

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

12/87

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

«O»

16x

# ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

DEPARTEMENT : GENIE DE L'ENVIRONNEMENT

«O»

المدرسة الوطنية المتعددة التخصصات  
BIBLIOTHEQUE — المكتبة  
Ecole Nationale Polytechnique

## PROJET DE FIN D'ETUDES

EN VUE D'OBTENTION DU DIPLOME D'INGENIEUR D'ETAT

SUJET

### **Adoucissement par la Résine Echangeuse d'ions : Duolite C-20**

Proposé par :

Mlle F. HAMDI

Etudié par :

Mlle L. BENBAHMED

Dirigé par :

Mlle F. HAMDI

PROMOTION : JUIN 1987

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

— «O» —

# ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

DEPARTEMENT : GENIE DE L'ENVIRONNEMENT

— «O» —

المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات  
المكتبة — BIBLIOTHEQUE  
Ecole Nationale Polytechnique

## PROJET DE FIN D'ETUDES

EN VUE D'OBTENTION DU DIPLOME D'INGENIEUR D'ETAT

### SUJET

# **Adoucissement par la Résine Echangeuse d'ions : Duolite C-20**

Proposé par :

Mlle F. HAMDI

Étudié par :

Mlle L. BENBAHMED

Dirigé par :

Mlle F. HAMDI

PROMOTION : JUIN 1987

\*\*\*\*\* DEDICACES \*\*\*\*\*

À ma mère,

À mon père,

À mes soeurs et frères.

\* \* \* \* \* REMERCIEMENTS \* \* \* \* \*

Je tiens à remercier vivement Mademoiselle FATIMA HAMDI, Docteur Ingénieur, maître assistant à l'école nationale polytechnique d'Alger pour l'aide précieuse et les conseils qu'elle m'a prodigué tout au long de mon étude, et l'assure de ma profonde reconnaissance.

Je remercie également:

- Mr M. KEBREACHI, Docteur d'état, chef de département de l'environnement à l'ENPA.
- Mr A. BELAÏD, directeur de l'unité ENEREM (SONAREM), Boumerdès.
- Mr S. MAHIOU, Docteur d'état, professeur à l'ENPA.
- Mr BOUOLIANO, professeur à l'ENPA.
- Mr S. BOUCHAMA, Ingénieur chimiste au laboratoire de l'ENEREM Boumerdès
- Mr K. ABDELLAOUI, du Ministère de l'hydraulique et de l'environnement.
- Mr BEN CHETTOU, ingénieur à SNVI-CVI.
- Mr K. ABDELLAOUI, du Ministère de l'hydraulique et de l'environnement.
- Mme ABDI, Mme HAOUCHI, Melle ARRAR pour avoir bien voulu juger mon travail
- Personnel du laboratoire de l'INRH (Birmendrais).
- Louisa, Nouar, Hafida du département de l'environnement.
- Nedjma, Hillal, Djamel, Kamel du laboratoire de L'ENEREM (Boumerdès)

Je remercie également tous les enseignants qui ont contribué à ma formation, tout particulièrement ceux du département du génie de l'environnement.

Enfin, que ceux qui de près ou de loin m'ont aidé à élaborer ce modeste travail trouvent à travers ces quelques lignes l'expression de mes remerciements les plus sincères.

— SOMMAIRE —

I- INTRODUCTION GENERALE.

- I.1 PREAMBULE.
- I.2 BUT DE L'ETUDE.

II- PARTIE BIBLIOGRAPHIQUE: Typologie et présentation des résines échangeuses d'ions.

II.1 GENERALITES SUR LES ECHANGEURS.

- II.1.1 Classification chimique.
- II.1.2 Classification selon la nature.

II.2 PROPRIETES DES RESINES ECHANGEUSES D'IONS.

- II.2.1 Résines synthétiques de polycondensation.
- II.2.2 Résines synthétiques de polymérisation.

II.3 NATURE DES RESINES ECHANGEUSES D'IONS ET LEUR PREPARATION.

II.4 STRUCTURE DES RESINES ECHANGEUSES D'IONS.

- II.4.1 Résines de type gel.
- II.4.2 Résines macroporeuses.
- II.4.3 Squelette des résines.

II.5 CARACTERISTIQUES DES RESINES ECHANGEUSES D'IONS.

- II.5.1 Capacité.
- II.5.2 Stabilité et longévité.
- II.5.3 Gonflement.
- II.5.4 Densité.
- II.5.5 Granulométrie.
- II.5.6 Humidité.

II.6 CARACTERISTIQUES DE LA RESINE DUOLITE C-20.

II.7 LES REACTIONS D'ECHANGES.

II.8 LA CINETIQUE D'ECHANGE.

II.9 UTILISATION DES RESINES ECHANGEUSES D'IONS.

- II.9.1 Adoucissement.
- II.9.2 Deminéralisation.

II.10 MODE D'UTILISATION DES RESINES ECHANGEUSES D'IONS.

III- PARTIE EXPERIMENTALE: Utilisation de la résine échangeuse d'ions Duolite C-20, dans l'adoucissement des eaux de nature différentes.

III.1 MODE D'ACTIVATION DE LA DUOLITE C-20.

III.2 DESCRIPTION ET MISE EN SERVICE DE LA COLONNE.

III.3 PRELEVEMENT ET EXAMENS PRELIMINAIRES.

III.3.1 Prélèvement.

III.3.2 Examens préliminaires.

III.3.2.1 Température.

III.3.2.2 Conductivité.

III.3.2.3 pH.

III.3.2.4 Conductivité.

III.4 CHOIX DE LA METHODE D'ANALYSE.

III.5 RESULTATS EXPERIMENTAUX ET INTERPRETATIONS.

III.5.1 Examens préliminaires.

III.5.2 Dosage du calcium.

III.5.3 Dosage du magnésium.

III.5.4 Dosage du sodium.

III.5.5 Dosage du potassium.

III.5.6 Dosage des chlorures.

III.5.7 Dosage des carbonates.

III.5.8 Dosage des bicarbonates.

III.5.9 Dosage des sulfates.

III.5.10 Conclusions.

IV- CONCLUSION GENERALE.

ANNEXE N° 1

ANNEXE N° 2

ANNEXE N° 3

المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات  
BIBLIOTHEQUE — المكتبة  
Ecole Nationale Polytechnique

I. INTRODUCTION GENERALE.

## I- 1. PREAMBULE.

Elément de la vie quotidienne, l'eau est si familière que l'on en oublie souvent l'importance et l'originalité.

Elle doit à ses caractères physico-chimiques très particuliers son rôle de premier plan à la surface du globe, vis à vis non seulement de la biosphère, mais également de la lithosphère qu'elle modèle sans cesse. Sans l'eau, la terre ne serait qu'un astre mort, semblable à ce que la lune est demeurée depuis sa formation.

Le problème de l'eau est, à l'heure actuelle, loin d'être résolu. Il représente encore, sur le plan des ressources, le souci majeur de nombreuses nations, et pas seulement de celles installées dans les zones arides. [BEN 6]

L'eau joue, dans le développement de la vie humaine, animale ou végétale et dans l'évolution des sociétés, un rôle irremplaçable. Cependant, il apparaît qu'elle ne doit plus être considérée comme un capital inépuisable, dont chacun peut user à sa guise, mais constitue au contraire une richesse soumise à des lois économiques bien précises.

Etant un élément essentiel de la vie, l'eau peut être également un facteur de destruction s'il n'est pas contrôlé (peut être un des principaux véhicules de transmission d'éléments toxiques).

## I- 2 BUT DE L'ETUDE.

Notre étude a pour but de montrer la nécessité d'un adoucissement de l'eau de l'ENPA afin d'éviter le phénomène d'entartrage qui prend des ampleurs non négligeables, d'éviter la détérioration prématurée des appareils de laboratoire et augmenter leur durée de vie.

Pour cela, nous avons pensé faire un adoucissement par la résine échangeuse d'ions qui possède des propriétés remarquables, notamment sa régénération.

Nous possédons au niveau du laboratoire de l'ENPA, un vieux stock de résine Duolite C-20, ne connaissant pas ses caractéristiques, ni surtout son degré d'efficacité, nous avons pensé faire des analyses de l'eau, avant et après traitement et les comparer aux résultats donnés par l'eau de la SNVI-CVI qui utilise également le même type de résine (Duolite C-20) et qui a depuis 1973 jusqu'à ce jour un bon rendement.

EXTRA STIR

II. *PARTIE BIBLIOGRAPHIQUE.*

TYPOLOGIE ET PRESENTATION DES  
RESINES ECHANGEUSES D' IONS.

## II - 1 GENERALITES SUR LES ECHANGEURS D'IONS.

Par définition, les échangeurs d'ions sont des solides insolubles ou des liquides non miscibles dont l'origine et la nature peuvent-être variables, et qui présentent la propriété, lorsqu'on les met en contact avec un liquide contenant des ions en solution, d'échanger, valence pour valence, certains de leurs ions constitutifs contre d'autres ions présents dans la solution, tout en ne subissant aucune dissolution ou altération de leur structure. [DEV 42]

Le procédé d'échange d'ions, a pour principe, d'éliminer de l'eau tous les ions polluants, en réalisant la conversion eau polluée-eau pure [WEI 28]. Ainsi, le problème des éléments toxiques présents dans l'eau en est-il résolu ?

