

LES NODULES POLYMÉTALLIQUES ET LA DÉPOLLUTION DES EAUX

Polymetallic nodules and water depollution

G. PIGNET

G. MARTIN

*CEEA. ENSC Rennes
Avenue du Général-Leclerc
35000 Rennes-Beaulieu*

H. BOUGAULT

*COB - CNEXO
B. P. 337
29273 Brest*

INTRODUCTION

Les *eaux superficielles* sont atteintes de plus en plus gravement par la pollution industrielle, alors que les besoins en eau pure augmentent. C'est pourquoi on est amené à utiliser pour la consommation des eaux de qualités variables contenant en particulier un certain nombre de micropolluants. Les essais présentés ici ont pour but de tester une méthode originale d'élimination de différents cations métalliques bivalents.—

Mn^{2+} , Cu^{2+} , Zn^{2+}

Le manganèse pose un problème particulièrement important puisqu'il peut atteindre des teneurs de 0,5 à 1 mg/l dans les eaux de barrage.

Le traitement le plus courant consiste à oxyder Mn^{2+} en MnO_2 insoluble que l'on filtre. Ce traitement qui nécessite l'emploi d'un oxydant puissant tel que le permanganate de potassium est relativement coûteux.

Pour les autres métaux présents éventuellement dans les eaux de ruissellement par exemple, il n'existe pas pour l'instant de traitement spécifique applicable aux eaux de consommation. Les teneurs de ces métaux dans les eaux de barrage ou eaux de ruissellement, les normes de potabilité et l'efficacité de certains traitements sont donnés tableau I.

TABLEAU I

Les métaux dans les eaux superficielles, normes de potabilité et efficacité de certains traitements

	Mn	Cu	Ni	Zn	Pb	Hg
Teneur max. mg/l eaux à caractère particulier eaux de rivière	eaux de barrage 2 0,06	eaux de ruissellement				
		0,5	0,1	1,5	6	
Normes de potabilité mg/l (comm. Europ. 1976)	0,05	3	0,05	5	0,05	0,001
Traitements spécifiques teneurs résiduelles mg/l	oxydation filtration < 0,01	précipitation à l'hydroxyde à		1,5	précipitation du sulfure 0,1 0,1	
Traitement classique (coag., flocul. décant. filt.) % d'abattement pour des teneurs d'entrée de 0,5 mg/l	20 %	80 à 90 %	20 à 65 %	30 à 40 %	60 à 80 %	70 %

Les nodules polymétalliques sont des concrétions naturelles que l'on trouve dans les grands fonds océaniques par des profondeurs comprises en général entre 3 500 et 5 000 mètres. Les deux éléments majeurs sont le fer et le manganèse, en première approximation sous forme d'oxydes Fe_2O_3 et MnO_2 : les structures cristallines (birnesite, todorokite) sont très difficiles à mettre en évidence. Nickel, cuivre et cobalt accompagnent ces deux éléments dans des proportions variables (de l'ordre de grandeur de 1 %) suivant les zones géographiques. Le tableau II donne la composition d'un nodule « moyen » ainsi que les concentrations en Mn, Fe, Ni et Cu des nodules « Walda » (*) utilisés lors de cette étude. La source des éléments qui les constituent (volcanisme, phénomènes hydrothermaux, apports continentaux...) leurs processus et vitesse de formation ne sont pas actuellement connus avec certitude. Dans certaines zones géographiques, notamment dans le Pacifique Nord, ces nodules polymétalliques présentent des teneurs cumulées « Ni + Cu » supérieures à 3 % qui en font un minerai potentiel (GLASBY, 1977). Les travaux décrits dans cet article envisagent une possibilité

d'application de ce type de matériau au traitement des eaux (PIGNET, 1978).

La possibilité d'utilisation des nodules polymétalliques pour le traitement des eaux repose sur deux observations :

i) Les nodules polymétalliques dont les dimensions varient du centimètre à la dizaine de centimètres sont formés de couches successives d'oxydes de manganèse (et de fer). On sait que le dioxyde de manganèse possède des propriétés catalytiques vis-à-vis de certaines réactions d'oxydation.

ii) Le matériau possède une structure poreuse très divisée favorable aux réactions de surface.

Ces deux remarques ont conduit à envisager l'emploi des nodules de manganèse comme absorbants et catalyseurs d'oxydation. Les chances de pouvoir « fixer » certains éléments sur ce matériau apparaissent a priori d'autant plus grandes que ces éléments peuvent intervenir dans la composition et la formation du matériau naturel. On espère donc que le processus naturel qui intervient pour la formation du matériau peut être reproduit en laboratoire ou en station d'épuration autorisant ainsi l'élimination d'ions tels que Mn^{2+} , Cu^{2+} , Zn^{2+} ... contenus dans certaines eaux.

(*) « Walda » : mission N.O. J. CHARCOT en 1971. Ces nodules ont été prélevés dans le bassin d'Angola, en bas de marge.

TABLEAU II
Composition des nodules Walda
Comparaison à la composition moyenne des nodules.

