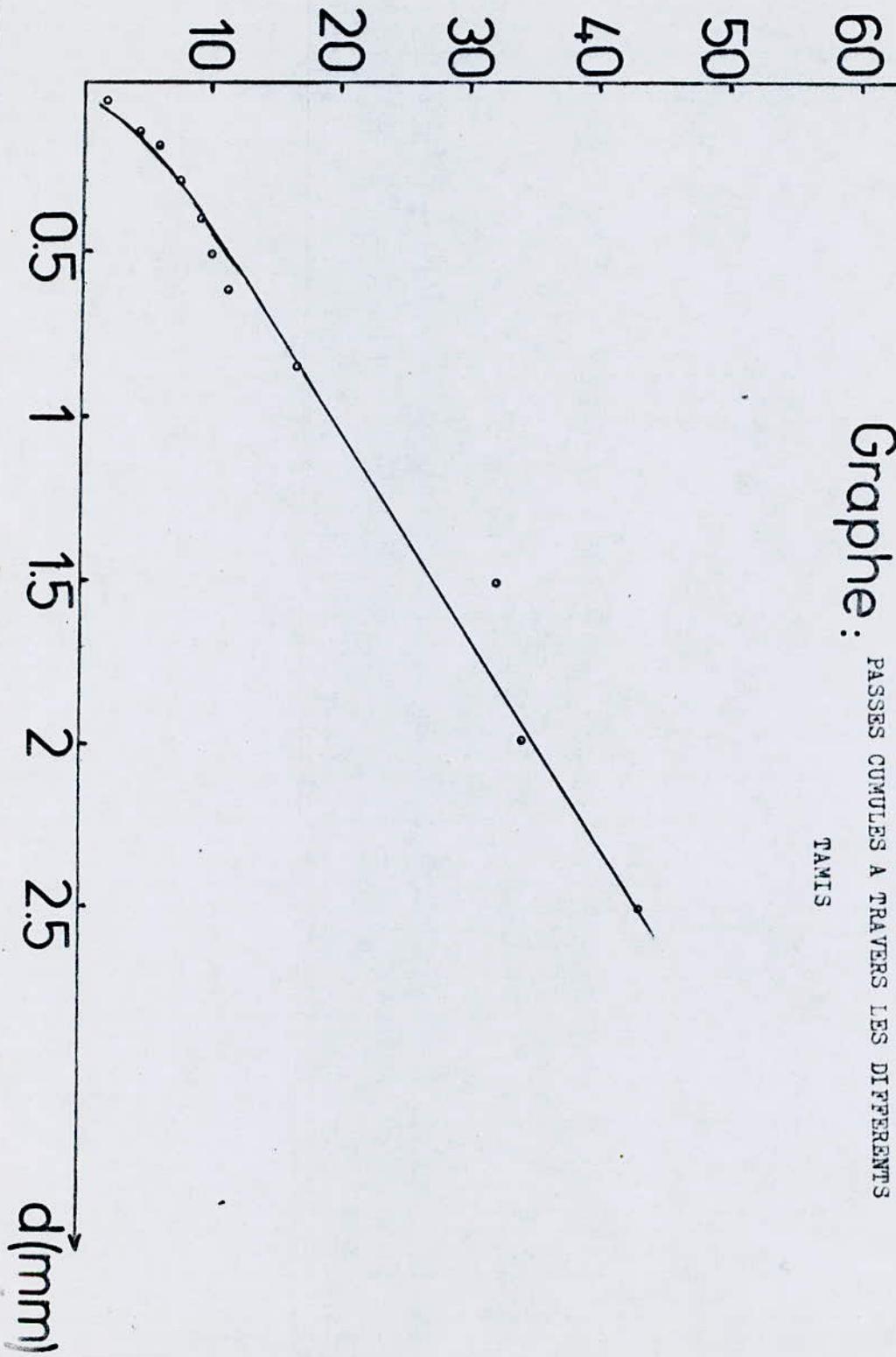


Passés Cumulés

(Pl. 3.2.2)

Graphie:

PASSES CUMULES A TRAVERS LES DIFFERENTS  
TAMIS



## II.4 METHODOLOGIE :

### II.4.1 BUT RECHERCHE :

Le but principal de notre travail consiste à avoir un rendement d'extraction optimum pour une consommation en réactifs et en eau minimums

### II.4.2 MATERIEL UTILISE :

Le schéma de la manipulation est représenté sur la figure ci-contre  
Le montage expérimental se compose de :

- 1) Un support
- 2) Une colonne en verre de 45 mm de diamètre et 400 mm de long
- 4) Tuyauterie en plastique pour l'écoulement des solutions d'attaque
- 5) Minerai préparé
- 6) Récipient en verre pour la récupération des solutions d'attaque
- 7) Solution d'attaque
- 8) Papier filtre pour homogénéiser le contact de la solution d'attaque avec la surface des particules solides
- 9) Une pompe permettant le recyclage des solutions d'attaque

La tuyauterie reliée à la pompe permet le recyclage des solutions d'attaque

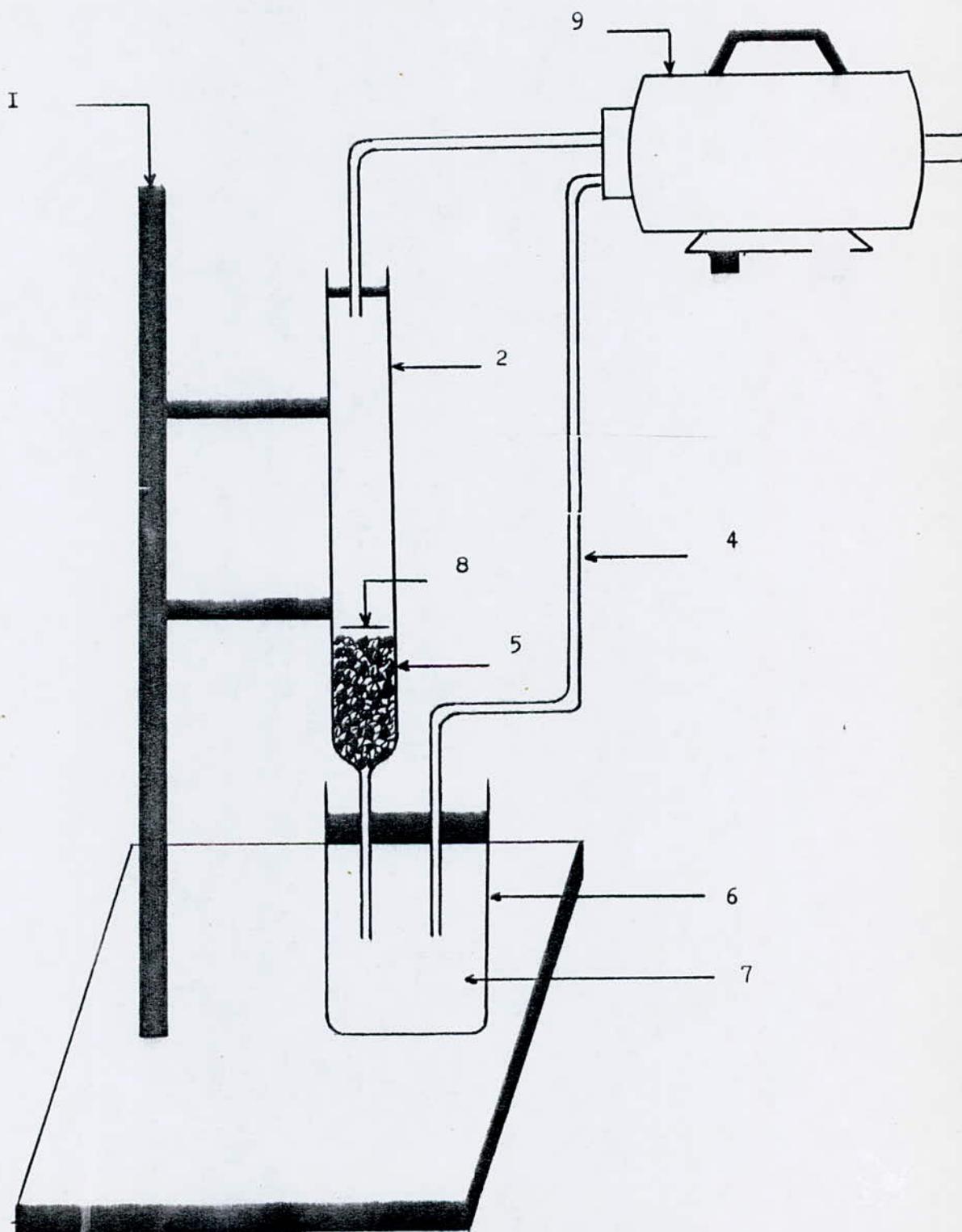
On a utilisé comme réactifs :