Certes non, car en examinant le phénomène d'échange de plus près, on constatera aussitôt que ce raisonnement est erroné, car si la conversion a réellement lieu, les toxines n'en sont pas pour autant détruites, car, elles se retrouvent fixées dans l'échangeur d'ions et après régénération de celui-ci, on les retrouve, comme éluats, sous forme semi-concentrée.

Cependant, si les échangeurs ne font qu'extraire temporairement les éléments toxiques de l'eau, ils permettent leur récupération plus facilement, car les toxines passent d'une solution très diluée à une solution beaucoup plus concentrée. [WEI 28]

On retrouve plusieurs sortes d'échangeurs qui sont classés selon leur nature ou/et selon une classification chimique.

### II- 1.1 Classification chimique.

Dans cette catégorie, les échangeurs sont classés suivant la charge portée, on distingue:

-\*\*\*- Des échangeurs cationiques qui possèdent comme matrice un polyanion et comme charges mobiles (donc échangeables) des cations.

-\*\*\*- Des échangeurs anioniques qui possèdent quand à eux un polycation comme matrice et des anions comme charges mobiles.

-\*\*\*- Des échangeurs amphotères qui possèdent comme charges mobiles des anions et des cations.

## II- 1.2 Classification selon la nature.

Deux grandes catégories d'échangeurs prédominent: Ce sont les échangeurs minéraux et les échangeurs organiques.

Les échangeurs minéraux comprennent les échangeurs artificiels et les échangeurs naturels.

Parmi les échangeurs naturels, on retrouve la plupart des silico-aluminates cristallins tels que les zeolithes, argiles, micas, ... .

Ils possèdent un système cristallin tel qu'une des charges de l'aluminium est libre et retient des ions alcalins ou alcalino-terreux échangeables, mais peu mobiles vu leur faible porosité; des échangeurs artificiels qui possèdent des ions échangeables plus mobiles et enfin des tamis moléculaires qui ressemblent beaucoup aux échangeurs naturels, mais possédant une porosité contrôlée.

Les échangeurs organiques regroupent les échangeurs d'ions liquides, les charbons sulfonés et les résines échangeuses d'ions.

Les échangeurs d'ions hydrophobes, doivent être non miscibles avec les liquides à traiter; les charbons ne peuvent pas être utilisés à l'état naturel, par suite de leur gonflement excessif (on procède en général à leur sulfonation) et enfin les résines qui sont quand à elles utilisées surtout dans l'épuration des eaux.

Dans ce qui suit nous allons essayer de voir en détail les propriétés des résines car elles constituent le but principal de notre étude.

## II- 2 PROPRIETES DES RESINES ECHANGEUSES D' IONS.

Les résines échangeuses d'ions sont des composés macromoléculaires, contenant des groupements ionisables, associés à des ions mobiles de charges opposées.

### II- 2.1 Les résines synthétiques de polycondensation.

Adams et Holms réalisèrent la synthèse de macromolécules douées de propriétés d'échange, en condensant des polyphénols et du formol. Les phenophosphates ainsi obtenus ont une faible capacité d'échange due aux OH phénoliques libres. Diverses modifications amenèrent à des résines cationiques et anioniques. Celles-ci présentent un manque de stabilité et une faible capacité d'échange, ce qui tend à les faire disparaître peu à peu du marché (SAV 23).

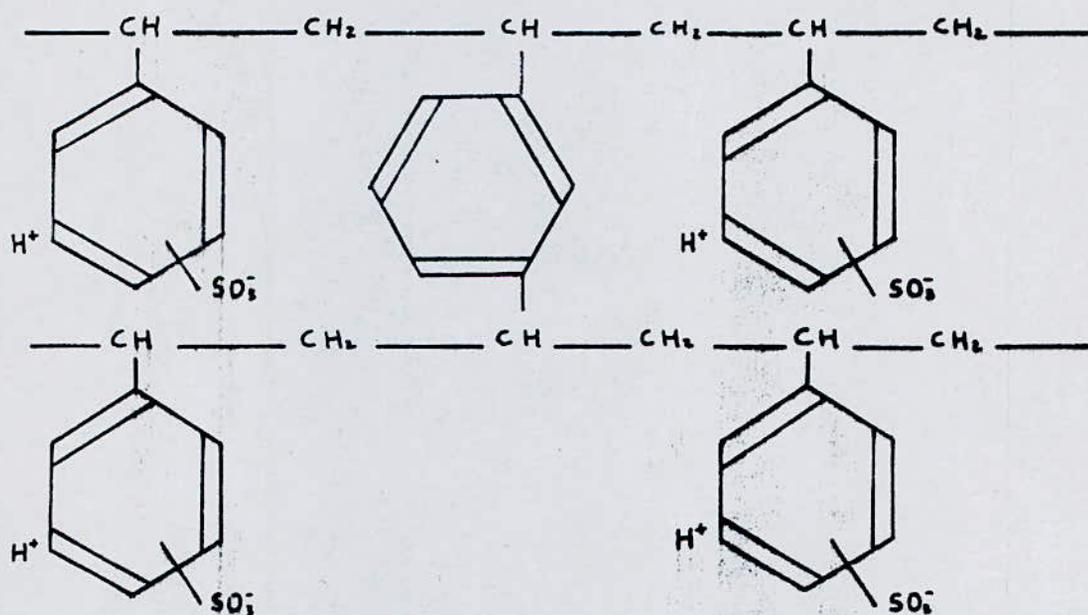
### II- 2.2 Les résines synthétiques de polymérisation.

Actuellement on utilise presque exclusivement des hauts polymères comportant un réseau hydrocarbonné, sur lequel sont greffés des groupements fonctionnels ionisés ou ionisables, qui confèrent à la résine la propriété d'échange. Le type le plus important est constitué d'un copolymère de styrène et de divinyl-benzène (DVB). La structure est représentée schématiquement en figure N° 1.

La présence de DVB, qui crée des "ponts" entre les chaînes linéaires de polystyrène, est indispensable, car le polystyrène linéaire, s'il est insoluble dans l'eau, devient soluble une fois, les groupements fonctionnels sulfonates ( $-SO_3^-$ ) sont fixés; en revanche, le copolymère, bien que perméable, est rigoureusement insoluble. (BET 43)

Comme les résines synthétiques de polycondensation, les résines de polymérisation se différencient elles aussi par la charge portée sur le groupement fonctionnel, on distingue:

- Figure N° 1 -



STRUCTURE D'UNE RESINE ECHANGEUSE DE CATIONS.

D'après [ARD 2]

b)-Les bases moyennes.

Elles sont généralement du type poly-amine aliphatique, contiennent en proportion variable, suivant les fabricants une certaine quantité de fonctions de forte basicité les rendant aptes à fixer, en plus des acides forts libres, une proportion variable d'acide faibles.

c)-Les bases fortes.

Les échangeurs d'anions fortement basiques sont de trois types:

\*\*\*- Les résines polystyréniques de type 1:

Très fortement basiques, permettent l'obtention des fuites en silice extrêmement basses. Elles résistent assez bien à la température et peuvent être régénérées à la soude, jusqu'à 50 °C . Leur rendement de régénération est médiocre, leur capacité est assez basse, et sont sujettes à un empoisonnement irréversible par les matières organiques présentes dans l'eau à traiter.

\*\*\*- Les résines polystyréniques du type 2:

Moins fortement basiques ont un meilleur rendement de régénération et une meilleure capacité. Elles s'empoisonnent moins vite que celles du type 1, mais résistent moins bien à la température.

\*\*\*- Les résines polyacryliques:

Elles combinent certains avantages des résines polystyréniques du type 1 et du type 2; faible fuite en silice, bonne capacité, assez bon rendement de régénération. Elles sont plus chères que les premières et présentent une résistance thermique médiocre.

### II- 2.2.1 les résines cationiques.

Elles sont classées selon leur degré d'acidité, nous avons:

a)- Les acides forts;

ces produits sont obtenus par sulfonation du noyau de styrene, polymérisé par réticulation avec du DVB. Ils se présentent sous forme de billes sphériques plus ou moins colorées en jaune et se caractérisant par une capacité d'échange et une activité très élevée, une homogénéité physique excellente et une grande résistance physico-chimique à tous pH et à des températures pouvant atteindre 120 °C.

b)- Les acides faibles;

Ce sont des résines capables de fixer uniquement les bases libres ou les cations liés à des ions d'acides faibles. Ils se présentent sous forme de billes sphériques et se caractérisent par un excellent rendement de régénération; une très bonne sélectivité, une très haute capacité d'échange et une bonne résistance physico-chimique à toutes les gammes de pH et des températures de près de 100 °c.

### II- 2.2.2 Les résines anioniques.

Selon leur degré de basicité, on distingue:

a)- Les bases faibles.

Qui sont en général du type poly-amine aromatique et retiennent exclusivement les acides forts à condition que ceux ci soient libres dans la solution mise en contact avec l'échangeur. La capacité de ces résines dépend du nombre de fonctions introduites au cours de la condensation. Elles présentent en revanche une grande stabilité et peuvent s'employer jusqu'à 100 °C.

II- 2.2.3. Les résines amphotères.

De tels produits ne sont pas encore commercialisés [SAV 23], cependant peuvent être obtenus par exemple en copolymérisant du styrène et du chlorure de vinyle, en présence de réticulant, puis en traitant le polymère par la triméthylamine et ensuite par une sulfonation.

On trouve d'autres catégories de résines telles que:

II- 2.2.4 Les résines spéciales.

