



étude de la lixiviation statique du minerai de Rouez

zone cimentée (Cu, Ag et Au)

D. Morin
G. Videau
E. Dubois
P. Matheus

janvier 1987
87 DAM 001 MIN

D.G. (1 copie, page de garde, résumé table des matières, conclusions)	
DG/MS idem	
DG/DAA (Mme FONTANNAZ, sans reliure)	1 ex
SGN/DIG	2 ex
DAM/MIN :	
P. OLLIVIER	1 ex
G. MORIZOT	1 ex
D. MORIN	1 ex
J. LIBAUDE	1 ex
C. CROUZET	1 ex
CHRONO	1 ex

BUREAU DE RECHERCHES GÉOLOGIQUES ET MINIÈRES
DIRECTION DES ACTIVITÉS MINIÈRES

Département Minéralurgie
B.P. 6009 - 45060 ORLÉANS CEDEX 2 - Tél.: 38.64.34.34

R E S U M E

- Le présent rapport décrit et commente les résultats d'une étude de traitement hydrométallurgique du minerai de ROUEZ - Zone cimentée (3 % en Cu, 50 g/t en Ag, 2,4 g/t en Au).

- On a procédé aux essais suivants :

- Lixiviation en colonne pour récupération du cuivre et de l'argent en milieu H_2SO_4 et $H_2SO_4 + NaCl$, avec et sans agglomération acide (thin Layer Leaching).

- Traitements en milieu cyanure et thiourée des résidus de colonne pour récupération de l'or.

- Les résultats encourageants d'extraction en matière de cuivre (80 % en 36 jours en milieu $H_2SO_4 + NaCl$) appellent des travaux complémentaires d'optimisation. L'argent est au mieux extrait à 65 %, l'or reste très peu accessible même après attaque des sulfures.

- Ces travaux ont été financés sur fonds propres DAM/MIN 1985.

* * *

TABLE DES MATIERES

oOoOo

P A G E S

RESUME - CONCLUSION.....	1
INTRODUCTION.....	4
1 - <u>DESCRIPTION DE L'ECHANTILLONNAGE DU MINERAI POUR LES DIVERS ESSAIS ET DONNEES MINERALOGIQUES SUR LE MINERAI.....</u>	5
2 - <u>ESSAIS REACTEUR PRELIMINAIRES POUR L'ETUDE DE LA MISE EN SOLUTION DU CUIVRE.....</u>	10
2.1 - MODE OPERATOIRE.....	10
2.2 - RESULTATS.....	11
2.3 - CONCLUSION.....	11
3 - <u>ESSAIS COLONNE DE MISE EN SOLUTION DU CUIVRE.....</u>	16
3.1 - MODE OPERATOIRE.....	16
3.2 - RESULTATS.....	18
3.2.1 - <u>Commentaire sur le comportement à la percolation, des échantillons traités..</u>	18
3.2.2 - <u>Cinétiques d'extraction du cuivre - comparaison des diverses conditions opératoires.....</u>	20
3.2.3 - <u>Cinétiques d'autres éléments que le cuivre, Ag, Fe, Zn, As et Au.....</u>	31
3.2.4 - <u>Consommations d'acide.....</u>	31
3.2.5 - <u>Tassement du minerai.....</u>	40
3.3 - CONCLUSION.....	40
4 - <u>ESSAIS D'EXTRACTION DES METAUX PRECIEUX, Ag et Au, DES RESIDUS DE LIXIVIATION STATIQUE ACIDE.....</u>	42
4.1 - ESSAIS A LA THIOUREE.....	42
4.1.1 - <u>Procédure des essais.....</u>	42
4.1.2 - <u>Conditions des essais.....</u>	43

4.1.3 - <u>Analyse des résultats</u>	43
4.1.3.1 - Extraction de l'or.....	43
4.1.3.2 - Extraction de l'argent.....	44
4.1.3.3 - Extraction du cuivre.....	45
4.1.3.4 - Consommation de thiourée.....	45
4.1.3.5 - Commentaires sur les précipitations constatées.....	46
4.1.4 - <u>Conclusion</u>	49
4.2 - ESSAIS DE CYANURATION	49
4.2.1 - <u>Procédure</u>	49
4.2.2 - <u>Analyse des résultats</u>	50
4.2.2.1 - Extraction de l'argent.....	50
4.2.2.2 - Extraction de l'or.....	50
4.3 - CONCLUSION	51

o o o

o

LISTE DES TABLEAUX

o000o

TABLEAU 1

- ANALYSE ELEMENTAIRE DU MINERAI TOUT-VENANT

TABLEAU 2

- ANALYSE I.C.P. DU MINERAI TOUT-VENANT

TABLEAU 3

- ANALYSE GRANULOMETRIQUE DU MINERAI CONCASSE A UN d_{80} de 15 mm, REPARTITION POIDS AINSI QUE TENEURS ET MASSES EN Au, Ag et Cu SUIVANT LES TRANCHES

TABLEAU 4

- CONDITIONS OPERATOIRES GENERALES DES ESSAIS COLONNES

TABLEAU 5

- CINETIQUES DE MISE EN SOLUTION DE L'ARGENT POUR LES ESSAIS COLONNE EN MILIEU CHLORURE

TABLEAU 6

- CINETIQUES DE MISE EN SOLUTION DU FER ET DU ZINC AU COURS DE L'ESSAI CI EN MILIEU SULFATE ET DU FER, ET DU ZINC ET DU PLOMB AU COURS DE L'ESSAI CIII EN MILIEU CHLORURE

TABLEAU 7

- CINETIQUES COMPAREES DE MISE EN SOLUTION DU FER ET DE L'ARSENIC POUR LES ESSAIS CI (MILIEU SULFATE) ET CIII (MILIEU CHLORURE)

TABLEAU 8

- ESSAIS A LA THIOUREE - EXTRACTION DE L'ARGENT

TABLEAU 9

- ESSAIS A LA THIOUREE - EXTRACTION DE L'OR

TABLEAU 10

- ESSAIS A LA THIOUREE - EXTRACTION DU CUIVRE

TABLEAU 11

- ESSAIS A LA THIOUREE - CONSOMMATION DE THIOUREE

TABLEAU 12

- ESSAIS DE CYANURATION - EXTRACTION DE L'ARGENT ET CONSOMMATION DE CYANURE

TABLEAU 13

- ESSAIS DE CYANURATION - EXTRACTION DE L'OR

TABLEAU 14

- RECAPITULATIF - COMPARAISON THIOUREE/CYANURE

oOoO

LISTE DES FIGURES

oOoOo

FIGURE 1

- PREPARATION MECANIQUE DU MINERAI

FIGURE 2

- COURBE GRANULOMETRIQUE (FRACTION PASSANTE) DU MINERAI CONCASSE A UN D_{80} DE 15 MM

FIGURE 3

- ESSAIS REACTEURS. CINETIQUES DE MISE EN SOLUTION DU CUIVRE A DIVERSES TENEURS EN NaCl

FIGURE 4

- ESSAIS REACTEURS. CINETIQUES DE MISE EN SOLUTION DU CUIVRE A DIVERSES TENEURS EN NaCl EN SOLUTIONS, AVEC 20 g/l DE Fe^{3+} EN SOLUTION INITIALEMENT

FIGURE 5

- ESSAIS REACTEURS. CINETIQUES DE MISE EN SOLUTION DU CUIVRE A DEUX GRANULOMETRIES

FIGURE 6

- ESSAIS COLONNE. CINETIQUES DE MISE EN SOLUTION DU CUIVRE AVEC ET SANS NaCl EN SOLUTION, ET AVEC ET SANS MACERATION PREALABLE. REGULATION DU pH DE SOLUTION A 1

FIGURE 7

- ESSAIS COLONNE. CINETIQUES DE MISE EN SOLUTION DU CUIVRE AVEC ET SANS NaCl EN SOLUTION, ET AVEC ET SANS MACERATION PREALABLE. MAINTIEN DE LA TENEUR EN H_2SO_4 EN SOLUTION A 100 g/l

FIGURE 8

- ESSAIS COLONNE. CINETIQUES DE MISE EN SOLUTION DU CUIVRE AVEC ET SANS NaCl EN SOLUTION, AVEC MACERATION. FONCTIONNEMENT EN CIRCUIT OUVERT. TENEUR EN H_2SO_4 20 g/l. DIVERS DEBITS

FIGURE 9

- ESSAIS COLONNE. CINETIQUES DE MISE EN SOLUTION DU CUIVRE. EFFET DU TYPE DE FONCTIONNEMENT ; FERME (PAR CYCLES) OU OUVERT, ET DE L'ACIDITE EN MILIEU SULFATE AVEC MACERATION

FIGURE 10

- ESSAIS COLONNE. CINETIQUES DE MISE EN SOLUTION DU CUIVRE. EFFET DU TYPE DE FONCTIONNEMENT ; FERME (PAR CYCLES) OU OUVERT ET DE L'ACIDITE EN MILIEU CHLORURE AVEC MACERATION

FIGURE 11

- ESSAIS COLONNE. CINETIQUES DE MISE EN SOLUTION DU CUIVRE. EFFET DE L'ACIDITE, EN MILIEU H_2SO_4 SANS MACERATION

FIGURE 12

- ESSAIS COLONNE. CINETIQUES DE MISE EN SOLUTION DU CUIVRE. EFFET DE L'ACIDITE, EN MILIEU $NaCl$ SANS MACERATION

FIGURE 13

- CINETIQUES D'EXTRACTION DU CUIVRE FONCTION DU VOLUME D'EAU UTILISE. MILIEU SULFATE

FIGURE 14

- CINETIQUES D'EXTRACTION DU CUIVRE FONCTION DU VOLUME D'EAU UTILISE. MILIEU CHLORURE

FIGURE 15

- ESSAIS COLONNE. CINETIQUES DE MISE EN SOLUTION DE L'ARGENT EN MILIEU CHLORURE. AVEC ET SANS MACERATION. FONCTIONNEMENT PAR CYCLES OU OUVERT

FIGURE 16

- ESSAIS COLONNE. CINETIQUES DE MISE EN SOLUTION DU FER ET DU ZINC, EN MILIEU SULFATE, ET DU FER, DU ZINC ET DU PLOMB, EN MILIEU CHLORURE. PAS DE MACERATION, pH 1.

FIGURE 17

- ESSAIS COLONNE. TENEURS COMPAREES DU FER ET DE L'ARSENIC EN SOLUTION, EN MILIEU SULFATE ET CHLORURE. PAS DE MACERATION, pH - 0,5

FIGURE 18

- ESSAIS COLONNE. CONSOMMATION D'ACIDE AU COURS DES ESSAIS EN FONCTIONNEMENT PAR CYCLES. ESSAIS A pH 1

FIGURE 19

- ESSAIS COLONNE. CONSOMMATION D'ACIDE AU COURS DES ESSAIS DE FONCTIONNEMENT PAR CYCLES. ESSAIS A 100 G/T DE H_2SO_4

FIGURE 20

- ESSAIS DE LIXIVIATION A LA THIOUREE DES RESIDUS D'ATTAQUE ACIDE.
EVOLUTION DU POTENTIEL ET DE LA CONCENTRATION EN ARGENT EN FONCTION
DU TEMPS

FIGURE 21

- ESSAIS DE LIXIVIATION DE LA THIOUREE DES RESIDUS D'ATTAQUE ACIDE.
EVOLUTION DES CONCENTRATIONS OR ET CUIVRE EN FONCTION DU TEMPS

LISTE DES ANNEXES

oOoOo

ANNEXE 1

- CONDITIONS OPERATOIRES, RESULTATS D'ANALYSES DES RESIDUS ET CINETIQUES D'EXTRACTION DU CUIVRE DES ESSAIS REACTEUR

ANNEXE 2

- CONDITIONS OPERATOIRES ET RESULTATS DE DOSAGE ET D'EXTRACTION (Cu, Fe, Zn, As, Pb et Ag) DES ESSAIS COLONNE

ANNEXE 3

- RESULTATS DE CONSOMMATION D'ACIDE DES ESSAIS COLONNE CI à CVIII ET DES pH LUS DES JUS DE LIXIVIATION POUR LES ESSAIS CIX à CXII

ANNEXE 4

- CONDITIONS OPERATOIRES ET RESULTATS DES ESSAIS DE LIXIVIATION A LA THIOUREE SUR LES RESIDUS CI et CIII DE LIXIVIATION POUR LE CUIVRE

ANNEXE 5

- CONDITIONS OPERATOIRES ET RESULTATS DES ESSAIS DE CYANURATION SUR LES RESIDUS CI et CIII DE LIXIVIATION POUR LE CUIVRE

RESUME - CONCLUSION

Le faciès de la zone cimentée du gisement de ROUEZ (Sarthe) est essentiellement sulfuré, il contient une proportion importante de cuivre (3 %) et ses teneurs en argent et en or ne sont pas négligeables, respectivement près de 50 et 2,4 g/t. Cependant, ses réserves ne sont pas très élevées et il est envisagé d'utiliser comme technique à investissement réduit un traitement de récupération des trois métaux valorisables par lixiviation statique à la suite de celui prévu pour extraire l'or du faciès oxydé.

Le cuivre, principale richesse du faciès cimenté, pourrait être extrait par attaque acide (H_2SO_4) tandis que l'argent et l'or seraient récupérés par cyanuration comme il aura été fait auparavant pour le faciès oxydé.

SNEA(P) a déjà étudié la récupération du cuivre par attaque à l'acide sulfurique et en complément de leurs investigations DAM/MIN a proposé de tester quelques variantes du procédé cité précédemment.

La principale variante consiste à utiliser du chlorure de sodium au sein de la solution d'attaque acide afin d'accélérer la mise en solution du cuivre par complexation de ses ions en solution et d'obtenir la mise en solution de l'argent au cours de cette étape et non d'un traitement ultérieur. Ce mode de traitement a déjà fait l'objet d'une étude préliminaire du département Minéralurgie par Libaude et al., dont les résultats ont été consignés dans la note SGN/MIN/n° 481 du 7 juin 1983.

La seconde variante étudiée est de procéder à un empâtage acide du minerai avant lixiviation (agglomération-macération avec H_2SO_4) comme il est industriellement pratiqué pour des minerais de cuivre silicaté au Chili avec profit au niveau de la récupération du métal du fait d'une meilleure homogénéité de la distribution de l'acide (Cruz et al., Domic et Brimm, 1980 *).

Enfin, on a étudié si il était possible de substituer la thiourée au cyanure comme réactif d'extraction de l'argent et de l'or. La thiourée étant active en milieu acide, son emploi éviterait la neutralisation que nécessite celui du cyanure.

* "Leaching and recovering copper from As-mined Materials"

Editor W.J. Schlitt, Proceedings of the Las Vegas Symposium, February 26, 1980.

De l'ensemble des essais réacteur et colonne pratiqués dont les résultats sont détaillés dans le rapport qui suit, on retiendra les principaux faits suivants :

- les cinétiques d'extraction du cuivre en milieu acide (H_2SO_4) et par lixiviation statique toutes conditions confondues sont particulièrement rapides pour un minerai essentiellement sulfuré, près de 72 % de cuivre extrait à pH 1,00 en environ 30 jours.
- la teneur en acide, de pH 1,00 à 100 g/l de H_2SO_4 a peu d'influence sur l'extraction finale, seulement le palier d'extraction est atteint plus rapidement lorsque l'acidité est plus forte
- à teneur en acide équivalente, l'extraction du cuivre en présence de 200 g/l de NaCl est améliorée de 6 à 8 % ; 80 % de cuivre extrait en 36 jours à 100 g/l de H_2SO_4 et 200 g/l de NaCl contre 72 % sans NaCl. L'extraction de l'argent dans le même temps, atteint 55 %. Ces résultats confirment ceux obtenus par Libaude et al. en 1983. Des essais réacteurs ont montré que plus la teneur en NaCl est élevée plus les extractions en cuivre et argent sont rapides. L'influence est particulièrement sensible pour l'argent
- la macération du minerai en milieu H_2SO_4 assez concentré avant lixiviation améliore sa tenue mécanique, mais ni la cinétique ni l'extraction du cuivre
- pour un concassage à un d_{80} de 15 mm des échantillons de minerai traités en colonne, le débit de solution de 33 à 41 l/h/m³ n'a pas d'influence sur la cinétique de dissolution du cuivre, mais à 43 l/h/m³ on constate un déplacement important des fines de minerai et un colmatage du milieu
- le recyclage continu des jus de lixiviation en attaque avec réajustement des teneurs en acide conduit à une inhibition de la mise en solution du cuivre qui disparaît momentanément avec le renouvellement des solutions. Le fonctionnement par cycles avec ces phénomènes de saturation donnerait toutefois lieu à une extraction globale plus rapide du cuivre qu'un fonctionnement en circuit ouvert (à acidité équivalente) avec en outre en corollaire une moindre consommation d'eau pour une extraction ultime du cuivre
- la consommation d'acide en milieu sulfate seul (sans NaCl) est du même ordre de grandeur en fin de cinétique (30 jours de lixiviation statique) que l'on régule l'acidité à pH 1,00 ou à 100 g/l de H_2SO_4 ; de 50 à 60 kg de H_2SO_4 /tonne. En présence de NaCl, le résultat est plus nuancé, du même ordre de grandeur qu'en milieu sulfate, à 100 g/l de H_2SO_4 , elle serait moitié moindre (environ 25 kg/t) à pH 1,00 avec une extraction du cuivre égale à celle obtenue en milieu sulfate

- que ce soit par cyanuration ou par thiouréation, des essais sur des résidus d'attaque acide broyés finement (- de 100 μ m) ne laissent espérer qu'une extraction de 33 à 35 % de l'or (résidu titrant 1,4 à 2 g/t). Pour l'argent, un essai à la thiourée a permis d'en extraire 65 %, tandis que son extraction par cyanuration s'élève à 30 %. Ainsi, la récupération par cyanuration des métaux précieux apparaît assez mauvaise. Le traitement à la thiourée est techniquement difficile à pratiquer industriellement, les conditions de récupération de l'or et l'argent étant excessivement précises et contradictoires.

A la suite de ces résultats, le prolongement utile de ce travail consisterait selon nous à se concentrer uniquement sur la phase de récupération du cuivre afin d'aboutir à une définition précise des conditions technico-économiques optimales du traitement par lixiviation statique. On retiendra particulièrement les points suivants :

- optimisation de la lixiviation en présence de NaCl en fonction des récupérations en cuivre et argent et de la consommation d'acide par comparaison avec le milieu sulfate seul. Evaluation technico-économique des avantages de l'utilisation de NaCl en prenant en compte le coût supplémentaire qu'elle introduit
- optimisation du type de fonctionnement de la lixiviation avec et sans recyclage des jus, avec prise en compte de la récupération du cuivre de la solution (cimentation), de l'élimination d'éléments s'accumulant dans la solution tel que le fer et du renouvellement des solutions d'attaque
- étude d'optimisation du concassage (récupération du cuivre, consommation d'acide/coûts de concassage)
- essai pilote complet ; lixiviation et récupération du cuivre, dans les conditions optimales.

Ce travail a été réalisé sur les fonds propres de DAM/MIN 1985.

* * *

INTRODUCTION

Cette étude de la récupération du cuivre, de l'argent et de l'or du minerai de la zone cimentée de ROUEZ s'inscrit dans le projet général de développement du gisement de ROUEZ dont le SNEA(P) est l'opérateur et le BRGM via CHENI est actionnaire à 50 %.

Le projet de traitement de l'ensemble du gisement est rappelons le, envisagé en deux parties suivant les deux principaux minerais rencontrés. La première serait une lixiviation en tas de la partie oxydée du gisement pour récupération de l'or et la seconde un procédé pyrométallurgique permettant la récupération du soufre du massif pyritique.

L'exploitation de la zone cimentée intermédiaire est envisagée compte tenu de ses teneurs intéressantes en Cu, près de 3 % et secondairement en Ag, près de 50 g/t et en Au, près de 2 g/t. Toutefois, les réserves en sont limitées et son exploitation ne pourraient relever que d'un traitement à faible investissement du type lixiviation statique en réutilisant une partie des moyens mis en oeuvre pour exploiter la zone oxydée.

Les travaux, dont on présente les résultats dans ce rapport, ont été effectués par DAM/MIN suivant un programme établi en concertation avec SNEA(P) et financés sur les fonds propres du département.

Concernant l'extraction du cuivre ont été effectués :

- des essais réacteur en milieu sulfate et chlorure de sodium (200 g/l) avec ou sans ferrique en solution, à pH 1, destinés à orienter les conditions des essais de lixiviation statique,
- des essais colonne en milieu sulfurique seul (pH 1 et H₂SO₄ 100 g/l), en milieu sulfurique + chlorure de sodium, avec ou sans empâtage préalable du minerai d'une granulométrie de d₈₀ - 15 mm en milieu H₂SO₄ concentré et avec ou sans recyclage des jus de lixiviation,
- on a enfin étudié l'extraction de l'argent et de l'or sur des résidus concassés d'essais colonne en milieu sulfate seul et en milieu chlorure par des tests en réacteur agité de lixiviation à la thiorée et au cyanure.

* * *

1. DESCRIPTION DE L'ECHANTILLONNAGE POUR LES DIVERS ESSAIS ET DONNEES MINERALOGIQUES SUR LE MINERAI

L'échantillon de minerai reçu de SNEA(P) d'un poids de 290 kg était constitué d'une majorité de blocs de 40 à 50 mm. La préparation qu'il a subi est présentée en figure 1.

L'analyse élémentaire fournie au tableau 1 et l'analyse ICP en tableau 2 montrent que le minerai est essentiellement constitué de sulfures.

Une analyse minéralogique en section polie d'un échantillon broyé à 100 μm montre que le cuivre est principalement présent sous forme de chalcopryrite (1,5 à 3 % au sein du minerai) et de covellite (1 à 1,5 %). On a toutefois mis aussi en évidence de la bornite (Cu_5FeS_4), de l'énargite ($\text{Cu}_3\text{As}_3\text{S}_4$), du cuivre gris (Cu , Fe , Zn , Hg , Ag)₁₂ (Sb , As)₄ S_{13} ainsi que du silicate de cuivre.

Une analyse granulométrique a été réalisée sur le minerai concassé à un d_{80} de 16 mm dont les échantillons ont servi pour les essais de lixiviation statique (voir tableau 3 et figure 2). On constate qu'il y a une assez forte proportion de fines particules ($< 100 \mu\text{m}$, près de 20 %), que si le cuivre est assez uniformément réparti suivant les tranches granulométriques du point de vue des teneurs, en revanche l'or et l'argent ont des teneurs plus élevées pour les tranches fines. Par ailleurs, l'interpolation graphique de la courbe des passants à 80 % donne un d_{80} de 14,9 mm assez proche des 16 mm prévus initialement. On parlera donc dorénavant de d_{80} 15 mm plutôt que de d_{80} 16 mm.

L'humidité du minerai estimée sur l'échantillon qui a servi à l'analyse granulométrique est de 7,02 % par rapport au poids sec de minerai.

PREPARATION DES ECHANTILLONS POUR LES ESSAIS COLONNE ET
 REACTEUR AINSI QUE LES ANALYSES

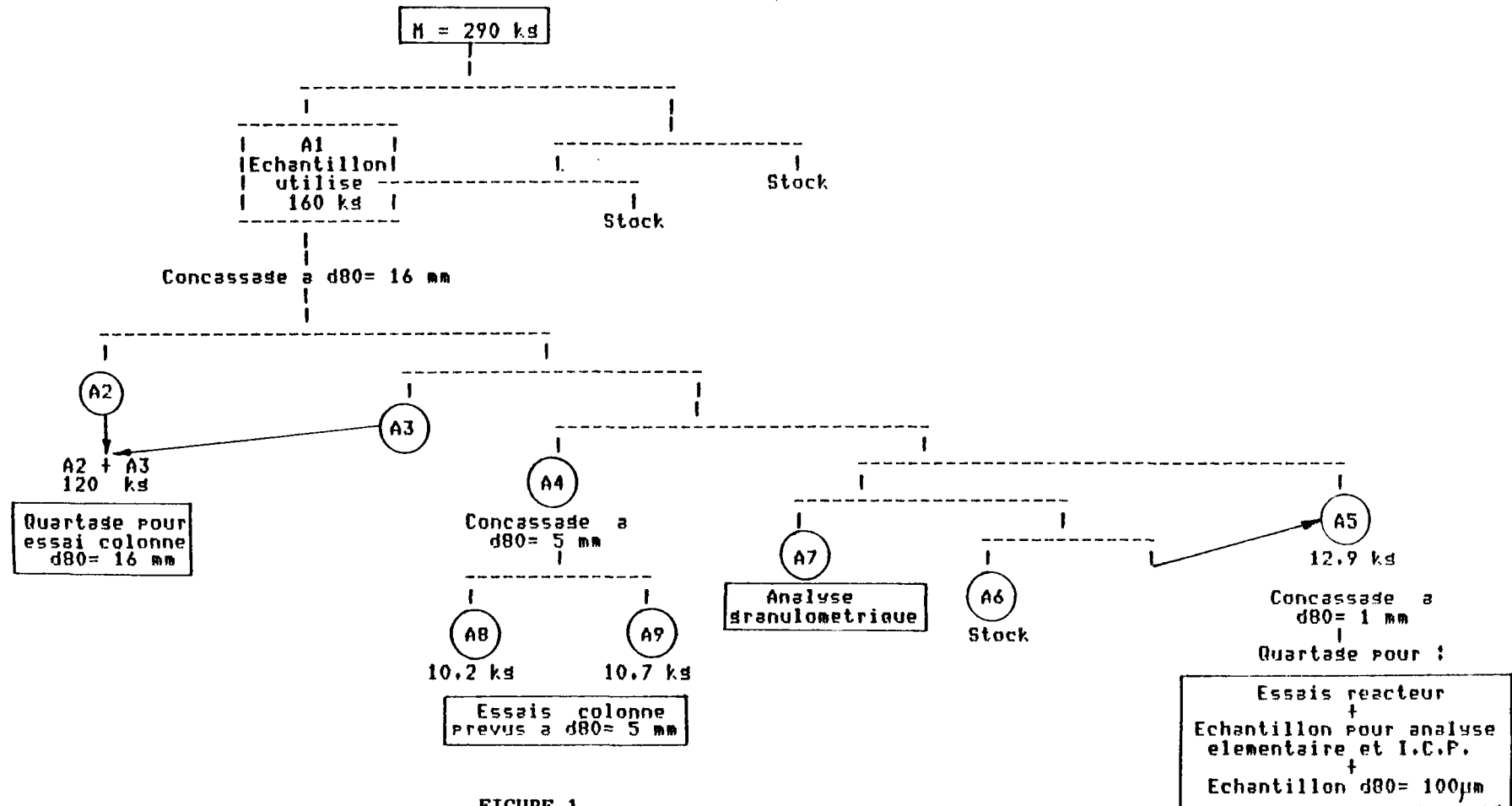


FIGURE 1

- PREPARATION MECANIQUE DU MINERAL

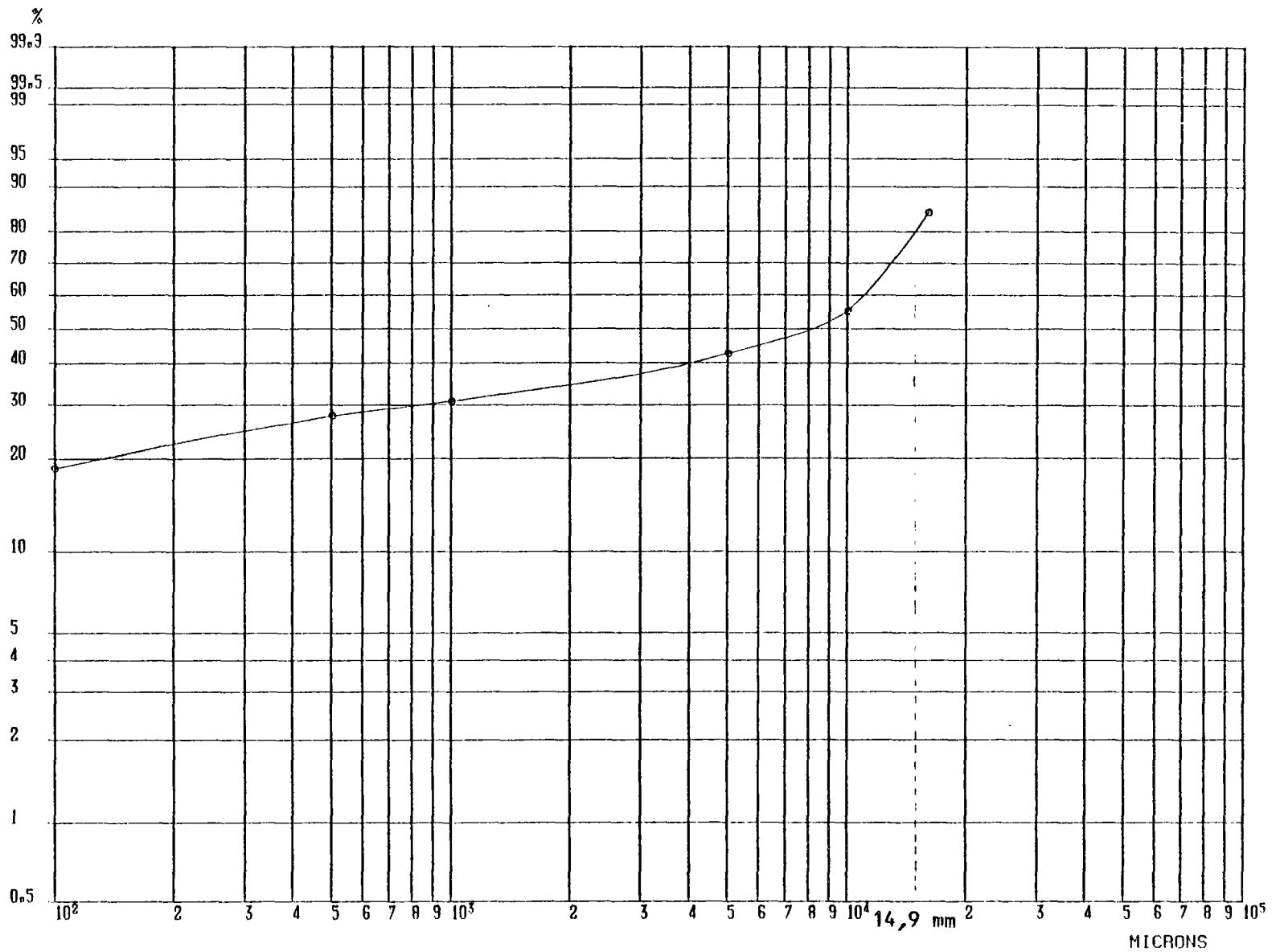


FIGURE 2

- COURBE GRANULOMETRIQUE (FRACTION PASSANTE) DU MINERAL CONCASSE A UN D₈₀ DE 15 MM

Tableau : 1

ANALYSE ELEMENTAIRE
DU MINERAI TOUT-VENANT

ELEMENTS	Cu en %	Fe en %	Zn en %	PB en %	S en %	Au en g/t	As en g/t
TOUT-VENANT	2.98	35.50	0.27	0.68	47	2.39	48,3
SEC						(1)	