- Acide sulfurique  $H_2SO_4$
- Oxydant  $KMnO_4$  0.01 N

### II.4.3 MODE OPERATOIRE :

On pèse 200 gr de minerai d'une classe granulométrique bien déterminée que l'on met dans la colonne fixée au support. On met 500 ml

SCHEMA DE LA MANIPULATION



d'acide de concentration connue dans un récipient dans le quel est plongé un tuyau en plastique relié à une pompe, par cette dernière sort un autre tuyau donnant accès à la colonne (voir schéma)

A des intervalles de temps réguliers, on prélève une quantité de la solution d'attaque destinée à l'analyse chimique pour déterminer la teneur en uranium et en molybdène

Le débit est de 1.4 ml / seconde

## CHAPITRE III

### RESULTATS

#### III.1 RESULTATS DE L'ANALYSE CHIMIQUE POUR LE CAS DU MOLYBDENE

##### III.1.1 INFLUENCE DE LA GRANULOMETRIE

##### III.1.2 INFLUENCE DE LA CONCENTRATION ET DE L'OXYDANT

##### III.1.3 INTERPRETATIONS

#### III.2 RESULTATS DE L'ANALYSE CHIMIQUE POUR LE CAS DE L'URANIUM :

##### III.2.1 INFLUENCE DE LA GRANULOMETRIE

##### III.2.2 INFLUENCE DE LA CONCENTRATION ET DE L'OXYDANT

##### III.2.3 INTERPRETATIONS

### III.3 Conclusions

III. I. RESULTATS DE L'ANALYSE CHIMIQUE POUR LE CAS DU MOLYBDENE :

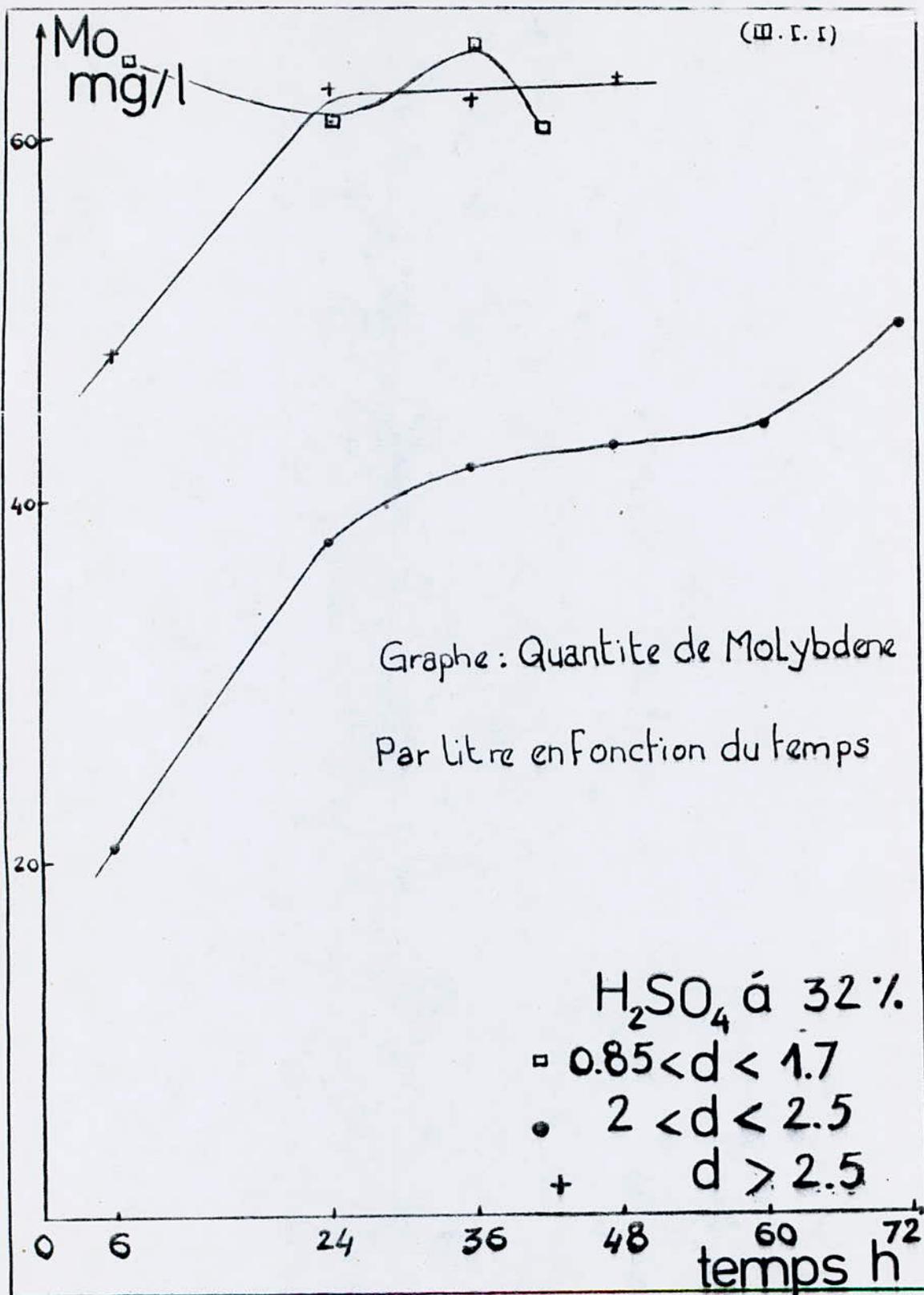
III. I. I. INFLUENCE DE LA GRANULOMETRIE :

(III. I. I)

GRANULOMETRIE	TEMPS D'ATTAQUE EN h	Mo EN (mg/l) ou ppm
0.85 < d < 1.7	6 h	63.80
	24 h	60.61
	36 h	64.14
	40 h	60.15
d > 2.5	6 h	48.10
	24 h	62.77
	36 h	61.75
	48 h	62.89
2 < d < 2.5	6 h	20.68
	24 h	37.51
	36 h	41.61
	48 h	42.86
	60 h	44.00
	72 h	49.46

CONCENTRATION EN  $H_2SO_4$  : 32% (en volume)