Elles sont constituées de macromolécules douées de propriétés spéciales vis à vis d'ions particuliers. On introduit dans la résine des groupes formant avec l'ion que l'on veut retenir préférentiellement un complexe peu dissocié. Ces macromolécules, forment des combinaisons particulièrement stables avec l'ion qu'elles doivent fixer. Elles ont l'inconvénient d'être difficiles à régénérer.

II- 2.2.5 Les résines échangeuses d'électrons.

Ces résines sortent à peine du domaine du laboratoire et ont certainement un grand avenir, mais la mise au point en est difficile. Les réactions sont souvent trop lentes les oxydations difficilement réversibles, et beaucoup de ces polymères sont instables. [SAV 23]

II- 3. **NATURE ET PREPARATION DES RESINES ECHANGEUSES  
D' IONS.**

Rappel: Une resine échangeuse d'ions est constituée d'un réseau tridimensionnel de polymère, le plus souvent du polystyrène, sur lequel sont greffés des groupements fonctionnels ionisés ou ionisables qui lui confèrent la propriété d'échangeur d'ions.

De très nombreux procédés de fabrication ont été décrits; celui qui est industriellement le plus réalisé pour la fabrication des résines les plus courantes (Tableau N° 1), sulfonate et ammonium quaternaires, consiste à préparer un copolymère de styrène et de DVB, avant d'y greffer les groupements fonctionnels par sulfonation ou par chlorométhylation puis amination.

On obtient ainsi un copolymère tridimensionnel, d'autant plus ramifié, et les mailles plus serrées, que le pourcentage de DVB est plus élevé.

-TABLEAU N° 1-



A. Echangeurs de cations			Capacité d'échange
Type	Groupement Fonctionnel	Noms commerciaux	approximative (eq. par kg de résine sèche sous forme H <sup>+</sup> )
Polystyrène-sulfoné (copolymère styrène + divinyl benzène sulfoné)	Sulfonate -SO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Dowex 50 et 50 W	4,9 à 5,2
		Amberlite IR-1200, Ir-122	4,3 à 5,0
		Permulit Q	4,8
		Duolite C20, C25, C27	5,1
		Lewalit S-100, S-155	4,7 à 4,6
		IMAC C-12 WOFATIT KPS-200	4,5 4,5
Copolymère acide m-hydroxybenzène sulfonique + formaldéhyde	Sulfonate -SO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Dowex 30	4
		Amberlite IR-100, IR-105	2
		Zeo-Karb 215	2,6
		Duolite C-3, C10	2,9
		Lewalit KS, PN, KSN	3 à 4
		WOFATIT F, K, P KU-1, etc....	2 à 3 4 à 5
Polyméthacrylate et polyacrylate	Carboxylate -CO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	Amberlite IRC-50	9,5
		Permulit H-70	7,9
		Zeo-Karb 226	10
		Duolite CS-100, CS-101	1,9 à 10
		KB-1, KB-2, KB-4, etc.	10
Polystyrène amino diacétale	- N CH <sub>2</sub> CO <sub>2</sub> <sup>-</sup> CH <sub>2</sub> CO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	Dowex A-1	3,7
Poly- alkylphosphonates	-PO <sub>3</sub> <sup>2+</sup>	Duolite C-63, ES-65	6,6 à 3,3
dialkylphosphonates etc	PO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	Duolite C-62	6,0

-TABLEAU N° 1- (Suite)

B. ECHANGEURS D'ANIONS			Capacité d'échange approximative (eq. par Kg de résine sèche sous forme Cl <sup>-</sup> )
Type	Groupement fonctionnel	Noms commerciaux	
	- NR <sub>3</sub> <sup>+</sup>	Dowex 1 et 21 K	3,5 à 4,5
		Permulit S-1	3,1
		Duolite A-101, A-42	4,0 à 2,3
		Lewalit M-500, M-600	4,0 à 3,7
		Deacidite FF	4,0
		AV-15, etc...	1,6
Polystyrène- ammonium quaternaire	+ - N(R'OH)R <sub>2</sub>	Dowex 2	3,0
		Amberlite IRA-410	3,0
		IRA-411	
		Permulit S-2	3,3
		Duolite A-102, A-40	4,0 et 3,7
		AV-17, etc...	1,6
	Pyridinium + N -R		
		Permulit SK	
Polystyrène- amine tertiaire et secondaire	-NR <sub>2</sub>	Dowex 3	6
		Amberlite IR-45	5,5
		Duolite A-14	8
	-NHR	Permulit W	5,7
		Lewalit M-1, MP-60	10 et 6,3
		AN-1, N, MN An-2, F, etc....	4 10
Copolymère aminophénol + formaldehyde	-NR <sub>2</sub>	Amberlite IR-413	10
		Duolite A-2M, A-4	6,5 et 7,7
		A-6, A-30T	7,0 et 8,9
		Lewalit MIH-59	6,0
		IMAC A-17, A-19, etc.	4,3
Polystyrène- sulfonium	+ -SR <sub>2</sub>	Duolite ES-105	

-TABLEAU N° 1- (Suite)

X

FABRICANTS		
DOWEX	Dow Chemical Co	(U. S. A.)
AMBERLIT	ROHM and HAAS Co	(U. S. A.)
PERMULIT	PERMULIT Co	(U. S. A.)
ZEO-KARB et DEACIDITE	PERMULIT Co Ltd	(G. B. )
DUOLITE	Chemical Process Co	(U. S. A.)
LEWATIT	FARBEN FABRIKEN BAYER	(ALL. OCC.)
KU, KB, AV, AN, N, MN	Résines Russes.	

## II- 4. STRUCTURE DES RESINES ECHANGEUSES D' IONS. X

X  
Il y a quelques années, la structure des résines échangeuses d'ions était représentée comme celle d'un réseau ouvert, apparemment plan avec des chaînes parallèles, et une réticulation uniforme (figure N° 1), ceci constitue une erreur fondamentale entachant la théorie des échangeurs d'ions, le mélange initial de styrène-DVB commence à se polymériser sous l'effet du catalyseur, il se forme alors un grand nombre de chaînes réticulées qui au cours de leur croissance s'enchevêtrent et s'interpénètrent (figure N° 2). Il en résulte une structure tridimensionnelle et non plane.

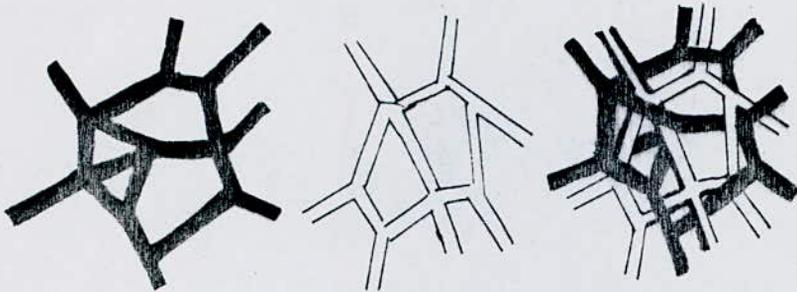
On distingue deux types de résines: Les résines du type gel et les résines macroporeuses.

### II- 4.1. Les résines du type gel. (figure 3.a)

Les résines du type gel ou encore résines microporeuses présentent des mailles de diamètre variant entre 10 Å et 30 Å. Ce sont des résines ordinaires, ne présentant pas une grande stabilité chimique et sont surtout vulnérables aux agents oxydants (l'attaque par oxydation se produisant dans ce cas sur le squelette de la matière).

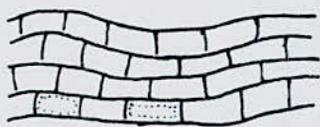
Cependant Dow Chemical a développé une nouvelle résine à structure de gel. Les DOWEX Monosphère TO allient la stabilité au choc osmotique des résines macroporeuses à la capacité d'échange chimique élevée des résines à structure de gel [BUL 41].

- Figure N° 2 -



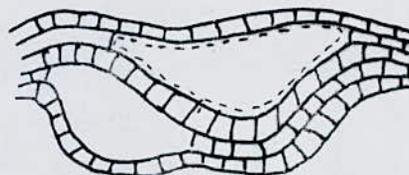
CHAINES DE POLYMERES ENCHEVÊTRES d'après [ARD 2].

- Figure N° 3 -



 Largeur de maille

a/



 macropore.

b/

STRUCTURE DE RESINE d'après [ARD 2]:

a/ Type gel.

b/ Type macroporeuse.

II- 4.2 Resines macroporeuses.

Les résines macroporeuses ou macroréticulées constituent ce que l'on appelle résines de dernière génération. Elles sont caractérisées par des pores particulièrement gros (diamètre de l'ordre de 100 Å); elles peuvent même comporter des pores de quelques milliers d'Angstrom.

La surface interne de ces résines est supérieure à 5m<sup>2</sup>/g et peut aller jusqu'à 100 m<sup>2</sup>/g. Elles présentent un aspect opaque. Pour le bon maintien de cette structure particulière, il est nécessaire d'avoir une forte réticulation de la matière, ce qui confère à cette résine d'autres avantages tels qu'une meilleure stabilité chimique, une plus faible capacité d'échange et un coût de régénération plus élevé que pour les résines de type gel.