(1) Moyenne de 3 analyses : 2.43, 2.35 et 2.40 g/t

Tableau : 2

ANALYSE DU MINERAI TOUT-VENANT PAR I.C.P. (Inducted Coupled Plasma)

ECHANTILLON	SiO ₂ ⁺	Al ₂ O ₃ ⁺	Fe ₂ O ₃ ⁺	CaO ⁺	MgO ⁺	K ₂ O ⁺	MnO ⁺	TiO ₂ ⁺	P ₂ O ₅ ⁺	Li [‡]	Be [‡]	B [‡]	V [‡]	Cr [‡]	Co [‡]	Ni [‡]	Cu [‡]
TOUT-VENANT	2.1	<1.0	78.4	<1.0	<1.0	1.0	<0.01	0.25	819	<10	<2	75	19	453	252	209	>0.8
ECHANTILLON	Zn [‡]	As [‡]	Sr [‡]	Y [‡]	Nb [‡]	Mo [‡]	Ag [‡]	Cd [‡]	Sn [‡]	Sb [‡]	Ba [‡]	La [‡]	Ce [‡]	W [‡]	Pb ⁺	Bi [‡]	Zr [‡]
TOUT-VENANT (suite)	3846	2834	16	<20	<20	25	84.0	9	148	403	196	<20	<10	101	>0.6	142	468

+ : valeurs en %

‡ : valeurs en ppm

TABLEAU 3 : ANALYSE GRANULOMETRIQUE DU MINERAI CONCASSE A UN
 d_{80} DE 15 mm, REPARTITION POIDS AINSI QUE TENEURS
 ET MASSES EN Au, Ag et Cu SUIVANT LES TRANCHES.

FRACTIONS GRANULOM. MICRONS	POIDS %	TENEUR			DISTR.			
		Au s/t	Ag s/t	Cu s/t	Au %	Ag %	Cu %	
>	16000.	15.89	2.05	36.00	2.69	14.57	11.14	15.83
16000.	10000.	29.37	2.06	37.00	2.77	27.06	21.16	30.13
10000.	5000.	12.32	2.00	40.00	2.64	11.02	9.59	12.05
5000.	1000.	11.59	2.38	76.00	2.43	12.34	17.15	10.43
1000.	500.	3.22	2.72	69.00	2.43	3.92	4.32	2.90
500.	100.	8.95	2.35	54.00	2.04	9.40	9.41	6.76
100.	-100.	18.65	2.60	75.00	3.17	21.69	27.24	21.90
COMPOSITION								
MOY. CALCULEE	100.00	2.24	51.37	2.70	100.00	100.00	100.00	100.00
COMPOSITION								
MOY. ANALYSEE		2.39	45,20	2.98				

2. ESSAIS REACTEUR PRELIMINAIRES POUR L'ETUDE DE LA MISE EN SOLUTION DU CUIVRE

Ces essais ont eu pour objectif d'évaluer rapidement, avant d'effectuer des tests en lixiviation statique, l'influence sur les cinétiques de mise en solution du cuivre au cours d'une attaque en milieu acide (H_2SO_4) de l'addition de chlorure de sodium et de sulfate ferrique. On a ainsi procédé à des tests en réacteur batch à température ambiante à différentes teneurs en NaCl (10, 40, 100 et 200 g/l), sans ferrique et avec ferrique (20 g/l de fer) en milieu H_2SO_4 , pH 1. Ces tests ont été conduits sur des échantillons de minerai concassé à un d_{80} de 1 mm et un échantillon broyé à un d_{80} de 100 μm .

2.1. Mode opératoire

On a utilisé un réacteur cylindrique, à fond rond, muni de contre-pales et agité par une turbine à 6 pales tournant à 900 t/min. Pour chacun des essais, environ 400 g de minerai ont été traités par 1,2 l en solution. On a maintenu un constant bullage d'air mais à débit variable pour empêcher une trop importante flottation du minerai. Le pH a été régulé à 1,00 à l'aide d'une unité automatique de régulation Tacussel Urectron 6 dans tous les essais, par addition d'une solution de H_2SO_4 à 1 000 g/l. Le volume d'acide ajouté, non enregistré systématiquement, a toujours été pratiquement négligeable par rapport au volume de pulpe initial.

Quatre à cinq prélèvements de 10 à 20 ml de pulpe ont été effectués au cours des 24 heures que duraient les expériences. On a procédé au suivi de la mise en solution du cuivre au cours des essais par dosage du cuivre par absorption atomique sur les filtrats des prélèvements.

Les solutions d'attaque contenaient initialement, systématiquement 10 g/l de H_2SO_4 et d'une expérience à l'autre 0 - 10 - 40 - 100 et 200 g/l de NaCl, puis 10 g/l de H_2SO_4 + 20 g/l de fer ferrique ($Fe_2(SO_4)_3$) avec 0 - 10 - 40 - 100 et 200 g/l de NaCl.

L'ensemble des conditions opératoires et des résultats de chacune des manipulations sont fournis en annexe 1.

Remarque

Les cinétiques ont été établies par bilan en prenant en compte la teneur d'alimentation analysée de 2,98 % en cuivre et non un bilan passant par les teneurs en solution et celles des résidus. Ce calcul est justifié par les prélèvements (6) de pulpe que nous avons effectués et l'incertitude qui en résulte sur l'estimation du poids du résidu. En tout état de cause, on pourra constater, annexe 1, que teneurs reconstituées en moyenne 3,01 % et teneur analysée, 2,98 %, sont toujours très proches (sauf pour l'échantillon à un d_{80} de 100 μm).

2.2. Résultats

La figure 3 montre l'évolution de la mise en solution du cuivre en fonction de la teneur en NaCl en solution.

On peut voir que les cinétiques les plus rapides sont obtenues pour les 2 teneurs en NaCl les plus élevées, soit 100 et 200 g/l de NaCl, avec respectivement 54,6 et 55,2 % d'extraction du cuivre après près de 27 heures de lixiviation. Les cinétiques de ces deux lixiviations auraient d'ailleurs pu donner des extractions encore plus élevées en prolongeant les attaques, tandis qu'à des teneurs plus faibles en NaCl (respectivement 0 - 20 et 40 g/l), il apparaît un assez net palier d'extraction après 20 heures de lixiviation aux alentours de 40 % de cuivre extrait.

Nous devons préciser que la régulation de pH que nous avons effectuée n'était pas rigoureuse dans la mesure où on a utilisé le même jeu d'électrode de pH et de référence au calomel, standardisé dans les mêmes conditions quelle que soit la nature des solutions d'attaque. Nous n'avons donc pas pris en compte l'acidité vraie des solutions et la régulation ne correspondait pas à une acidité libre commune. Toutefois, la quantité d'acide initiale (H_2SO_4 10 g/l) a toujours été la plus importante de celles mises en jeu au cours des expériences, c'est-à-dire vis-à-vis de celles apportées par les sels ajoutés, NaCl et sulfate ferrique et de l'acide ajouté au cours des lixiviations pour maintenir le pH à 1,00.

La figure 4 montre l'évolution des cinétiques de mise en solution du cuivre pour les mêmes teneurs en NaCl que précédemment, mais en présence de fer ferrique à une teneur initiale de 20 g/l.

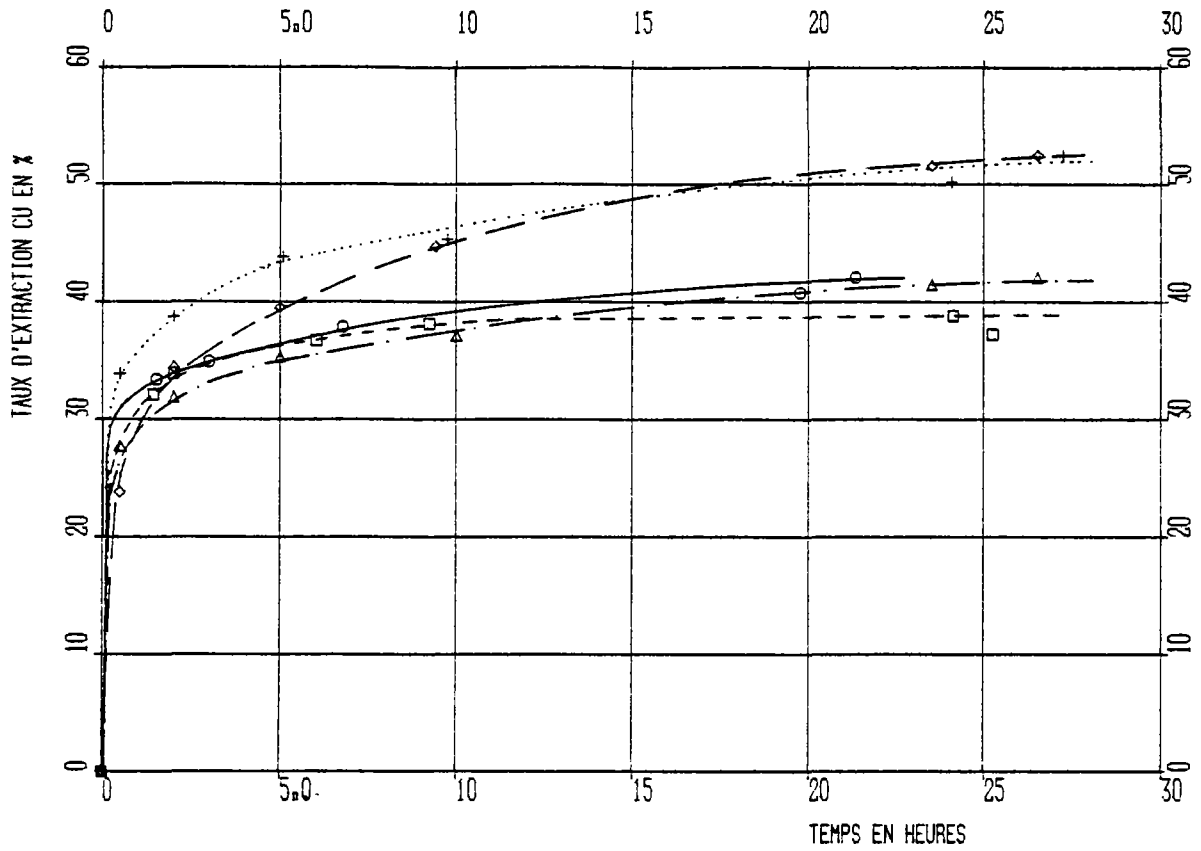
Comme précédemment, on constate que les cinétiques les plus rapides sont obtenues pour les teneurs en NaCl les plus élevées, particulièrement 200 g/l de NaCl. Pourtant, les cinétiques sont moins dispersées et de manière inexplicable on ne retrouve pas à 100 et 200 g/l de NaCl des extractions finales aussi élevées que lorsqu'il n'y a pas de fer ferrique initialement. On constate cependant que la phase initiale des cinétiques est plus rapide en présence de ferrique.

La figure 5 montre l'influence de la granulométrie du minerai sur la cinétique de mise en solution du cuivre.

L'argent ne passe significativement en solution qu'en présence d'une forte concentration en NaCl en fait au moins à 100 g/l. Ainsi, les taux d'extractions finales (après 25 heures de lixiviation en moyenne) pour les expériences à 100 g/l de NaCl en sont de 18 et 12 % selon qu'il y a ou pas de ferrique en solution, et dans les deux cas 37 % pour 200 g/l de NaCl.

2.3. Conclusion

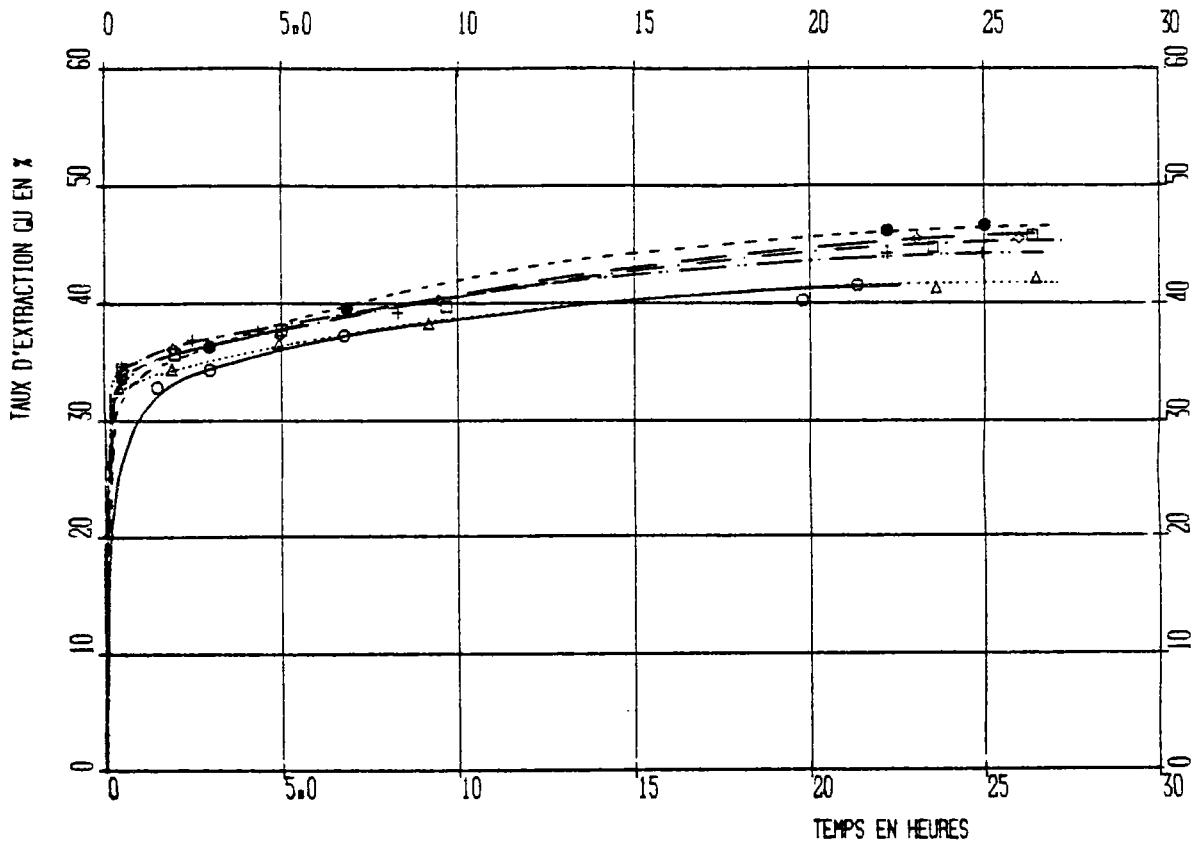
Dans des conditions d'acidité comparables, la présence de chlorure de sodium accélère la cinétique de mise en solution du cuivre mais de façon significative qu'à partir de 100 g/l. Entre 100 et 200 g/l, il y a peu de différence en matière d'extraction finale. En revanche, pour l'argent, plus la teneur en NaCl est élevée (de 100 à 200 g/l) plus l'extraction est importante.



- MILIEU : H₂SO₄, 10 g/l
- △ MILIEU : H₂SO₄, 10 g/l + NaCl 10 g/l
- MILIEU : H₂SO₄, 10 g/l + NaCl 40 g/l
- ◇ MILIEU : H₂SO₄, 10 g/l + NaCl 100 g/l
- + MILIEU : H₂SO₄, 10 g/l + NaCl 200 g/l

FIGURE 3

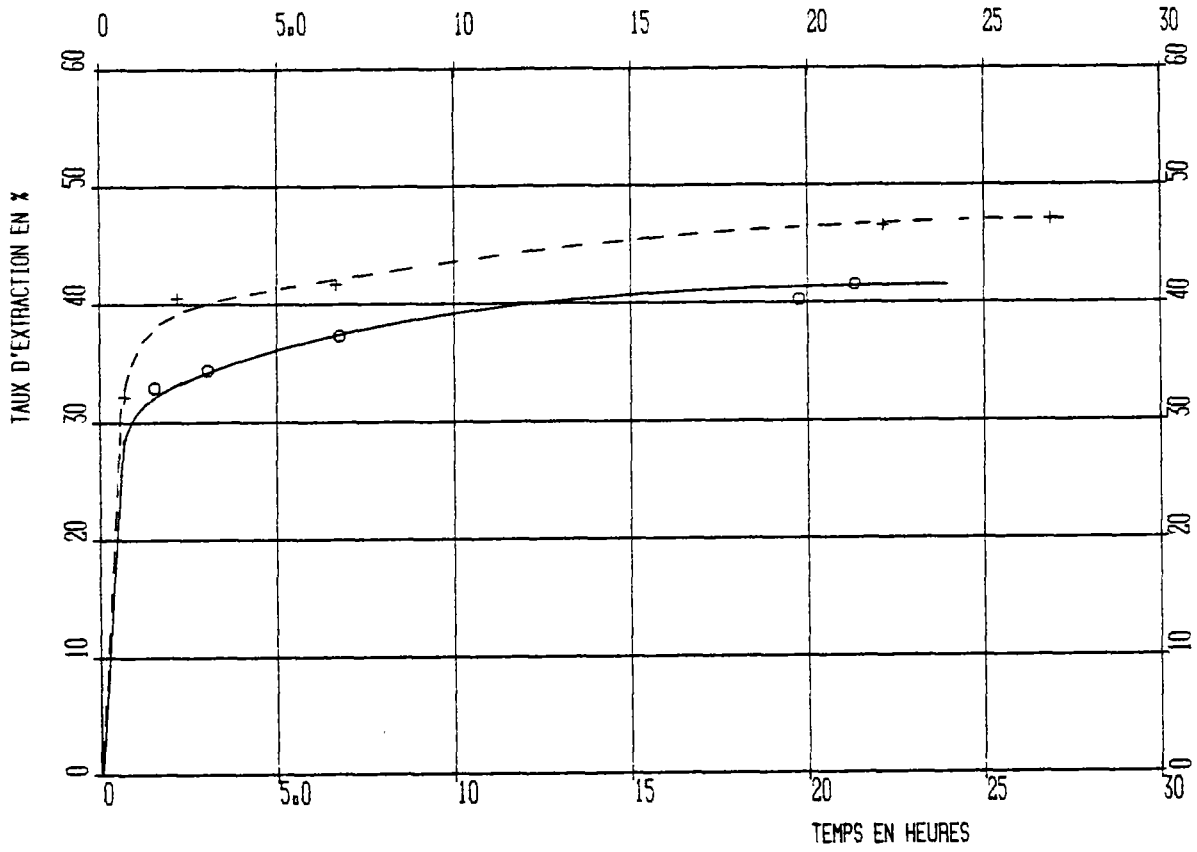
- ESSAIS REACTEURS. CINETIQUES DE MISE EN SOLUTION DU CUIVRE A DIVERSES TENEURS EN NaCl



- MILIEU : H₂SO₄, 10 g/l
- △ MILIEU : H₂SO₄, 10 g/l + FE₃ + 20 g/l
- MILIEU : H₂SO₄, 10 g/l + NACL 10 g/l + FE₃ + 20 g/l
- ◇ MILIEU : H₂SO₄, 10 g/l + NACL 40 g/l + FE₃ + 20 g/l
- + MILIEU : H₂SO₄, 10 g/l + NACL 100 g/l + FE₃ + 20 g/l
- MILIEU : H₂SO₄, 10 g/l + NACL 200 g/l + FE₃ + 20 g/l

FIGURE 4

- ESSAIS REACTEURS. CINETIQUES DE MISE EN SOLUTION DU CUIVRE A DIVERSES TENEURS EN NaCl EN SOLUTIONS, AVEC 20 g/l DE Fe³⁺ EN SOLUTION INITIALEMENT



ESSAIS REACTEUR, CINETIQUES DU CUIVRE

- MILIEU : H₂SO₄, 10 g/l - $d_{80} = 1 \text{ mm}$
- + MILIEU : H₂SO₄, 10 g/l - $d_{80} = 100 \text{ microns}$

FIGURE 5

- ESSAIS REACTEURS. CINETIQUES DE MISE EN SOLUTION DU CUIVRE A DEUX GRANULOMETRIES

La présence de fer ferrique à raison de 20 g/l conduit à une cinétique d'abord plus rapide, mais finalement à une extraction du même ordre de grandeur que lorsqu'il n'y en a pas. Il ne paraît donc pas utile pour les essais de lixiviation statique de retenir ce paramètre d'étude, d'autant que sur le plan pratique (industriel) la régénération de cet agent oxydant poserait des problèmes.

3. ESSAIS COLONNE DE MISE EN SOLUTION DU CUIVRE

Au cours de ce travail, nous avons cherché à étudier la mise en solution du cuivre accessible par lixiviation statique, par ruissellement, dans diverses conditions. Nous avons utilisé pour ce faire, de manière classique, des colonnes de divers diamètres partiellement remplies de minerai, arrosé de solution à débit fixe sans autres contraintes de percolation que celles que pouvait opposer le minerai lui-même. L'étude a principalement porté sur la mesure de l'influence de :

- la présence de chlorure de sodium (200 g/l) dans la solution de lixiviation,
- une macération préalable (avant lixiviation) à l'aide d'une solution très concentrée d'acide (H_2SO_4),
- le mode de circulation de la solution de lixiviation ; renouvellement par cycles ou arrosage par une solution fraîche de façon permanente,

sur la cinétique et l'extraction finale du cuivre et les consommations d'acide et d'eau.

3.1. Mode opératoire

L'ensemble des principales conditions opératoires de chaque essai réalisé est présenté au tableau 4.

Il faut préciser que le fonctionnement en circuit fermé correspond en fait à un fonctionnement par cycles. La solution d'arrosage, reprise d'un bidon de récupération sous les colonnes, est, pour ces essais, en fait remplacée au bout de quelques jours par une solution fraîche. En circuit ouvert, on a toujours arrosé le minerai par une solution fraîche.

La macération a été effectuée après agglomération sur disque bouletteur avec aspersion de la solution concentrée d'acide. La concentration d'acide a été de 38 % poids pour les essais CII et CIV et de 20 % pour les essais CVII à CXII et la durée de macération a varié de 24 heures à 6 jours suivant les essais.

Tous les essais ont été réalisés avec des échantillons de minerai à une granulométrie d'un d_{80} de 15 mm. Nous comptions faire des tests à un d_{80} de 5 mm (des échantillons avaient été préparés pour cela), mais le temps nécessaire n'a pu être dégagé.

Les détails des conditions opératoires initiales et des données finales propres à chaque essai sont présentés sous forme de fiches en annexe 2 accompagnés des résultats de dosage en solutions du cuivre, ainsi que du fer, de l'arsenic, du zinc, du plomb et de l'argent pour certains essais.

Les bilans qui ont permis de calculer les cinétiques de mise en solution en cuivre ont été établis, au contraire des essais réacteurs, à l'aide des quantités de cuivre, dosé par absorption atomique, en solution et celles évaluées dans les résidus. Il faut noter que la teneur moyenne reconstituée (2,95 %) est très proche de la teneur analysée (2,98 %).

Tableau no 4 CONDITIONS OPERATOIRES GENERALES DES ESSAIS COLONNES

References colonnes	Masse de minerai kg	Diametre colonne mm	Hauteur minerai cm	Debit specif. moyen de solution l/h/m ²	Maceration (Oui/Non)	Fonctionnement en circuit... (Ouvert/Ferme)	Acidite	NaCl
CI	8.230	150	n.d.	38	non	ferme	pH 1 - 0.5	0
CII	9.218	"	n.d.	41	oui	ferme	"	0
CIII	11.000	"	n.d.	32	non	ferme	"	200 g/l
CIV	9.655	"	n.d.	32	oui	ferme	"	200 g/l
CV	10.052	"	26	34	non	ferme	H2SO4 100 g/l	0
CVI	9.951	"	25	34	non	ferme	"	200 g/l
CVII	10.185	"	30	34	oui	ferme	"	0
CVIII	9.886	150	27	34	oui	ferme	"	200 g/l
CIX	6.773	54	144	33 (*)	oui	ouvert	H2SO4 20 g/l	0
CX	6.705	"	145	41	oui	ouvert	"	0
CXI	6.770	"	145	33	oui	ouvert	"	200 g/l
CXII	6.703	"	145	43	oui	ouvert	"	200 g/l

(*) Pour les colonnes CIX à CXII il ne s'agit pas de debit d'arrosage comme pour les autres essais mais de debit de recuperation qui ne tient donc pas compte de l'evaporation.