	Mn	Fe	Si	Al	Na	Ca	Mg	Ni	K	Ti	Cu
Nodule en « moyen »	24,2	14	9,4	2,9	2,6	1,9	1,7	0,99	0,8	0,67	0,5
Nodule « Walda »	40	0,9						.11			.04

ÉTUDE DE L'ÉLIMINATION DU MANGANÈSE

Conditionnement

Le conditionnement des nodules doit permettre de profiter au maximum de leurs propriétés de surface : il est donc nécessaire de les concasser. La granulométrie a été définie pour cette étude de 1 à 2,5 mm.

L'aire spécifique est alors de environ 50 m²/g, ce qui reste très inférieur à celle des produits spécifiquement absorbants tels que le charbon actif de même granulométrie. La densité voisine de 1,1 est faible par rapport à celle du sable. Le conditionnement est complété par un lavage à l'eau à ébullition destiné à « mouiller » au maximum le matériau et à enlever diverses impuretés.

Essais préalables en discontinu

Les essais préalables en discontinu se sont révélés très encourageants. Dans un réacteur agité mécaniquement, on introduit successivement les nodules préparés (40 cm³) et la solution à traiter (environ 1 litre). Cette solution est préparée à partir d'eau permutée dans laquelle on dissout un sel du métal étudié de façon à obtenir la concentration initiale souhaitée. Chaque expérience consiste à suivre la diminution avec le temps de la concentration en cation.

La première expérience permet de comparer l'efficacité des nodules à celle de matériaux traditionnels tels que pyrolusite et sable manganisé pour l'élimination du manganèse. Cette expérience dont les résultats sont représentés figure 1 montre sans ambiguïté la supériorité des nodules aussi bien vis-à-vis de la concentration en Mn résiduelle dans l'eau que de la rapidité de l'épuration. Notons que la granulométrie du sable manganisé utilisé est la même que celle du matériau « nodule » concassé.

Ce résultat important étant acquis, la cinétique de la réaction a été étudiée : influence de l'agitation, de la quantité de nodule utilisée, du pH et de l'oxygène dissout.

Influence de l'agitation et de la quantité de nodules utilisée

Les résultats concernant l'influence de l'agitation sont traduits figure 2, où le logarithme de la concentration en Mn²⁺ en solution est porté en fonction du temps. En l'absence d'agi-

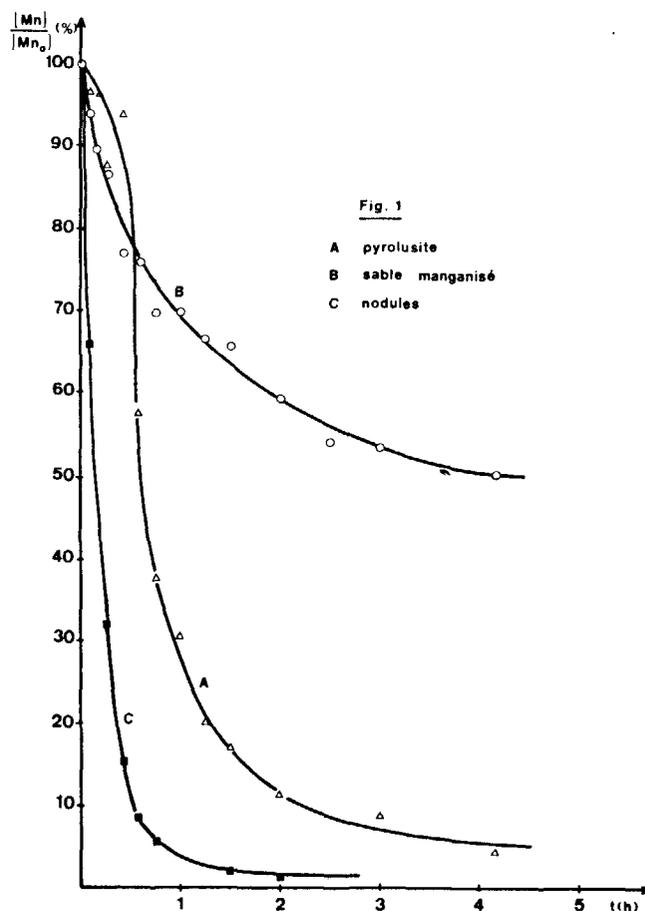


FIGURE 1

Efficacité comparée de la pyrolusite, du sable manganisé et des nodules.

Compared efficiency of pyrolusite, Mn coated sand and nodules.

tation la diminution de Mn²⁺ en solution est beaucoup moins rapide qu'avec une agitation. Il a été vérifié que ce résultat ne correspond pas à une absence de diffusion de Mn²⁺ en solution dans le cas d'absence d'agitation. Un calcul simple permet de montrer que le volume utile de nodule en absence d'agitation est dans le rapport 1,5 à 42 par comparaison à l'expérience avec agitation. Outre l'influence de l'agitation, ce résultat montre le rôle de la quantité de nodule utilisée sur la cinétique de l'élimination du manganèse. Cette influence a d'ailleurs été précisée par une série de trois expériences — avec agitation — en utilisant des quantités différentes de nodule.