Néanmoins, dans le traitement des eaux résiduaires, ces résines sont devenues indispensables par suite de l'utilisation croissante d'agents dispersants, d'additifs de brillantage et autres substances organiques de haut poids moléculaire, qui, avec les échangeurs normaux du type gel, entraîneraient en peu de temps un blocage complet, le plus souvent irréversible. [WEI 28]

Le gros avantage de ces résines, réside donc, en une meilleure fixation de substances de haut poids moléculaires avec, en même temps une meilleure réversibilité à la fixation.

II- 4.3. Squelette.

La matière des résines peut-être formée par des squelettes de natures différentes, parmi elles, on trouve:

#### II- 4.3.1. Squelette polystyrénique.

La polymérisation du styrène, sous l'influence d'un catalyseur d'activation, produit un polystyrène linéaire, matière plastique malléable, transparente, soluble dans certains solvants, avec une certaine température de ramollissement.

Si une certaine quantité de DVB est mélangée au styrène, le polymère se réticule et devient alors totalement insoluble (figure N° 4).

#### II- 4.3.2. Squelette polyacrylique.

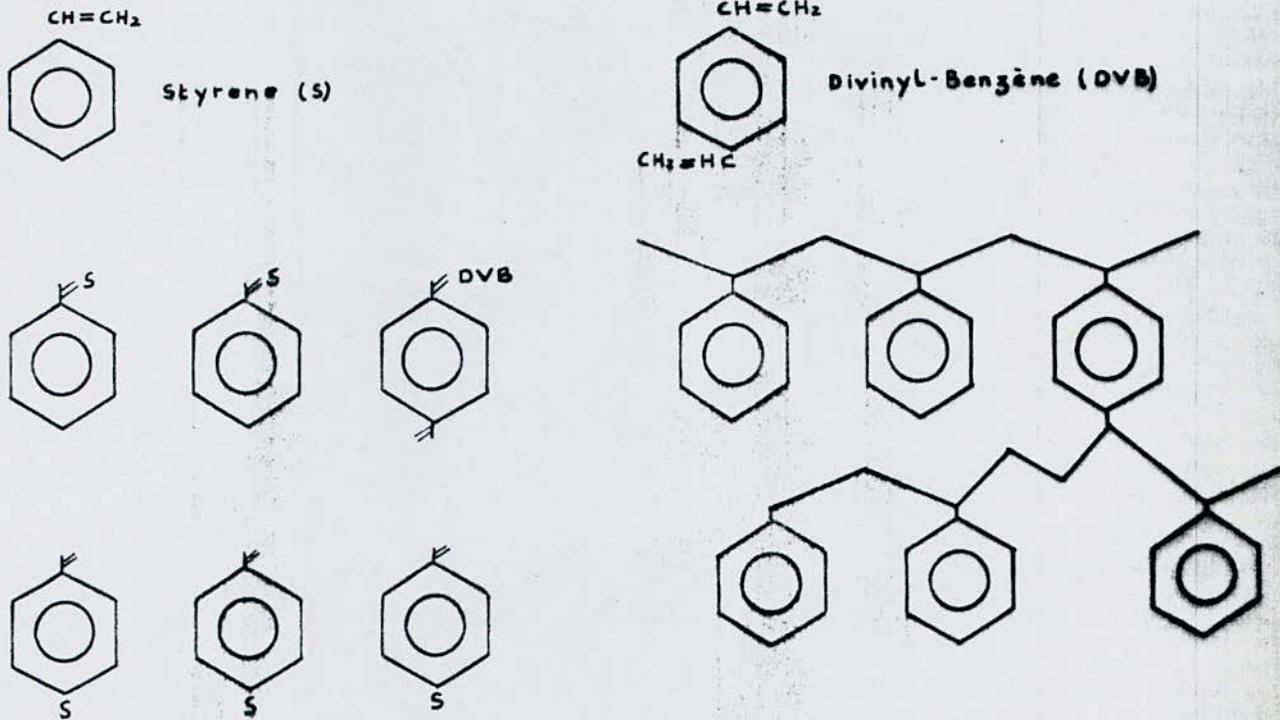
En polymérisant un acrylate, un méthylacrylate, ou de l'acrylanitryle que l'on peut réticuler avec du DVB, on obtient un squelette du type figurant en (figure N° 5).

#### II- 4.3.3 Autres sortes de squelettes.

Les autres de squelettes sont moins courantes, nous retrouvons néanmoins:

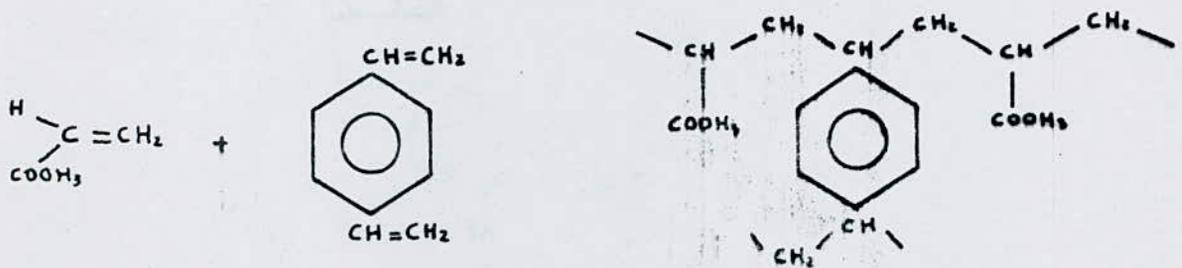
- \*- Des résines formophénoliques.
- \*- Des résines polyalkylamines obtenues à partir de polyamines par condensation avec de l'épiuchlorhydrine. Dans ce cas on obtient directement un échangeur anionique en une seule étape.

-Figure N° 4.-



POLYMERISATION DU STYRENE ET RETICULATION PAR LE DVB. D'après [ARD 1]

-Figure N° 5.-



EXEMPLE DE SQUELETTE POLYACRYLIQUE... D'après [ARD 1]

## II- 5. CARACTERISTIQUES DES RESINES ECHANGEUSES D' IONS:

On en trouve plusieurs, dont:

### II- 5.1. Pouvoir d'échange ou capacité.

On appelle pouvoir d'échange d'une résine, la quantité d'ions contenus dans un litre d'échangeur d'ions et susceptibles d'être échangés contre d'autres ions.

Pour faciliter les calculs, on exprime ce pouvoir d'échange en équivalent-gramme par litre de résine (Eq.gr/l), en degré m<sup>3</sup> par litre de résine, ou encore par milliéquivalent par gramme de résine sèche ou humide (meq./gr).

On peut cependant remarquer dans la littérature que la capacité d'échange est exprimée de différentes façons:

#### II- 5.1.1. La capacité totale.

La capacité totale d'échange d'une résine, exprimée en équivalent par unité de masse (ou en volume), représente le nombre de sites actifs disponibles (CARD 11), la quantité totale d'ions susceptibles d'être échangés lorsque le produit a été régénéré avec un grand excès de réactifs. [DEG 42]

En pratique le pouvoir d'échange total ne peut caractériser qu'un échangeur pris isolément pour définir sa puissance théorique.

#### II- 5.1.1. La capacité d'échange utile.

Par définition, elle correspond à la fraction de la capacité totale réellement utilisée au cours de l'échange d'ions.

Elle est déterminée par un grand nombre de paramètres, que nous pouvons classer en deux grandes catégories:

A - Influence des facteurs purement hydraulique ou mécanique:

--- La bonne répartition des filets liquides permettant d'utiliser la plus grande partie du volume de l'échangeur mis en oeuvre.

--- La détermination de la forme de l'appareil contenant la résine échangeuse d'ions, de telle sorte que les hauteurs de couche et les vitesses de percolation des liquides restent comprises entre deux limites permettant un rendement optimal de l'échangeur d'ions.

Ces deux limites sont différentes, et, sont fonctions de la résine utilisée.

Dans notre cas, où, on utilise une résine cationique du type fortement acide DUOLITE C-20, les limites de la hauteur de couche se situent entre 70 et 120 cm.

--- La détermination de la hauteur libre laissée au-dessus de la surface de l'échangeur, de telle sorte que le produit puisse s'expanser sans risque de perte au cours des opérations de soulèvement précédant l'introduction des réactifs de régénération.

B - Influence des facteurs chimiques:

--- Les caractéristiques chimiques du liquide à traiter.

--- Les concentrations et proportions relatives des divers ions contenus dans ce liquide.

Dans le traitement de l'eau par échangeur d'ions, nous pouvons citer, par exemple:

\*\*\* En adoucissement (permutation sodique) l'influence primordiale du rapport:

$$R = \frac{\text{ions (Na + K)}}{\text{ions (Ca + Mg)}}$$

\*\*\* En demineralisation (permutation H, puis OH), les facteurs suivant affectent le pouvoir d'échange utile:

- Pour les cations.

$$\frac{\text{Na}}{\text{Salinité totale}} ; \frac{\text{Alcalinité}}{\text{Salinité totale}} ; \frac{\text{Mg}}{\text{Ca + Mg}}$$

- Pour les anions.

$$\frac{\text{SiO}_2}{\text{Salinité totale anionique}}$$

--- Le taux de régénération, c'est à dire le poids de régénérant utilisé par litre d'échangeur d'ions : plus le taux de régénération est important, plus le pouvoir d'échange est grand. Toute fois ces deux parametres ne sont pas proportionnels.

En pratique, pour chaque cas, on déterminera un taux de régénération économique, compte tenu de la fuite ionique que l'on veut bien tolérer, cette fuite ionique conditionnant la qualité de pureté du liquide que l'on souhaite obtenir.