L'acidité des solutions d'arrosage-récupération en fonctionnement en circuit fermé a été systématiquement ramenée à une valeur définie (à l'aide de H_2SO_4 1 000 g/l) :

- pH 1, puis pH 0,5 en fin de cinétique pour les essais CI à CIV,
- H_2SO_4 100 g/l, par dosage acide, pour les essais CVI à CVIII,

ceci à raison d'une fois par jour en début d'expérience à 2 fois par semaine en fin d'expérience.

3.2. Résultats

3.2.1. Commentaires sur le comportement à la percolation des échantillons traités

La présence d'une proportion de fines particules ($<100 \mu\text{m}$) assez importante observée au cours de l'analyse granulométrique pouvait donner lieu à des problèmes de percolation du type chemins préférentiels et blocage complet de la percolation.

D'une manière générale pour les essais CI à CVIII en colonnes du plus gros diamètre (150 mm) on n'a observé qu'un déplacement de fines particules assez modéré. Comme on peut en juger sur la photo 1 la tenue mécanique du minerai en cours de lixiviation a semblé meilleure lorsqu'il y avait eu macération préalable, du fait de la formation, au cours de l'agglomération, de boulettes, qui ont gardé leur aspect initial pratiquement tout le long des essais (près de 40 jours).

Pour les essais CIX à CXII, nous avons travaillé avec des colonnes de plus petit diamètre (54 cm) et tous les échantillons de minerai ont subi une macération. Dans cette série d'essais, une colonne, CXII, a donné lieu à colmatage. Nous n'avons pas pu en établir la cause exacte, car dans ce cas, plusieurs conditions opératoires ont été modifiées vis-à-vis des autres essais :

- le débit de solution était le plus élevé de ceux pratiqués, - 43 l/h/m², mais il n'était pas considérablement plus élevé que celui de CX et CII, 41 l/h/m²,
- la macération, comme pour CX, a duré 6 jours au lieu de 1 à 2 jours pour les autres essais,
- la présence de chlorure de sodium par opposition à CX qui n'en contenait pas.

L'objet des essais CX et CXII, réalisés dans des conditions très proches de respectivement CIX et CXI, a justement été d'apprécier l'influence du débit de solution. On peut donc estimer qu'un débit de l'ordre de 40 l/h/m² est une limite à ne pas dépasser si l'on veut maintenir une percolation satisfaisante. Il faut ajouter que la petitesse du diamètre de la colonne, 54 mm, rapportée à la taille des particules de minerai, d_{80} 15 mm et la hauteur de minerai, près de 1,5 m, ont certainement donné lieu à une probabilité de colmatage élevée, comparée à celle des essais en colonne de 150 mm pour 25 cm de minerai.

PHOTO 1

A gauche : Colonne CVII aggloméré

A droite : Colonne CVI non-aggloméré



3.2.2. Cinétiques d'extraction du cuivre - comparaisons des diverses conditions opératoires

La figure 6 montre les cinétiques d'extraction du cuivre obtenues alors que la solution lixiviante tourne en circuit fermé par cycles et que le pH est régulé à 1,00 puis à 0,50. Les faits marquants de ces résultats sont les suivants :

- Le fonctionnement en circuit fermé donne lieu dans tous les cas à une forme d'inhibition qui est levée à chaque fois que l'on renouvelle la solution. Ce phénomène d'inhibition n'est pas dû à un dépôt de produits du type jarosite ou hydroxyde ferrique, car, ainsi que nous le verrons plus loin, il se produit encore lorsque la solution contient 100 g/l de H_2SO_4 . Il nous semble plus probable qu'il s'agisse d'une espèce de mise à l'équilibre du système solution-solide. La présence de chlorure, fort agent complexant des métaux passés en solution, n'a pas d'influence sur ce phénomène. Les paliers d'extraction sont atteints pour des teneurs en métaux en solution à chaque fois différentes (voir annexe 2). On peut penser que cette inhibition a eu lieu aussi en réacteur dans la mesure où on a observé une limitation d'extraction en milieu agité de 42 à 52 % pour des conditions comparables de compositions de solution tandis qu'en lixiviation statique, on parvient par renouvellement de solution à dépasser finalement 70 % d'extraction.

- La macération ne provoque aucune accélération particulière de la cinétique et l'extraction finale aussi bien en milieu sulfate qu'en milieu chlorure est de même ordre de grandeur avec ou sans macération préalable.

- Les milieux sulfate et chlorure donnent lieu à des cinétiques comparables, mais il faut relever que, comme pour les essais réacteur, l'acidité a été maintenue pour régulation d'un pH lu à l'aide d'électrodes dont le comportement n'est pas le même dans les deux milieux. En terme d'acidité vraie, nous n'étions pas dans les mêmes conditions pour les deux milieux et les résultats ne sont donc pas comparables. En milieu chlorure, on sous-estime très nettement la teneur en acide de la solution par rapport au milieu sulfate.

- Le fait d'augmenter l'acidité à pH 0,5 en fin de cinétique a conduit à une légère recrudescence de l'extraction dans tous les cas. Les extractions atteintes en fin d'expérience pouvaient, a priori, être assez nettement dépassées en prolongeant les essais.

Les cinétiques obtenues pour 100 g/l de H_2SO_4 sont présentées figure 7. Des quatre essais concernés, il ressort les faits suivants :

- L'acidité ayant été, dans ce cas, régulée de la même manière pour les 2 milieux sulfate et chlorure, on voit nettement que, à même acidité, la présence de chlorure conduit à des cinétiques plus rapides que le milieu sulfate. En fin d'essai (après 36 à 37 jours de lixiviation) la différence d'extraction s'élève à près de 8 %, 72 % d'extraction en milieu sulfate et 80 en milieu chlorure.

- Comme pour les essais précédents, la macération ne donne pas lieu à une modification des cinétiques particulièrement sensible, les extractions finales pour chacun des deux milieux sont semblables.

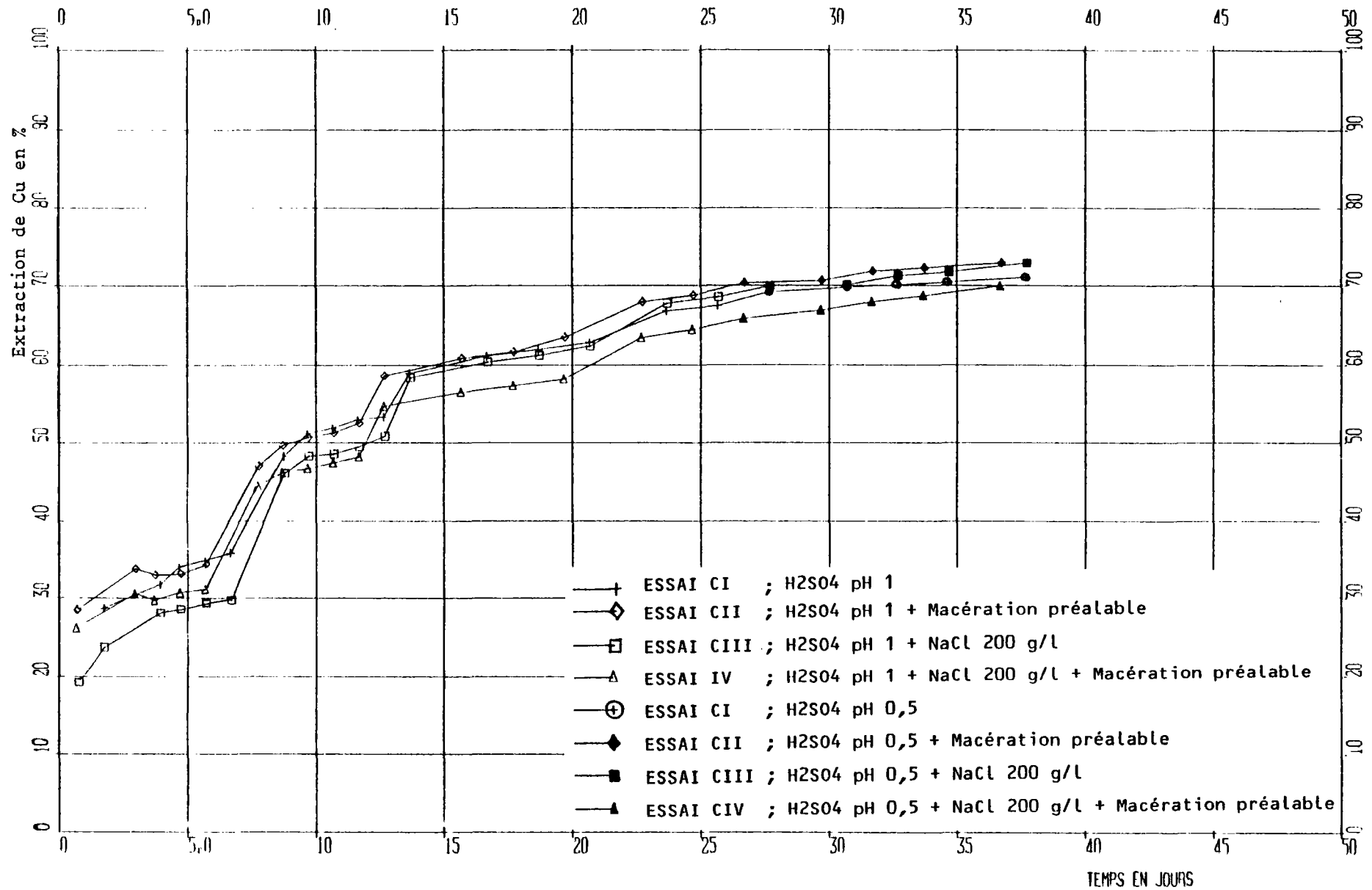


FIGURE 6

- ESSAIS COLONNE. CINETIQUES DE MISE EN SOLUTION DU CUIVRE AVEC ET SANS NaCl EN SOLUTION, ET AVEC ET SANS MACERATION PREALABLE. REGULATION DU pH DE SOLUTION A 1

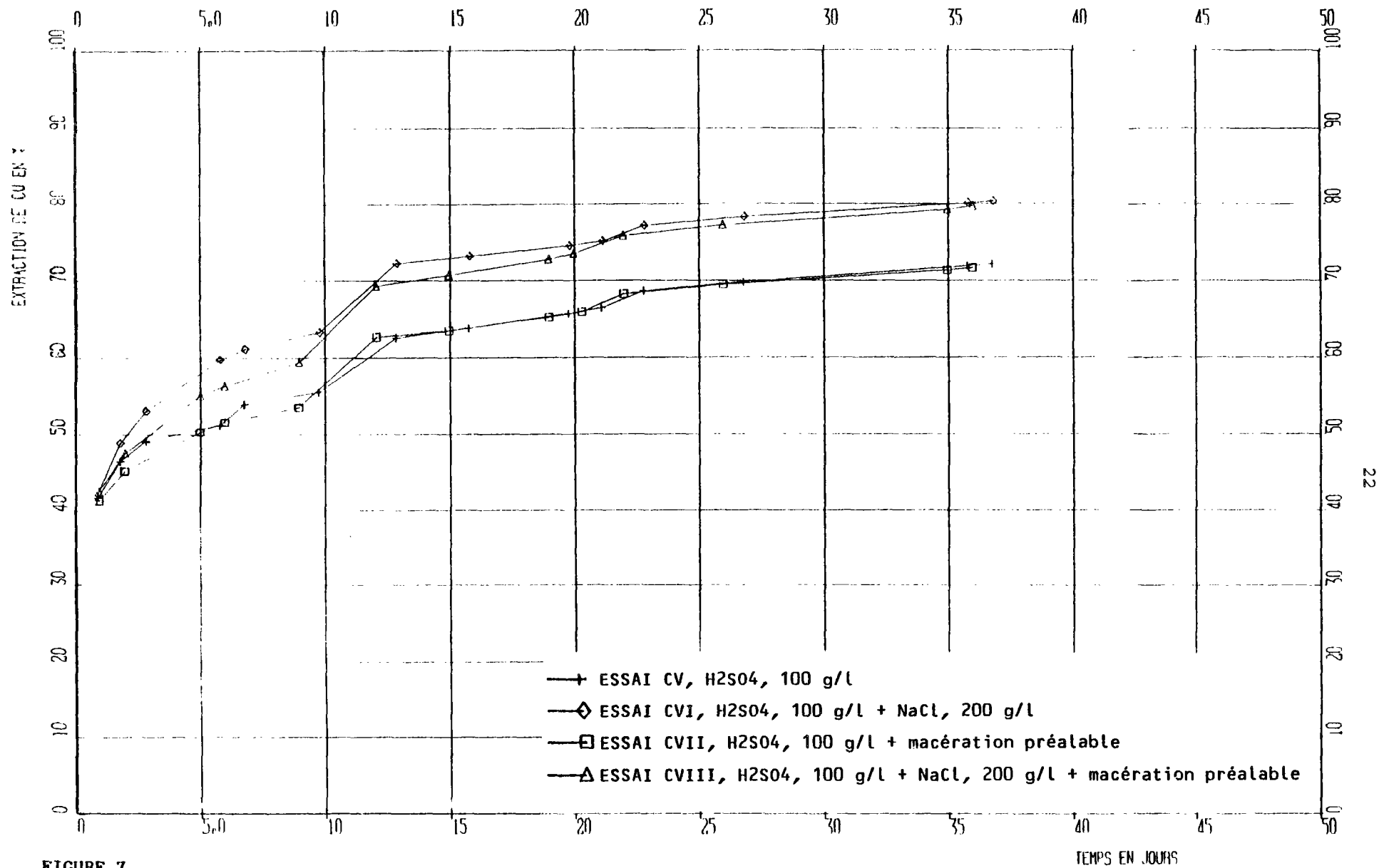


FIGURE 7

- ESSAIS COLONNE. CINETIQUES DE MISE EN SOLUTION DU CUIVRE AVEC ET SANS NaCl EN SOLUTION, ET AVEC ET SANS MACERATION PREALABLE. MAINTIEN DE LA TENEUR EN H₂SO₄ EN SOLUTION A 100 g/l

- Les cinétiques sont d'abord plus rapides qu'à pH 1, mais on aboutit, au moins en milieu sulfate, à des extractions finales comparables pour la même durée des essais. Les paliers d'extraction sont observés dans ces conditions comme à pH 1 alors que la teneur en H_2SO_4 est plus de dix fois supérieure. Il y a moins de paliers qu'à pH 1, mais il est possible de corrélérer ce résultat avec le fait que les solutions recyclées avaient un volume plus important (10 l au lieu de 4 l initialement), les teneurs des métaux en solution étaient ainsi plus faibles qu'à pH 1 (11 à 17 g/l au lieu de 25 à 30 g/l de cuivre par exemple pour la première solution recyclée).

La figure 8 montre les résultats de cinétique obtenus avec fonctionnement en circuit ouvert. On y constate que :

- Pour une durée d'essai équivalente en milieu sulfate, l'extraction finale est de 66 % et inférieure à ce qu'elle était lors des essais par cycles à pH 1, soit de l'ordre de 72 % alors que dans ces essais en circuit ouvert on est en présence de 20 g/l de H_2SO_4 . Doit-on y voir un effet "catalyseur" de la concentration des métaux en solution ? Les cinétiques en circuit ouvert ont des taux d'extraction d'abord plus élevés qu'en circuit fermé, plus élevés même qu'avec 100 g/l H_2SO_4 (voir figure 9 et 10), mais leur tassement très rapide (en une dizaine de jours) conduit à des extractions finales plus basses. En milieu chloruré (figure 10) l'extraction en circuit ouvert (20 g/l de H_2SO_4) est du même ordre que celle en circuit fermé à pH 1, mais rappelons la la différence d'acidité entre les deux essais est plus importante qu'en milieu sulfate. Par ailleurs, l'extrapolation de ces cinétiques à des temps plus longs montre bien que la différence d'extraction entre circuits fermé et ouvert devrait encore s'accroître.

- Faire passer le débit de solution de 33 à 41 ou 43 l/h/m³ ne conduit pas à une amélioration sensible à la cinétique, de plus à un débit de 43 l/h/m³, on aboutit à un colmatage.

On confirme qu'en milieu chlorure, les cinétiques conduisent à des taux d'extraction plus élevés qu'en milieu sulfate pour les mêmes conditions d'acidité (72 % d'extraction finale, CXI, contre 66 %, CIX et CX).

Enfin, comme on peut le voir sur les figures 11 et 12 il semble qu'à long terme l'influence de l'acidité soit plus importante en milieu chlorure qu'en milieu sulfate.

Comme le montrent les figures 13 et 14, la quantité d'eau passée rapportée à l'extraction de cuivre, la concentration des solutions est évidemment d'abord la plus élevée dans le cas du fonctionnement en circuit ouvert, mais très rapidement l'extraction devient plus élevée dans le cas du fonctionnement en circuit fermé et alors nettement moins d'eau suffit à extraire la même quantité de cuivre.

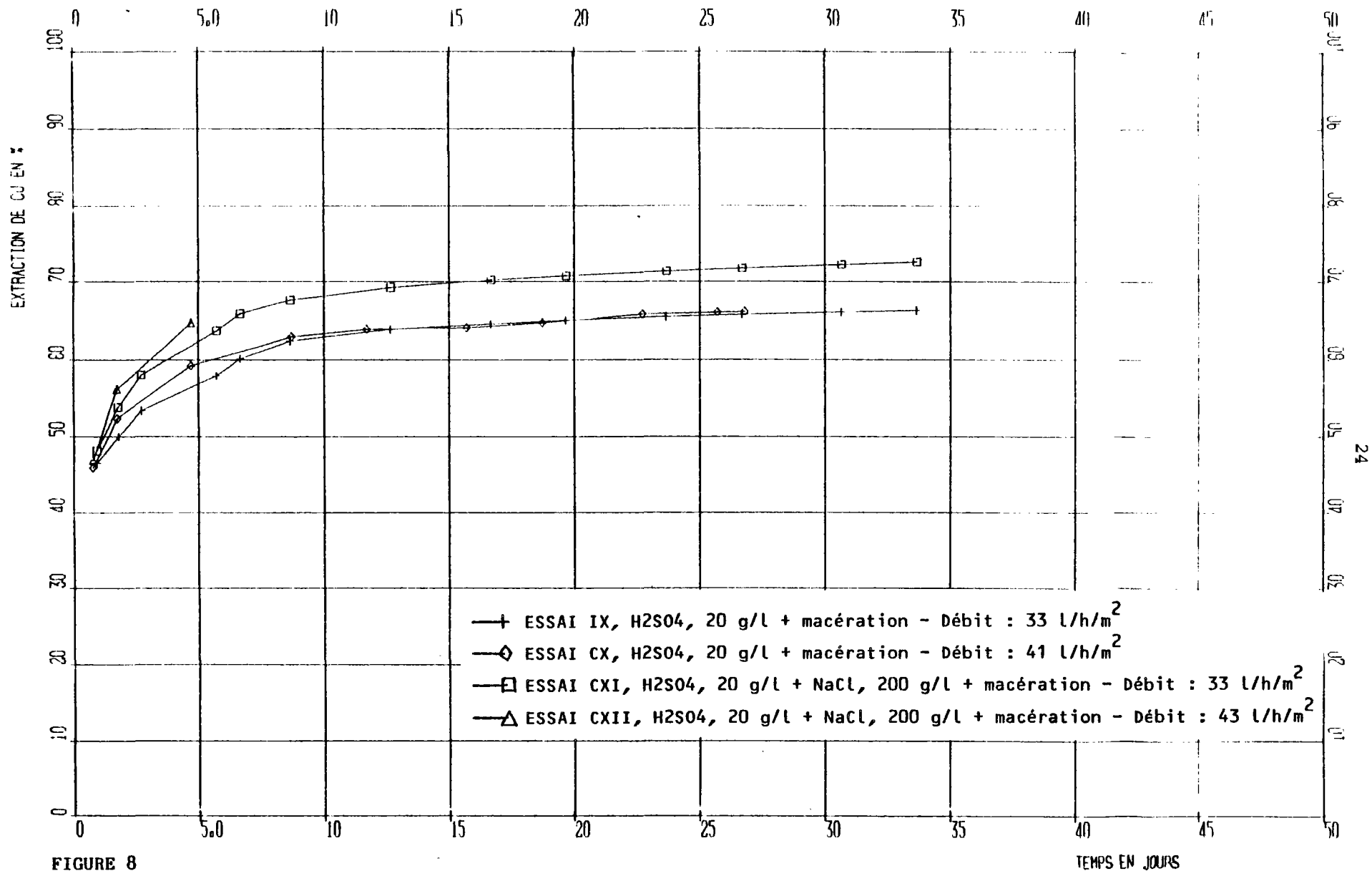
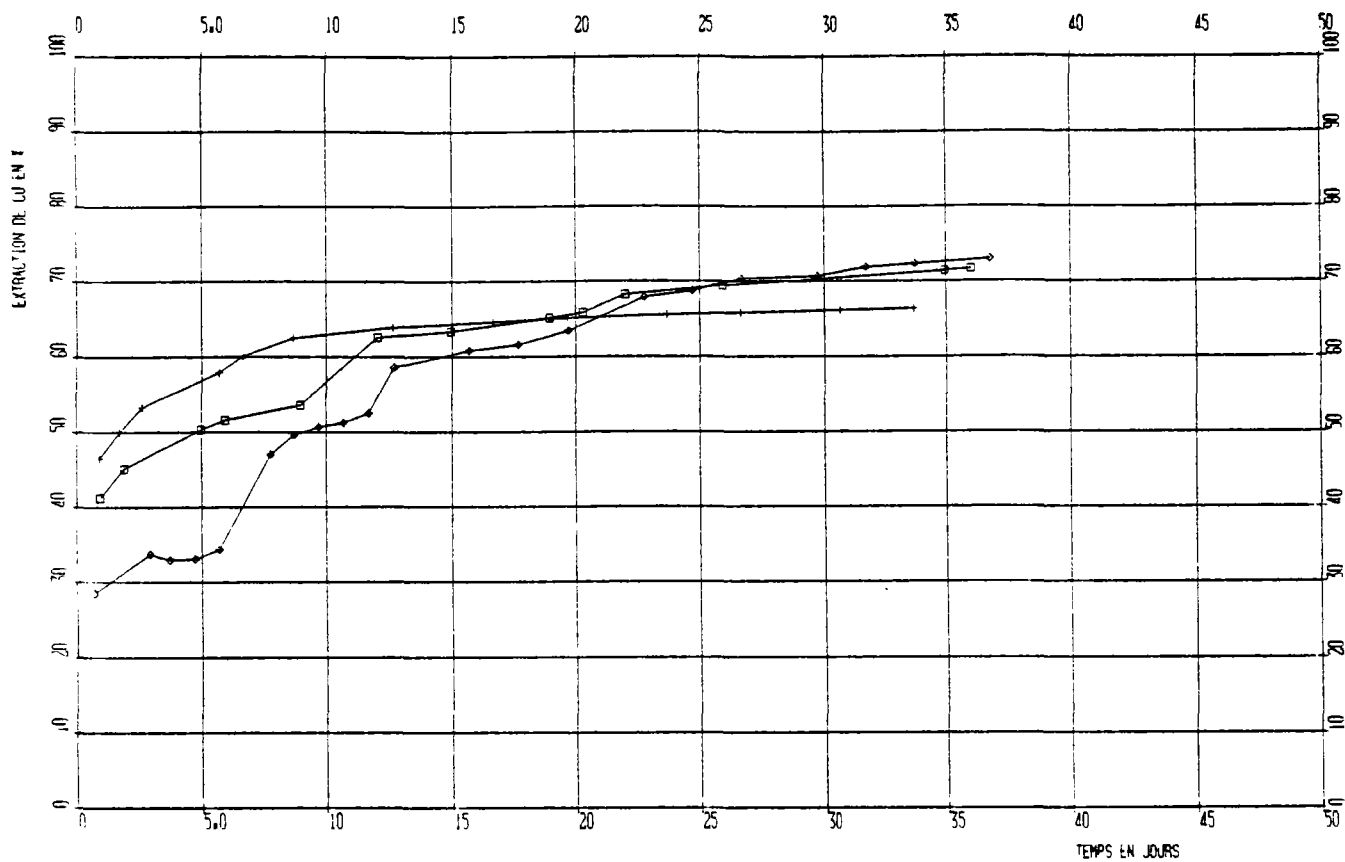


FIGURE 8

- ESSAIS COLONNE. CINETIQUES DE MISE EN SOLUTION DU CUIVRE AVEC ET SANS NaCl EN SOLUTION, AVEC MACERATION. FONCTIONNEMENT EN CIRCUIT OUVERT. TENEUR EN H₂SO₄ 20 g/l. DIVERS DEBITS



—◇— ESSAI CII, H₂SO₄, pH 1 + macération } Fonctionnement fermé par cycles
 —□— ESSAI CVII, H₂SO₄, 100 g/l + macération }
 —+— ESSAI CIX, H₂SO₄, 20 g/l + macération - Fonctionnement ouvert

FIGURE 9

- ESSAIS COLONNE. CINÉTIQUES DE MISE EN SOLUTION DU CUIVRE. EFFET DU TYPE DE FONCTIONNEMENT ; FERMÉ (PAR CYCLES) OU OUVERT, ET DE L'ACIDITÉ EN MILIEU SULFATE AVEC MACÉRATION