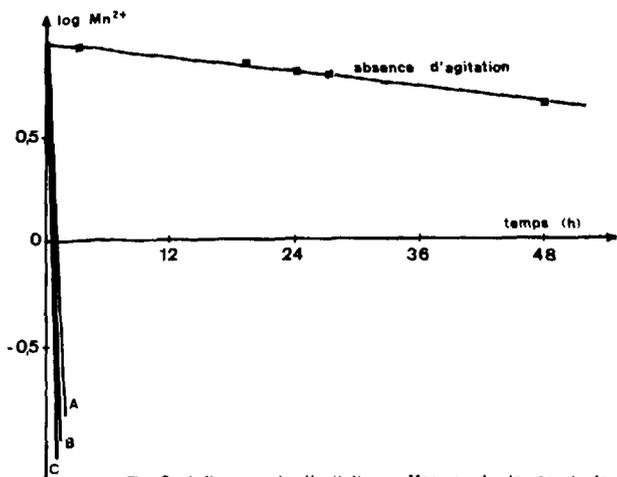


Fig. 2 Influence de l'agitation. Mesure de la constante

FIGURE 2

Influence de l'agitation.

A, B, C correspondant à trois expériences avec agitation. A : 4 ml de nodule ; B : 20 ml ; C : 40 ml pour 1 l d'eau.

Shaking effect ; the upper line : no shaking.

A, B, C three experiments with shaking.

A : 4 ml of nodule ; B : 20 ml ; C : 40 ml for 1 l of water.

En supposant que la réaction suit un ordre n défini,

on écrit
$$-\frac{dc}{dt} = Kc^n$$

soit
$$\log\left(-\frac{dc}{dt}\right) = \log K + n \log c$$

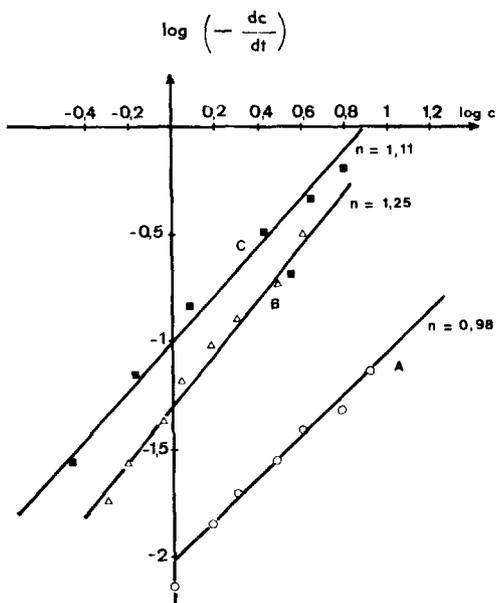


Fig. 3 Influence de quantité de nodules : mesure de l'ordre

FIGURE 3

Influence de la quantité de nodule.

Ordre de réaction :

A : 4 ml de nodule ; B : 20 ml ; C : 40 ml pour 1 l d'eau.

Influence of nodule quantity : reaction order.

A : 4 ml of nodule ; B : 20 ml ; C : 40 ml - water 1 l.

Les trois expériences effectuées à quantités de nodules différentes peuvent permettre de préciser n ; $\log(-dc/dt)$ en fonction de $\log c$ est représenté figure 3. L'ordre trouvé est voisin de 1. Les constantes cinétiques K relatives à chaque expérience peuvent être déterminées en portant $\log c$ en fonction du temps (fig. 4). On retrouve un résultat comparable à ce qui est obtenu lors de l'expérience « absence d'agitation » (fig. 2), où l'absence d'agitation est équivalente à une quantité de nodule réduite.

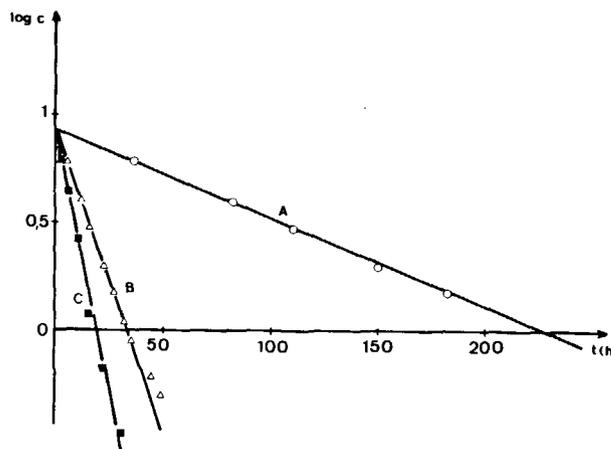


Fig. 4 Influence de la quantité de nodules : mesure de k

FIGURE 4

Influence de la quantité de nodule.

Détermination des constantes cinétiques :

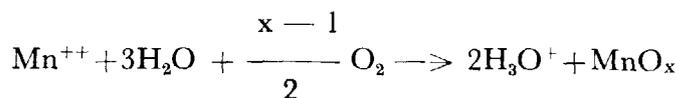
A : 4 ml de nodule ; B : 20 ml ; C : 40 ml pour 1 l d'eau.

Kinetic constant determination :

A : 4 ml of nodule ; B : 20 ml ; C : 40 ml for 1 l of water.

Influence du pH

La réaction catalysée ou non d'oxydation de Mn^{++} peut s'écrire (COUGHLIN et al., 1976)



x pouvant varier de 1,5 à 2.

Une diminution très significative du pH est effectivement observée au cours de la réaction. Trois expériences ont été réalisées pour tester l'influence du pH sur la cinétique de démanganisation : A : le pH évolue librement, variant de 8,3 en début d'expérience à 7,5 en fin d'expérience ; B : pH maintenu à 8,5 ; C : pH maintenu à 5,9.