--- La concentration et la vitesse de passage des solutions de régénération ou d'activation.

### II- 5.2. Stabilité et longévité.

Devant assurer plusieurs années de service, les résines échangeuses d'ions doivent avoir une stabilité dans le temps assez bonne.

On distingue des stabilités à plusieurs niveaux de la résine, dont:

#### II- 5.2.1 Stabilité chimique du squelette.

Dans l'industrie, les résines possèdent un taux de réticulation assez élevé pour assurer leur parfaite insolubilité, cependant lorsqu'on est

en présence d'une résine neuve, elle peut rejeter dans les solutions à traiter des petites quantités de bas-polymères ou d'autres substances solubles, ceci n'est en fait que le dégrassement de la résine et ne constitue qu'un phénomène secondaire. Par contre, mis dans des conditions très oxydantes, le squelette peut-être attaqué et être réticulé, ce qui donnerait des pertes de charges considérables. Toutefois, les résines macroporeuses résistent bien à l'oxydation.

#### II- 5.2.2. Stabilité des groupements actifs.

Le groupement sulfonique est extrêmement stable, par contre les résines anioniques sont beaucoup plus sensibles à la température. Sous l'action de la chaleur, la réaction de dégradation peut transformer une base forte ou une base faible, ou même dégrader le groupement actif tout entier.

#### II- 5.2.3. Stabilité mécanique.

La résistance mécanique peut varier considérablement d'un produit à l'autre.

Les résines anioniques sont peu résistantes et en particulier, résistent mal aux forces de compression.

Les résines acryliques plus élastiques que les polystyréniques sont plus résistantes et peuvent en général supporter presque toutes les contraintes mécaniques.

Les résines macroporeuses sont souvent les plus résistantes et de ce fait sont les plus utilisées.

#### II- 5.2.4. Stabilité osmotique.

Pendant l'échange ionique, la configuration autour de chaque groupement actif se modifie, du fait que l'ion fixé n'étant pas obligatoirement de la même taille, ni ne présentant la même couche d'hydratation que l'ion déplacé. La bille de résine va donc gonfler ou se rétracter considérablement au cours de chaque réaction, il se crée

alors des tensions au moment de la variation du volume que l'on appelle aussi forces osmotiques. Ces forces osmotiques varient d'une espèce à une autre; cependant elles sont assez fortes.

II- 5.2.5. Résistance au séchage.

Il y a lieu de toujours conserver les résines à l'état humide car le séchage et la réhydratation répétés conduisent souvent à des tensions et à la rupture de la plupart des résines du type gel.

II- 5.3. Le gonflement.

Le gonflement d'une résine sèche plongée dans une solution, est dû à la pénétration des molécules de solvants à l'intérieur de la résine. Etant une caractéristique très importante, le gonflement a été étudié dans plusieurs milieux.

II- 5.3.1 Gonflement dans l'eau pure.

En mettant une résine sèche dans de l'eau pure, elle en absorbe une certaine quantité et par suite, subit une variation de volume. La variation qu'elle subit entre les deux états sec et humide, dépend de plusieurs facteurs, dont:

\*\*\*- Le taux de pontage; plus celui-ci est faible, plus le gonflement est important (figure N° 6 et tableau N° 2).

\*\*\*- La nature des groupements fonctionnels et surtout de celle des ions fixés sur ceux-ci; pour un taux de pontage déterminé le gonflement est d'autant plus important que les ions de la résine sont plus fortement hydratés (figure N° 7).

\*\*\*- La capacité de la résine, le gonflement augmente avec la capacité.

\*\*\*- La constante diélectrique, quand elle diminue, le gonflement diminue.

-TABLEAU N° 2-

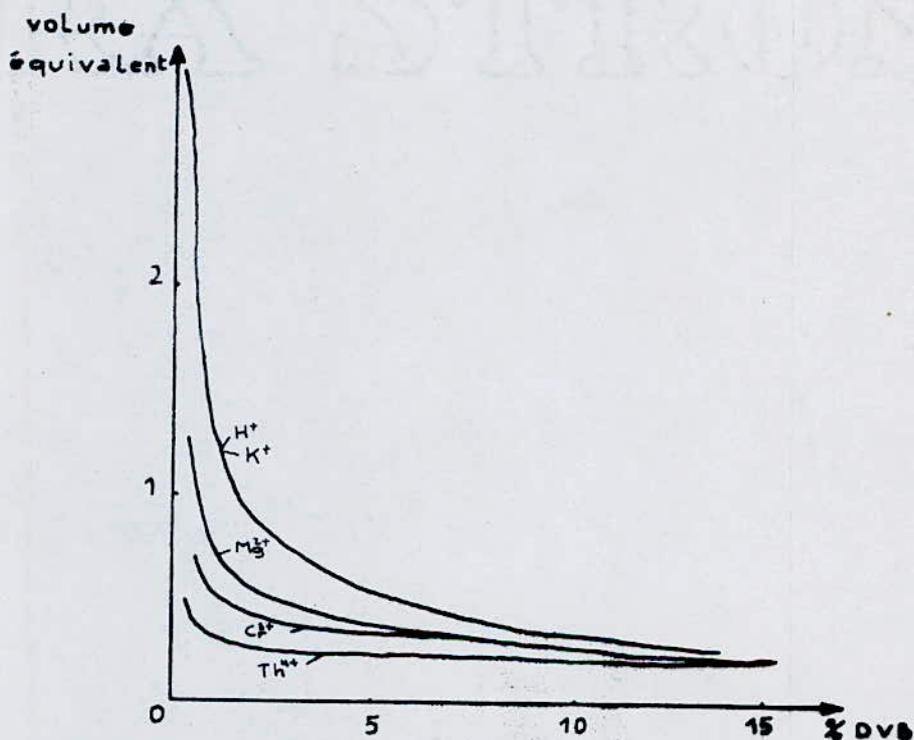
GONFLEMENT DE DIVERSES RESINES DANS L'EAU.

1. masse d'eau absorbée (en g) par 1 g de résine sèche. (\*)

Taux de pontage	Résine polystyrène-sulfonate (2-5)	Résine polymétho-crylate (6)
0,5		5,5
1,0		4,0
4,0	2,15(1); 2,2(4); 2,5(5)	1,8
8,0	1,0(1); 1,25(4); 1,4(5)	1,2
11	1,0(2)	
15	0,6(3)	
16	0,7(1)	0,8
25	0,4(3)	

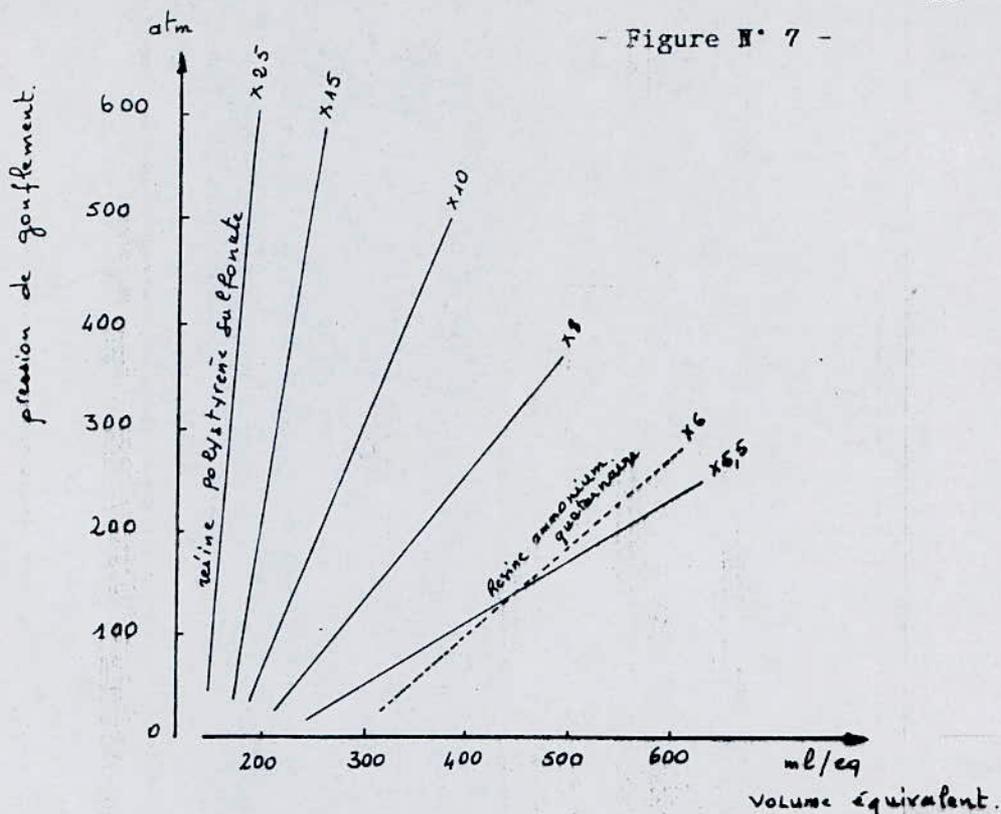
(\*) D'après [AUS 5].