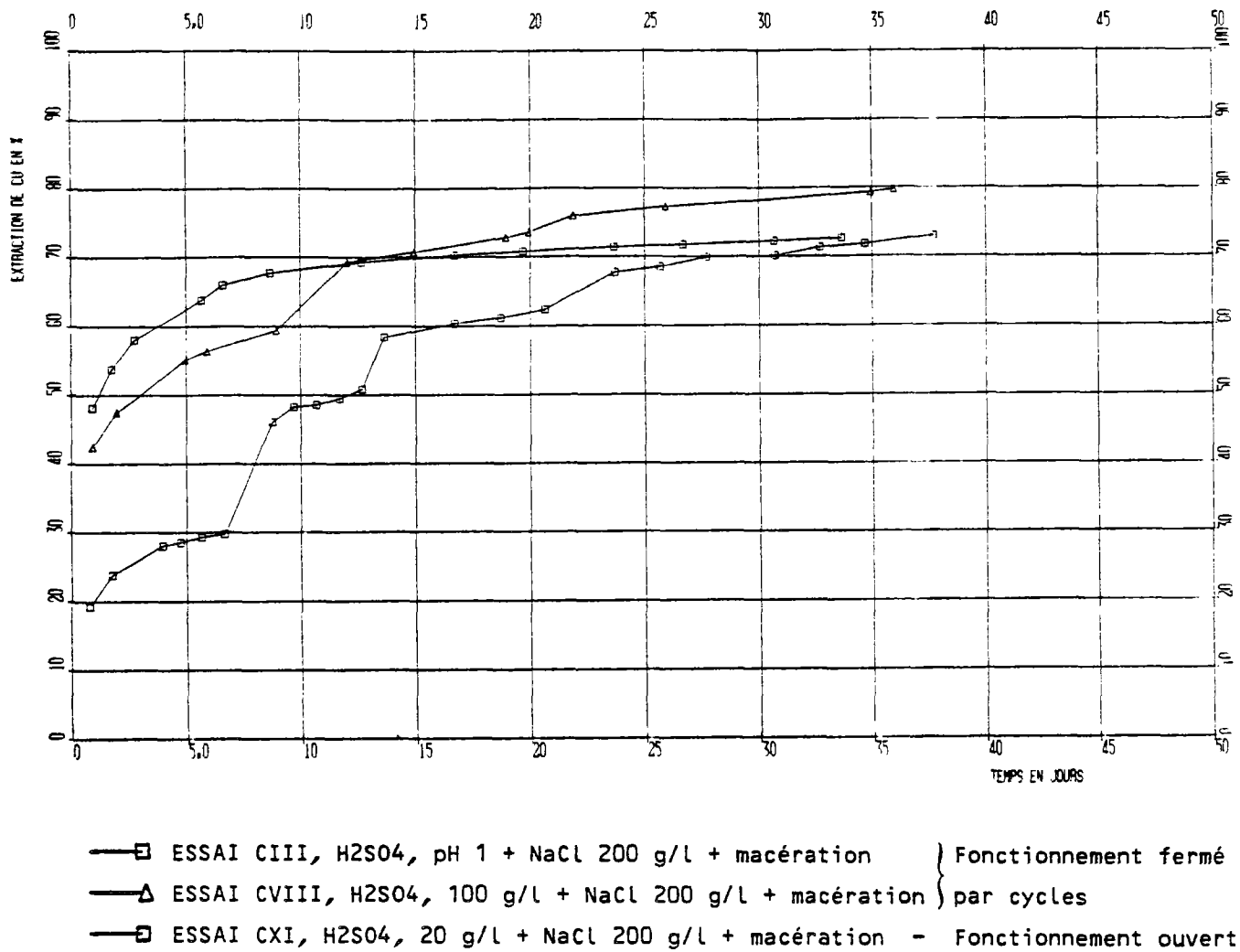


FIGURE 10

- ESSAIS COLONNE. CINETIQUES DE MISE EN SOLUTION DU CUIVRE. EFFET DU TYPE DE FONCTIONNEMENT ; FERME (PAR CYCLES) OU OUVERT ET DE L'ACIDITE EN MILIEU CHLORURE AVEC MACERATION

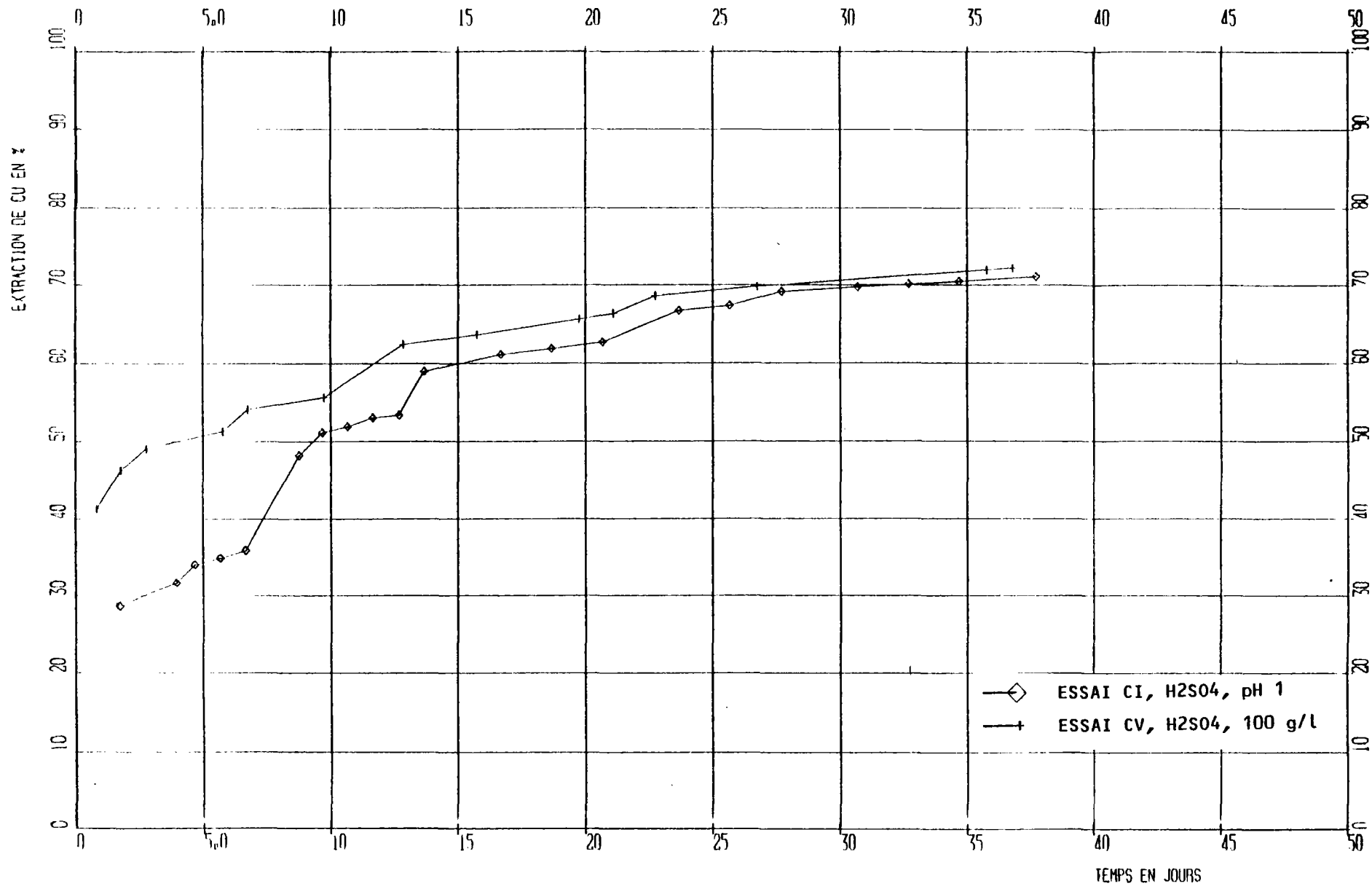
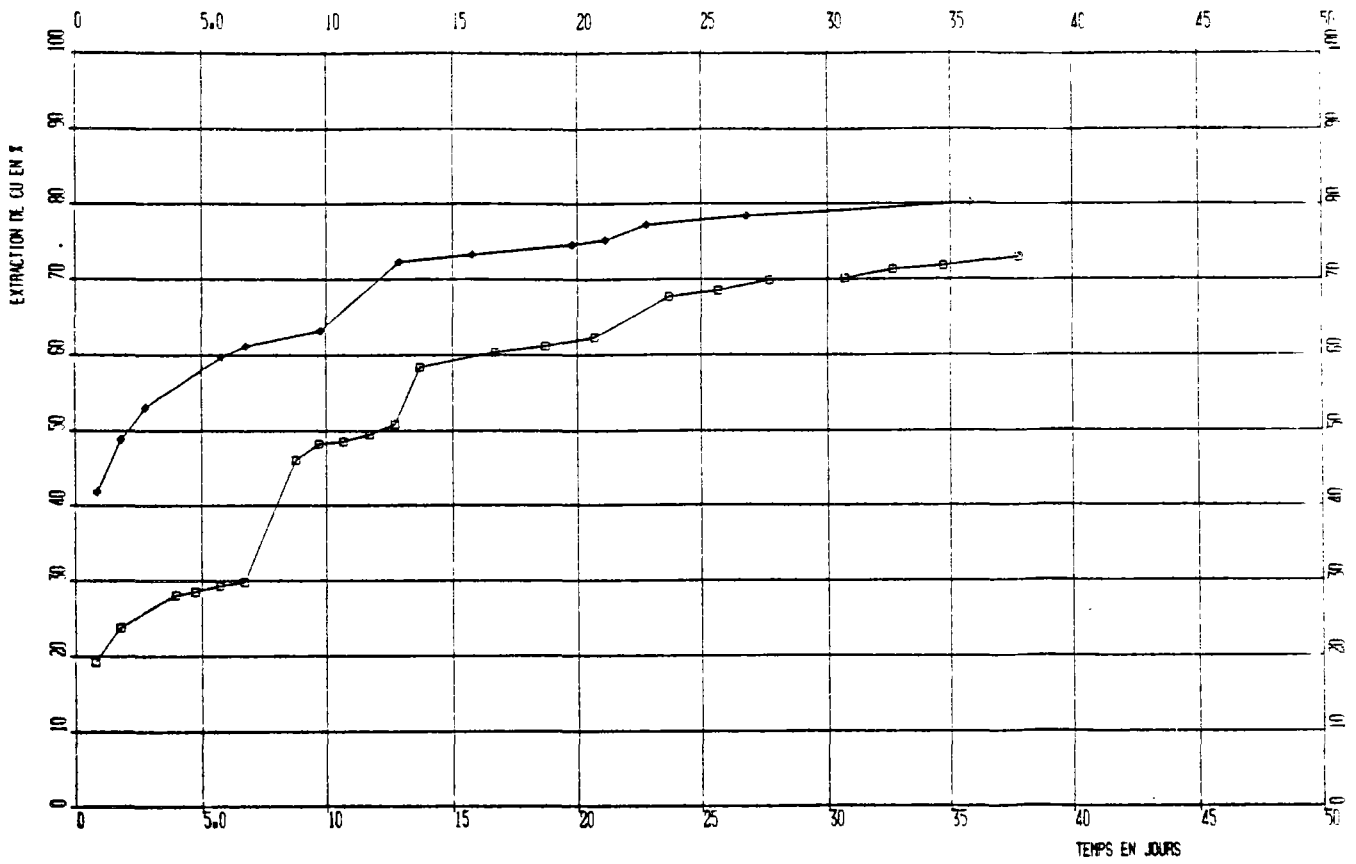


FIGURE 11

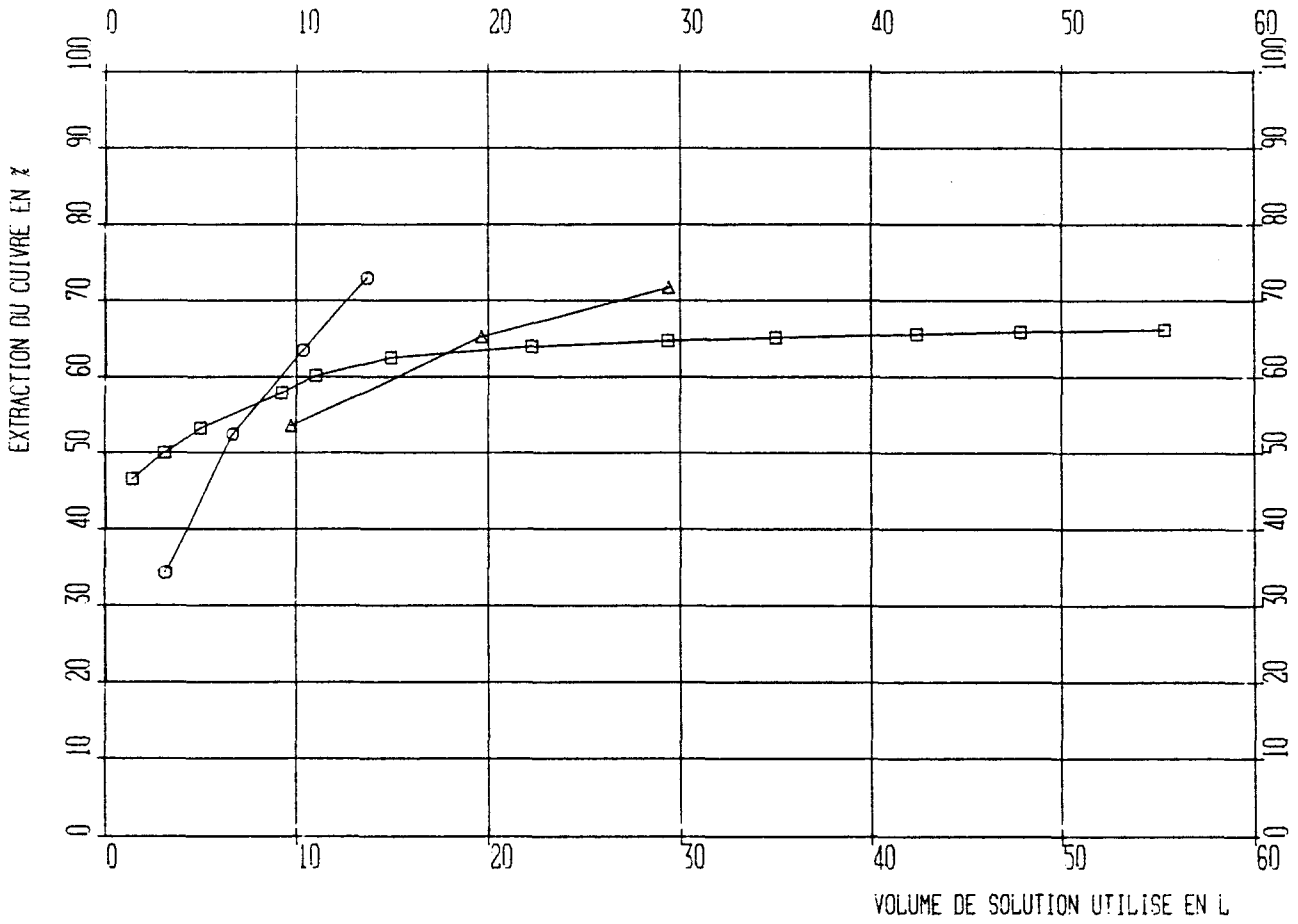
-- ESSAIS COLONNE. CINETIQUES DE MISE EN SOLUTION DU CUIVRE. EFFET DE L'ACIDITE, EN MILIEU H₂SO₄ SANS MACERATION



—□— ESSAI CIII, H₂SO₄, pH1 + NaCl 200 g/l
 —◇— ESSAI CVI, H₂SO₄, 100 g/l + NaCl, 200 g/l

FIGURE 12

- ESSAIS COLONNE. CINETIQUES DE MISE EN SOLUTION DU CUIVRE. EFFET DE L'ACIDITE, EN MILIEU NaCl SANS MACERATION



- ESSAI CII ;
- △ ESSAI CVII ;
- ESSAI CIX ;

FIGURE 13

- CINETIQUES D'EXTRACTION DU CUIVRE FONCTION DU VOLUME D'EAU UTILISE.
MILIEU SULFATE

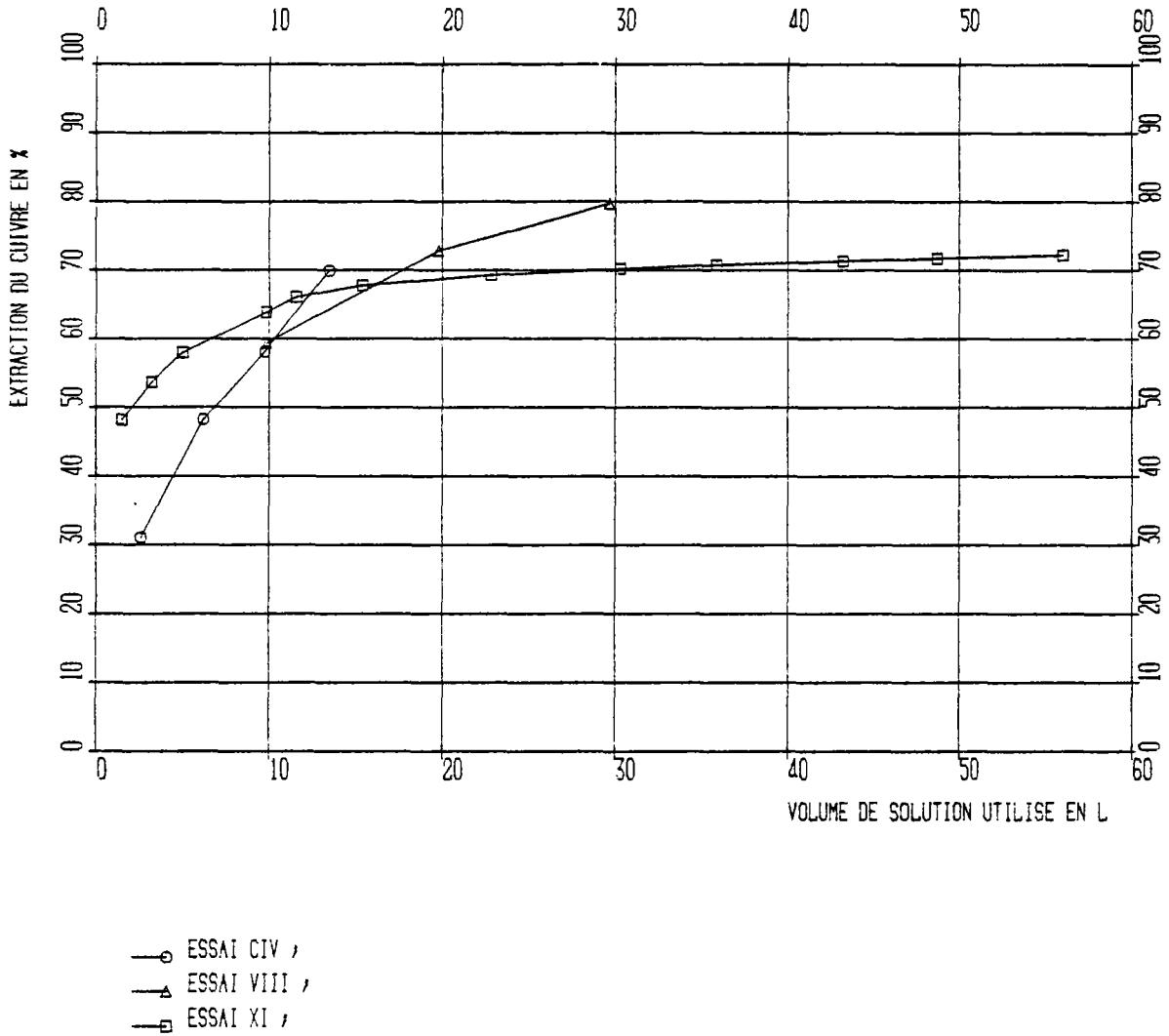


FIGURE 14

- CINETIQUES D'EXTRACTION DU CUIVRE FONCTION DU VOLUME D'EAU UTILISE.
MILIEU CHLORURE

3.2.3. Cinétiques d'autres éléments que le cuivre : Ag, Fe, Zn et As

Comme déjà vu au cours des essais réacteurs, la présence d'une forte concentration en NaCl permet d'extraire l'argent simultanément avec le cuivre. Deux cinétiques de mise en solution de l'argent en milieu chlorure ont été établies, celles des essais CIII et CIV. Les résultats en sont reproduits figure 15 ainsi que les résultats d'extraction finale des autres essais en milieu chlorure établis à partir des teneurs des résidus. Le détail de ces résultats est fourni au tableau 5. On peut voir figure 15 que, comme pour le cuivre, la macération n'a pas d'effet sur la cinétique de mise en solution de l'argent et, qu'excepté pour l'essai CXII où il y eu colmatage, l'ensemble des cinétiques après près de 35 jours de lixiviation converge sensiblement quelque soit les conditions de traitement vers une extraction entre 48 et 55 %.

Les cinétiques d'extraction du fer et du zinc ont été enregistrées pour les essais CI et CIII, et celle du plomb l'a été uniquement en milieu chlorure où ce métal peut passer en solution, pour l'essai CIII. A la figure 16 (données correspondantes tableau 6), on voit que le zinc est passé en solution de manière comparable à celle du cuivre, mais plus rapidement en milieu sulfate qu'en milieu chlorure. Il faut souligner qu'en milieu chlorure, on a observé dans les bidons de réception la précipitation de sels basiques de fer ferrique jaune-rouge, qui ne s'est produite ni pour les essais en milieu sulfate, ni pour les autres essais en milieu chlorure. L'acidité au cours de cet essai comme signalé plus tôt était en fait trop faible et en tout cas inférieure au pH 1 prétendument régulé. On remarquera que cette précipitation ne semble pas affecter considérablement la mise en solution du cuivre et de l'argent, en outre une analyse du précipité montre que s'il contient 12,5 % de fer, il n'y a que 0,85 % de Cu, 0,07 % de Zn, 0,1 % de Pb et 15 ppm d'argent.

De l'arsenic passe aussi en solution en quantité non négligeable et comme on peut en juger figure 17, il y a une certaine corrélation entre les teneurs en fer et en arsenic en solution (voir résultats d'extraction comparés au tableau 7).

3.2.4. Consommation d'acide

La consommation d'acide n'a été suivie qu'au cours des essais en circuit fermé de CI à CVIII, les résultats en consommation cumulée en sont présentés figures 18 et 19. Les résultats numériques sont en annexe 3.

On constate que la macération ne conduit pas à une diminution de la consommation d'acide mais plutôt à une légère augmentation (comparer CI à CII, CIII à CIV et CIII à CIV). La marche d'escalier que l'on observe pour les essais CII et CIV où il y eu macération correspondent à l'acide ajouté au cours de l'agglomération. On remarque que le passage de pH 1 à 0,5 de régulation en fin de cinétique pour les essais CI à CIV a provoqué un regain important de la consommation d'acide conduisant les cinétiques en milieu sulfate à atteindre des consommations proches de celles atteintes à 100 g/l de H₂SO₄.

Tableau : 5

CINETIQUES DE MISE EN SOLUTION DE L'ARGENT
POUR LES ESSAIS COLONNE EN MILIEU CHLORURE

Reference de l'essai	C III		C IV		C VI		C VIII		C XI		C XII	
Teneur alimentation	48.5 g/t		48.5 g/t		48.5 g/t		48.5 g/t		48.5 g/t		48.5 g/t	
Cinetiques	Temps en Jours	Extraction en % (1)	Temps en Jours	Extraction en % (1)	Temps en Jours	Extraction en % (2)	Temps en Jours	Extraction en % (2)	Temps en Jours	Extraction en % (2)	Temps en Jours	Extraction en % (1)
		6.69	15.2	5.66	12.7	36.81	54.8	35.96	48.1	33.66	55.4	4.71
	12.69	33.1	11.66	31.6								
	20.69	43.3	19.66	41.2								
	37.71	50.5	36.67	50.4								
Teneur du residu sec analysee	24 g/t		24 g/t		24 g/t		28 g/t		24 g/t		33 g/t	
Teneur alimentation recalculee	42.8 g/t		48.8 g/t		-		-		-		44.0 g/t	

(1) Bilan massique : $m_{\text{liq}} / (m_{\text{liq}} + m_{\text{residu}})$ (2) Bilan massique : $1 - m_{\text{residu}} / m_{\text{alimentation}}$

Tableau : 6 CINETIQUES DE MISE EN SOLUTION DU FER ET DU ZINC AU COURS DE L'ESSAI C I EN MILIEU SULFATE ET DU FER, DU ZINC ET DU PLOMB AU COURS DE L'ESSAI C III EN MILIEU CHLORURE.

Reference de l'essai	C I			C III *			
Element	Fe (1)	Zn (2)		Fe (1)	Zn (2)	Pb (2)	
Teneur alimentation	35,5 %	0,27 %		35,5 %	0,27 %	0,68 %	
Cinetiques	Temps en jours	Extractions en %		Temps en jours	Extractions en %		
	6,67	1,81	51,8	6,69	0,31	35,0	1,8
	12,66	2,78	68,1	12,69	0,49	53,8	10,3
	20,67	3,37	74,9	20,69	0,70	60,5	17,2
	37,69	4,15	81,7	37,71	1,46	67,3	35,1
Teneur du residu sec analysee	41,8	-		41,3	-	-	
Teneur alimentation recalculée	41,2	-		41,6	-	-	

(1) Bilan massique : $m \text{ lia} / (m \text{ lia} + m \text{ residu})$

(2) Bilan massique : $m \text{ lia} / m \text{ alimentation}$

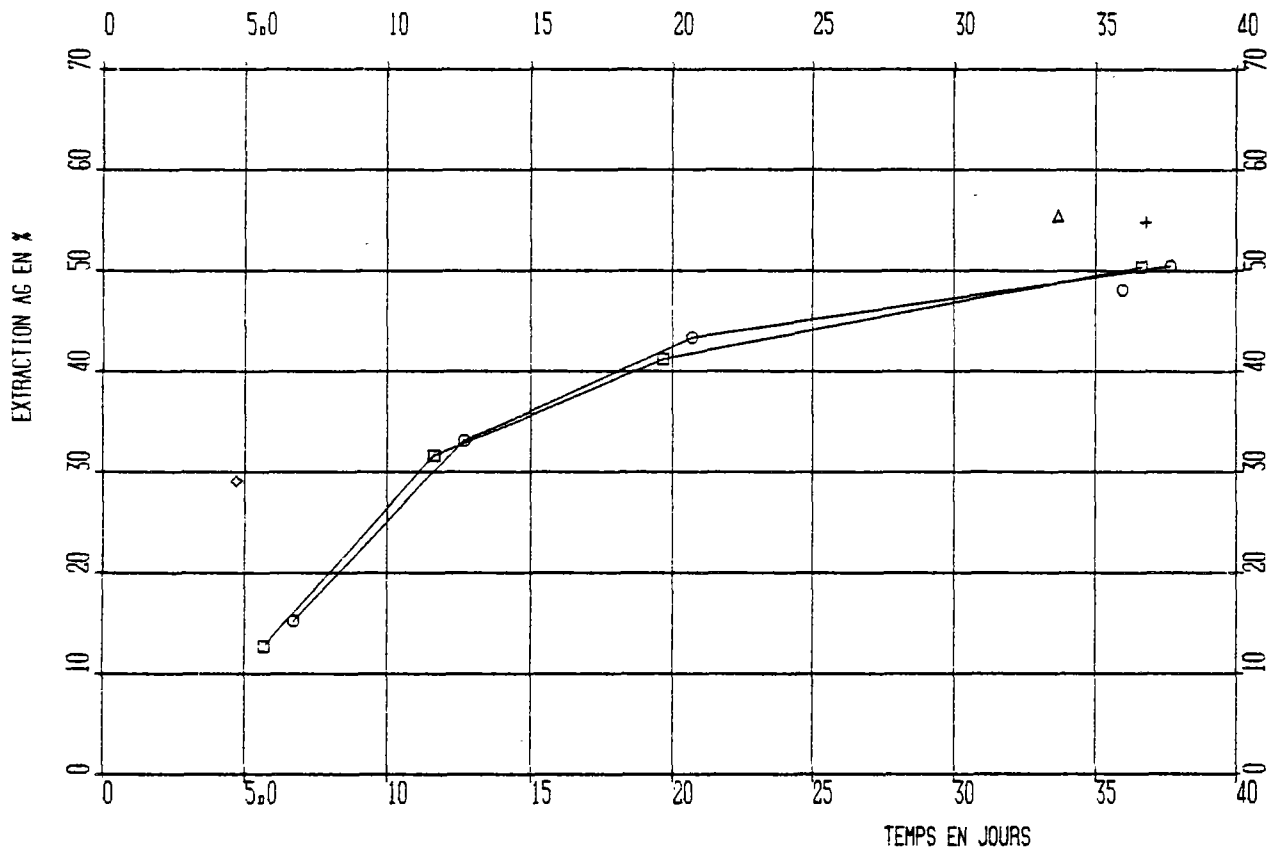
* Du precipite Jaune contenant une forte proportion de fer apparait dans les solutions