# Influence de la granulométrie

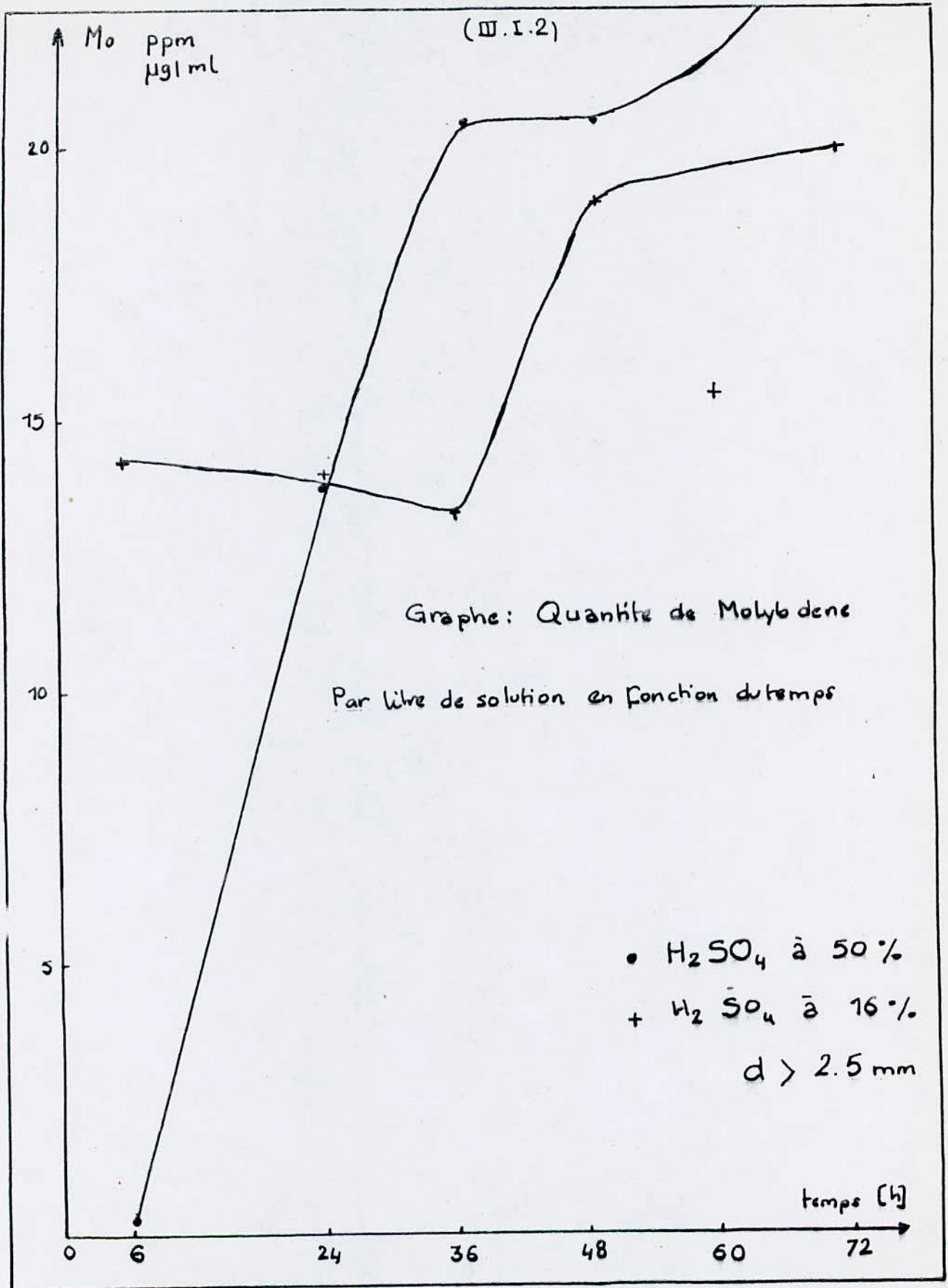


### III.1.2 INFLUENCE DE LA CONCENTRATION EN ACIDE ET DE L'OXYDANT

(III.1.2)

CONCENTRATION EN %	TEMPS D'ATTAQUE	Mo en (mg/l) ou ppm
16  d > 2.5	6 h	14.30
	24 h	13.85
	36 h	13.28
	48 h	19.20
	60 h	15.53
	72 h	20.22
50  d > 2.5	6 h	0.08
	24 h	13.73
	36 h	20.56
	48 h	20.56
	60 h	25
	72 h	27
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> à 32 % + OXYDANT : KMnO <sub>4</sub> 0.01 N  d > 2.5	6 h	6
	24 h	18.5
	36 h	19
	48 h	61.5
	60 h	69
	72 h	/

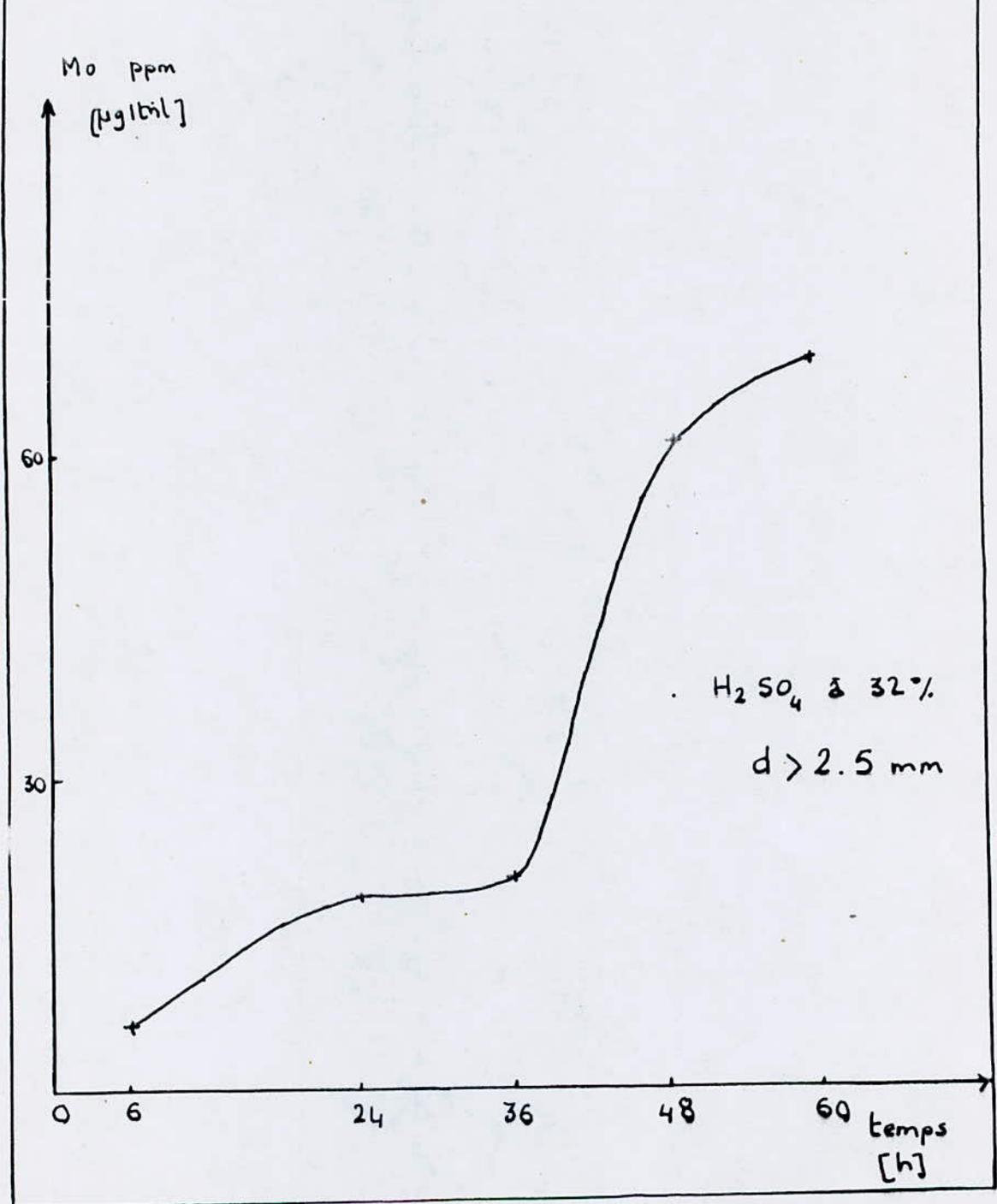
Influence de la concentration en acide



# Influence de L'oxydant

(III . I. 2)

Graphes : Quantité de Molybdène par litre de solution en fonction du temps



### III.1.3 INTERPRETATION :

Au vu des résultats obtenus, nous remarquons un passage important du Molybdène dans la solution d'attaque pour :

- Des concentrations en acide élevées
- Des granulométries faibles
- Des temps d'attaque longs

Pour y remédier à ce problème du fait que le Molybdène est néfaste, nous devons travailler avec de faibles concentrations en acide, des granulométries appropriées et des temps d'attaque courts

Par ailleurs, il serait intéressant de trouver un compromis car une dilution de l'acide entraînerait une consommation en eau importante

Dans notre cas, nous prévoyons de travailler avec des granulométries supérieures à 2.5 mm, des temps d'attaque ne dépassant pas les vingt quatre heures et donc des acides moyennement dilués vu le problème crucial posé par la rareté de l'eau dans le site

III.2 RESULTATS DE L'ANALYSE CHIMIQUE POUR LE CAS DE L'URANIUM :

III.2.1 INFLUENCE DE LA GRANULOMETRIE :