- Figure N° 6 -

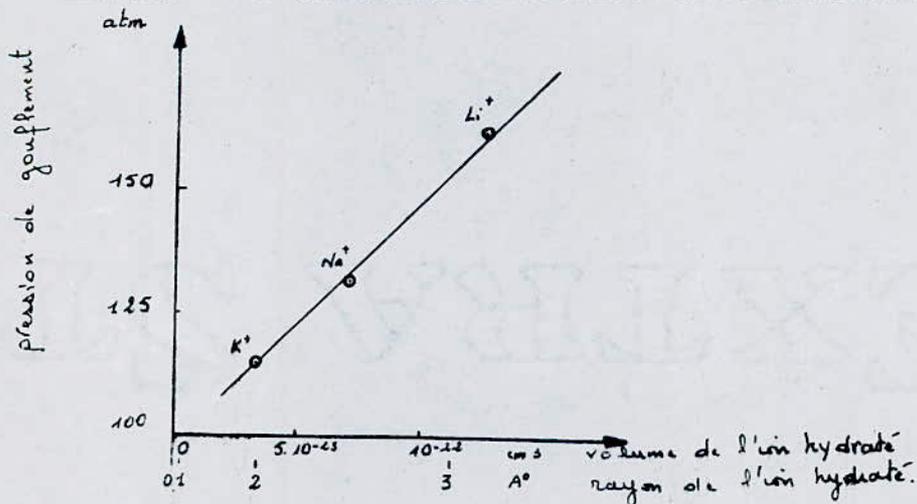


INFLUENCE DU TAUX DE PONTAGE ET DE LA NATURE DE LA FORME IONIQUE SUR LE GONFLEMENT D'UNE RESINE SULFONATE. D'après [AUS 5].

- Figure N° 7 -



PRESSIION DE GONFLEMENT ET VOLUME APPARENT DE RESINES POLYSTYRENE SULFONATE ET POLYSTYRENE AMMONIUM QUATERNAIRE.



RELATION ENTRE LA PRESSIION DE GONFLEMENT D'UNE RESINE POLYSTYRENE SULFONATE ET LA GROSSEUR DES CATIONS HYDRATES QU'ELLE CONTIENT. D'après [AUS 51].

### II- 5.3.2 Gonflement dans les solvants purs.

La pénétration du solvant dans la résine dépend de plusieurs facteurs dont:

\*\*\*- L'affinité entre les molécules du solvant et les radicaux fonctionnels fixés sur la résine.

\*\*\*- L'affinité entre les molécules du solvant et l'ion échangeable de la résine; plus le nombre de molécules du solvant susceptibles de se lier à l'ion échangeable est grand, plus la résine gonfle.

\*\*\*- La constante diélectrique; plus elle diminue, plus les attractions électrostatiques entre deux ions de charges de signes contraires augmentent et, par conséquent, le volume occupé par le groupement fonctionnel diminue, ce qui défavorise le gonflement. (Tableau No 3 a).

### II- 5.3.3 Gonflement sélectif d'une résine dans un mélange de solvant:

Plongée dans un mélange de solvant, une résine sèche gonfle en les absorbant, avec cependant, une plus grande proportion de l'un des solvants, ce qui tend, à changer la composition du mélange.

La résine préfère le constituant du mélange pour lequel, elle a le plus d'affinité. Le partage des deux constituants est lié au pouvoir de solvation. (Tableau No 3 b)

-TABLEAU N° 3-

CONFLEMENT DE QUELQUES RESINES SECHES, AU CONTACT:

a) - De divers solvants purs.

Augmentation relative du volume de la résine en %										
Solvant	Résine									
	polystyrène-sulfonate		polyméthacrylate		ammonium-quatenaire		ammonium tertiaire			
	Amberlite									
	IR-120	IRC- 50	IRA- 400	IR- 45	IR- 413					
Forme										
	H <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	acide	Na <sup>+</sup>	HO <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>	base	Cl <sup>-</sup>	base	Cl <sup>-</sup>
Eau	43	73	48	202	37	45	31	45	23	73
Ethanol	38	00	98	00	63	63	52	30	18	05
Glycérol	24	05		06						
Acétone	18	00	00	01	25	20	40	10	00	00
Acide acétique	08	00								
Pyridine					20	28	50	25	03	03
Benzène	00	00	00	03	18	11	35	00	03	03

-TABLEAU N° 3- (Suite)

b) - De solvants mixtes.

Augmentation relative du volume de la résine en %										
Résine	mélange eau + éthanol					mélange éthanol + benzène				
	% éthanol					% benzène				
	0	80	90	95	100	0	10	50	90	100
Amberlite IR-120, H+	40	110	100	110	40	40	120	140	100	00
Amberlite IRC-50 (acide)	100	210	190	160	140	140	130	130	90	15
Amberlite IR-413 (base)	40	70	60	40	00	00	40	30	40	20

( D'après [AUS 5].

EXTRA

II- 5.4 Densité.

La densité des résines est une caractéristique importante, car elle conditionne leur comportement hydraulique dans le cas d'un flux ascendant.

La densité de chaque résine s'inscrit habituellement dans les fourchettes suivantes:

- Echangeurs de cations fortement acides : 1,18 - 1,38 ; 1,28 (\*)
- Echangeurs de cations faiblement acides : 1,13 - 1,20 ; 1,18 (\*)
- Echangeurs d'anions fortement basiques : 1,07 - 1,12 ; 1,10 (\*)
- Echangeurs d'anions faiblement basiques : 1,02 - 1,10 ; 1,05 (\*)

(\*) Ce signe correspond aux densités les plus utilisées [DEG 9].

II- 5.5 Granulométrie.

La granulométrie est une grandeur importante à connaître, car elle permet le calcul ou le maintien des caractéristiques hydrodynamiques d'une installation.

La granulométrie est définie [DEG 9] par 2 facteurs, si elle est déterminée par tamisage.

- Le diamètre moyen des particules, correspondant au tamis laissant passer 50 % des billes.
- Le coefficient d'uniformité (Cu), égal au rapport entre l'ouverture du tamis laissant passer 60 % des billes et celle du tamis laissant passer 10 % des billes. Ce dernier tamis théorique est dit taille effective.

$$Cu = \frac{X_{60\%}}{X_{10\%}}$$

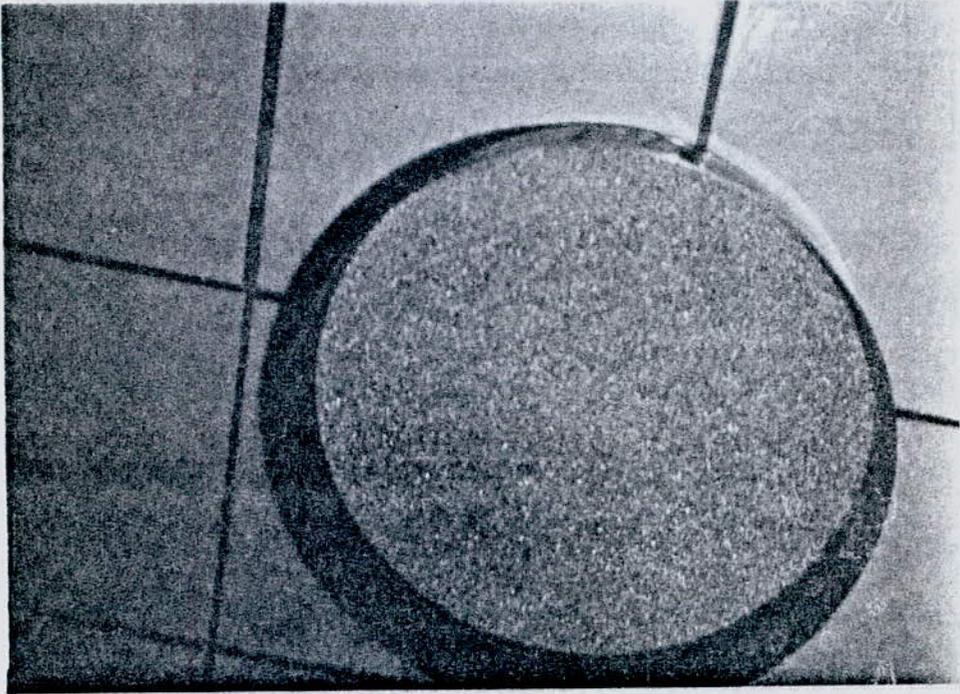
Plus le Cu tend vers 1, plus la granulométrie est serrée.

11- 5.6 Retention d'humidité.

Une fois activées, les résines portent des ions fixes et des ions mobiles. Ces ions sont toujours environnés de molécules d'eau au sein même des billes de résine. Cette retention d'humidité est définie comme le rapport h :

$$h = \frac{\text{masse de résine hydratée} - \text{masse de résine séchée}}{\text{masse de résine hydratée}}$$

La teneur en eau d'une résine échangeuse d'ions est une fonction inverse du taux de réticulation; car plus la résine est réticulée plus la porosité diminue, d'où la retention d'humidité diminue. Ceci n'est pas vrai pour les résines macroporeuses, où, l'on augmente artificiellement la porosité.



RESINE ECHANGEUSE DE CATIONS DUOLITE C-20.



II- 6 PROPRIETES ET CARACTERISTIQUES  
DE LA DUOLITE C-20.

La résine Duolite C-20 est une résine cationique fortement acide. Elle est utilisée en traitement de l'eau, aussi bien en déminéralisation, qu'en adoucissement. Elle est caractérisée par:

- Une excellente stabilité physique, chimique et thermique.
- Une grande vitesse d'échange ionique.
- Une forte capacité d'échange.