Tableau : 7

CINETIQUES COMPAREES DE MISE EN SOLUTION DU FER ET DE L'ARSENIC
POUR LES ESSAIS C I (MILIEU SULFATE) ET C III (MILIEU CHLORURE)

Reference de l'essai	C I					C III				
Element	Fe		As			Fe		As		
Teneur alimentation	35,5 %		2834 PPM (1)			35,5 %		2834 PPM (1)		
Cinetiques	Temps en Jours	Teneur en solution g/l	Extraction en %	Teneur en solution mg/l	Extraction en % approx.	Temps en Jours	Teneur en solution g/l	Extraction en %	Teneur en solution mg/l	Extraction en % approx.
		6,67	17,65	1,81	150	2,2	6,69	4,38	0,31	25
	12,66	8,86	2,78	165	4,9	12,69	2,15	0,42	26	0,6
	20,67	5,47	3,37	146	7,2	20,69	2,52	0,70	52	1,2
	37,69	8,06	4,15	360	12,3	37,71	8,82	1,46	310	5,1

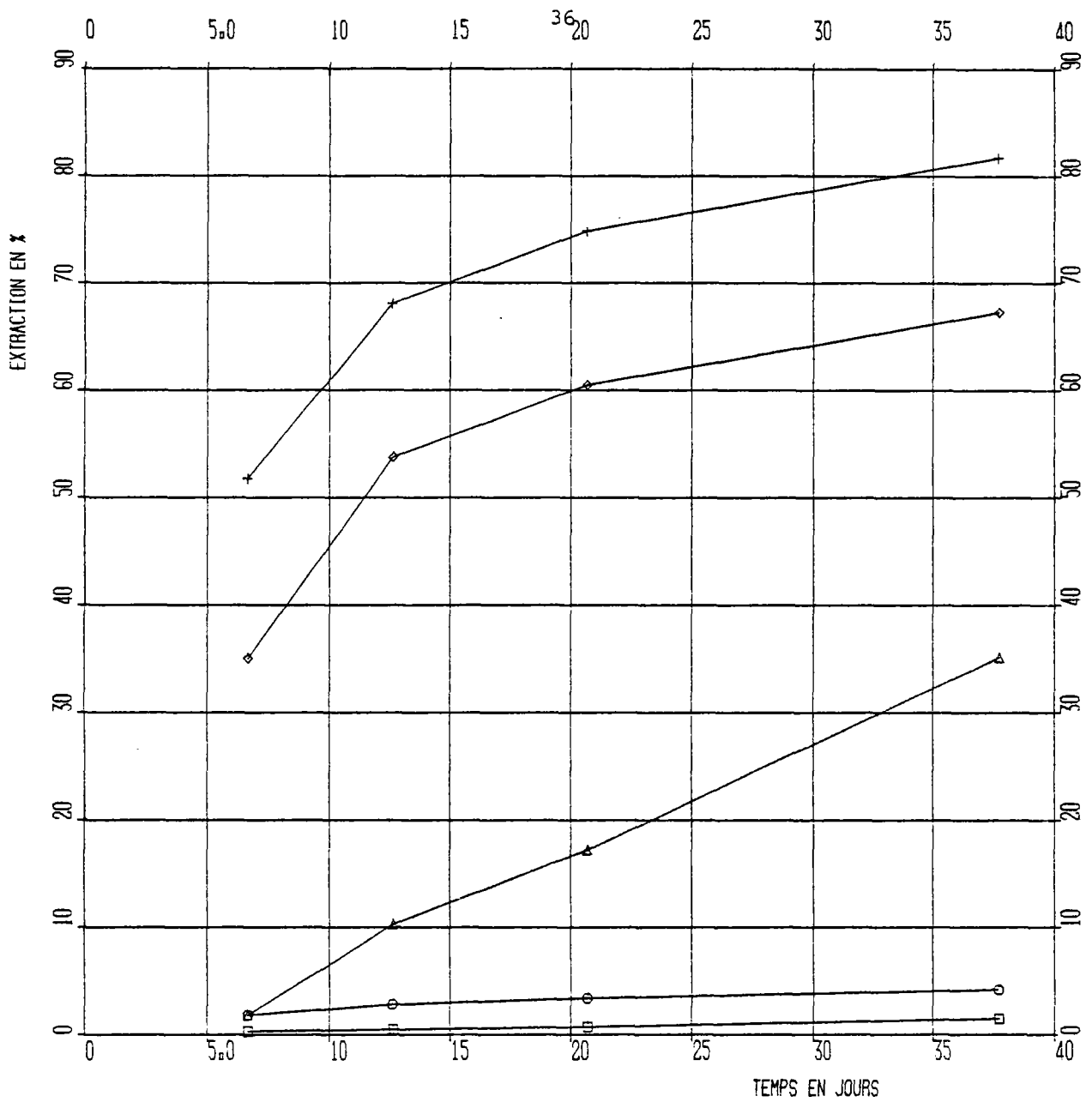
(1) Teneur issue d'une analyse ICF d'ou le caractere APPROXIMATIF du calcul de cinetique



- ESSAI : C III
- ESSAI : C IV
- △ ESSAI : CXI
- ◇ ESSAI : C XII
- + ESSAI : CVI
- ESSAI : CVIII

FIGURE 15

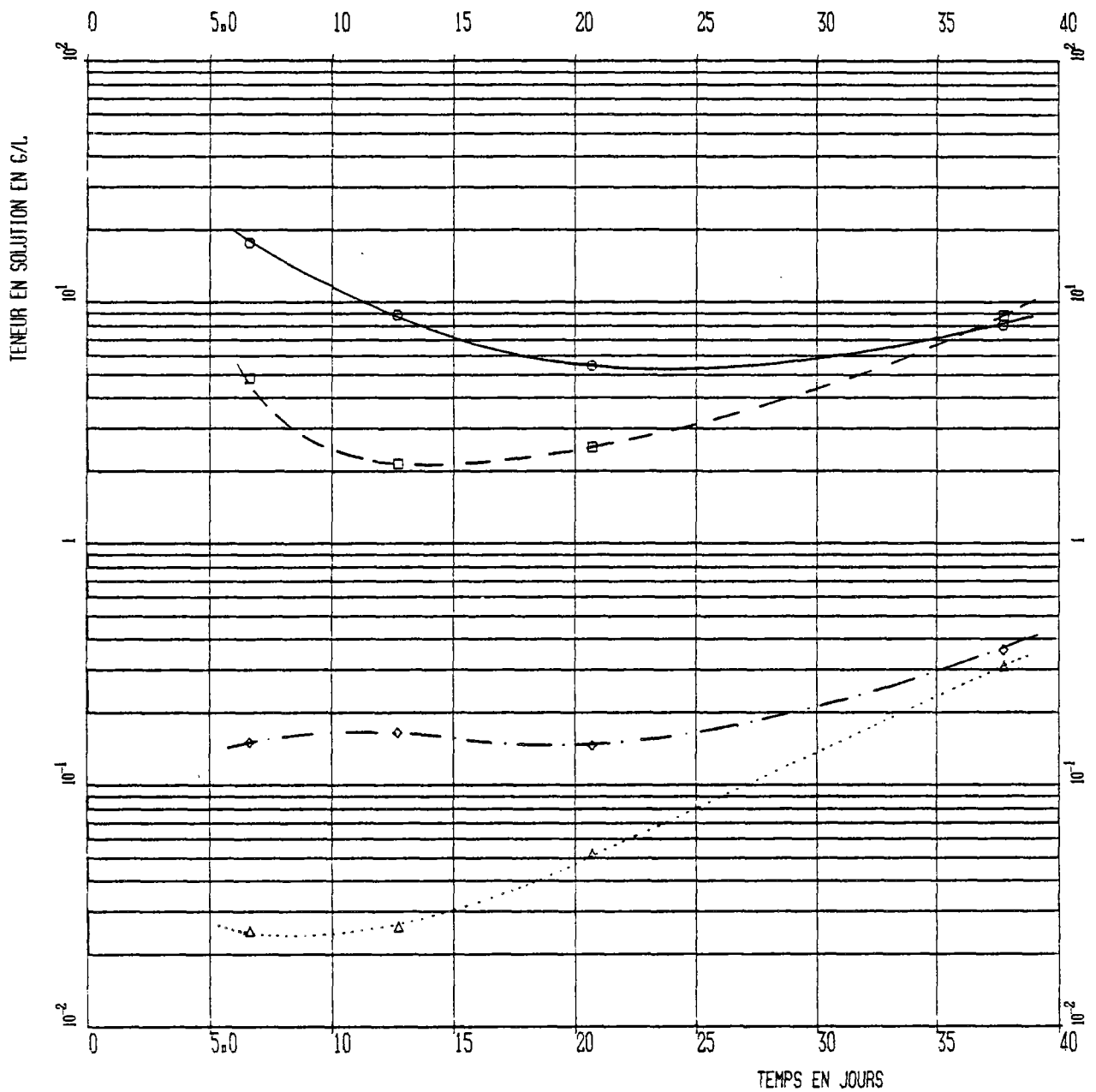
- ESSAIS COLONNE. CINETIQUES DE MISE EN SOLUTION DE L'ARGENT EN MILIEU CHLORURE. AVEC ET SANS MACERATION. FONCTIONNEMENT PAR CYCLES OU OUVERT



- ESSAI CI : EXTRACTION DU FER
- ✕ ESSAI CI : EXTRACTION DU ZINC
- ESSAI CIII : EXTRACTION DU FER
- ◇ ESSAI CIII : EXTRACTION DU ZINC
- △ ESSAI CIII : EXTRACTION DU PLOMB

FIGURE 16

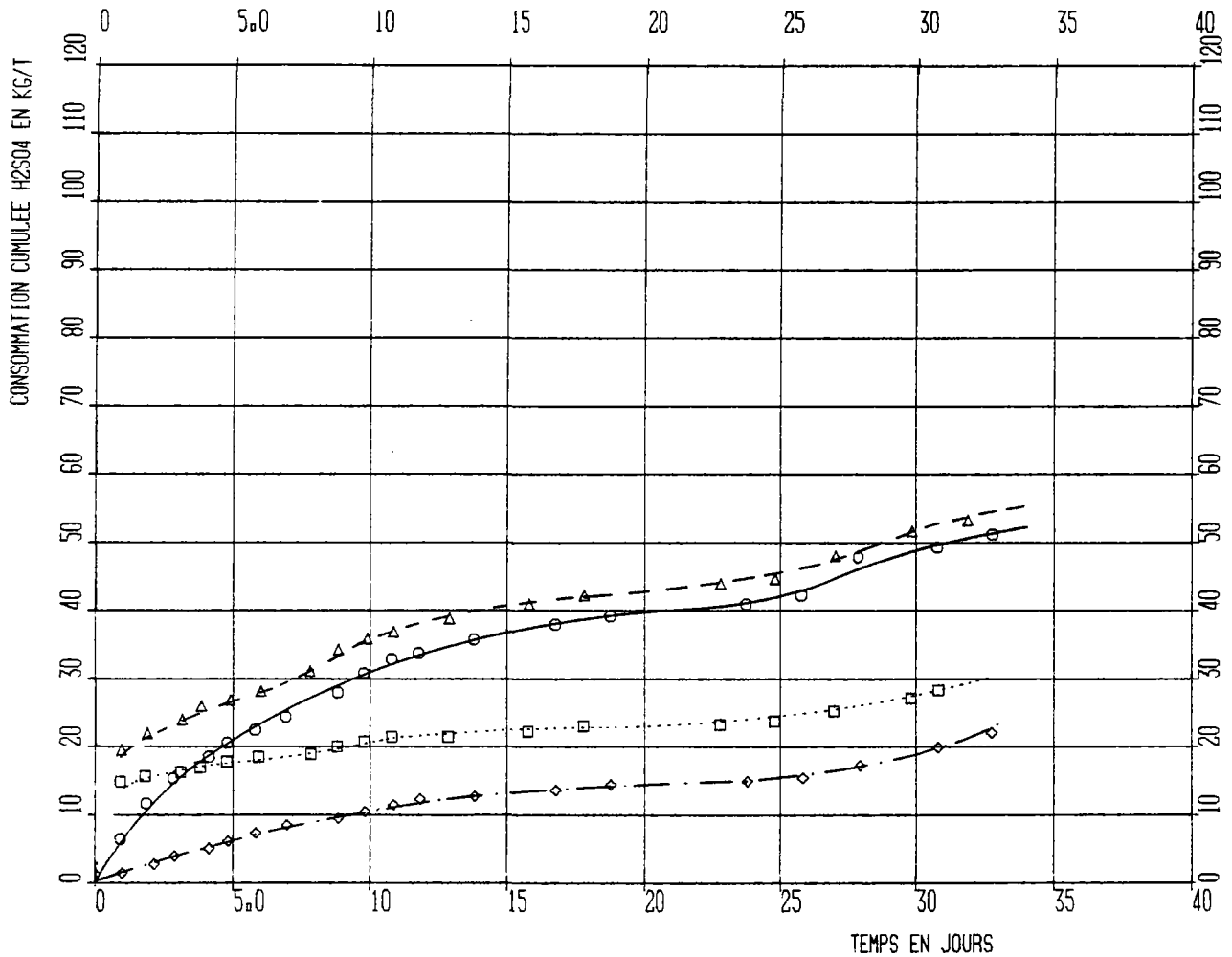
- ESSAIS COLONNE. CINETIQUES DE MISE EN SOLUTION DU FER ET DU ZINC, EN MILIEU SULFATE, ET DU FER, DU ZINC ET DU PLOMB, EN MILIEU CHLORURE. PAS DE MACERATION, pH 1.



- ESSAI C1 : TENEUR FE EN SOLUTION
- ◇ ESSAI C1 : TENEUR AS EN SOLUTION
- ESSAI CIII : TENEUR FE EN SOLUTION
- △ ESSAI CIII : TENEUR AS EN SOLUTION

FIGURE 17

- ESSAIS COLONNE. TENEURS COMPAREES DU FER ET DE L'ARSENIC EN SOLUTION, EN MILIEU SULFATE ET CHLORURE. PAS DE MACERATION, pH - 0,5

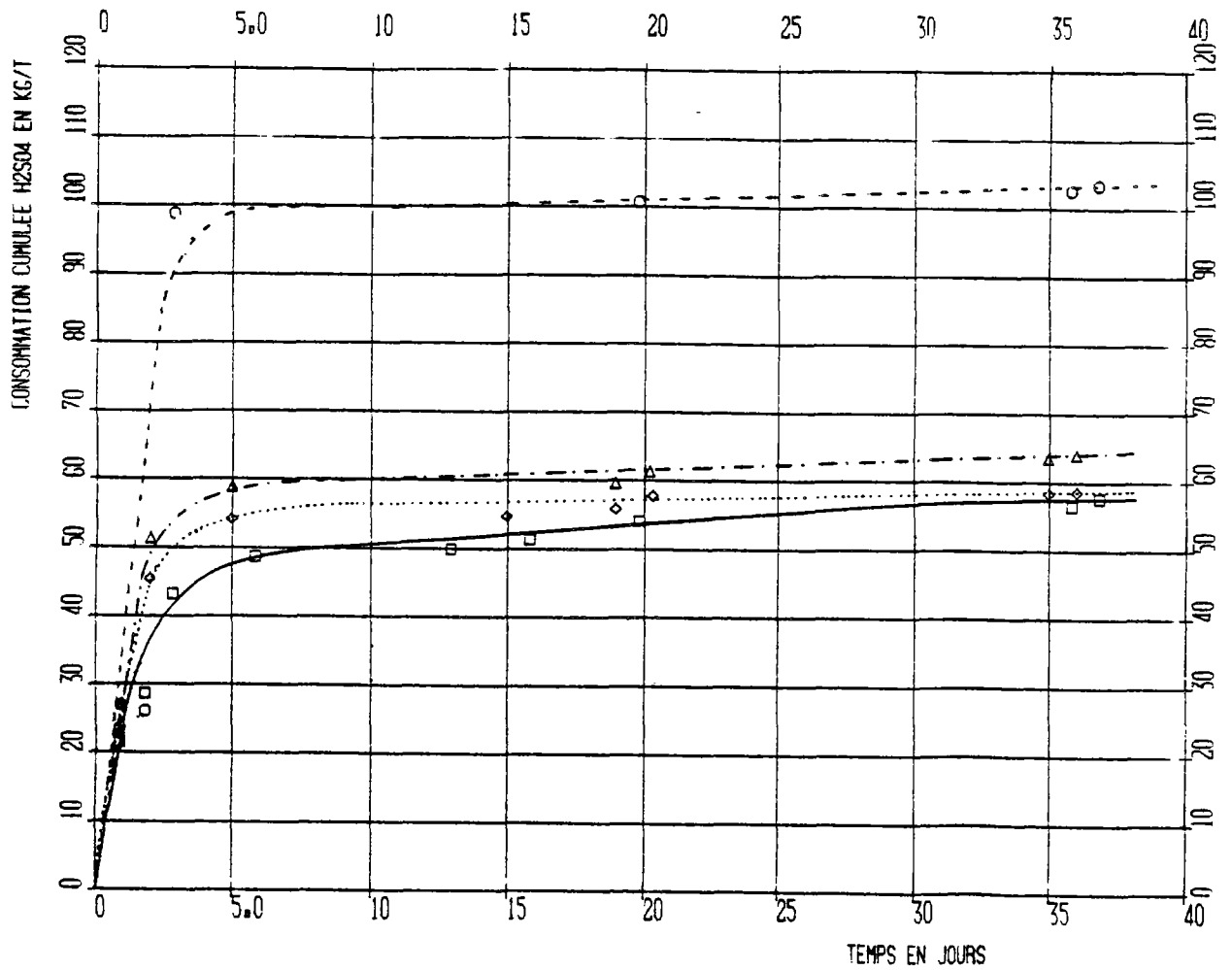


CONSUMATION D'ACIDE AU COURS DES ESSAIS COLONNE

- ESSAI : C I
- △ ESSAI : C II
- ◇ ESSAI : C III
- ESSAI : C IV

FIGURE 18

- ESSAIS COLONNE. CONSUMATION D'ACIDE AU COURS DES ESSAIS EN FONCTIONNEMENT PAR CYCLES. ESSAIS A pH 1



- ESSAI : C V
- ESSAI : C VI
- ◇ ESSAI : C VII
- △ ESSAI : C VIII

FIGURE 19

- ESSAIS COLONNE. CONSOMMATION D'ACIDE AU COURS DES ESSAIS DE FONCTIONNEMENT PAR CYCLES. ESSAIS A 100 G/T DE H₂SO₄

Pour les essais CIII et CVI en milieu chlorure où une faible acidité de régulation a été mise en jeu, on obtient des taux d'extraction finaux du cuivre semblable à ceux du milieu sulfate toutes conditions confondues dans les mêmes délais, en consommant nettement moins d'acide (22 et 28 kg/t contre respectivement 51 et 53 kg/t pour CI et CII). A 100 g/l de H₂SO₄ les consommations d'acide en milieu chlorure sont du même ordre de grandeur qu'en milieu sulfate.

Les résultats de CV ne doivent pas être retenus dans cette représentation car nous savons qu'il y a eu une erreur de manipulation conduisant à une surestimation de la consommation.

3.2.5. Tassement du minerai

Le tassement du minerai a été enregistré pour les colonnes avec les hauteurs initiales du minerai les plus élevées, soit les colonnes CIX à CXII. Pour l'ensemble des essais, on a constaté qu'en fait le tassement avait essentiellement lieu dans les premières heures de lixiviation. Les tassements mesurés en % de hauteur de la hauteur initiale ont été respectivement pour CIV : 20 %, CX : 23 %, CXI 21 % et CXII : 21 %.

3.3. Conclusion

De la série d'essais colonne réalisés, on retiendra les principaux faits suivants :

- . la macération préalable du minerai avec une solution concentrée en acide sulfurique n'améliore ni la cinétique de mise en solution du cuivre, ni l'extraction finale, en revanche, elle permet du fait de l'agglomération des fines une meilleure tenue mécanique du minerai et limite le déplacement des fines,

- . la présence de chlorure de sodium à raison de 200 g/l dans la solution lixiviante améliore les conditions de fonctionnement par rapport à une solution ne contenant que des sulfates. De plus, pour une extraction finale du même ordre de grandeur qu'en milieu sulfate (de l'ordre de 70 % en 37 jours) on est susceptible de consommer moitié moins d'acide (25 kg/t contre 52 kg/t). Pour un minerai concassé un d₈₀ de 15 mm, en 35 jours de lixiviation, on est susceptible d'extraire 50 à 55 % de l'argent quelles que soient les conditions d'acidité,

- . un fonctionnement par cycles de solutions où se concentrent les métaux en solution conduit à une extraction extrême du cuivre plus importante qu'un fonctionnement à l'aide d'une solution toujours vierge. Ainsi, à pH 1, au bout de 37 jours, on atteint pour un minerai concassé à d₈₀ 15 mm 71 à 73 % d'extraction en fonctionnement par cycles contre 66 % à 20 g/l de H₂SO₄ en circuit ouvert,

- . pour un minerai concassé à un d₈₀ de 15 mm en lixiviation statique sans ennoyage du minerai, un débit de 40 l/h/m² est une limite à ne pas dépasser si l'on veut éviter un colmatage du minerai.

Il est bien clair qu'après cette étude, d'autres travaux devraient être entrepris pour mettre en évidence l'intérêt technique et économique des résultats présentés ci-dessus. On peut citer entre autres :

- **réévaluer l'intérêt** de l'agglomération-macération du point de vue de la percolation de la solution lixiviante avec une granulométrie plus fine du minerai du type d₈₀ 5 mm comme nous l'avions envisagé à l'origine de cette étude,
- **affiner les conditions de lixiviation** en milieu chlorure pour optimiser les résultats d'extraction par comparaison avec le milieu sulfate compte tenu du fait que l'on peut extraire autant de cuivre en consommant moins d'acide et que l'acidité semble avoir plus d'influence sur la cinétique d'extraction en milieu chlorure qu'en milieu sulfate. En outre, établir quel serait le gain d'extraction en cuivre et en argent pour un d₈₀ de minerai de 5 mm,
- **optimiser le principe de fonctionnement** par cycles (éventuellement par combinaison avec un fonctionnement en circuit ouvert en début d'extraction) pour minimiser la durée de la cinétique et être en mesure de fournir à un atelier de récupération du cuivre un flux de solution avec une teneur constante en cuivre avec un volume de solution circulante réduit au minimum,
- **étudier la récupération du cuivre** (par cémentation), l'effet de concentration d'autres espèces métalliques sur l'extraction et la récupération du cuivre et l'élimination des autres métaux que le cuivre par neutralisation à la chaux,
- et enfin, **travailler dans des conditions optimisées** sur une quantité de minerai plus importante que ce qui a été fait, de manière à apprécier le tassement du minerai pour une charge élevée et ces répercussions sur la percolation.

4. ESSAIS D'EXTRACTION DES METAUX PRECIEUX, Ag et Au, DES RESIDUS DE LIXIVIATION STATIQUE ACIDE

Deux résidus des essais colonne décrits précédemment ont fait l'objet de tests de lixiviation à la thiourée et au cyanure en réacteur agité. Ces tests devaient nous indiquer dans quelle mesure la destruction d'une bonne part des porteurs du cuivre rend les métaux précieux plus accessibles à une solution lixiviante. Par ailleurs, on a tâché de comparer les procédés thiourée et cyanure en matière d'extraction et de consommation de réactifs sachant que la thiourée est active en milieu acide ce qui éviterait la neutralisation après lixiviation acide du cuivre qui est impliquée par le classique procédé de cyanuration.

Les deux résidus traités sont ceux des essais CI (milieu sulfate, pH 1 puis 0,5) et CIII (milieu chlorure, pH 1 puis 0,5) leurs teneurs en Cu, Fe, Ag et Au (par rapport au poids sec) sont respectivement pour CI, Cu : 0,90 %, Fe : 41,8 %, Ag : 53 g/t, Au : 2,53 g/t et pour CII, Cu : 0,81 %, Fe : 41,3 %, Ag : 24 g/t, Au : 2,00 g/t.

4.1. Tests de lixiviation à la thiourée

4.1.1. Procédure

Ces essais ont été réalisés à température ambiante (environ 22°C), sur une pulpe à 30 % de solide avec une charge de 40 kg de thiourée par tonne de minerai sec, soit environ 17 g/l en solution (sauf pour le test D1 = 80 kg/t de thiourée).

Aucun ajout d'oxydant n'a été effectué : ni Fe^{3+} , ni bullage d'air ; le minerai étant déjà suffisamment susceptible de libérer des oxydants (Fe^{3+} et Cu^{2+}) par lui-même.

La lixiviation a eu lieu pendant 24 heures dans un réacteur agité, avec des prélèvements par analyse dans les six premières heures.

Au bout de 24 heures, la pulpe est filtrée, le résidu est lavé avec une solution concentrée de thiourée (40 g/l) puis avec de l'eau déminéralisée à 90°C.

Les résultats de ces essais de lixiviation en réacteur sont regroupés en annexe 1 et les figures 20 et 21 représentent l'évolution du potentiel électrochimique (électrode Ag/AgCl) et des concentrations en Au et Cu dans la solution pendant les tests.

4.1.2. Conditions des essais (voir annexe 4)

Tests A1 : résidu CI, broyé à sec à - 1 mm.

Le minerai n'ayant pas subi de pré-attaque acide libre des quantités importantes d'oxydant (Cu^{2+} et Fe^{3+}), le potentiel pendant la lixiviation est donc assez élevé (cf. figure 20).

Un seul lavage à l'eau chaude a été réalisé ; les solutions de lavage ont présenté une cristallisation lors du refroidissement (cf. § 4.1.3.5.).

Test A2 : résidu CI, broyé à sec - 1 mm, puis pré-attaque acide à pH 1 pendant deux heures.

Le potentiel est donc plus bas (moins d'oxydant).

Deux lavages du résidu ont été effectués.

Un lavage par une solution à 40 g/l de thiourée, suivi d'un lavage à l'eau chaude de même que pour les tests suivants.

Test C1 : résidu CI, broyé en humide à $d_{90} = 100 \mu\text{m}$ puis pré-attaque acide (pH 1, 2 heures).

Le potentiel, d'abord plus bas (meilleure dissolution du cuivre lors de la pré-attaque, rejoint ensuite celui observé lors du test A2.

Test D1 : résidu CI broyé à sec à - 1 mm, puis pré-attaque acide.

Lixiviation avec 80 kg/t de thiourée au lieu de 40 pour les tests précédents.

Le potentiel est inférieur à celui du test A2 comme il était prévisible puisque la concentration en thiourée a doublé.

Test E1 : résidu CIII (de lixiviation Cu en milieu NaCl), broyé en humide à $d_{90} = 100 \mu\text{m}$ puis pré-attaque acide.

Le potentiel est supérieur aux tests précédents, car on observe une teneur en fer dix fois supérieure, due à la redissolution de sels basiques déposés sur le minerai en milieu NaCl qui avaient été identifiés dans les solutions de l'essai CIII

4.1.3. Analyse des résultats

4.1.3.1. Extraction Argent

Le tableau ci-dessous résume les extractions Ag obtenues :

ESSAI N°	POTENTIEL FINAL mV (Ag/Ag Cl)	EXTRACTION Ag TOTALE (AVEC LAVAGE) % EN 24 h	% DE L'ARGENT EXTRAIT RESTE EN SOLUTION A 24 h
A2	204	53,78	81
C1	213	44,12	62
CI A1	244	35,85	46
D1	185	63,35	67
	(mais 80 kg/t thiourée)		
CIII E1	277	22,79	19

TABLEAU 8 : ESSAIS A LA THIOUREE - EXTRACTION DE L'ARGENT

a) Pour une même charge en thiourée (40 kg/t) on observe donc une relation très nette entre l'extraction et le potentiel final de la solution : l'extraction Ag décroît lorsque le potentiel augmente.