Ces différents pH n'ont aucune influence sur la cinétique de la réaction comme le montrent les résultats présentés figure 5. La réaction considérée n'est donc pas réversible.

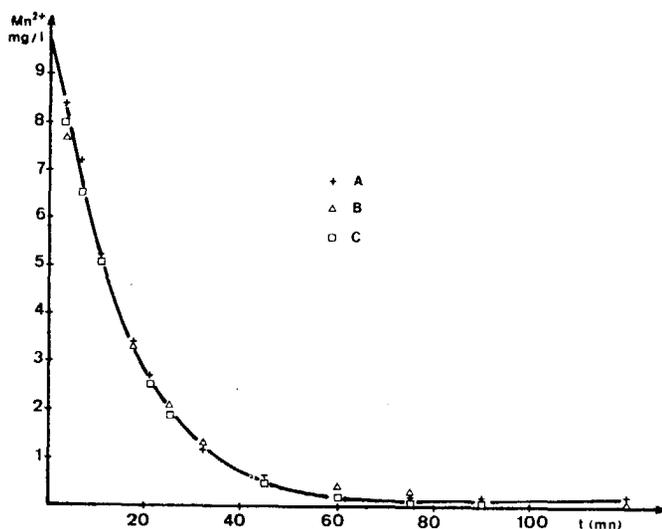


Fig. 5 Influence du pH

FIGURE 5

Influence négligeable du pH sur la cinétique.

Negligible influence of pH for kinetics.

Influence de l'oxygène dissout

La nécessité de présence d'oxygène pour l'élimination du manganèse en solution est démontrée par une expérience en milieu réducteur (sulfite de sodium).

Tant que la solution reste en milieu réducteur, la concentration en manganèse reste constante. Si on fait passer un courant d'oxygène dans la solution, dès que la concentration en O₂ devient mesurable la concentration en Mn²⁺ et le pH diminuent.

Réaliser la même expérience (absence d'O₂), sans faire intervenir un agent réducteur, est difficile, le matériau nodule de manganèse pouvant être donneur d'oxygène lui-même ne serait-ce que par l'air emprisonné dans les pores du matériau. En utilisant de l'eau préalablement bouillie, en y maintenant un bullage d'azote le taux d'oxygène peut être maintenu aux environs de 0,05 mg/l. Dans ces conditions, on observe une certaine démanganisation ; l'ordre de la réaction est voisin de 2 et la constante cinétique K est faible.

« Réactivation » du matériau

La démanganisation d'une solution peut s'effectuer en la faisant percoler sur une colonne de nodules. Au bout d'un certain temps, la colonne se « sature », les grains de nodules perdant leur propriété catalytique. En laissant une solution contenant Mn²⁺ en contact avec une charge de nodules ainsi saturée, on observe que la concentration en Mn²⁺ décroît avec le temps : le matériau se « réactive ».

Dans ce cas (fig. 6), l'ordre de la réaction est voisin de deux.

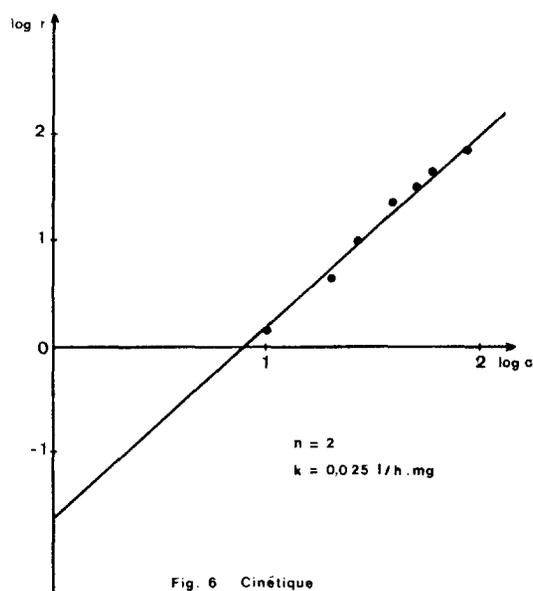


Fig. 6 Cinétique

FIGURE 6

« Réactivation du matériau nodule de manganèse.

Le matériau a été préalablement saturé; la pente de droite a $\log r = f(c)$ définit l'ordre de la réaction correspondant à la démanganisation d'une solution dont la concentration initiale était de 122 mg/l.

Manganese nodule reactivation. The material was previously saturated; the slope of the line $\log r = f(c)$ is the order of the reaction corresponding to manganese removal from a solution whose initial concentration was 122 mg/l.

Cinétique de la réaction de démanganisation

Suivant les paramètres et les conditions expérimentales qui ont été étudiées, l'ordre de la réaction est 1 ou 2 ou compris entre 1 et 2. Empiriquement, une relation du type suivant peut être proposée :

$$-\frac{dc}{dt} = Kc(1 + ac)$$

Les valeurs des constantes K et a pouvant varier suivant les conditions de l'expérience. L'ordre de la réaction n est égal à 1 si a est petit ; n peut être égal à 2 si (ac) est grand devant 1 et mal défini dans les cas intermédiaires.