Propriétés:

- Squelette: copolymère styrène- DVB;
- groupement fonctionnel:  $\text{SO}_3\text{H}$
- Aspect: billes translucides, jaune-or.
- Humidité (forme Na).

Essai 1	Essai 2	Essai 3	Moyenne
43,18 %	34 %	44,06 %	40,41 %

- Granulométrie (forme Na).

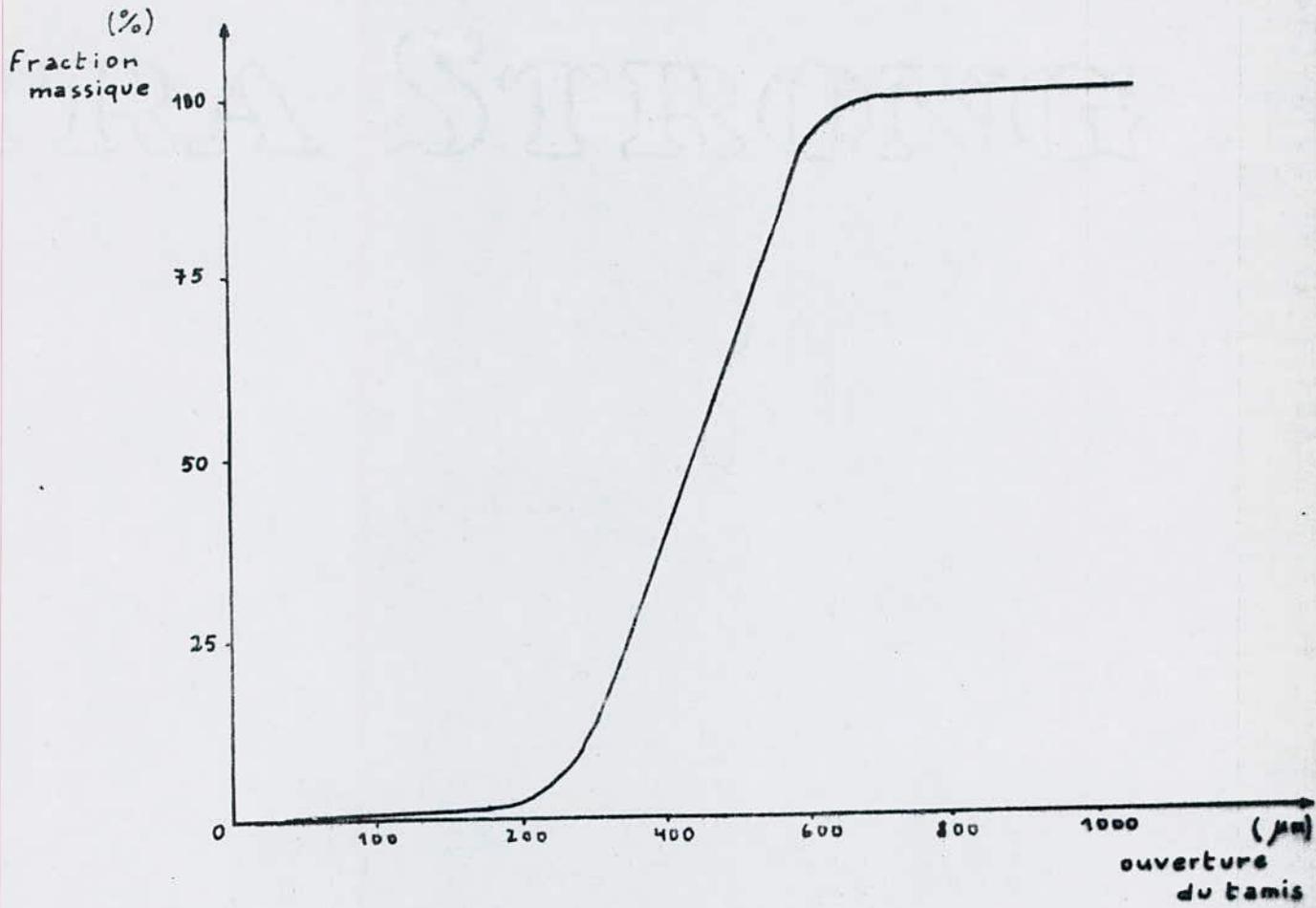
Prise d'essai 50 g.

N° Capsules	Ouverture tamis (mm)	Recueil en (gr)	Recueil en %
1	1,25	00,0000	-----
2	1,00	0,1608	0,361
3	0,680	17,5031	39,231
4	0,500	5,4487	12,213
5	0,400	13,9693	31,310
6	0,315	4,8338	10,832
7	0,250	2,0518	4,599
8	0,200	0,3220	0,722
9	0,125	0,2985	0,669
10	0,100	0,0279	0,063
11	0,050	0,0000	-----

- Capacité d'échange (forme Na).

(en Meq/g)

Essai 1	Essai 2	Essai 3	Moyenne
4,2	5,7	4,9	4,9



GRANULOMETRIE PAR TAMISSAGE

- Gonflement (forme Na).

	Essai 1	Essai 2	Essai 3	Moyenne
Dans l'eau pure	5,15 %	7,8 %	5,85 %	6,26 %
Dans l'Ethanol	15,38 %	7,69 %	6,89 %	9,98 %
Dans l'Ethanol + eau	2,50 %	3,00 %	5,20 %	3,56 %
Dans l'eau distillée	4,33 %	5,0 %	6,14 %	5,12 %

- Température maximale tolérée: 120 °C ( D'après le fabricant).

\*\*\*- Conditions opératoires recommandées par le fabricant:

- .- Hauteur de couche minimum : 70 cm.
- .- Vitesse de soulèvement : 12 - 18 m/h à 20 °C.
- .- Régénération par H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 100 % : 40 - 200 g/l.
- .- Concentration : 1 - 10 %.
- .- Débit de régénération : 2 - 8 V/V/h. (\*)
- .- Temps de contact du réactif : 35 - 60 mn.
- .- Déplacement du réactif : 2 - 8 V/V/h. (\*)
- .- Débit de rinçage : 4 - 6 V/V/h. (\*)
- .- Débit en cycle d'échange : 5 - 40 V/V/h. (\*)

(\*) L'abréviation V/V/h veut dire volume d'eau (réactif) par volume de résine par heure.

Le fabricant nous conseille pour la mise en oeuvre de la résine Duolite C-20, une hauteur de couche comprise entre 70 cm et 120 cm afin d'éviter une fuite ionique prématurée ou alors une forte perte de charge.

Dans notre cas, ne disposons que d'une colonne de 50 cm, on ne pourrait prendre en considération ces conseils; cependant en prenant une hauteur de couche mesurant environ 10 fois le diamètre de la colonne (environ 3,6 cm), ce problème sera considérablement amoindri.

Après avoir défini les différentes caractéristiques de résines, nous allons essayer de voir comment se font les réactions d'échanges au sein de la résine.

## II - 7. LES REACTIONS D'ECHANGE D'IONS.

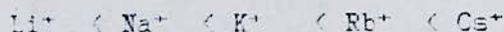
Lorsqu'une résine est mise en contact d'une solution d'un électrolyte, les ions peuvent la quitter et passer dans la solution extérieure; les ions s'y trouvant viennent les remplacer dans la résine et y apporter un nombre égal de charges. Cet échange se poursuit jusqu'à un état d'équilibre. Deux ions en solution au contact d'une résine susceptible de les échanger se partagent entre la résine et la solution jusqu'à l'établissement d'un équilibre reproductible et indépendant au sens dans lequel ont lieu les échanges.

Malgré, ils ne se partagent pas de façon égale, on dit que la résine présente une différence d'affinité pour les deux ions. Celui qui passe en plus grande quantité dans la résine a la plus grande affinité.

En comparant le comportement, deux à deux, des différents ions avec une résine déterminée, on peut les classer par ordre d'affinités relatives (DET 43). Par exemple pour les résines sulfonates, l'affinité pour un cation augmente avec la charge de celui-ci:



Pour les différents cations de même charge et appartenant à une même famille du point de vue chimique, les résines sulfonates marquent une préférence pour les ions solvatés dont les rayons sont les plus petits:



Les résines marquent d'autre part une préférence très marquée pour les cations (métaux lourds, alcalineux, teneux) qui donnent des

complexes stables par rapport aux cations alcalins ( complexes très peu stables ).

Mécanisme de l'échange:

soit la réaction d'échange de deux ions A et B entre une résine et une solution:



On peut appliquer à l'équilibre la loi d'action des masses:

$$K = \frac{[B]_r [A]_s}{[B]_s [A]_r}$$

Où K est la constante d'équilibre.

$[A]_r$ ,  $[A]_s$ ,  $[B]_r$ ,  $[B]_s$  représentent les activités de A et B dans la résine et dans la solution.

En fait, les activités dans la résine sont difficilement accessibles, et il est plus commode d'utiliser les concentrations dans les deux phases;  $K_0'$  est alors une constante apparente d'échange qui dépend de la composition ionique de la solution (et de la résine) et de la concentration de la solution.