On observe le même genre de relation avec l'argent précipité : plus le potentiel est élevé, plus l'argent extrait a tendance à précipiter.

Une interprétation de ce phénomène est proposée au § 4.1.3.5.

Il semblerait alors que cette précipitation gêne la dissolution de l'argent résiduel, peut être par la formation d'une couche de ce composé à la surface des minéraux d'argent.

b) Un blocage à 100 µm (C1) n'entraîne pas une meilleure extraction de l'argent qu'à 1 mm (A2).

Une pré-attaque acide (A2) permet une meilleure extraction que sans prétraitement (A1).

Ces deux pré-traitements agissent en fait à travers la variation de la quantité d'oxydant qu'ils permettent de libérer à la lixiviation :

- une pré-attaque acide permet d'éliminer une grande partie du Cu^{2+} et Fe^{3+} avant la lixiviation (et donc de diminuer le potentiel pendant l'essai)
- un broyage fin, même suivi d'une pré-attaque acide (C1), libère plus d'oxydant qu'un minerai non broyé (A2), ce qui conduit à un potentiel plus élevé lors de la lixiviation.

c) L'extraction obtenue sur l'échantillon CIII (E1 = 22,8 %) correspond à un résidu titrant encore 22 g/t d'argent c'est-à-dire la même teneur que le résidu D1 (ce qui correspondait à une extraction de 63,4 %) ce qui indique :

- qu'il n'y a pas de meilleure accessibilité de l'argent après lixiviation cuivre en milieu chlorure
- qu'il semblerait qu'environ 35 % de l'argent soit inaccessible à la lixiviation.

4.1.3.2. Extraction or

Comme on peut le constater sur le tableau ci-dessous, au contraire de l'argent, l'extraction Au est d'autant meilleure que le potentiel est plus élevé.

ESSAI N °	POTENTIEL FINAL mV (Ag/Ag Cl)	EXTRACTION Au TOTALE EN 24 h %	% DE L'OR EXTRAIT RESTE EN SOLUTION A 24 h
A2	204	16,13	91
C1	213	28,06	60
CI A1	244	28,55	54
D1	185	30,72	62
	(mais 80 kg/t thiourée)		
CIII E1	277	33,43	74

TABLEAU 9 : ESSAIS A LA THIOUREE - EXTRACTION DE L'OR

d) Si l'or précipite également, on n'observe pas de relation aussi nette avec le potentiel que pour l'argent. L'or pourrait donc se trouver entraîné dans le précipité, mais sans précipiter lui-même en tant que tel.

4.1.3.3. Extraction cuivre

Les solutions (de lavage notamment) n'ayant pas été systématiquement analysées pour le cuivre (à cause des recristallisations observées), il est impossible de faire un bilan : les extractions indiquées dans le tableau ci-dessous sont donc calculées à partir de l'analyse du résidu.

ESSAI N °	POTENTIEL FINAL mV (Ag/Ag Cl)	EXTRACTION LIXIVIATION	CUIVRE % PRE ATTAQUE ACIDE	TOTAL	% DU CUIVRE EXTRAIT A LA LIXIVIATION RESTANT EN SOLUTION A 24 h
A2	204	17,9	25,4	43,3	59
C1	213	26,4	12,5	38,9	20
CI A1	244	36,7	-	36,7	9
D1	185	23,6	25,3	48,9	43
	(mais 80 kg/t thiourée)				
CIII E1	277	28,0	25,1	53,1	9

TABLEAU 10 : ESSAIS A LA THIOUREE - EXTRACTION DU CUIVRE

On observe donc la même relation entre la précipitation du cuivre et le potentiel que celle observée pour l'argent (voir § 3.1.3.5.).

4.1.3.4. Consommation de thiourée

La connaissance du procédé thiourée permet de penser que la consommation de réactif sera d'autant plus importante que le potentiel de la solution sera plus élevé, c'est en effet ce qui ressort du tableau ci-dessous :

ESSAI N°	POTENTIEL FINAL mV (Ag/Ag Cl)	CONSOMMATION DE THIOUREE	
		Pendant les 24 h	
		de lixiviation Kg/t	Au lavage kg/t
A2	204	2,2	8,6
C1	213	13,0	3,0
CI	A1	244	-
	D1	185	- 2,4
	(mais 80 kg/t thiourée)		
CIII E1	277	24,5	16,6

TABLEAU 11 : ESSAIS A LA THIOUREE - CONSOMMATIONS DE THIOUREE

a) Cependant, les consommations sont trop importantes pour être dues à l'oxydation seule : la majeure partie de la consommation provient de la perte de réactif lors de la précipitation des composés Cu - Tu, il est donc impératif d'éviter cette précipitation, à la fois pour limiter la consommation, mais aussi pour avoir la meilleure extraction possible d'argent.

b) Il est à noter également l'importante consommation apparente de thiourée lors du lavage par la solution concentrée de thiourée.

Comme de plus, il semble qu'un lavage à l'eau chaude seule (essai A1) permette de récupérer autant d'argent ; 19,5 % de l'argent total extrait, qu'un lavage à la thiourée suivi d'un lavage à l'eau chaude ; A2 : 10,2 %, C1 : 16,9 %, D1 : 14,4 %, E1 : 18,4 %, on peut considérer que les lavages par des solutions concentrées de thiourée sont inutiles. La consommation qui s'y rapporte ne devra donc pas être prise en compte.

4.1.3.5. Commentaires sur les précipitations constatées

On observe pour tous les tests (sauf A2) une baisse avec le temps des concentration cuivre, argent, or et thiourée dans la solution. Cette chute des concentrations métalliques se produit avec plus au moins d'importance suivant les essais (cf. figures 20 et 21).

De même, les rinçages effectués (solution de thiourée ou eau chaude) permettent de récupérer une quantité de métaux (notamment Ag et Cu) bien supérieure à celle pouvant se trouver dans la solution retenue sur le gâteau de filtration.

On doit donc supposer qu'une partie plus ou moins importante des métaux solubilisés reprécipite sur le minerai au cours des 24 heures de la lixiviation.

Ces précipités sont, du moins en partie, solubles dans l'eau chaude ou encore dans une solution de thiourée concentrée (40 g/l).

Divers observations permettent de penser que l'espèce précipitée est un composé métal (cuivre ou argent) dérivé d'oxydation de la thiourée.

Pour éviter cette précipitation qui conduit à une perte importante en réactif, il faudrait alors maintenir le potentiel de la solution aussi bas que possible pour éviter la formation de ce dérivé d'oxydation.

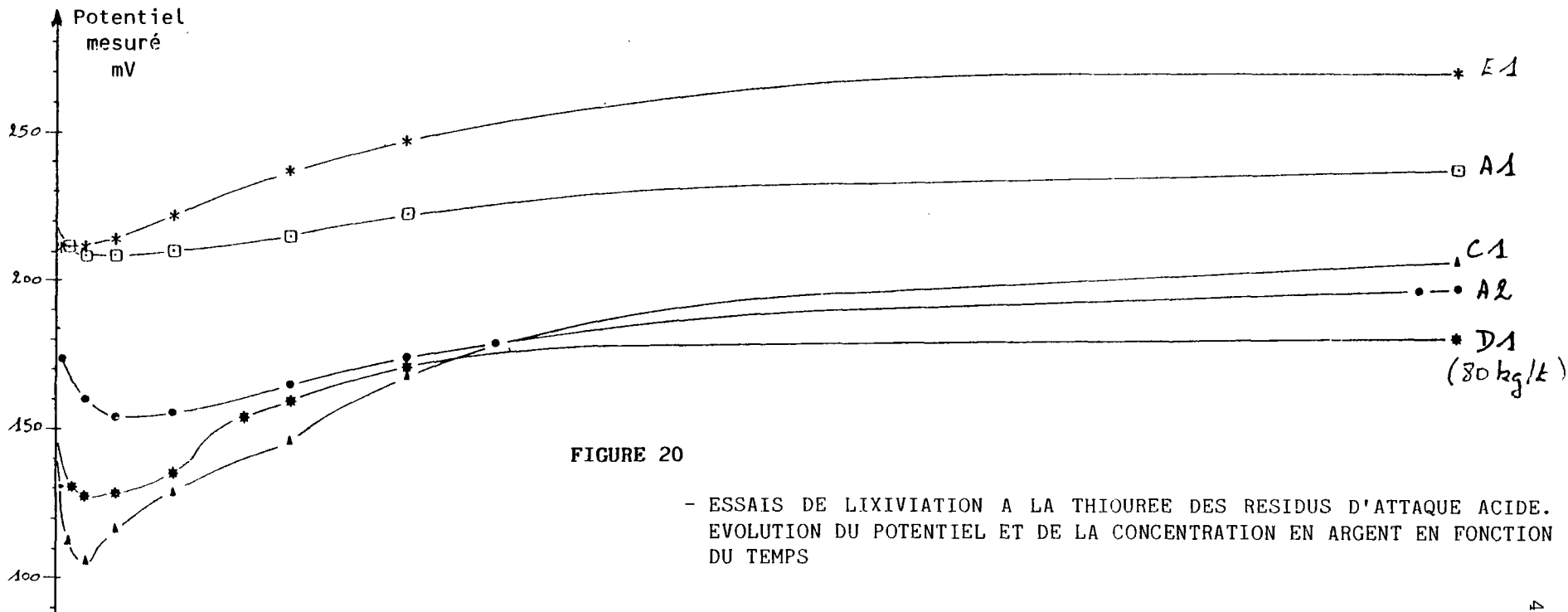


FIGURE 20

- ESSAIS DE LIXIVIATION A LA THIOUREE DES RESIDUS D'ATTAQUE ACIDE.
EVOLUTION DU POTENTIEL ET DE LA CONCENTRATION EN ARGENT EN FONCTION DU TEMPS

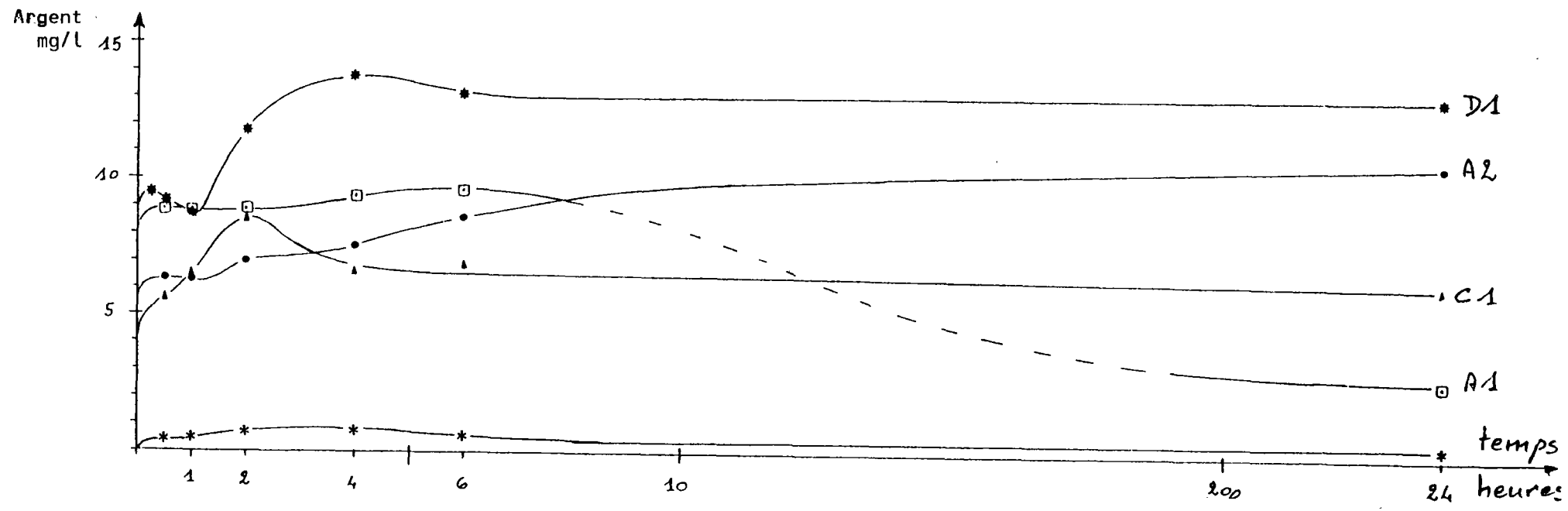
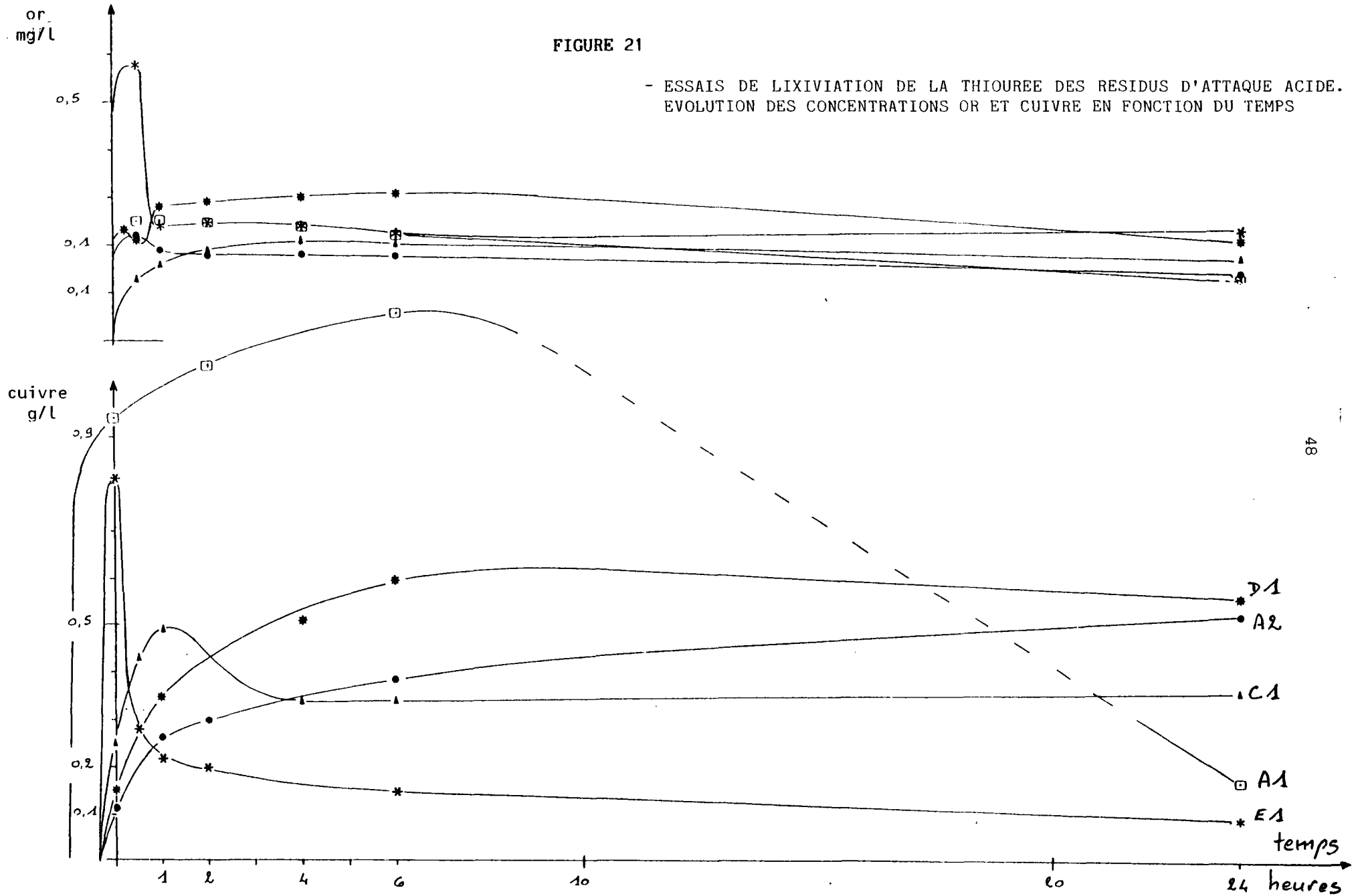


FIGURE 21

- ESSAIS DE LIXIVIATION DE LA THIOUREE DES RESIDUS D'ATTAQUE ACIDE.
EVOLUTION DES CONCENTRATIONS OR ET CUIVRE EN FONCTION DU TEMPS



4.1.4. Conclusions sur la thiourée

Le traitement à la thiourée des résidus de lixiviation pour cuivre du minerai cémenté de Rouez nécessite des conditions de lixiviation différentes, sinon opposées, suivant que l'on veut obtenir une meilleure extraction de l'argent ou de l'or.

Ces conditions optimales peuvent se résumer ainsi :

Pour l'or, il faudra obtenir un potentiel de solution relativement élevé et donc un proportion d'oxydant assez importante.

Il en résultera une consommation de réactif relativement élevée, ainsi qu'un risque très important de précipitation du Cu et de l'Ag mis en solution.

Ceci pour une extraction de l'or qui d'après les tests réalisés ne dépasse pas 30 %.

Pour l'argent, le potentiel à maintenir sera, au contraire, le plus bas possible afin d'éviter la formation d'un précipité qui non seulement présente un risque de pertes en argent (surmontable par un lavage soigné du résidu), mais aussi une gêne de sa dissolution, sans compter une consommation importante de réactif.

Dans ces conditions, l'extraction de l'argent peut atteindre 65 %, pour une consommation de thiourée qui devrait pouvoir être maintenue autour de 2 à 3 kg/t.

La lixiviation à la thiourée demande donc des conditions opératoires très précises, notamment le contrôle du potentiel électrochimique de la solution, paramètre qu'il est difficile, sinon impossible, de contrôler dans une lixiviation en tas.

4.2. Tests de lixiviation au cyanure

4.2.1. Procédure

Un test en bouteille sur chacun des deux résidus CI et CIII, broyés à 1 mm, a été réalisé sur une durée de 48 heures.

La charge en cyanure initiale est de 10 kg/t, mais des dosages réguliers de la concentration en cyanure libre de la solution ont permis de maintenir celle-ci à 0,5 g/l, ce qui est une valeur usuelle pour une lixiviation au cyanure.

Le minerai a d'abord été lavé par de l'eau déminéralisée afin d'éliminer l'acide qui pouvait encore être présent, ainsi que les composés facilement solubles. Puis il a été mise en pulpe avec une solution de chaux et le conditionnement s'est poursuivi pendant 48 heures avec régulation du pH et bullage d'air sur les dernières 24 heures.

Ces deux essais sont complétés par un essai en réacteur sur le résidu CI broyé à 100 µm et ayant subi une pré-attaque acide, de la même façon que les tests à la thiourée. Le conditionnement à pH 9,5 pendant 21 heures a été suivi d'une cyanuration avec une charge initiale en cyanuré de 5 kg/t et une régulation de la concentration en cyanure libre à 0,5 kg/l

Les résultats sont détaillés sous forme de tableaux en annexe 5.

4.2.2. Analyses des résultats

4.2.2.1. Extraction argent

TEST N°	PRETRAITEMENT	EXTRACTION ARGENT 48 h) %	CONSOMMATION DE CYANURE (kg/t)
CI	B2 (prétraitement 100 microns + pré-attaque acide)	28,55	6,2
CII	D2 (1mm)	28,91	9,1
CIII	E3 (1mm)	13,97	10,1

TABLEAU 12 : ESSAIS DE CYANURATION - EXTRACTION DE L'ARGENT ET CONSOMMATION DE CYANURE

On n'observe donc pas de différence d'extraction entre le minerai broyé à 1 mm (D2) et celui à 100 µm ayant subi de plus une pré-attaque acide (B2).

La consommation de cyanure importante doit être due à la forte teneur en cuivre du minerai.

L'extraction argent est très limitée : 29 % pour C^I (les résidus titrent encore 38 à 40 g/t pour CI et 20 g/t pour CIII).

4.2.2.2. Extraction or

TEST N°	EXTRACTION OR 48 h
CI B2 (100 microns + pré-attaque acide)	32,81
CI D2 (1 mm)	34,30
CIII E3 (1 mm)	36,56

TABLEAU 13 : ESSAIS DE CYANURATION - EXTRACTION DE L'OR

Mêmes remarques que pour l'argent.

L'extraction est limitée à 35 % pour des résidus qui titrent encore 1,4 à 1,6 g/t.

4.3. Conclusion

Le tableau 14 comparatif des deux techniques d'extraction des métaux précieux permet de constater :

- **que les extractions or** sont sensiblement les mêmes pour le cyanure que pour les meilleurs essais thiourée

		Teneur du résidu
cyanure	B2	1,65 g/t
	D2	1,68
	E3 (CIII)	1,40
thiourée	A1	1,70
	C1	1,75
	D1	2,00
	E1 (CIII)	1,77

Cette limitation de l'extraction aux alentours de 34 % pourrait être due non pas au réactif utilisé, mais au minerai lui-même : or non accessible aux solutions lixiviantes, même à une granulométrie de 100 µm.

- **que pour l'argent**, les résultats sont beaucoup plus nuancés :

		Teneur du résidu
Cyanure	B2	40 g/t
	D2	38
	E3 (CIII)	20
thiourée	A2	24 g/t
	C1	30
	A1	34
	D1	22
	E1 (CIII)	22

Si le cyanure ne permet qu'une extraction maximale de 30 % de l'argent, en milieu thiourée, l'extraction argent varie entre 36 et 65 % résultats très sensibles aux conditions opératoire). L'extraction de l'argent est certainement meilleure en milieu acide (de la thiourée) qu'en milieu basique (de la cyanuration).

MINERAL	CHARGE EN REACTIF Kg/t	N° DU TEST	GRANULO/ PRETRAITEMENT	OR EXTRAIT %		ARGENT EXTRAIT %		CONSUMMATION DE REACTIF (kg/t)		
				EN SOLUTION (+ lavages)	TOTAL	EN SOLUTION (+ lavages)	TOTAL	LIXIVIATION	LAVAGE A LA THIOUREE	
				<u>THIOUREE</u>						
CI	39,2	A1	1 mm /	15,4 (+ 13,2)	28,6	16,4 (n.d.)	35,9	14,3	/	
CI	39,4	A2	1 mm préatt. acide	14,7 (+ 1,4)	16,1	43,6 (+ 10,2)	53,8	2,2	8,6	
CI	39,7	C1	100 microns préatt. acide	16,9 (+ 11,2)	28,1	27,2 (+ 16,9)	44,1	13,0	3,0	
CI	75,8	D1	1 mm préatt. acide	21,1 (+ 12,5)	33,6	51,1 (+ 14,4)	65,5	8,2	16,6	
CIII	43,7	E1	100 microns préatt. acide	24,9 (+ 8,5)	33,4	4,4 (+ 18,4)	22,8	24,5	- 2,4	
				<u>CYANURE</u>						
CI	7,0	B2	100 microns préatt. acide	/	32,8	/	29,2	6,2	/	
CI	9,4	D2	1 mm lavage neutre	/	34,8	/	29,6	9,0	/	
CIII	10,4	E3	1 mm lavage neutre	/	36,6	/	14,3	10,1	/	

TABLEAU N° 14 RECAPITULATIF - COMPARAISON THIOUREE/CYANURE

Que ce soit avec le cyanure ou avec la thiourée, la récupération des métaux précieux des résidus de lixiviation pour le cuivre s'avère décevante :

- Pour l'**or**, on ne peut espérer qu'une extraction de 33 à 35 % (soit une valeur de 0,8 g d'or par tonne de minerai traité), aussi bien en cyanuration qu'en thiouréation.
- Pour l'**argent**, l'extraction maximale est de 65 % (soit 34 g d'argent par tonne) par la thiourée et dans des conditions opératoires très précises et de 30 % (16 g/t) en cyanuration.

On peut regretter que tous les résidus de lixiviation statique acide n'aient pas été testés faute de temps et de moyens, on a pu constater toutefois qu' a priori il n'y avait pas de distinctions à faire entre les résidus de lixiviation en milieu sulfurique seul et ceux en milieu chlorure pour ce qui de l'or. Pour l'argent l'attaque acide statique en milieu chlorure a donné une extraction équivalente voire supérieure à celles obtenues par la thiourée ou le cyanure en milieu agité sur les résidus de lixiviation statique en milieu sulfate seul.

ANNEXE : 1



CONDITIONS OPERATOIRES, RESULTATS
D'ANALYSES DES RESIDUS ET CINETIQUES
D'EXTRACTION DU CUIVRE DES ESSAIS REACTEUR

oOo

.....

ESSAI REACTEUR NO 1

.....

- CONDITIONS OPERATOIRES :

- Masse initiale de minerai : 407.08 g sec.
 - Granulometrie : d80=1 mm
 - Volume initial de solution : 1.200 l
 - PH resule : 1.00 +/- 0.10 (approx.)
 - Composition de la solution : H2SO4 10 g/l
 -
 -
 - Composition du minerai : Cu 2.98 %
Fe 35.50 %
As 60.00 g/t
Au 2.39 g/t
-

- RESULTATS :

- Cinetique de mise en solution du cuivre :

TEMPS en heures	TENEURS Cu en solution g/l	EXTRACTION DU CUIVRE %
1.50	3.33	32.94
3.00	3.48	34.42
6.75	3.77	37.29
19.75	4.07	40.26
21.33	4.20	41.55

.....

- Masse de residu : 373.23 g
- Analyse du residu : Cu 1.70 %
As 58 g/t
- Extraction As : 3 %
- Teneur Cu apres bilan liquide + residu : 2.83 %

.....

ESSAI REACTEUR NO 2

.....

- CONDITIONS OPERATOIRES :

- Masse initiale de minerai : 410.74 g sec.
 - Granulometrie : d80=1 mm
 - Volume initial de solution : 1.200 l
 - PH resule : 1.00 +/- 0.10 (approx.)
 - Composition de la solution : H2SO4 10 g/l
NaCl 10 g/l
 -
 - Composition du minerai : Cu 2.98 %
Fe 35.50 %
As 59.00 g/t
Au 2.39 g/t
-

- RESULTATS :

- Cinetique de mise en solution du cuivre :

TEMPS en heures	TENEURS Cu en solution g/l	EXTRACTION DU CUIVRE %
0.50	2.91	28.53
2.00	3.36	32.94
5.00	3.71	36.37
10.00	3.90	38.24
23.50	4.37	42.84
26.50	4.43	43.43

.....

- Masse de residu : 378.19 g
- Analyse du residu : Cu 1.78 %
As 64 g/t
- Extraction As : 0 %
- Teneur Cu apres bilan liquide + residu : 2.96 %

.....

ESSAI REACTEUR NO 3

.....

- CONDITIONS OPERATOIRES :

- Masse initiale de minerai : 414.04 g sec.
- Granulometrie : d80=1 mm
- Volume initial de solution : 1.200 l
- PH resule : 1.00 +/- 0.10 (approx.)
- Composition de la solution : H2S04 10 g/l
NaCl 40 g/l
-
- Composition du minerai : Cu 2.98 %
Fe 35.50 %
As 59.00 g/t
Au 2.39 g/t

.....