Pour un ordre 1, il a été montré que la vitesse de réaction est proportionnelle à la quantité de nodules utilisée, donc à la surface présentée par le matériau ; la constante K peut donc être remplacée par K'S, S étant la surface. Une série d'expériences a permis de conclure d'autre part que le paramètre a est inversement proportionnel à c_0^2 , c_0 étant la concentration initiale en manganèse (fig. 7).

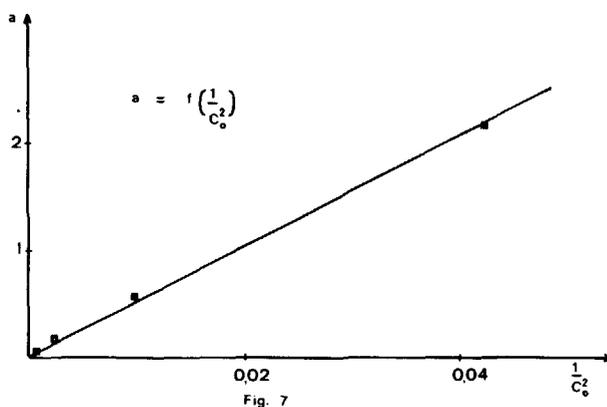


Fig. 7

FIGURE 7

Proportionnalité du paramètre a à $1/c_0^2$.

Proportionality of parameter a to $1/c_0^2$.

Ainsi, empiriquement la vitesse de déman-ganisation peut s'exprimer par la relation sui-vante :

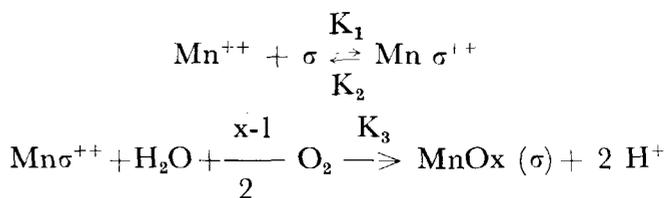
$$-\frac{dc}{dt} = K'Sc \left(1 + \frac{a'}{c_0^2} c \right)$$

Pour expliquer cette relation, il est vrai-semblablement nécessaire de faire intervenir plusieurs réactions. On considère les deux réac-tions qui correspondent aux deux critères qui ont guidé cette étude :

— structure divisée, réaction de surface, sites actifs (σ) ;

— catalyseur d'oxydation : oxydation et régé-nération des sites actifs.

Ces réactions peuvent s'écrire :



Dans la deuxième réaction, $\text{MnO}_x(\sigma)$ repré-sente l'oxyde formé constituant un site actif traduisant le phénomène de catalyse. Une étude mathématique de ce modèle montre que la vitesse de déman-ganisation peut s'écrire de la façon suivante :

$$\frac{dc}{dt} = \frac{K_3 \text{ScP} (\text{O}_2) \left[1 + \frac{K_2}{K_1} c \right]}{\left[1 + \frac{K_2}{K_1} c \right]^2 + \frac{K_2}{K_1}}$$

Ce modèle correspond à un équilibre d'ab-sorption instantané. Si l'on admet une hypothèse d'état stationnaire pour les composés intermé-diaires $\text{Mn}\sigma$ et $\text{MnO}_x(\sigma)$, on peut obtenir une relation du type suivant :

$$-\frac{dc}{dt} = \frac{K_2 \cdot K_3}{K_2 + K_3} c [(\sigma_0) - c_0 + c]$$

Ce type de relation du second degré en c est assez proche de la loi empirique trouvée σ_0 et c_0 sont respectivement le nombre de sites actifs initiaux et la concentration initiale. Elle permet de rendre compte que suivant les valeurs respectives de σ_0 et c_0 , la cinétique globale de la réaction peut avoir un ordre apparent variant entre 1 et 2.

POSSIBILITÉ D'ÉLIMINATION D'AUTRES CATIONS

Des expériences analogues à celles qui ont été réalisées pour l'étude de la déman-ganisation ont été effectuées vis-à-vis de Cu, Ni, Zn, Hg, Pb. La figure 8 présente les résultats obtenus sur différents types d'oxydes de manganèse. Dans le cas du cuivre comme dans le cas du manganèse, la supériorité du matériau « nodule » est évidente : il n'y a pas d'efficacité très dif-

férente entre les nodules pacifique et atlantique (Walda).

La figure 9 montre clairement l'efficacité des nodules différente suivant les différents métaux considérés : les éléments peuvent être classés de la façon suivante en fonction d'une efficacité décroissante : Mn, Cu, Ni, Zn, Hg, Pb.