(III.2.1)

GRANULOMETRIE EN mm	TEMPS D'ATTAQUE	URANIUM EN g/l
0.85 < d < 1.7	6 h	I.594
	24 h	3.047
	36 h	3.75
	40 h	II.594
d > 2.5	6 h	0.422
	24 h	0.656
	36 h	0.657
	48 h	0.797
2 < d < 2.5	6 h	0.33
	24 h	0.61
	36 h	0.50
	48 h	0.66
	60 h	0.679
	72 h	0.468

CONCENTRATION EN  $H_2SO_4$  : 32 %

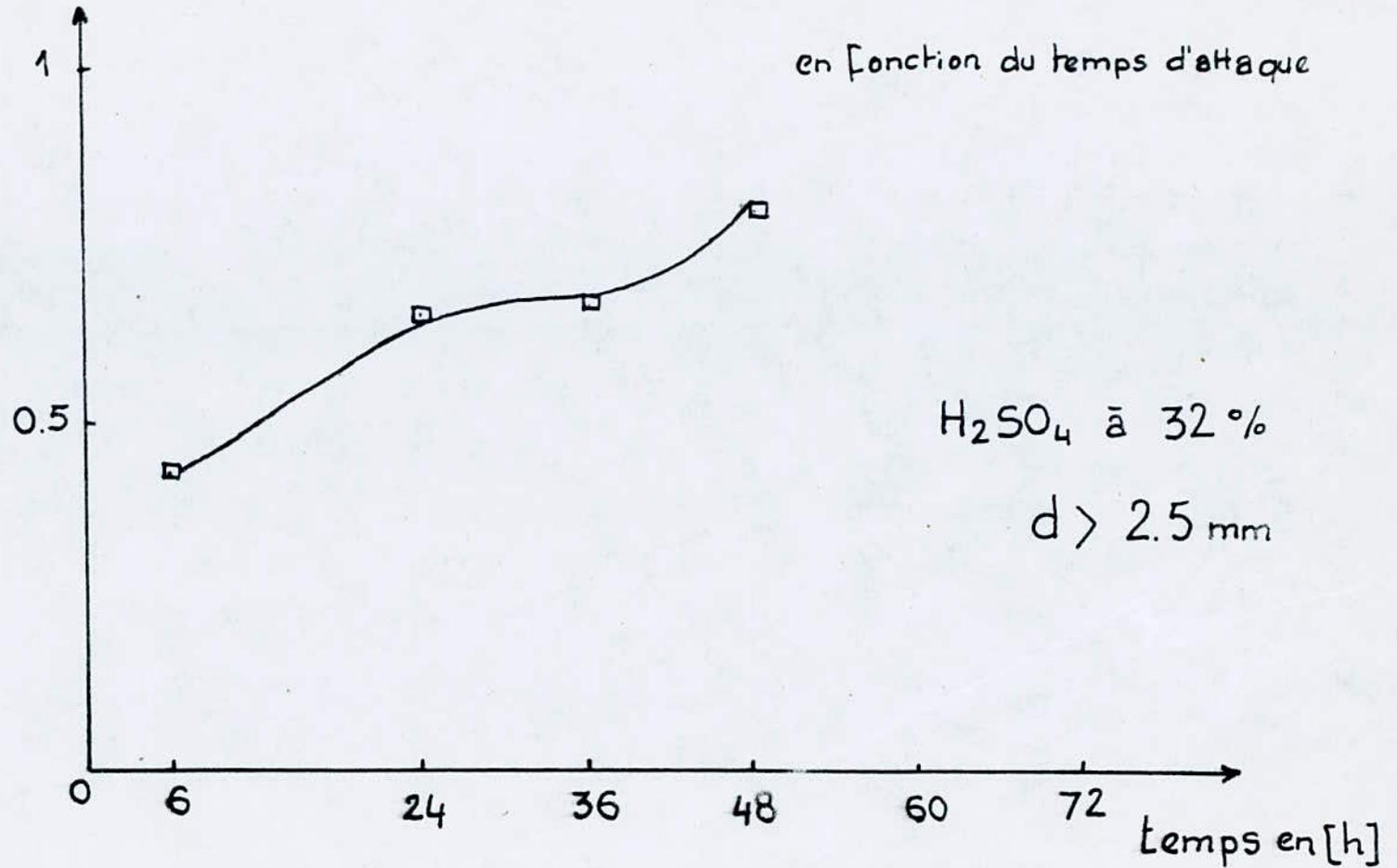
# Influence de la granulométrie

(II.2.1)

Uranium en [g/L]

Graphe:

Quantité d'uranium / l de solution  
en fonction du temps d'attaque

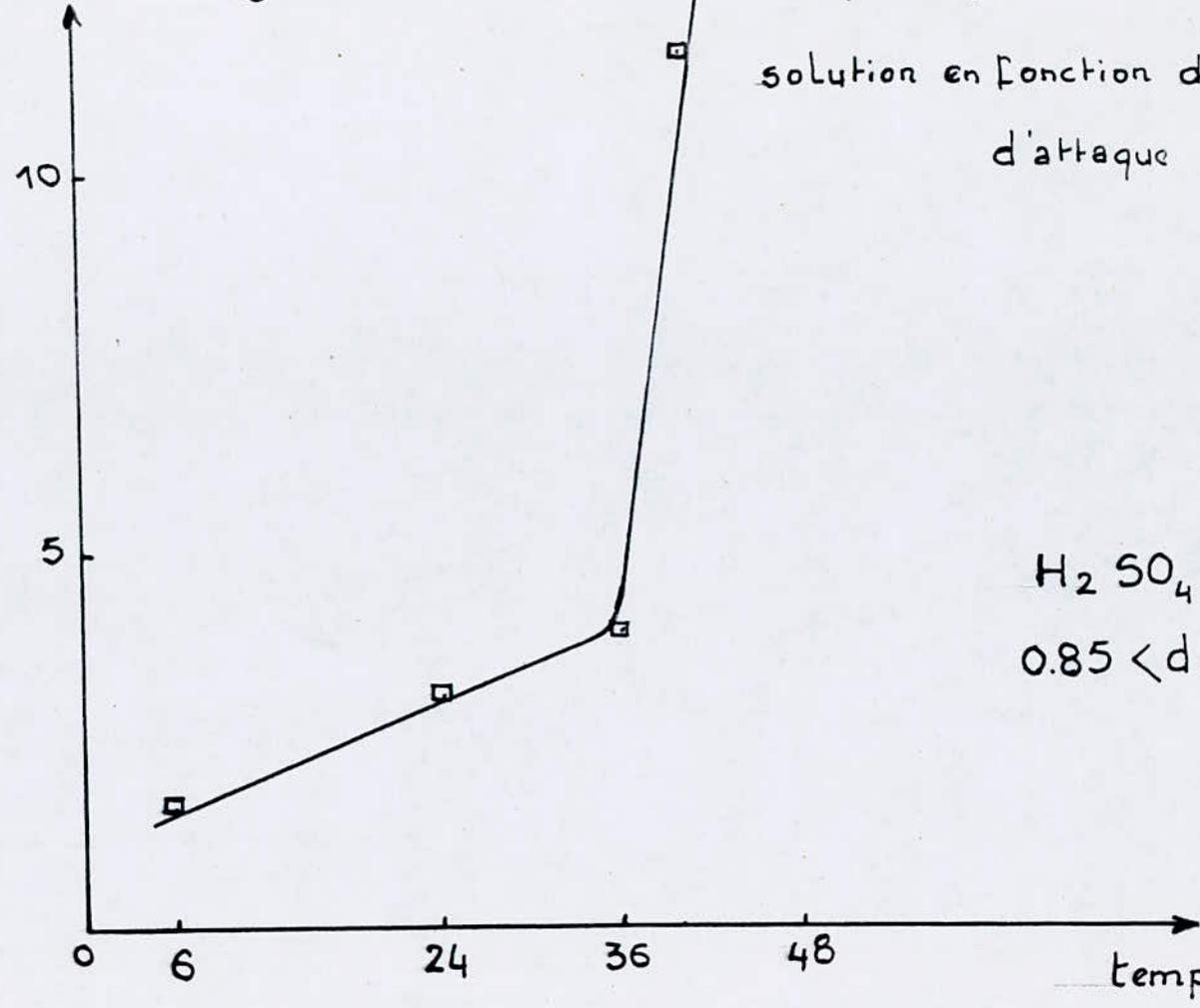


# Influence de la granulometrie

(III.2.1)