- RESULTATS :

- Cinetique de mise en solution du cuivre :

TEMPS en heures	TENEURS Cu en solution g/l	EXTRACTION DU CUIVRE %
1.42	3.39	32.97
2.00	3.57	34.72
6.00	3.87	37.64
9.25	4.02	39.10
24.13	4.09	39.78
25.25	3.92	38.12

-
- Masse de residu : 381.20 g
 - Analyse du residu : Cu 1.92 %
As 62 g/t
 - Extraction As : 0 %
 - Teneur Cu apres bilan liquide + residu : 2.74 %

.....

ESSAI REACTEUR NO 4

.....

- CONDITIONS OPERATOIRES :

- Masse initiale de minerai : 420.16 g sec.
 - Granulometrie : d80=1 mm
 - Volume initial de solution : 1.200 l
 - pH resule : 1.00 +/- 0.10 (approx.)
 - Composition de la solution : H2SO4 10 g/l
NaCl 100 g/l
 -
 - Composition du minerai : Cu 2.98 %
Fe 35.50 %
As 60.00 g/t
Au 2.39 g/t
-

- RESULTATS :

- Cinetique de mise en solution du cuivre :

TEMPS en heures	TENEURS Cu en solution g/l	EXTRACTION DU CUIVRE %
0.50	2.58	24.73
2.00	3.73	35.75
5.00	4.28	41.02
9.42	4.86	46.58
23.50	5.60	53.67
26.50	5.70	54.63

.....

- Masse de residu : 387.05 g
- Analyse du residu : Cu 1.47 %
As 53 g/t
- Extraction As : 12 %
- Teneur Cu apres bilan liquide + residu : 3.10 %

.....

ESSAI REACTEUR NO 5

.....

- CONDITIONS OPERATOIRES :

- Masse initiale de minerai : 396.62 g sec.
 - Granulometrie : d80=1 mm
 - Volume initial de solution : 1.200 l
 - PH regule : 1.00 +/- 0.10 (approx.)
 - Composition de la solution : H2SO4 10 g/l
NaCl 200 g/l
 -
 - Composition du minerai : Cu 2.98 %
Fe 35.50 %
As 60.00 g/t
Au 2.39 g/t
-

- RESULTATS :

- Cinetique de mise en solution du cuivre :

TEMPS en heures	TENEURS Cu en solution g/l	EXTRACTION DU CUIVRE %
0.50	3.51	35.64
2.00	4.01	40.71
5.08	4.55	46.20
9.75	4.70	47.72
24.08	5.20	52.80
27.21	5.44	55.23

.....

- Masse de residu : 359.30 g
- Analyse du residu : Cu 1.56 %
As 38 g/t
- Extraction As : 37 %
- Teneur Cu apres bilan liquide + residu : 3.13 %

.....

ESSAI REACTEUR NO 6

.....

- CONDITIONS OPERATOIRES :

- Masse initiale de minerai : 376.29 g sec.
 - Granulometrie : d80=1 mm
 - Volume initial de solution : 1.200 l
 - PH regule : 1.00 +/- 0.10 (approx.)
 - Composition de la solution : H2SO4 10 g/l
Fe 3+ 20 g/l
 -
 - Composition du minerai : Cu 2.98 %
Fe 35.50 %
As 60.00 g/t
Au 2.39 g/t
-

- RESULTATS :

- Cinetique de mise en solution du cuivre :

TEMPS en heures	TENEURS Cu en solution g/l	EXTRACTION DU CUIVRE %
0.42	3.08	32.96
1.92	3.22	34.46
4.92	3.42	36.60
9.17	3.58	38.31
23.58	3.86	41.31
26.42	3.94	42.16

.....

- Masse de residu : 344.28 g
- Analyse du residu : Cu 1.88 %
As 65 g/t
- Extraction As : 0 %
- Teneur Cu apres bilan liquide + residu : 3.14 %

.....

ESSAI REACTEUR NO 7

.....

- CONDITIONS OPERATOIRES :

- Masse initiale de minerai : 401.10 g sec.
 - Granulometrie : d80=1 mm
 - Volume initial de solution : 1.200 l
 - PH regule : 1.00 +/- 0.10 (approx.)
 - Composition de la solution : H2SO4 10 g/l
Fe 3+ 20 g/l
NaCl 10 g/l
 - Composition du minerai : Cu 2.98 %
Fe 35.50 %
As 60.00 g/t
Au 2.39 g/t
-

- RESULTATS :

- Cinetique de mise en solution du cuivre :

TEMPS en heures	TENEURS Cu en solution g/l	EXTRACTION DU CUIVRE %
0.50	3.44	34.54
2.00	3.56	35.74
5.00	3.76	37.75
9.67	3.96	39.76
23.50	4.46	44.78
26.33	4.56	45.78

.....

- Masse de residu : 369.56 g
- Analyse du residu : Cu 1.83 %
: As 64 g/t
- Extraction As : 0 %
- Teneur Cu apres bilan liquide + residu : 3.19 %

.....

ESSAI REACTEUR NO 8

.....

- CONDITIONS OPERATOIRES :

- Masse initiale de minerai : 447.34 gsec.
 - Granulometrie : d80=1 mm
 - Volume initial de solution : 1.200 l
 - pH resule : 1.00 +/- 0.10 (APPROX.)
 - Composition de la solution : H2SO4 10 g/l
Fe 3+ 20 g/l
NaCl 40 g/l
 - Composition du minerai : Cu 2.98 %
Fe 35.50 %
As 60.00 g/t
Au 2.39 g/t
-

- RESULTATS :

- Cinetique de mise en solution du cuivre :

TEMPS en heures	TENEURS Cu en solution g/l	EXTRACTION DU CUIVRE %
0.55	3.82	34.39
1.95	4.02	36.19
4.95	4.14	37.27
9.45	4.48	40.33
23.03	5.06	45.55
25.95	5.06	45.55

.....

- Masse de residu : 410.92 g
- Analyse du residu : Cu 1.63 %
As 62 g/t
- Extraction As : 0 %
- Teneur Cu apres bilan liquide + residu : 2.99 %

.....

ESSAI REACTEUR NO 9

.....

- CONDITIONS OPERATOIRES :

- Masse initiale de minerai : 412.63 g sec.
 - Granulometrie : d80=1 mm
 - Volume initial de solution : 1.200 l
 - pH resule : 1.00 +/- 0.10 (approx.)
 - Composition de la solution : H2SO4 10 g/l
Fe 3+ 20 g/l
NaCl 100 g/l
 - Composition du minerai : Cu 2.98 %
Fe 35.50 %
As 60.00 g/t
Au 2.39 g/t
-

- RESULTATS :

- Cinetique de mise en solution du cuivre :

TEMPS en heures	TENEURS Cu en solution g/l	EXTRACTION DU CUIVRE %
0.50	3.56	34.74
2.50	3.78	36.89
4.33	3.86	37.67
8.33	4.02	39.23
22.17	4.54	44.31
24.92	4.54	44.31

.....

- Masse de residu : 379.13 g
- Analyse du residu : Cu 1.69 %
: As 49 g/t
- Extraction As : 18 %
- Teneur Cu apres bilan liquide + residu : 3.01 %

.....

ESSAI REACTEUR N° 10

.....

- CONDITIONS OPERATOIRES :

- Masse initiale de minerai : 398.83 g sec.
 - Granulometrie : d80=1 mm
 - Volume initial de solution : 1.200 l
 - pH regule : 1.00 +/- 0.10 (approx.)
 - Composition de la solution : H2SO4 10 g/l
Fe 3+ 20 g/l
NaCl 200 g/l
 - Composition du minerai : Cu 2.98 %
Fe 35.50 %
As 60.00 g/t
Au 2.39 g/t
-

- RESULTATS :

- Cinetique de mise en solution du cuivre :

TEMPS en heures	TENEURS Cu en solution g/l	EXTRACTION DU CUIVRE %
0.50	3.34	33.72
3.00	3.60	36.35
6.83	3.92	39.58
22.17	4.58	46.24
25.00	4.62	46.65

.....

- Masse de residu : 367.74 g
- Analyse du residu : Cu 1.62 %
: As 38 g/t
- Extraction As : 37 %
- Teneur Cu apres bilan liquide + residu : 3.01 %

.....

ESSAI REACTEUR NO 11

.....

- CONDITIONS OPERATOIRES :

- Masse initiale de minerai : 390.73 g sec.
- Granulometrie : d80=100 microns
- Volume initial de solution : 1.200 l
- pH regule : 1.00 +/- 0.10 (approx.)
- Composition de la solution : H2SO4 10 g/l
-
-
- Composition du minerai : Cu 2.98 %
Fe 35.50 %
As 60.00 g/t
Au 2.39 g/t

.....

- RESULTATS :

- Cinetique de mise en solution du cuivre :

TEMPS en heures	TENEURS Cu en solution g/l	EXTRACTION DU CUIVRE/ ALIMENTATION %	EXTRACTION DU CUIVRE/TENEUR RECONSTITUEE %
0.67	2.50	25.76	32.20
2.17	3.14	32.36	40.50
6.67	3.24	33.39	41.70
22.17	3.62	37.31	46.60
26.92	3.66	37.72	47.10

-
- Masse de residu : 350.84 g
 - Analyse du residu : Cu 1.26 %
: As 48 g/t
 - Extraction As : 20 %
 - Teneur Cu apres bilan liquide + residu : 2.38 %

REMARQUE :

La cinétique à retenir est celle qui correspond au calcul à l'aide d'une teneur d'alimentation reconstituée à 2,38 % de Cu. La teneur d'alimentation de 2,98 % qui est très comparable aux teneurs reconstituées obtenues pour les autres expériences ne semble pas être valable pour cet échantillon d'une autre granulométrie. Il en serait de même pour l'argent.

ANNEXE : 2



CONDITIONS OPERATOIRES ET RESULTATS DE
DOSAGE ET D'EXTRACTION (Cu, Fe, Zn, As, Pb et Ag)
DES ESSAIS COLONNE

o00o

FICHE DE CONDITIONS OPERATOIRES - COLONNE : C I

=====

* CONDITIONS INITIALES :

- MINERAI

Masse : 8.230 kg
 Granulometrie : d80= 15 mm
 Hauteur de minerai : nd
 Densite en vrac dans la colonne : nd

- MACERATION : Neant

Composition de la solution :
 Quantite ajoutee :
 Masse de minerai apres agglomeration :
 Duree :

- FONCTIONNEMENT EN CIRCUIT Ouvert/Ferme : Ferme

- SOLUTION D'ATTAQUE

Composition : H2SO4 10g/l
 Volume : 4.000 l
 Poids :

* CONDITIONS FINALES :

- DUREE TOTALE DE FONCTIONNEMENT : 37.69 J
- LAVAGE du residu : Non
- Masse de minerai humide : 8.188 kg
- Masse de minerai sec : 7.284 kg
- Humidite : 12.41 % par rapport au poids sec
- Teneurs residus : Cu = 0.90 %
 Fe = 41.80 %
 As = 53 g/t
 Au = 2.53 g/t
- Teneur reconstituee en cuivre : 2.94 %

Tableau :

ESSAI CI

TEMPS en Jours	Quantite d'eau utilisee cumulee en l	TENEUR Cu en g/l	EXTRACTION Cu en %	TENEUR Fe en g/l	EXTRACTION Fe en %	TENEUR Zn en g/l	EXTRACTION Zn en %	TENEUR As en g/l	EXTRACTION As en %
0	4.0000	0	0	-	-	-	-	-	-
0.76	3.335	17.3	25.47	-	-	-	-	-	-
1.73	3.528	18.4	28.73	-	-	-	-	-	-
3.95	3.432	20.8	31.69	-	-	-	-	-	-
4.67	3.375	22.7	34.07	-	-	-	-	-	-
5.68	3.314	23.6	34.91	-	-	-	-	-	-
6.67	3.261	24.6	35.89	17.65	1.81	3.30	48.4	0.150	2.1
	- Renouvellement de la solution d'arrosage : 4.000 l a t = 7.05 J -								
8.74	7.093	7.28	48.24	-	-	-	-	-	-
9.66	6.901	9.42	51.11	-	-	-	-	-	-
10.66	6.858	9.96	51.82	-	-	-	-	-	-
11.65	6.782	10.84	52.92	-	-	-	-	-	-
12.66	6.743	11.16	53.28	8.86	2.78	0.967	63.6	0.165	4.6
	- Renouvellement de la solution d'arrosage : 4.000 l a t = 12.70 J -								
13.66	10.631	3.30	58.93	-	-	-	-	-	-
16.67	10.417	4.81	61.13	-	-	-	-	-	-
18.67	10.293	5.48	61.92	-	-	-	-	-	-
20.67	10.125	6.32	62.81	5.47	3.37	3.37	70.0	0.146	6.7
	- Renouvellement de la solution d'arrosage : 4.000 l a t = 20.70 J -								
23.67	13.617	2.52	66.74	-	-	-	-	-	-
25.66	13.498	3.05	67.36	-	-	-	-	-	-
27.68	13.471	4.24	69.12	-	-	-	-	-	-
30.68	13.363	4.64	69.74	-	-	-	-	-	-
32.67	13.240	5.24	70.09	-	-	-	-	-	-
34.67	13.112	5.72	70.45	-	-	-	-	-	-
37.69	13.225	5.92	71.06	8.06	4.15	0.45	76.4	0.360	11.5

FICHE DE CONDITIONS OPERATOIRES - COLONNE : C II
 =====

* CONDITIONS INITIALES :

- MINERAI

Masse : 9.218 kg
 Granulometrie : d80= 15 mm
 Hauteur de minerai : nd
 Densite en vrac dans la colonne : nd

- MACERATION

Composition de la solution : 401 g de H2SO4 96 %
 + 599 g d'H2O, pour 1 kg
 Quantite ajoutee : 333 g
 Masse de minerai apres agglomeration : 9.551 kg
 Duree : 48 h

- FONCTIONNEMENT EN CIRCUIT Ouvert/Ferme : Ferme

- SOLUTION D'ATTAQUE

Composition : H2SO4 10 g/l
 Volume : 4.000 l
 Poids : -

* CONDITIONS FINALES :

- DUREE TOTALE DE FONCTIONNEMENT : 36.73 j
- LAVAGE du residu : Non
- Masse de minerai humide : 9.266 kg
- Masse de minerai sec : 8.134 kg
- Humidite : 13.92 % par rapport au poids sec
- Teneurs residus : Cu = 0.82 %
 Fe = 43.30 %
 Ag = 48 g/t
 Au = 2.37 g/t
- Teneur reconstituee en cuivre : 2,86 %

Tableau : Essai CII

TEMPS en Jours	Quantite d'eau utilisee en l	TENEUR Cu en g/l	EXTRACTION Cu en %			
0	4.000		0			
0.71	3.409	20.60	28.47			
2.98	3.514	23.70	33.78			
3.74	3.279	24.60	32.97			
4.73	3.228	25.00	33.09			
5.70	3.184	26.30	34.35			
	- Renouvellement de la solution d'arrosage - 4.000l - a t= 6.10 j -					
7.76	7.003	8.16	47.00			
8.70	6.805	10.36	49.64			
9.69	6.759	11.16	50.65			
10.69	6.690	11.76	51.22			
11.70	6.646	12.76	52.47			
	- Renouvellement de la solution d'arrosage - 4.000l - a t= 11.78 j -					
12.69	10.533	3.86	58.60			
15.70	10.322	5.60	60.87			
17.70	10.201	6.32	61.64			
19.71	10.352	7.24	63.46			
	- Renouvellement de la solution d'arrosage - 4.000l - a t= 19.81 j -					
22.72	14.094	2.90	67.88			
24.70	13.958	3.90	68.74			
26.71	13.905	4.72	70.32			
29.72	13.762	5.78	70.68			
31.71	13.646	6.20	71.86			
33.71	13.503	6.84	72.34			
36.73	13.593	7.12	72.95			

FICHE DE CONDITIONS OPERATOIRES - COLONNE : C III

=====

* CONDITIONS INITIALES :

- MINERAI

Masse : 11.000 kg
 Granulometrie : d80= 15 mm
 Hauteur de minerai : nd
 Densite en vrac dans la colonne : nd

- MACERATION Neant

Composition de la solution :
 Quantite ajoutee :
 Masse de minerai apres agglomeration :
 Duree :

- FONCTIONNEMENT EN CIRCUIT Ouvert/Ferme : Ferme

- SOLUTION D'ATTAQUE

Composition : H2SO4 10 g/l, NaCl 200 g/l
 Volume : 4,000 l
 Poids : -

* CONDITIONS FINALES :

- DUREE TOTALE DE FONCTIONNEMENT : 37.71 J
- LAVAGE du residu : Non
- Masse de minerai humide : 11.304 kg
- Masse de minerai sec : 10.191 kg
- Humidite : 10.92 % par rapport au poids sec
- Teneurs residus : Cu = 0.81 %
 Fe = 41.30 %
 As = 24 g/t
 Au = 2.00 g/t
- Teneur reconstituee en cuivre : 2,98 %

Tableau :

Essai CIII

TEMPS en Jours	Quantite d'eau utilisee cumulee en l	TENEUR		EXTRACTION		TENEUR		EXTRACTION		TENEUR		EXTRACTION		TENEUR		EXTRACTION	
		Cu en g/l	Cu en %	Fe en g/l	Fe en %	Zn en g/l	Zn en %	As en mg/l	As en %	Pb en g/l	Pb en %	As en mg/l	As en %				
0	4.000		0														
0.77	2.852	20.55	19.24														
1.75	3.270	22.20	23.83														
3.95	3.155	27.10	28.05														
4.72	3.087	28.00	28.54														
5.70	3.029	29.20	29.29														
6.69	2.987	30.00	29.78	4.38	0.31	3.25	32.7	25	0.24	0.425	1.7	25.2	15.2				
	- Renouvellement de la solution d'arrosage - 4.000 l - a t= 7.11 J																
8.77	6.879	11.64	46.08														
9.70	6.709	13.69	48.27														
10.69	6.682	14.24	48.57														
11.69	6.615	15.24	49.49														
12.69	6.590	16.44	50.83	2.15	0.49	1.45	50.3	26	0.54	1.647	9.6	24.5	33.1				
	- Renouvellement de la solution d'arrosage - 4.000 l - a t= 12.75 J																
13.69	10.520	5.84	58.35														
16.70	10.360	7.72	60.38														
18.70	10.299	8.48	61.20														
20.69	10.227	9.60	62.35	2.52	0.70	0.512	56.5	52	1.1	1.337	16.1	13.8	43.3				
	- Renouvellement de la solution d'arrosage - 4.000 l - a t= 20.75 J																
23.69	14.051	4.27	67.71														
25.68	13.963	5.00	68.50														
27.70	13.920	6.20	69.91														
30.70	13.707	6.76	70.10														
32.69	13.627	7.96	71.31														
34.69	13.582	8.48	71.77														
37.71	13.915	8.68	72.98	8.82	1.46	0.515	62.9	310	4.8	3.39	32.8	9.7	50.5				

FICHE DE CONDITIONS OPERATOIRES - COLONNE : C IV

=====

* CONDITIONS INITIALES :

- MINERAI

Masse : 9.655 kg
 Granulometrie : d80= 15 mm
 Hauteur de minerai : nd
 Densite en vrac dans la colonne : nd

- MACERATION

Composition de la solution : 401 g de H2SO4 96 %
 + 599 g d'H2O
 + 60 g de NaCl pour 1 kg
 Quantite ajoutee : 350 g
 Masse de minerai apres agglomeration : 10.005 kg
 Duree : 49 h

- FONCTIONNEMENT EN CIRCUIT Ouvert/Ferme : Ferme

- SOLUTION D'ATTAQUE

Composition : H2SO4 10 g/l, NaCl 200 g/l
 Volume : 4.000 l
 Poids : -

* CONDITIONS FINALES :

- DUREE TOTALE DE FONCTIONNEMENT : 36.67 J
- LAVAGE du residu : Non
- Masse de minerai humide : 9.861 kg
- Masse de minerai sec : 9.149 kg
- Humidite : 7.78 % par rapport au poids sec
- Teneurs residus : Cu = 0.92 %
 Fe = 41.00 %
 As = 24 g/t
 Au = 2.04 g/t
- Teneur reconstituee en cuivre : 3.10 %

Tableau : Essai CIV

TEMPS en Jours	Quantite d'eau utilisee cumulee en l	TENEUR Cu en g/l	EXTRACTION Cu en %	TENEUR As en mg/l	EXTRACTION As en %
0	4.000				
0.68	3.424	21.40	26.20		
2.93	3.529	24.10	30.49		
3.69	2.643	24.80	29.74		
4.68	2.583	26.30	30.67		
5.66	2.547	27.00	31.06	22	12.7
- Renouvellement de la solution d'arrosage - 4.000 l a t= 6.07 J -					
7.72	6.427	9.18	44.39		
8.66	6.276	10.84	46.14		
9.65	6.234	11.36	46.68		
10.65	6.191	12.00	47.40		
11.66	6.159	12.68	48.18	22	30.6
- Renouvellement de la solution d'arrosage - 4.000 l a t= 11.74 J -					
12.65	10.098	4.56	54.62		
15.66	9.935	6.12	56.47		
17.67	9.845	6.88	57.30		
19.66	9.759	7.68	58.15	13	41.2
- Renouvellement de la solution d'arrosage - 4.000 l a t= 19.74 J -					
22.67	13.592	3.82	63.41		
24.65	13.486	4.67	64.41		
26.66	13.442	5.76	65.77		
29.66	13.319	6.72	66.80		
31.65	13.224	7.76	67.80		
33.65	13.143	8.56	68.63		
36.67	13.476	8.72	69.91	11	50.4

FICHE DE CONDITIONS OPERATOIRES - COLONNE : C V
 =====

* CONDITIONS INITIALES :

- MINERAI

Masse : 10.052 ks
 Granulometrie : d80= 15 mm
 Hauteur de minerai : 26 cm
 Densite en vrac dans la colonne : 2.18 t/m³

- MACERATION : Neant

Composition de la solution :
 Quantite ajoutee :
 Masse de minerai apres agglomeration :
 Duree :

- FONCTIONNEMENT EN CIRCUIT Ouvert/Ferme : Ferme

- SOLUTION D'ATTAQUE

Composition : H₂SO₄ 100 g/l
 Volume : 10.000 l
 Poids : 10.470 ks

* CONDITIONS FINALES :

- DUREE TOTALE DE FONCTIONNEMENT : 36.78 J
- LAVAGE du residu : Oui avec H₂SO₄ 10 g/l
 puis H₂O
- Masse de minerai humide : 9.820 ks
- Masse de minerai sec : 8.659 ks
- Humidite : 13.41 % par rapport au poids sec
- Teneurs residus : Cu = 0.86 %
 Fe = -
 As = 53 g/t
 Au = 2.48 g/t
- Teneur reconstituee en cuivre : 2,85 %

- Tableau : Essai CV

TEMPS en Jours	Quantite d'eau utilisee cumulee en l	TENEUR Cu en g/l	EXTRACTION Cu en %
0	10.000	0	0
0.85	9.047	12.20	41.33
1.78	9.863	12.54	46.40
2.80	9.931	13.16	49.12
5.78	9.834	13.84	51.25
6.76	9.987	10.84	54.01
9.75	9.954	11.72	55.49
Renouvellement de la solution d'arrosage			
	10.000 l a t = 10.09 j		
12.86	19.690	1.99	62.53
15.76	19.904	2.28	63.75
19.76	19.822	2.83	65.67
Renouvellement de la solution d'arrosage			
	10.000 l a t = 20.09 j		
22.76	29.593	0.63	68.61
26.76	29.668	0.96	69.81
35.77	29.495	1.59	71.96
36.78	29.609	1.64	72.21

FICHE DE CONDITIONS OPERATOIRES - COLONNE : C VI
 =====

* CONDITIONS INITIALES :

- MINERAI
 - Masse : 9.951 kg
 - Granulometrie : d80= 15 mm
 - Hauteur de minerai : 25.5 cm
 - Densite en vrac dans la colonne : 2.21 t/m³

- MACERATION : Neant
 - Composition de la solution :
 - Quantite ajoutee :
 - Masse de minerai apres agglomeration :
 - Duree :

- FONCTIONNEMENT EN CIRCUIT Ouvert/Ferme : Ferme

- SOLUTION D'ATTAQUE
 - Composition : H₂SO₄ 100 g/l, NaCl 200 g/l
 - Volume : 10.000 l
 - Poids : 11.734 kg

* CONDITIONS FINALES :

- DUREE TOTALE DE FONCTIONNEMENT : 36.81 J

- LAVAGE du residu : Oui avec H₂SO₄ 10 g/l
 puis H₂O

- Masse de minerai humide : 9.595 kg
- Masse de minerai sec : 8.493 kg
- Humidite : 12.98 % par rapport au poids sec

- Teneurs residus : Cu = 0.57 %
 Fe = -
 As = 24 g/t
 Au = 2.40 g/t

- Teneur reconstituee en cuivre : 2,89 %

- Tableau : Essai C VI

TEMPS en Jours	Quantite d'eau utilisee cumulee en l	TENEUR Cu en g/l	EXTRACTION Cu en %
0	10.000	0	0
0.85	9.227	12.16	41.81
1.78	9.888	13.24	48.88
2.80	9.928	14.28	53.02
5.79	9.843	16.20	59.72
6.79	9.990	16.32	61.17
9.78	9.900	17.00	63.26
Renouvellement de la solution d'arrosage			
10.000 l a t = 10.16 J			
12.89	19.731	2.47	72.31
15.79	19.852	2.69	73.25
19.79	19.802	3.08	74.66
Renouvellement de la solution d'arrosage			
10.000 l a t = 21.12 J			
22.79	29.620	0.59	77.28
26.79	29.668	0.86	78.43
35.80	29.472	1.35	80.14
36.81	29.591	1.39	80.34

FICHE DE CONDITIONS OPERATOIRES - COLONNE : C VII

=====

* CONDITIONS INITIALES :

- MINERAI

Masse : 10.185 kg
 Granulometrie : d80= 15 mm
 Hauteur de minerai : 29.5 cm
 Densite en vrac dans la colonne : 2.0 t/m³

- MACERATION

Composition de la solution : H₂SO₄ 20 %
 Quantite ajoutee : 280 g
 Masse de minerai apres agglomeration : 10.430 kg
 Duree : 23 h

- FONCTIONNEMENT EN CIRCUIT Ouvert/Ferme : Ferme

- SOLUTION D'ATTAQUE

Composition : H₂SO₄ 100 g/l
 Volume : 10.000 l
 Poids : 10.470 kg

* CONDITIONS FINALES :

- DUREE TOTALE DE FONCTIONNEMENT : 35.97 J
- LAVAGE du residu : Oui avec H₂SO₄ 10 g/l
 puis H₂O
- Masse de minerai humide : 9.976 kg
- Masse de minerai sec : 8.742 kg
- Humidite : 14.10 % par rapport au poids sec
- Teneurs residus : Cu = 0.88 %
 Fe = -
 Ag = 54 g/t
 Au = 2.45 g/t
- Teneur reconstituee en cuivre : 2,95 %

- Tableau : Essai C VII

TEMPS en Jours	Quantite d'eau utilisee cumulee en l	TENEUR Cu en g/l	EXTRACTION Cu en %
0	10.000	0	0
0.94	9.188	12.60	41.21
1.96	9.845	12.84	45.09
4.98	9.732	14.48	50.34
5.95	9.918	14.52	51.55
8.94	9.745	15.32	53.53
Renouvellement de la solution d'arrosage			
10.000 l a t = 9.32 j			
12.05	19.497	2.62	62.62
14.95	19.692	2.79	63.43
18.95	19.633	3.30	65.18
Renouvellement de la solution d'arrosage			
10.000 l a t = 20.29 j			
21.95	29.413	0.68	68.23
25.95	29.481	1.02	69.44
34.96	29.317	1.61	71.41
35.97	29.419	1.67	71.68