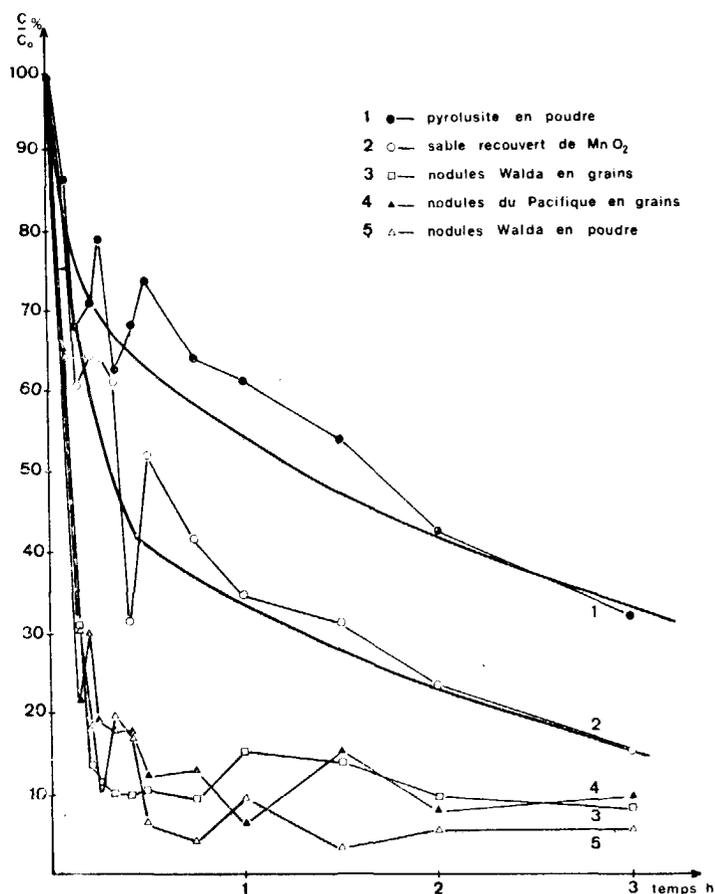


Fig. 8 Elimination du cuivre sur différents types d'oxydes de manganèse

Cu removal using different manganese oxide types :
 1 - pyrolusite (powder) ; 2 - manganese coated sand ;
 3 - nodules « Walda » (sand size) ; 4 - nodules from Pacific
 Ocean (sand size) ; 5 - nodules « Walda » (powder).

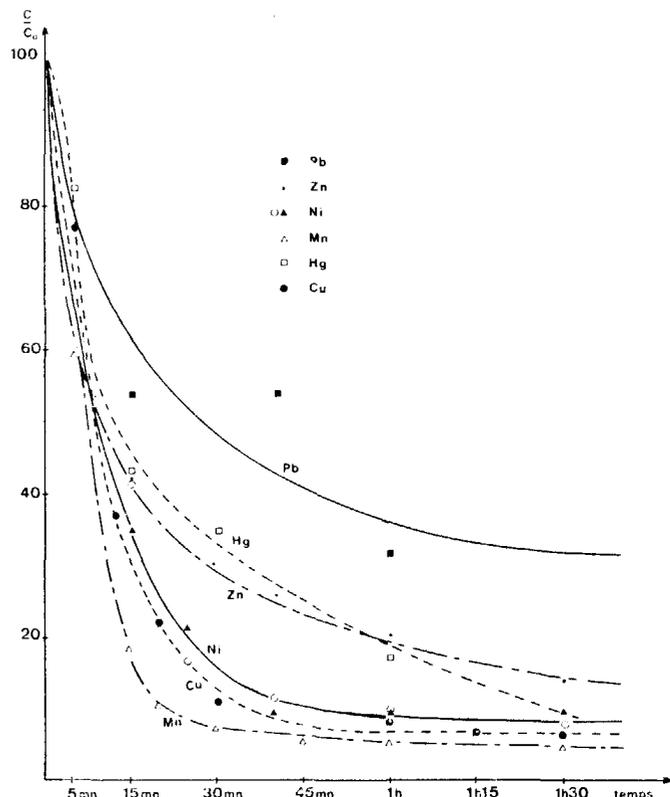


Fig. 9 Cinétique d'élimination de différents métaux sur nodules de manganèse

FIGURE 9

Efficacité des nodules vis-à-vis de différents matériaux.
 Compared efficiency of nodules for different elements.

EFFICACITÉ DES DIFFÉRENTS DISPOSITIFS EXPÉRIMENTAUX

Les différentes expériences mentionnées jusqu'ici ont pour la plupart été effectuées en discontinu. Elles ont permis de tester le matériau « nodule de manganèse » par comparaison avec d'autres matériaux plus classiques, d'étudier la cinétique de la réaction de démanganisation d'une solution et enfin, observation très importante, de montrer que le matériau pouvait se régénérer.

Envisageant d'utiliser les nodules de manganèse comme agent de démanganisation des eaux, trois montages ont été testés du point de vue de leur efficacité.

I — Une colonne descendante (hauteur 25 cm, diamètre 3 cm), l'écoulement de la solution se faisant par gravité à débit constant (fig. 10).

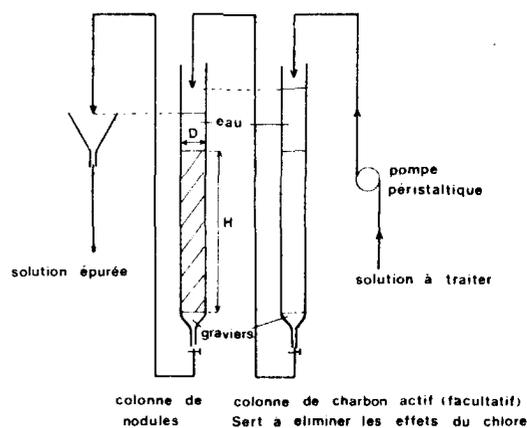


Fig. 10

FIGURE 10
 Colonne descendante.
 Descending column.

II — Une colonne ascendante, le lit de nodules étant mis en expansion suivant le principe du courant (fig. 11).