Graphe: Quantité d'uranium / L de solution en fonction du temps d'attaque

Uranium en [g/L]

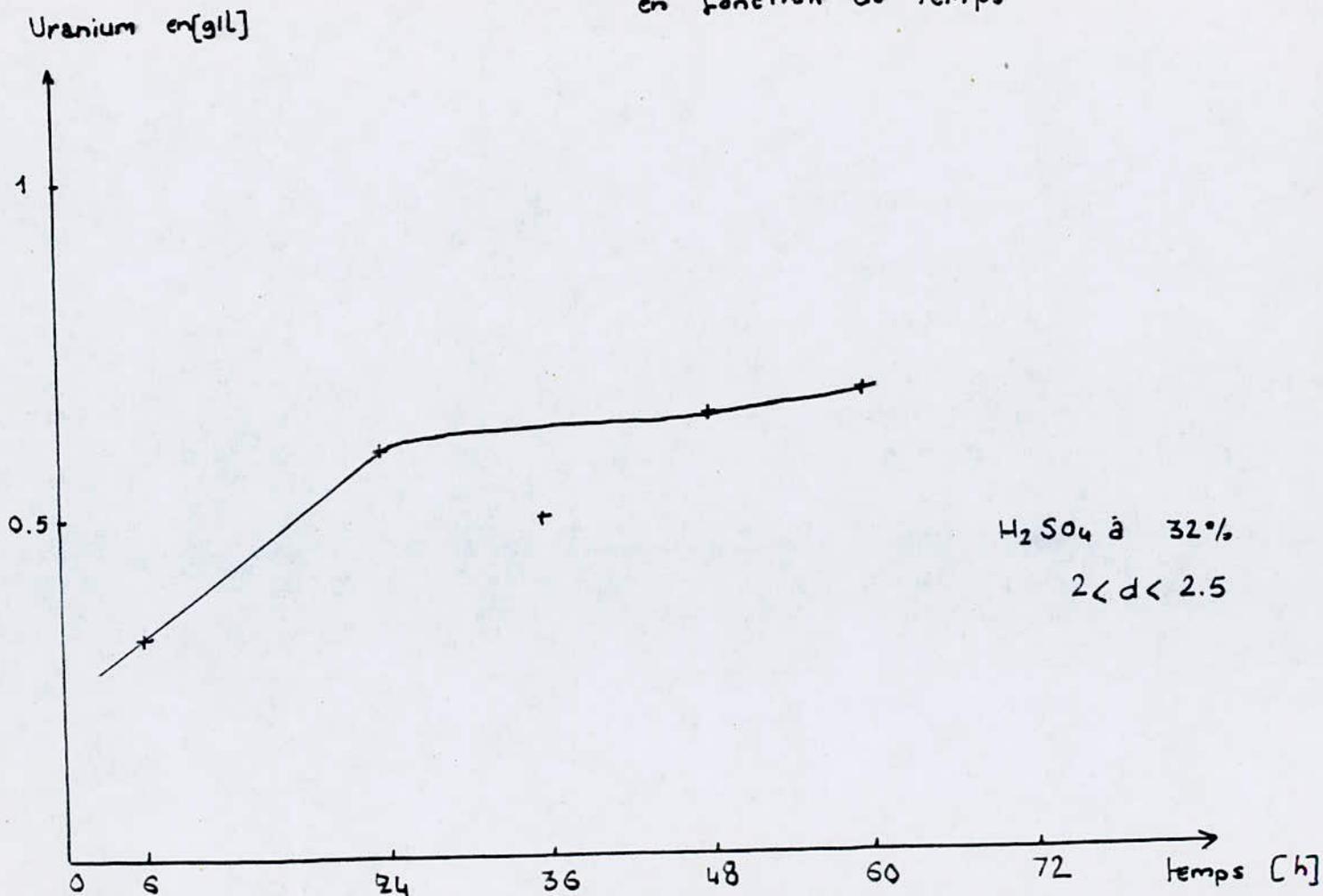


$H_2SO_4$  à 32%  
 $0.85 < d < 1.7$  mm

51

# Influence de la granulométrie

Graph: Quantité d'uranium/L de solution (III.2.I)  
en fonction du temps



III.2.2 INFLUENCE DE LA CONCENTRATION ET DE L'OXYDANT :

(Tableau 2.2)

CONCENTRATION EN %	TEMPS D'ATTAQUE	URANIUM EN g/l
50	6 h	1.828
	24 h	5.906
	36 h	9.374
	48 h	11.436
	60 h	0.796
	72 h	0.609
16	6 h	0.656
	24 h	0.890
	36 h	0.890
	48 h	0.890
	60 h	3.046
	72 h	6.843

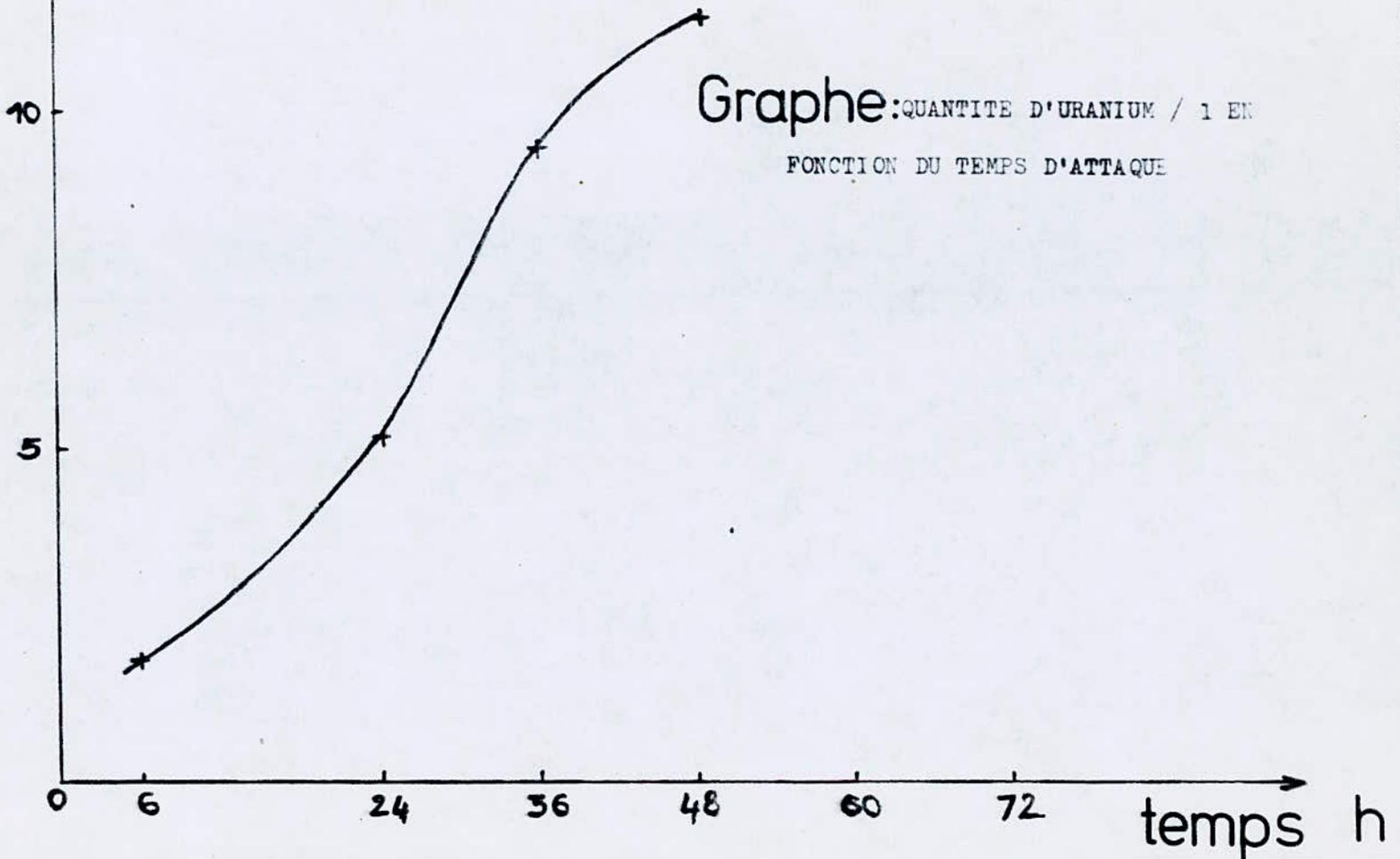
GRANULOMETRIE :  $d > 2.5$

# Influence de la concentration en acide

(III.2.2)