- Tableau : Essai C VIII

TEMPS en Jours	Quantite d'eau utilisee cumulee en l	TENEUR Cu en g/l	EXTRACTION Cu en %
0	10.000	0	0
0.94	9.289	13.08	42.42
1.96	9.858	13.76	47.45
4.99	9.907	15.88	55.11
5.96	9.976	16.08	56.30
8.95	9.873	17.12	59.36
Renouvellement de la solution d'arrosage 10.000 l a t = 9.33 J			
12.04	19.682	2.89	69.26
14.94	19.822	3.27	70.74
18.94	19.786	3.88	72.83
Renouvellement de la solution d'arrosage 10.000 l a t = 20.28 J			
21.94	29.595	0.74	75.98
25.94	29.669	1.08	77.34
34.95	29.532	1.68	79.33
35.96	29.657	1.77	79.71

FICHE DE CONDITIONS OPERATOIRES - COLONNE : C IX
 =====

* CONDITIONS INITIALES :

- MINERAI
 - Masse : 6.428 ks
 - Granulometrie : d80= 15 mm
 - Hauteur de minerai : 144 cm
 - Densite en vrac dans la colonne : nd

- MACERATION
 - Composition de la solution : H2SO4 20 %
 - Quantite ajoutee : 286.1 g
 - Masse de minerai apres agglomeration : 6.615 ks
 - Duree : 24 h

- FONCTIONNEMENT EN CIRCUIT Ouvert/Ferme : Ouvert

- SOLUTION D'ATTAQUE
 - Composition : H2SO4 20 g/l

* CONDITIONS FINALES :

- DUREE TOTALE DE FONCTIONNEMENT : 33.66 h
- LAVAGE du residu : Oui avec H2O
- Masse de minerai humide : 6.213 ks
- Masse de minerai sec : 5.472 ks
- Humidite : 13.54 % par rapport au poids sec

- Teneurs residus : Cu = 1.04 %
 - Fe = nd
 - As = nd
 - Au = nd
- Teneur reconstituee en cuivre : 2,84 %

- Tableau : Essai C IX

TEMPS en Jours	Quantite d'eau utilisee cumulee en l	TENEUR Cu en g/l	EXTRACTION Cu en %
0	0	0	0
0.91	1.488	53.20	46.49
1.77	3.167	26.80	50.00
2.70	4.935	18.30	53.27
5.72	9.267	1.95	57.90
6.66	11.003	2.02	60.13
8.67	14.811	1.62	62.51
12.66	22.243	0.334	63.97
16.68	29.358	0.227	64.68
19.67	34.980	0.1325	65.12
23.66	42.356	0.102	65.56
26.68	47.844	0.084	65.83
30.66	55.251	0.0765	66.16
33.66	60.699	0.066	66.37

- Debit specifique moyen : 33 l/h/m³

FICHE DE CONDITIONS OPERATOIRES - COLONNE : C X

=====

* CONDITIONS INITIALES :

- MINERAI
 - Masse : 6.555 kg
 - Granulometrie : d80= 15 mm
 - Hauteur de minerai : 145 cm
 - Densite en vrac dans la colonne : nd

- MACERATION
 - Composition de la solution : H2SO4 20 %
 - Quantite ajoutee : 280 g
 - Masse de minerai apres agglomeration : 6.754 g
 - Duree : 6 j

- FONCTIONNEMENT EN CIRCUIT Ouvert/Ferme : Ouvert

- SOLUTION D'ATTAQUE
 - Composition : H2SO4 20 g/l

* CONDITIONS FINALES :

- DUREE TOTALE DE FONCTIONNEMENT : 26.78 j

- LAVAGE du residu : Oui avec H2O

- Masse de minerai humide : 6.354 kg
- Masse de minerai sec : 5.552 kg
- Humidite : 14.45 % par rapport au poids sec

- Teneurs residus : Cu = 1.13 %
 - Fe = nd
 - As = nd
 - Au = nd

- Teneur reconstituee en cuivre : 2,99 %

- Tableau : Essai C X

TEMPS en Jours	Quantite d'eau utilisee cumulee en l	TENEUR Cu en g/l	EXTRACTION Cu en %
0	0	0	0
0.76	1.604	53.40	45.87
1.73	4.023	24.20	52.28
4.71	7.129	1.82	59.22
8.72	16.857	0.73	63.02
11.71	24.160	0.25	64.00
15.70	33.872	0.81	64.16
18.71	41.099	0.948	64.81
22.69	50.792	0.21	65.90
25.70	57.991	0.06	66.13
26.78	60.652	0.0509	66.20

- Debit specifique moyen : 41 l/h/m²

FICHE DE CONDITIONS OPERATOIRES - COLONNE : C XI
 =====

* CONDITIONS INITIALES :

- MINERAI

Masse : 6.421 ks
 Granulometrie : d80= 15 mm
 Hauteur de minerai : 144.6 cm
 Densite en vrac dans la colonne : nd

- MACERATION

Composition de la solution : H2SO4 20 %
 Quantite ajoutee : 284.5 g
 Masse de minerai apres agglomeration : 6.659 ks
 Duree : 24 h

- FONCTIONNEMENT EN CIRCUIT Ouvert/Ferme : Ouvert

- SOLUTION D'ATTAQUE

Composition : H2SO4 20 g/l, NaCl 200 g/l

* CONDITIONS FINALES :

- DUREE TOTALE DE FONCTIONNEMENT : 33.66 J
- LAVAGE du residu : Oui avec H2O
- Masse de minerai humide : 6.171 ks
- Masse de minerai sec : 5.411 ks
- Humidite : 14.05 % par rapport au poids sec
- Teneurs residus : Cu = 0.87 %
 Fe = nd
 As = 24 g/t
 Au = nd
- Teneur reconstituee en cuivre : 2,90 %

- Tableau : Essai C XI

TEMPS en Jours	Quantite d'eau utilisee cumulee en l	TENEUR Cu en g/l	EXTRACTION Cu en %
0	0	0	0
0.91	1.489	56.20	48.13
1.77	3.178	29.31	53.72
2.70	4.970	20.20	57.99
5.72	9.862	2.20	63.79
6.66	11.586	2.20	65.98
8.67	15.310	1.66	67.69
12.66	22.787	0.364	69.26
16.68	30.291	0.222	70.22
19.67	35.840	0.1655	70.75
23.66	43.230	0.148	71.37
26.68	48.685	0.1255	71.76
30.66	56.022	0.119	72.27
33.66	61.485	0.110	72.62

- Debit specifique moyen : 33 l/h/m²

FICHE DE CONDITIONS OPERATOIRES - COLONNE : C XII

=====

* CONDITIONS INITIALES :

- MINERAI

Masse : 6.502 kg
 Granulometrie : d80= 15 mm
 Hauteur de minerai : 145 cm
 Densite en vrac dans la colonne : nd

- MACERATION

Composition de la solution : H2SO4 20 %
 Quantite ajoutee : 269.2 g
 Masse de minerai apres agglomeration : 6.720 kg
 Duree : 6 j

- FONCTIONNEMENT EN CIRCUIT Ouvert/Ferme : Ouvert

- SOLUTION D'ATTAQUE

Composition : H2SO4 20 g/l, NaCl 200 g/l

* CONDITIONS FINALES :

- DUREE TOTALE DE FONCTIONNEMENT : 1.73 j
 (Colmatage de la colonne)

- LAVAGE du residu : Non

- Masse de minerai humide : 6.365 kg
 - Masse de minerai sec : 5.743 kg
 - Humidite : 10.83 % par rapport au poids sec

- Teneurs residus : Cu = 1.13 %
 Fe = nd
 Ag = 33 g/t
 Au = nd

- Teneur reconstituee en cuivre : 3,04 %

- Tableau : Essai C XII

TEMPS en Jours	Quantite d'eau utilisee cumulee en l	TENEUR Cu en g/l	EXTRACTION Cu en %	TENEUR Ag en mg/l	EXTRACTION Ag en %
0	0	0	0		
0.76	1.607	53.80	46.90		
1.73	4.030	25.60	56.11		
4.71	11.088	2.27	64.80	7	
	- Colmatase -				

- Debit specifique moyen : 43 l/h/m²

ANNEXE : 3



RESULTATS DE CONSOMMATION D'ACIDE DES ESSAIS
COLONNE CI à CVIII ET DES pH LUS DES JUS DE
LIXIVIATION POUR LES ESSAIS CIX à CXII

o000o

Tableau no

CONSUMMATION D'ACIDE AU COURS DES ESSAIS COLONNE *

* - Consommations cumulees de H2SO4 en Kg par tonne de minerai sec pour les colonnes C I a C VIII (fonctionnement en circuit ferme) mesurees par les additions d'acide effectuees pour regler l'acidite a pH 1, puis 0.5 pour C I a C IV et a 100 g/l de H2SO4 pour C V a C VIII

- pH lus pour les colonnes C IX a CXII qui ont fonctionne en circuit ouvert, car l'acidite residuelle n'a pas ete dosee

C I		C II		C III		C IV		C V		C VI	
Temps en Jours	Consommation cumulee en Kg/t	Temps en Jours	Consommation cumulee en Kg/t	Temps en Jours	Consommation cumulee en Kg/t	Temps en Jours	Consommation cumulee en Kg/t	Temps en Jours	Consommation cumulee en Kg/t	Temps en Jours	Consommation cumulee en Kg/t
0.90	6.4	0.95	19.5	0.98	1.4	0.90	14.9	0.85	23.4	0.85	21.5
1.85	11.7	1.90	21.9	2.15	2.7	1.81	15.7	1.78	26.0	1.78	28.6
2.84	15.4	3.19	23.9	2.90	3.9	3.13	16.3	2.80	98.8	2.80	43.2
4.13	18.5	3.88	25.9	4.14	5.0	3.87	17.0	19.76	100.7	5.79	48.7
4.78	20.5	4.90	26.8	4.81	6.1	4.76	17.8	35.77	102.6	12.89	49.9
5.77	22.4	5.98	28.1	5.80	7.3	5.89	18.5	36.78	103.4	15.79	51.4
6.87	24.3	7.78	31.1	6.91	8.5	7.80	18.9			19.79	54.1
8.80	27.9	8.83	34.3	8.83	9.5	8.77	20.0			35.80	56.6
9.76	30.8	9.89	35.9	9.80	10.5	9.78	20.7			36.81	57.7
10.76	32.9	10.82	36.9	10.82	11.5	10.76	21.4				
11.73	33.8	12.82	38.8	11.79	12.4	12.78	21.4				
13.74	35.8	15.81	40.9	13.78	12.8	15.76	22.2				
16.75	38.0	17.80	42.2	16.78	13.7	17.77	23.0				
18.75	39.2	22.79	43.9	18.78	14.5	22.76	24.2				
23.73	40.9	24.79	44.6	23.77	15.0	24.76	25.7				
25.72	42.2	26.96	48.0	25.78	15.5	26.89	25.2				
27.83	47.8	29.85	51.7	27.90	17.3	29.80	27.1				
30.75	49.3	31.85	53.3	30.79	19.9	30.80	28.3				
32.70	51.2			32.67	22.00						

C VII		C VIII		C IX		C X		C XI		C XII	
Temps en Jours	Consommation cumulee en Kg/t	Temps en Jours	Consommation cumulee en Kg/t	Temps en Jours	pH lu	Temps en Jours	pH lu	Temps en Jours	pH lu	Temps en Jours	pH lu
0.94	26.5	0.94	27.0	0.91	1.85	0.76	1.89	0.91	1.14	1.73	1.48
1.96	45.4	1.96	51.4	1.77	1.63	1.73	1.65	1.77	0.97		
4.98	54.2	4.99	58.9	2.70	1.56	4.71	1.17	2.70	0.92		
14.95	54.8	18.94	59.6	5.72	1.17	8.72	0.62	6.66	0.29		
18.95	55.9	20.18	61.3	6.66	1.05	11.71	0.68	7.69	0.15		
20.29	57.8	34.95	63.5	7.69	1.00	15.70	0.67	8.67	0.27		
34.96	58.4	35.96	64.0	8.67	0.99	18.71	0.83	12.66	0.36		
35.97	58.6			16.68	0.75	22.69	0.70	16.68	0.09		
				19.67	0.45	25.70	0.79	19.67	0.30		
				23.66	0.55	26.78	0.68	23.66	0.20		
				26.68	0.71			30.66	0.29		
				30.66	0.67			33.66	0.15		
				33.66	0.65						

ANNEXE : 4



CONDITIONS OPERATOIRES ET RESULTATS DES ESSAIS
DE LIXIVIATION A LA THIOUREE SUR LES RESIDUS
CI et CIII DE LIXIVIATION POUR LE CUIVRE

o000o

ESSAI EN REACTEUR : ROUEZ Cemente - Ech. C I - TEST A1

Conditions initiales | CHARGE THIOUREE = 39.16 Kg/t (soit = 17.68 g/l)
 | CHARGE Fe 3+ = .00 Kg/t (soit = .00 g/l)
 | Air = 0 l/mn
 | Temperature : 22 °C
 | pH : .99
 | Pulpe a : 31.11 % de solide

RESIDU : 510.70 grammes a : 1.70 g/t Au et 34.00 g/t As
 Teneur d'alimentation calculee : 2.38 g/t Au et n.c. g/t As
 Teneur d'alimentation analysee : 2.53 g/t Au et 53.00 g/t As

TEMPS heures	VOLUME DE SOLUTION ml	TENEUR Au mg/l	TENEUR As mg/l	TENEUR THIOUREE g/l	EXTRACTION OR %	EXTRACTION ARGENT %	CONSUMMATION DE THIOUREE Kg/t
.5	1081	.25	8.90	15.60	23.27	37.19	4.61
1.0	1031	.25	n.d	16.03	23.27	n.c.	3.66
2.0	981	.25	8.90	15.89	23.27	35.54	3.97
4.0	931	.24	9.40	15.75	22.46	37.36	4.28
6.0	856	.23	9.60	15.50	21.70	38.04	4.84
24.0	856	.14	2.75	11.23	15.36	16.38	14.29

EXTRACTION FINALE :

	Teneur Au mg/l	Teneur As mg/l	Teneur THIOUREE g/l	EXTRACTION OR %	EXTRACTION ARGENT %
Eaux meres :	774 ml	.14	2.75	11.23	8.92
Lavage 1 (TU = 40 g/l) :	-- ml	--	--	--	--
Rincase (Eau 90°C) :	1322 ml	.13	n.d	2.11	14.14
TOTAL :	Residu / Alimentation calculee (EM + R1 + R2) :			28.55 %	n.c. %
	Residu / Alimentation analysee :			32.81 %	35.85 %

CONSUMMATION DE THIOUREE : / Volume final : 14.29 Kg/t
 / Eaux meres + Rincase : 16.14 Kg/t

ESSAI EN REACTEUR : ROUEZ Cemente - Ech. C I - TEST A2

Conditions initiales | CHARGE THIOUREE = 39.41 Kg/t (soit = 17.29 g/l)
 | CHARGE Fe 3+ = .00 Kg/t (soit = .00 g/l)
 | Air = 0 l/mn
 | Temperature : 22 °C
 | pH : .99
 | Pulpe a : 30.49 % de solide

RESIDU : 507.45 grammes a : 2.08 g/t Au et 24.00 g/t As
 Teneur d'alimentation calculee : 2.48 g/t Au et 51.92 g/t As
 Teneur d'alimentation analysee : 2.53 g/t Au et 53.00 g/t As

TEMPS heures	VOLUME DE SOLUTION ml	TENEUR Au mg/l	TENEUR As mg/l	TENEUR THIOUREE g/l	EXTRACTION OR %	EXTRACTION ARGENT %	CONSUMMATION DE THIOUREE Kg/t
.5	1107	.22	6.15	16.60	20.23	27.01	1.56
1.0	1057	.19	6.15	16.75	17.59	27.01	1.22
2.0	1017	.18	7.00	16.70	16.89	30.68	1.01
4.0	967	.18	7.60	(16.94)	16.89	33.00	(.46)
6.0	917	.18	8.65	--	16.89	36.85	--
24.0	917	.15	10.60	16.18	14.70	43.64	2.20

EXTRACTION FINALE :

	Teneur Au mg/l	Teneur As mg/l	Teneur THIOUREE g/l	EXTRACTION OR %	EXTRACTION ARGENT %
Eaux meres :	835 ml	.15	10.60	9.95	33.59
Lavage 1 (TU = 40 g/l) :	484 ml	.04	6.30	1.54	11.57
Rincage (Eau 90°C) :	1091 ml	.01	.45	.87	1.86
TOTAL :	Residu / Alimentation calculee (EM + R1 + R2) :			16.13 %	53.78 %
	Residu / Alimentation analysee :			17.79 %	54.72 %

CONSUMMATION DE THIOUREE : / Volume final : 2.20 Kg/t
 / Eaux meres + Rincage : 10.84 Kg/t

ESSAI EN REACTEUR : ROUEZ Cemente - Ech. C I - TEST C1

Conditions initiales | CHARGE THIOUREE = 39,68 Kg/t (soit = 17,29 g/l)
 | CHARGE Fe 3+ = .00 Kg/t (soit = .00 g/l)
 | Air = 0 l/mn
 | Temperature : 22 °C
 | PH : 1,04
 | Pulpe a : 30,34 % de solide

RESIDU : 504.04 grammes a : 1,75 g/t Au et 30,00 g/t Ag
 Teneur d'alimentation calculee : 2,43 g/t Au et 53,69 g/t Ag
 Teneur d'alimentation analysee : 2,53 g/t Au et 53,00 g/t Ag

TEMPS heures	VOLUME DE SOLUTION ml	TENEUR Au mg/l	TENEUR Ag mg/l	TENEUR THIOUREE g/l	EXTRACTION OR %	EXTRACTION ARGENT %	CONSOMMATION DE THIOUREE Kg/t
.5	1107	.13	5.60	16.41	12.27	23.94	2.01
1.0	1057	.16	6.40	16.32	14.98	27.22	2.22
2.0	1007	.19	8.45	16.22	17.56	35.22	2.45
4.0	957	.21	6.65	15.79	19.21	28.53	3.43
6.0	907	.20	6.90	15.65	18.42	29.41	3.76
24.0	905	.18	6.25	11.66	16.92	27.18	12.96

EXTRACTION FINALE :	Teneur Au mg/l	Teneur Ag mg/l	Teneur THIOUREE g/l	EXTRACTION OR %	EXTRACTION ARGENT %
Eaux meres :	855 ml	.18	6.25	11.66	19.75
Lavage 1 (TU = 40 g/l) :	485 ml	.12	6.55	37.68	11.74
Rincase (Eau 90°C) :	971 ml	.09	1.77	3.81	6.35
TOTAL :	Residu / Alimentation calculee (EM + R1 + R2)	:	:	28.06 %	44.12 %
	Residu / Alimentation analysee	:	:	30.83 %	43.40 %

CONSOMMATION DE THIOUREE : / Volume final : 12,96 Kg/t
 / Eaux meres + Rincase : 15,98 Kg/t

ESSAI EN REACTEUR : ROUEZ Cemente - Ech. C I - TEST D1

Conditions initiales | CHARGE THIOUREE = 75.80 Kg/t (soit = 34.66 g/l)
 | CHARGE Fe 3+ = .00 Kg/t (soit = .00 g/l)
 | Air = 0 l/mn
 | Temperature : 22 °C
 | pH : 1.05
 | Pulpe a : 31.38 % de solide

RESIDU : 527.68 grammes a : 2.00 g/t Au et 22.00 g/t Ag
 Teneur d'alimentation calculee : 2.66 g/t Au et 55.71 g/t Ag
 Teneur d'alimentation analysee : 2.53 g/t Au et 53.00 g/t Ag

TEMPS heures	VOLUME DE SOLUTION ml	TENEUR Au mg/l	TENEUR Ag mg/l	TENEUR THIOUREE g/l	EXTRACTION OR %	EXTRACTION ARGENT %	CONSUMMATION DE THIOUREE Kg/t
.5	1105	.21	9.20	33.87	17.32	36.15	1.73
1.0	1007	.28	8.75	33.78	22.59	34.53	1.93
2.0	958	.29	11.80	33.73	23.30	44.98	2.04
4.0	909	.30	13.80	--	23.99	51.50	--
6.0	860	.31	13.15	--	24.63	49.49	--
24.0	859	.22	13.10	30.92	19.11	49.29	8.24

EXTRACTION FINALE :

	Teneur Au mg/l	Teneur Ag mg/l	Teneur THIOUREE g/l	EXTRACTION OR %	EXTRACTION ARGENT %
Eaux meres :	777 ml	.22	13.10	30.92	12.17
Lavase 1 (TU = 40 g/l) :	494 ml	.20	8.85	39.77	7.03
Rincage (Eau 90°C) :	1033 ml	.11	2.20	3.14	8.46
TOTAL :	Residu / Alimentation calculee (EM + R1 + R2)			30.72 %	63.35 %
	Residu / Alimentation analysee			20.95 %	58.49 %

CONSUMMATION DE THIOUREE : / Volume final : 8.24 Kg/t
 / Eaux meres + Rincage : 24.80 Kg/t

ANNEXE : 5

CONDITIONS OPERATOIRES ET RESULTATS DES ESSAIS
DE CYANURATION SUR LES RESIDUS CI et CIII DE
LIXIVIATION POUR LE CUIVRE

o00o

ESSAI EN REACTEUR : ROUEZ Cemente - Ech. C I - TEST B2

Conditions initiales | CHARGE CYANURE = 7.02 Kg/t (soit = 3.01 g/l)
 | CHARGE Ca(OH)2 = 3.75 Kg/t
 | Air = 1 l/mn
 | Temperature : 22 °C
 | pH : 10.20
 | Pulpe a : 30.02 % de solide

RESIDU : 508.82 grammes a : 1.65 g/t Au et 40.00 g/t As
 Teneur d'alimentation calculee : 2.46 g/t Au et 55.98 g/t As
 Teneur d'alimentation analysee : 2.53 g/t Au et 53.00 g/t As

TEMPS heures	VOLUME DE SOLUTION ml	TENEUR Au mg/l	TENEUR As mg/l	TENEUR NaCN * g/l	EXTRACTION OR %	EXTRACTION ARGENT %	CONSUMMATION DE CYANURE * Kg/t
1.0	1178	---	---	.44	--	--	3.79
2.0	1144	.33	5.20	.63	31.53	21.80	4.63
4.3	1105	---	3.96	.44	--	16.97	5.07
6.3	1097	.34	4.08	.47	32.53	18.04	5.08
24.0	1056	.35	5.80	.21	33.66	24.84	5.71
30.0	1100	---	---	.39	--	--	5.80
48.0	1122	.32	6.40	.31	32.81	28.55	6.20

EXTRACTION FINALE :

	Teneur Au mg/l	Teneur As mg/l	Teneur NaCN g/l
Eaux meres :	1088 ml	.32	6.40
Rincage :	1004 ml	.01	.46

TOTAL :	Residu / Alimentation calculee (EM + R)	OR	ARGENT
	Residu / Alimentation analysee	32.77 %	29.16 %
		34.78 %	24.53 %

CONSUMMATION DE CYANURE : / Volume final : 6.20 Kg/t

* Remarque : la teneur en / Eaux Meres + Rincage : 6.15 Kg/t

cyanure est ajustee tout au long de l'essai

ESSAI EN BOUTEILLE : ROUEZ Cemente - Ech. C I - TEST D2

Conditions initiales :

- CHARGE CYANURE = 9.40 Kg/t (soit = 7.45 g/l)
- CHARGE Ca(OH)₂ = 5.71 Kg/t
- Air = 1 l/mn
- Temperature : 22 °C
- pH : 9.56
- Pulve a : 44.21 % de solide

RESIDU : 522.23 grammes a : 1.68 g/t Au et 38.00 g/t As
 Teneur d'alimentation calculee : 2.58 g/t Au et 53.45 g/t As
 Teneur d'alimentation analysee : 2.53 g/t Au et 53.00 g/t As

TEMPS heures	VOLUME DE SOLUTION * ml	TENEUR Au mg/l	TENEUR As mg/l	TENEUR NaCN * g/l	EXTRACTION OR %	EXTRACTION ARGENT %	CONSUMMATION DE CYANURE * Kg/t
1.0	648	--	--	2.77	--	--	5.91
3.0	638	--	16.24	1.93	--	37.99	6.95
6.0	595	.67	16.44	1.62	32.11	38.86	7.33
24.2	540	.69	12.92	.66	32.96	31.13	8.57
29.7	548	--	--	.66	--	--	8.54
48.0	548	.73	11.60	.26	34.80	28.91	9.06

* APPROXIMATIF

EXTRACTION FINALE :	Teneur Au mg/l	Teneur As mg/l	Teneur NaCN g/l	OR %	ARGENT %
Eaux meres :	479 ml	.73	11.60	.26	
Rincase :	1012 ml	.05	1.08	.02	
TOTAL :	Residu / Alimentation calculee (EM + R)			34.81 %	29.64 %
	Residu / Alimentation analysee			33.60 %	28.30 %

CONSUMMATION DE CYANURE : / Volume final : 9.06 Kg/t
 * Remarque : la teneur en / Eaux Meres + Rincase : 9.04 Kg/t
 cyanure est ajustee tout au long de l'essai

ESSAI EN BOUTEILLE : ROUEZ Cemente - Ech. C III - TEST E3

Conditions initiales | CHARGE CYANURE = 10.37 Kg/t (soit = 7.17 g/l)
 | CHARGE Ca(OH)2 = 7.71 Kg/t
 | Air = 1 l/mn
 | Temperature : 22 °C
 | pH : 10.05
 | Pulpe a : 40.89 % de solide

RESIDU : 482.80 grammes a : 1.40 g/t Au et 20.00 g/t As
 Teneur d'alimentation calculee : 2.21 g/t Au et 23.25 g/t As
 Teneur d'alimentation analysee : 2.00 g/t Au et 24.00 g/t As

TEMPS heures	VOLUME DE SOLUTION * ml	TENEUR Au mg/l	TENEUR As mg/l	TENEUR NaCN * g/l	EXTRACTION OR %	EXTRACTION ARGENT %	CONSUMMATION DE CYANURE * Kg/t
1.6	692	--	--	2.43	--	--	6.86
3.1	680	--	3.32	1.86	--	20.56	7.68
6.0	633	.55	3.48	1.39	35.58	21.62	8.35
24.6	575	.58	2.68	.47	36.63	16.92	9.70
29.8	584	--	--	.40	--	--	9.78
48.0	605	.55	2.00	.16	36.56	13.97	10.13

* APPROXIMATIF

EXTRACTION FINALE :	Teneur Au mg/l	Teneur As mg/l	Teneur NaCN g/l	OR %	ARGENT %
Eaux meres :	531 ml	.55	2.00	.16	
Rincage :	1169 ml	.00	.16	.05	
TOTAL :	Residu / Alimentation calculee (EM + R)			34.04 %	14.27 %
	Residu / Alimentation analysee			30.00 %	16.67 %

CONSUMMATION DE CYANURE : / Volume final : 10.13 Kg/t
 * Remarque : la teneur en / Eaux Meres + Rincage : 10.01 Kg/t
 cyanure est ajustee tout au
 long de l'essai