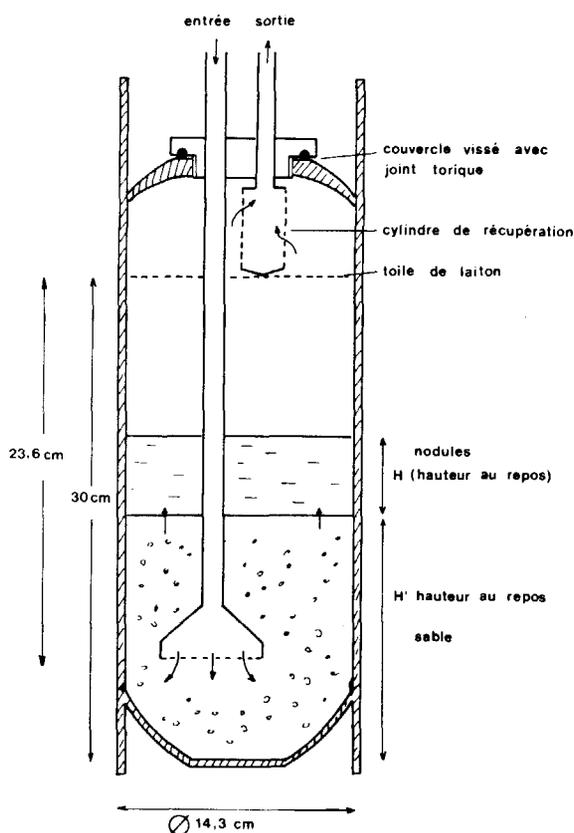


Fig. 11

FIGURE 11
Colonne ascendante.
Ascending column.

III — Un lit horizontal (fig. 12), longueur 55 cm, hauteur 5 cm, l'eau s'écoulant par gravité dans un bac légèrement incliné, les nodules affleurant à la surface de l'eau.

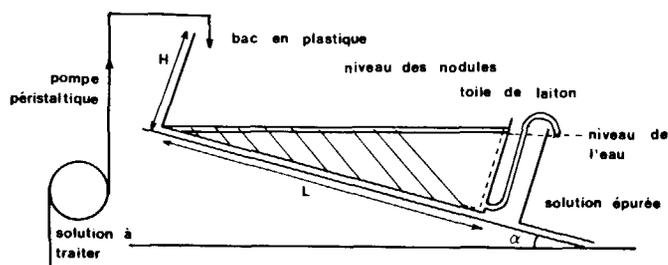


Fig. 12

FIGURE 12
Lit horizontal.
Horizontal bed.

Pour caractériser chaque expérience effectuée avec l'un ou l'autre de ces montages, deux critères ont été choisis : T, temps au-delà duquel la concentration en Mn^{++} à la sortie dépasse 0,1 mg/l, et V, « vitesse de saturation », pente moyenne de $c = f(t)$ à la sortie de l'installation. Les résultats sont présentés en tableau III ; figurent aussi dans ce tableau les résultats obtenus pour Cu et Zn (pour T, les concentrations choisies sont 0,5 et 0,7 mg/l respectivement).

Pour les montages I et II on peut supposer que le temps T serait prolongé avec une couche plus épaisse de nodules. La comparaison entre ces deux systèmes est délicate du fait de la différence dans leur dimensionnement. On peut toutefois noter que V semble plus faible à conditions équivalentes, dans le montage II : la surface de contact entre solide et liquide serait meilleure dans ce type de montage. Il faut remarquer que les conditions sont très différentes, et souvent moins bonnes, en laboratoire que dans les grandes unités (effets de paroi par exemple) et que les conclusions devront être vérifiées sur des pilotes à une échelle plus importante.

Le pH d'entrée a peu d'influence. On peut cependant noter une petite amélioration à pH légèrement basique (8,5) qui favorise la précipitation des hydroxydes. La concentration d'entrée est un facteur de grande importance. V la vitesse de saturation n'est pas proportionnelle à la concentration d'entrée mais croît beaucoup plus vite que c_0 croît. C'est un résultat favorable à une éventuelle application à des eaux naturelles dont les teneurs en métaux restent toujours faibles. Le débit, et, par suite, la charge hydraulique ont une très grande influence sur V : plus la charge hydraulique est grande, plus la colonne se sature vite.

Les différents métaux ne sont pas éliminés de façon équivalente par les nodules : la comparaison entre Cu^{2+} et Zn^{2+} dans la même expérience montre que la saturation des nodules vis-à-vis du zinc est plus rapide, comme l'ont laissé prévoir les essais préalables en discontinu.

La comparaison des résultats suivant les trois montages montre une supériorité évidente du montage « lit horizontal » ; ce montage favorise l'aération.

* * *

NODULES POLYMÉTALLIQUES ET DÉPOLLUTION DES EAUX

TABLEAU III

Résultats expérimentaux relatifs aux différents montages :
colonne descendante, colonne ascendante, lit horizontal.