$H_2SO_4$  à  $50^\circ C$   
 $d > 2.5$  mm

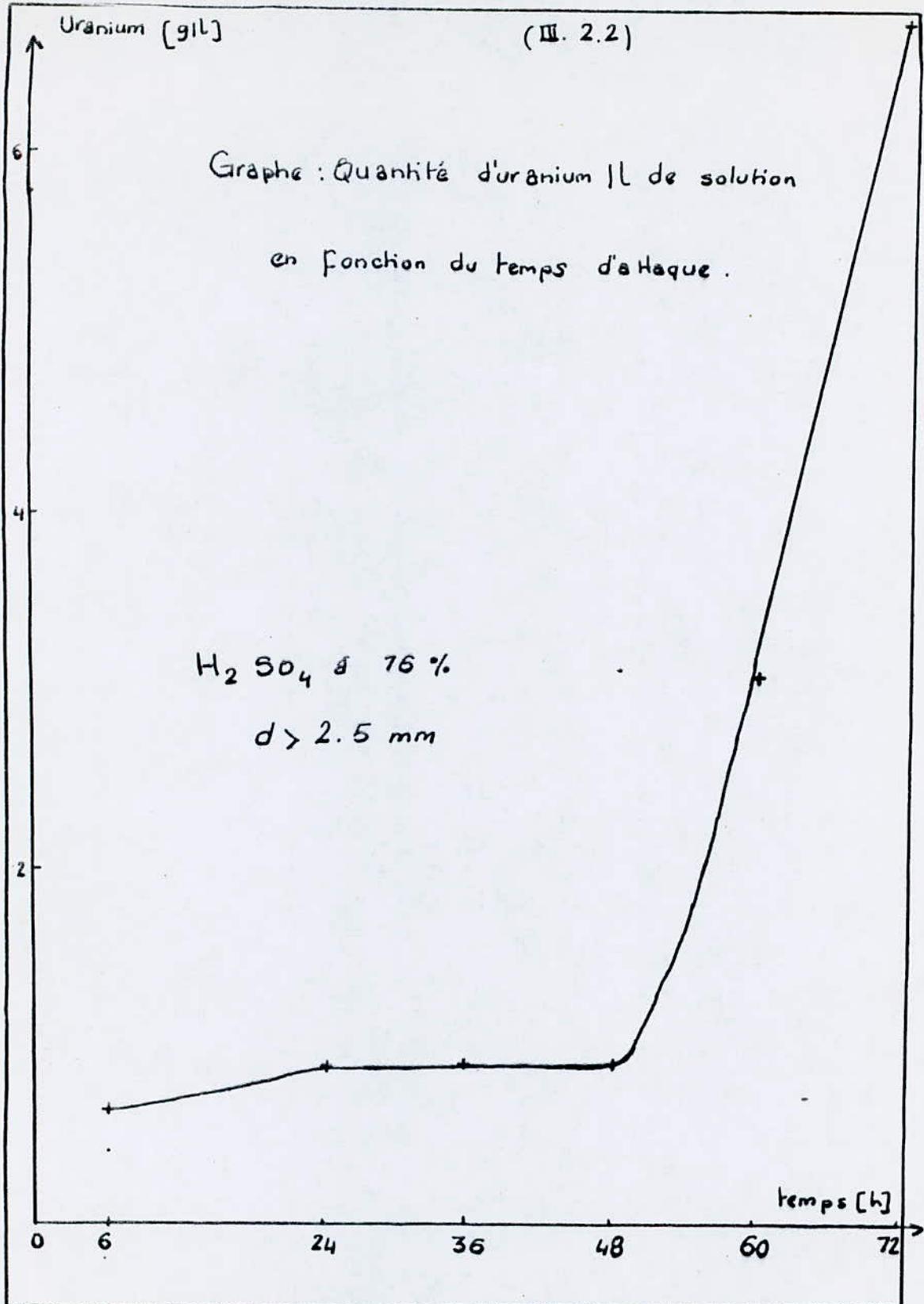
U  
g/l



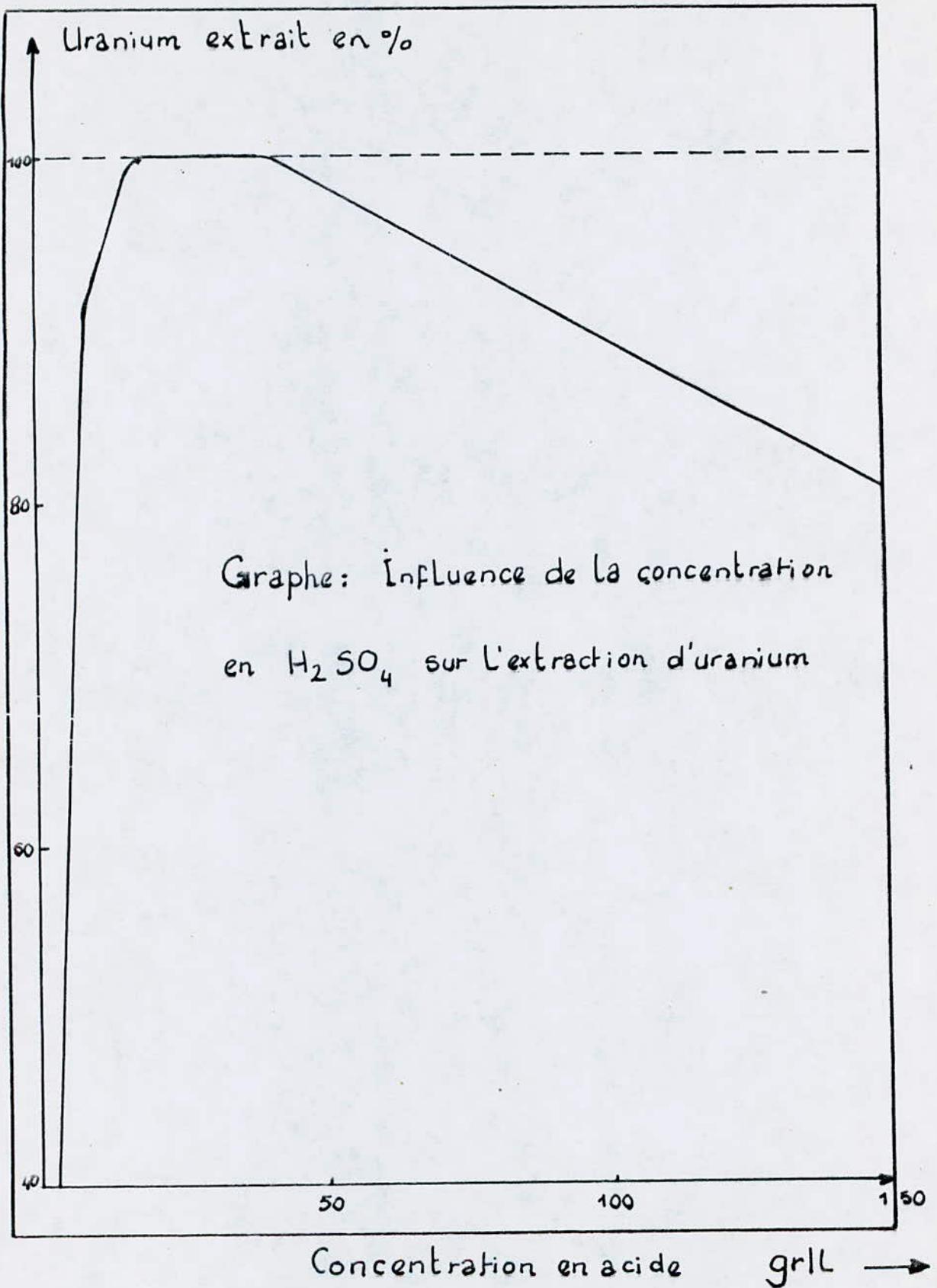
Graphe: QUANTITE D'URANIUM / l EN  
FONCTION DU TEMPS D'ATTAQUE

45

Influence de la concentration en acide



Analyse de l'uranium à partir du minerai  
pauvre, British report, Mai 1953



### III.2.3 INTERPRETATIONS :

D'après les résultats expérimentaux, on remarque que :

- Pour la granulométrie  $0.85 < d < 1.7$  : le rendement est maximum pour des temps d'attaque longs ( $\approx 48$  h) et des concentrations en acide faibles (32 %)
- Pour la granulométrie  $2 < d < 2.5$  : le rendement est maximum pour des temps d'attaque longs ( $\approx 48$  h) et des concentrations faibles (32 %)
- Pour la granulométrie  $d > 2.5$  : le rendement est maximum pour des temps d'attaque longs ( $\approx 48$  h) et des concentrations moyennes (50 %)

Pour avoir des rendements intéressants il faut des temps d'attaque longs ( $\approx 48$  h) d'autant plus que la cinétique d'extraction par percolation est lente

En ce qui concerne la concentration en acide on remarque que :

- Pour les granulométries  $> 2.5$  : il faut avoir des concentrations moyennes (50 %) pour avoir des rendements intéressants
- Pour les granulométries  $< 2.5$  : il faut travailler avec des concentrations en acide faibles (32 %) pour avoir des rendements intéressants

Enfin, les concentrations en acide de l'ordre de 16 % entraîneraient une consommation en eau considérable, chose difficile étant donnée la rareté de l'eau dans le site

(II.2.2)

TEMPS D'ATTAQUE EN h	URNIUM EN g/l
6	1.265
24	0.562
36	0.773
48	0.679
60	3.679

$H_2SO_4$  à 32 %

GRANULOMETRIE :  $d > 2.5$  mm

OXYDANT :  $KMnO_4$  0.01 N

On remarque d'après les résultats ci-dessus que l'oxydant n'a pas permis d'accélérer la cinétique de lixiviation vu que le rendement est maximum pour des temps d'attaque longs ( 60 heures)

(III.2.2)

TEMPS D'ATTAQUE EN h	URNIUM EN g/l
6	1.265
24	0.562
36	0.773
48	0.679
60	3.679

$H_2SO_4$  à 32 %

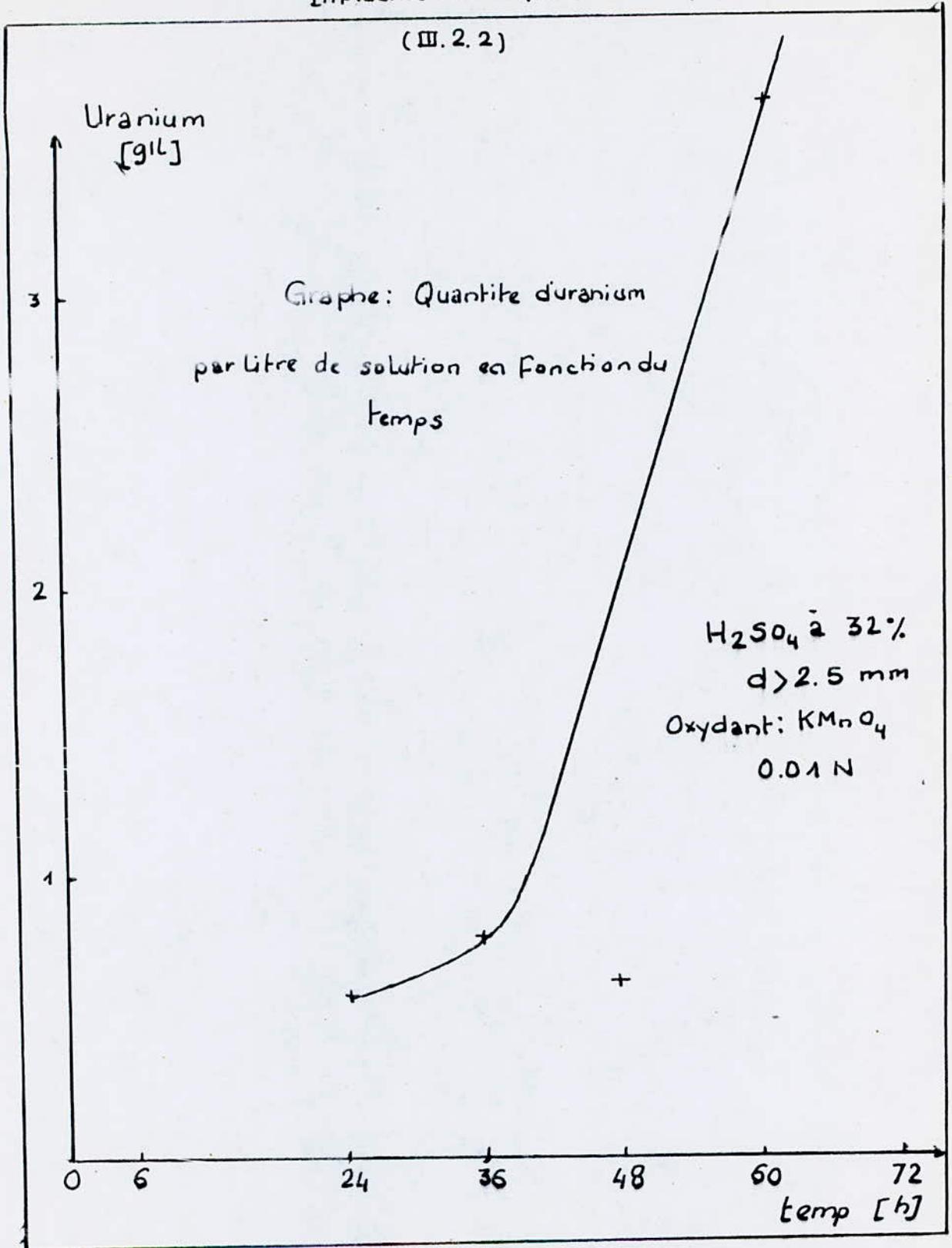
GRANULOMETRIE :  $d > 2.5$  mm

OXYDANT :  $KMnO_4$  0.01 N

On remarque d'après les résultats ci-dessus que l'oxydant n'a pas permis d'accélérer la cinétique de lixiviation vu que le rendement est maximum pour des temps d'attaque longs ( 60 heures)

# Influence de l'oxydant

(III.2.2)



## Conclusion:

L'étude menée dans le cadre de ce projet nous a permis de dégager un certain nombre de points permettant de préciser le comportement par percolation acide du minerai d'uranium d'ABANKOR

En effet, pour des temps d'attaque de l'ordre de 24 heures, une concentration en acide moyenne et une granulométrie supérieure à 2.5 mm, les rendements d'extraction sont probants

Notons par contre que les conditions de travail préconisées permettent un passage en solution d'une quantité appréciable en Molybdène, ce qui est néfaste pour les solutions uranifères

Toutefois, le minerai utilisé étant hexavalent ne nécessite pas l'ajout d'un oxydant

Il est notable à priori de compléter l'extraction par percolation par une lixiviation statique ou en tas afin d'extraire l'uranium résiduel qui représente un taux non négligeable

Il est souhaitable que cette étude soit complétée afin de trouver un compromis entre le rendement de récupération maximum et le passage du Molybdène en solution qui est un élément très gênant

En somme, une étude technico-économique généralisée permettrait sans doute de se prononcer sur l'état actuel du gisement uranifère d'ABANKOR

Enfin, il serait intéressant que cette étude soit reprise de manière à l'affirmer

## B I B L I O G R A P H I E

.....