Type de montage sel introduit	pH	Charge volumique m ³ /h/m ³	Charge hydraulique m ³ /h/m ³	Concentration d'entrée C ₀ mg/l de métal	T	V mg/l/h	
I colonne descendante [MnSO ₄]	7		2,5	5	2,5		
	8,2		2,5	8,6	4,5		
	7-7,5			4	1	30	0,0
				2,5	5	2,5	0,03
				2,8	30	1	4,4
				5,3	100		26,0
				1,4	45		0,5
				1,9	45		1
				2,8	31		3
II colonne ascendante [MnSO ₄]		6,2	0,3	2	15 à 20	0,3 10 ⁻²	
		6,2	0,6	2	15 à 20	0,7 10 ⁻²	
III lit horizontal [MnSO ₄]		0,85		13	360		
		2		14	180		
[CuSO ₄]	4 à 6	2		20	130		
[CuSO ₄]	4 à 6	4		Cu = 1,5	1 200		
[Zn Cl ₂]				Zn = 2	720		

CONCLUSION

Deux hypothèses ont servi de base à une utilisation possible des nodules de manganèse pour l'élimination de certains éléments présents dans les eaux (Mn, Cu, Zn, Hg, Pb) :

— le dioxyde de manganèse possède des propriétés catalytiques vis-à-vis de certaines réactions d'oxydation (Mn⁺⁺ notamment) ;

— le matériau possède une structure poreuse favorable aux réactions de surface.

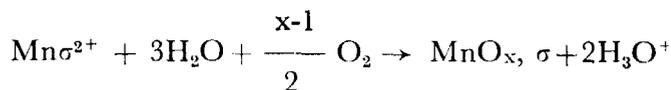
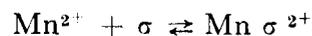
Ces deux hypothèses se trouvent largement vérifiées par les séries d'expériences réalisées :

— le matériau « nodule de manganèse » est plus efficace que les matériaux classiques pyrolusite ou sable manganisé ;

— dans l'ordre décroissant l'efficacité d'élimination des éléments est la suivante : Mn, Cu, Ni, Zn, Hg, Pb ;

— le matériau étant « saturé », il peut se régénérer de lui-même ;

— la saturation ou la régénération du matériau est la conséquence de la cinétique globale des deux réactions suivantes :



— le pH n'a pas ou peu d'effet sur la cinétique (réaction irréversible) ;

— parmi les trois types de montage « en continu » testés (colonne descendante, colonne ascendante et lit horizontal), le dispositif lit horizontal est le plus satisfaisant, permettant la meilleure oxygénation du milieu.

Cette étude a été entreprise dans l'esprit d'une diversification possible de l'emploi des nodules de manganèse, ce matériau faisant

actuellement l'objet d'investigations en tant que minéral potentiel de cuivre et de nickel. Bien que les expériences aient été effectuées en milieu eau douce, il convient de noter que quelques informations peuvent être déduites vis-à-vis de la formation des nodules :

— pourvu que de l'oxygène soit disponible, la croissance des nodules peut s'entretenir simplement par réaction chimique — sans qu'il soit nécessaire de faire intervenir un aspect biologique ;

— les nodules possèdent un très bon pouvoir d'absorption du cuivre et du nickel (nettement meilleur que pour les autres éléments étudiés,

Zn, Hg ou Pb) ; cette observation est à rapprocher de la corrélation des teneurs Mn, Cu, Ni qui existe dans les nodules ;

— les nodules atlantiques « Walda » très riches en manganèse font exception à la corrélation Mn, Cu, Ni : leurs concentrations en Ni et Cu sont très faibles. Leur pouvoir d'absorption du Cu et Ni est aussi élevé que celui des nodules du Pacifique. Les très faibles teneurs en Ni et Cu ne sont pas liées à une propriété particulière de ces nodules. Les nodules « Walda » ont été prélevés en bas de marge africaine ; la source des éléments formant ces nodules est donc très certainement de nature différente de celle qui forme les nodules du Pacifique.

RÉFÉRENCES

- COUGHLIN R.W., MATSUI I. — Catalytic oxydation of aqueous MnII. *Journ. Catal.* (1976), 41, p. 108-123.
- GLASBY, éditeur. Marine Manganese deposits. Elsevier, Oceanography series, 15 (1977).
- PIGNET G. (1978). — Thèse de Docteur, Ingénieur, Université de Rennes, Ecole Nationale Supérieure de Chimie de Rennes.
- MORGAN J.J., STUMM W. — Analytical Chemistry of aqueous manganese. *JAWWA* (1977), 57, p. 107-119.
- NORDELLE E. — Iron and Manganese removal water sewage works (mai 1953), p. 181-185.

REMERCIEMENTS

Ce travail a été réalisé dans le cadre d'un contrat d'étude du Centre National pour l'Exploitation des Océans.

Résumé

Les nodules polymétalliques riches en bioxyde de manganèse sont utilisés afin d'enlever des eaux des traces de micropolluants (cations métalliques). L'étude théorique cinétique et les mécanismes des réactions sont discutés dans le cadre de la démanaganisation. L'efficacité des nodules est supérieure à celle des autres méthodes de démanaganisation. La technologie de mise en œuvre d'unités pilotes travaillant en continu est discutée.

Abstract

Manganese rich polymetallic nodules are used for trace element removal from fresh-water. The theory of kinetics and mechanisms of reactions are discussed for manganese removal. The efficiency of nodules is higher than efficiencies related to other manganese removal methods. Pilot units involving continuous processes are discussed.

Polymetallic nodules and polluted fresh-water treatment.