- (1) DJEGHLAL Mohamed Elamine , THESE D'INGENIORAT, ENP 1982
- (2) KHOUIDER Ali,THESE DE MAGISTER ,UNIVERSITE D'ALGER 1978
- (3) SAADA ABDELHAFID ,ETAT ACTUEL DE LA PRODUCTION D'URANIUM
- (4) BOUDALIA Nouria,THESE DE MAGISTER,CENTRE DES SCIENCES ET DE LA  
TECHNOLOGIE NUCLEAIRE 1979
- (5) ETUDE PRELIMINAIRE PETROGRAPHIQUE ET METALLOGENIQUE DES GISEMENTS  
URANIFERES ,ABANKOR,TIMGAOUINE ET TINEF PAR LA SONAREM
- (6) RAPPORT SUR L'ETAT ACTUEL DU PROJET URANIUM TIMGAOUINE & ABANKOR  
SONAREM 1978
- (7) RATE PROCESSES OF EXTRACTIVE METALLURGY ,HONG AND MILTON E WADSWORTH
- (8) PRINCIPLES OF EXTRACTIVE METALLURGY ,TERKEL ROSENQUIST 1983
- (9) EXTRACTIVE METALLURGY OF URANIUM ,MERIT
- (10) TECHNIQUES DE L'INGENIEUR ,METAUX NUCLEAIRES M 2402
- (II) FATMA HASSAINE ,THESE DE MAGISTER ,UNIVERSITE D'ALGER 1978
- (12) EXPLOITATION DES MINES SOUTERRAINES

# ANNEXE

DOSAGE

VOLUMETRIQUE

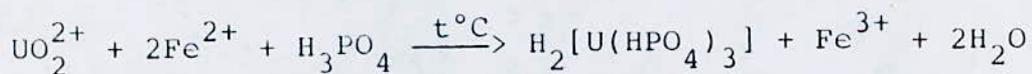
DE L'URANIUM

DANS LES MINERAIS.

DOSAGE VOLUMETRIQUE DE L'URANIUM  
PAR VANADATE D'AMMONIUM-DOMAINES DE DOSAGE  
DE 0,03 à 5%

Attaque du minerai : (0,1 à 0,5g)

- Dans un becher en teflon de 100 ml on met une prise d'essai ( de 0,1 à 0,5 g ) qu'on mouille avec quelques gouttes d'eau.
- Cette prise est portée à sec sur un bain de sable avec 5 ml d'acide fluorhydrique concentré ( sans verre de montre ).
- Puis on ajoute 10 ml d'acide chlorhydrique concentré et 1 ml d'eau oxygénée à 30 % et 10 ml d'acide phosphorique concentré, sur le bain de sable, avec un blanc (solution de référence), et avec un verre de montre on fait évaporer jusqu'à environ 12ml.
- On lave les parois ainsi que le verre de montre avec de l'eau chaude (environ 10 ml).
- On ajoute 2 ml de  $Fe^{2+}$  et on remet sur le bain de sable jusqu'au début de l'ébullition.



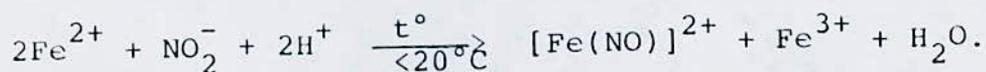
On lave de nouveau les parois ainsi que les verres de montre avec une solution d'acide phosphorique de 1/2.

On procède à la filtration à chaud et à un lavage à l'acide d'acide phosphorique 1/2.

La filtration se fait dans les erlenmeyers servant à la titration.

- On ajoute la solution de nitrite de sodium, avec un compte-goutte bien rempli par deux fois, la solution jaunira puis brunira.

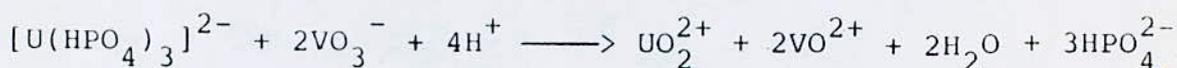
Réoxydation de  $Fe^{2+}$  n'ayant pas réagi



- On fait disparaître la coloration avec cinq fois le compte-goutte rempli avec la solution d'urée, on met le tout dans un bain d'eau froid, en agitant de temps en temps jusqu'à la disparition des bulles d'air, et on laisse reposer pendant dix minutes :



- On procède au titrage de l'uranium par le vanadate d'ammonium en présence de 3 gouttes de diphénylaminosulfonate de sodium.



#### Réactifs :

- 1- Solution de fer fereux, Alun  $(\text{NH}_4)_2 \text{SO}_4 \text{ Fe SO}_4 6\text{H}_2\text{O}$  à 20% dans l'eau.
- 2- Solution acide phosphorique dilué  $\text{H}_3\text{PO}_4/\text{H}_2\text{O} = 1/2$ .
- 3- Solution de nitrite,  $\text{NaNO}_2$  à 15% dans l'eau
- 4- Solution d'urée,  $(\text{NH}_2)_2\text{CO}$  à 40% dans l'eau.
- 5- Solution de diphénylamino sulfonate de sodium, 0,2% W/V dans 100ml de  $\text{H}_2\text{SO}_4$  à 2% .
- 6- Solution standart de  $\text{U}_3\text{O}_8$

On pèse 0,2948 g de  $\text{U}_3\text{O}_8$  sur papier sulfurisé.

Cette quantité est mise dans un bécher de 150 ml. On ajoute 15 ml de HCl et 2 à 5 ml de  $\text{H}_2\text{O}_2$  (si le chauffage est rapide on remplace par 1 à 2 ml de  $\text{HNO}_3$  conc.) et on porte sur le bain de sable presque à sec, on ajoute ensuite quelques gouttes d'eau et 2,5 ml de HCl. On n'ajuste à 250 ml que lorsque la solution a atteint la température ambiante.

7- Solution standart de vanadate d'ammonium

La précision est de  $10^{-4}$ .

On ajoute environ 4 ml d'eau afin de former une pâte ensuite 375 ml d'acide sulfurique en 1/2.

On transvase dans une fiole de 1000 ml et on complète jusqu'au trait de jauge.

La solution de vanadate d'ammonium est préparé selon que la teneur en uranium soit de :

U g/ml	NH <sub>4</sub> VO <sub>3</sub> (g) (1000 cc)	Prise de U Solution standart
0,0003	0,2949	1,00 mg
0,0005	0,4914	2,00 mg
0,0010	0,9828	4,00 mg.

$$U\% = \frac{Tx.(V - Vo)}{P} \times 100 \%$$

Tx - Titre de NH<sub>4</sub>VO<sub>3</sub> (g/ml)

V - Volume ajoutée de NH<sub>4</sub>VO<sub>3</sub> (ml)

Vo - Volume de la référence (ml)

POROSITE DU MINERAI D'ABANKOR :

Pour la détermination de la porosité, nous avons travaillé avec la méthode au pycnomètre qui consiste à :

- Calculer le poids spécifique du minerai
- Calculer le poids volumique du minerai

Soient  $P_s$  et  $P_v$  les poids spécifique et volumique respectivement :

$$P_s \text{ (g/ml)} = \frac{(M_1 - M_2) \cdot \delta_1}{(M_1 - M_2) + M_3 - M_4}$$

$M_1$ : poids du pycnomètre + minerai

$M_2$ : poids du pycnomètre vide

$M_3$ : poids du pycnomètre + eau à  $T = 20^\circ\text{C}$

$M_4$ : poids du pycnomètre + eau + minerai à  $20^\circ\text{C}$

$\delta_1$ : poids spécifique de l'eau à  $20^\circ\text{C}$

$$P_v = \frac{M_1 \cdot \delta_1 \cdot \delta_2}{\delta_2(M_1 - M_2) + \delta_1(M_2 - M_3)}$$

$M_1$ : poids de l'échantillon à l'état sec

$M_2$ : poids de l'échantillon paraffiné

$M_3$ : poids de l'échantillon paraffiné dans l'eau

$\delta_2$ : densité de l'eau à  $20^\circ\text{C}$

$\delta_1$ : densité de la paraffine

Le pourcentage de la porosité est donné par la formule suivante:

$$\% \text{ Porosité} = \left( 1 - \frac{P_v}{P_s} \right) \cdot 100 = 7.1 \%$$

REMARQUE:

Pour la détermination de  $P_s$  et  $P_v$ , il est préférable de travailler avec plusieurs pycnomètres pour avoir une meilleure précision