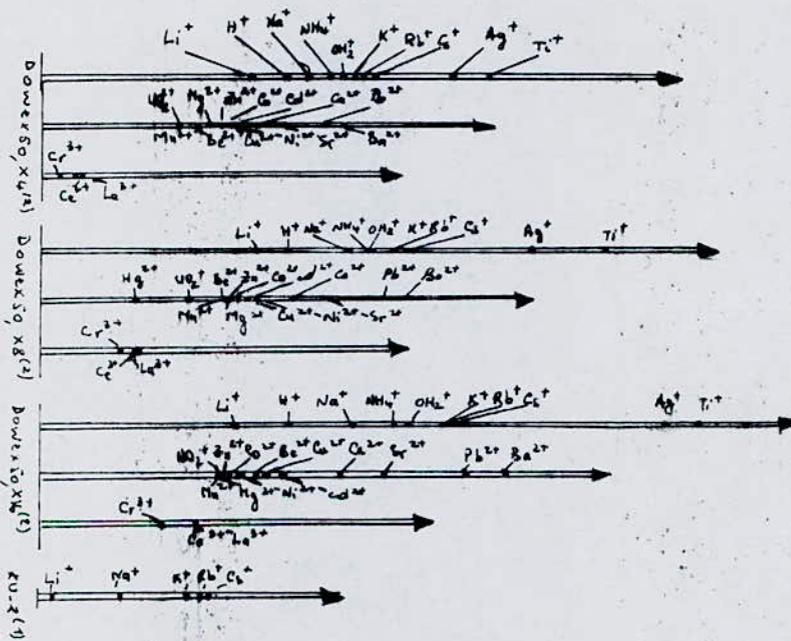
Dans le cas de deux ions de même charges, plus la différence d'affinité de la résine pour B et A est grande, plus K est différent de la valeur 1.

On représente souvent l'ordre quantitatif des affinités d'une résine au moyen d'une échelle logarithmique sur laquelle les ions sont portés dans l'ordre croissant des affinités de droite à gauche, la distance

entre les deux ions étant égale au logarithme de leur constante d'échange.

La figure N° 8, représente les échelles d'affinités des résines sulfonates. Ainsi, pour cette dernière, les différences d'affinités augmentent lorsque le taux de pontage augmente, cela est lié au fait que la résine marque une préférence pour les ions solvatés dont les rayons sont les plus petits; le réseau macromoléculaire se constituant lorsqu'on remplace l'ion de la résine par un ion plus petit.

- Figure N° 8 -



ECHELLES LOGARITHMIQUES D'AFFINITE DE LA RESINE POLYSTYRENE SULFONATE.  
D'après [AUS 5].

## II- 8 CINÉTIQUE DE L'ÉCHANGE.

Lorsqu'une résine est mise en contact d'une solution, l'équilibre ne s'établit qu'au bout d'un certain temps. Les échanges entre les deux phases font intervenir le transport des solutés à la surface des graines de l'échangeur d'ions.

Ainsi, dans l'échange d'ions  $H^+ - Na^+$ ; l'ion  $H^+$  doit diffuser d'abord dans tout endroit du grain de résine où il peut se trouver vers la surface de celui-ci. Si la solution est agitée, elle est à tout instant homogène, sauf dans un film liquide autour du grain de la résine où l'agitation ne se propage pas et où les espèces ne se déplacent que par diffusion (couche limite de diffusion).

L'ion  $H^+$  diffuse ensuite dans le film de la solution qui entoure le grain. Les ions  $Na^+$ , doivent suivre quand à eux le chemin inverse (diffusion dans le film, puis dans la résine).

Il a été constaté que [ENC 44]:

-- Lorsque la solution est diluée (concentration  $<$  à  $10^{-2}$  ou  $10^{-3}$  M) la diffusion dans le film est plus lente que la diffusion dans la résine; la vitesse globale dépend alors de la concentration, et elle est d'autant plus grande que la solution est plus concentrée.

-- Lorsque la solution n'est pas très diluée, c'est la diffusion dans la résine qui limite la cinétique globale. La vitesse d'établissement des équilibres est alors d'autant plus grande que les grains de la résine sont plus petits et que les mobilités des espèces dans la résine sont plus grandes. La mobilité diminue lorsque la charge de l'ion augmente (les interactions avec les groupements fonctionnels sont plus importantes) et également sa taille (plus l'ion est volumineux, plus il a des difficultés à pénétrer dans la résine).

La température a un effet favorable sur la cinétique pour l'accélération des vitesses de diffusion. On est limité par la stabilité thermique des résines.



## II- 9 UTILISATION DES RESINES ECHANGEUSES D' IONS.

Dès leur origine, les résines échangeuses d'ions ont été principalement utilisées pour le traitement de l'eau. En 1982, on estimait que 80 % environ des résines produites étaient encore destinées à l'adoucissement ou à la déminéralisation de l'eau.

Qu'en est-il des 20 % restants? très vite, on s'est rendu compte que les propriétés des échangeurs d'ions pouvaient-être mises à profit dans un grand nombre d'applications en dehors du traitement de l'eau.

De ces diverses applications, nous donnerons quelques exemples;

...- En chimie organique, nous retrouvons 3 grandes applications:

\*- Les réactions d'échange, engloberont les diverses opérations de partage entre phase résine et aqueuse ou organique de substances ioniques ou non, les auteurs [SAV 23] ont décrit l'emploi des résines par cette méthode dans l'industrie alimentaire, organiques et dans les sucreries.

\*- Les résines peuvent aussi servir et servent de plus en plus comme catalyseurs, En effet, à des températures très élevées, la catalyse sur les échangeurs minéraux est très employée et cracking ou le reforming des pétroles usent d'une quantité très importante de zéolithes, mais nous laisserons de côté le principe, qui sort du cadre de notre étude.

\*- Et enfin, les résines peuvent remplacer dans les réactions organiques, des composés ayant les mêmes groupes fonctionnels qu'elles.

...- En chimie minérale.

L'utilisation des résines est également très vaste: Elles peuvent-être utilisées comme réactifs chimiques, et dans le traitement des produits radio-actifs (SAV 23).

...- En biochimie.

L'utilisation des résines est analogue à leur application en chimie organique. Toutefois, nous noterons le plus important des usages qui y est fait dans ce domaine; la séparation par la chromatographie.

...- En pharmacie.

L'introduction des échangeurs d'ions a améliorée la préparation de certains "corps" dont les antibiotiques, les vitamines, les hormones et les alcaloïdes.

...- En médecine.

Les résines facilitent un grand nombre de détermination analytiques sur les liquides biologiques comme l'urine et le sang.

...- Dans le traitement des eaux.

Les résines sont surtout utilisées en adoucissement et en déminéralisation. Nous allons essayer de donner le principe, car cela constitue le but de l'application de notre résine, afin de déterminer son efficacité.

## II- 9.1 Adoucissement.

L'adoucissement d'une eau consiste à en éliminer tous les ions qui constituent ce que l'on appelle dureté de l'eau. Il se fait de 2

manières différentes: La première consiste à l'addition de la chaux dont la description est donnée dans [THO 25], et la seconde consiste à un échange d'ions par les résines échangeuses d'ions.

La première méthode présente l'inconvénient de produire une quantité importante de boue, tandis que la seconde est très largement utilisée.

Dans notre laboratoire (ENPA), nous allons procéder à un adoucissement par échange d'ions sur une résine Duolite-C-20. Cette méthode consiste à remplacer les cations sodium (ou hydrogène) de la résine cationique par les cations calcium et magnésium qui constituent la dureté de l'eau.

Qu'est-ce que la dureté ?.

A l'origine, la notion de dureté de l'eau est empirique et reliée à son usage domestique, en particulier à l'utilisation du savon. En effet, une eau dure, mousse difficilement et laisse la peau rêche, même après rinçage, à l'inverse, une eau douce est portée à mousser facilement, et laisse la peau lisse et souple.

Ce sont surtout, les ions  $\text{Ca}^{2+}$  et  $\text{Mg}^{2+}$  qui constituent la dureté de l'eau. Actuellement la notion de dureté a beaucoup évolué, elle correspond à trois concentrations ioniques différentes, on distingue [TAR 24].

•- La dureté totale:

En faisant abstraction des métaux bivalents et trivalents (à l'exclusion des métaux alcalins), la dureté totale est représentée par la somme de la dureté calcique et la dureté magnésienne.

•- La dureté temporaire:

Elle constitue la dureté carbonatée. Elle est éliminée par ébullition de l'eau, les bicarbonates étant décomposés sous l'action de la

chaleur avec dépôt de tartre.

• La dureté permanente:

Elle résulte de la différence entre la dureté totale et la dureté temporaire.

La dureté de l'eau s'exprime le plus souvent en mg/l de  $\text{CaCO}_3$  équivalent ou en meq/l.

Ne pouvant juger, une eau sur son degré de dureté, les spécialistes, ont néanmoins convenu du niveau de qualité. Plusieurs classement ont été faits, certains auteurs [TAR 24] nous propose la classification suivante:

Qualité de l'eau	Dureté totale	
	mg/l de $\text{CaCO}_3$	meq/l
Eau douce	< 60	< 1,2
Eau légèrement douce	60 - 120	1,2 - 2,4
Eau légèrement dure	120 - 180	2,4 - 3,6
Eau très dure	> 180	> 3,6
Valeur optimale	≈ 90	≈ 1,6

Tandis que d'autres [32], nous propose cette autre classification:

... Type 1:

Eaux très douces et à très faible minéralisation. Ce sont les eaux dont le titre hydrométrique (TH) est compris entre 1 et 5 °F. Elles sont souvent très riches en  $\text{CO}_2$  libres et agressives.

... Type 2:

Eaux de faible dureté et faible minéralisation. Le TH calcique est compris entre 5 - 12 °F; ces eaux sont très faiblement incrustantes, mais agressives ou corrosives.

... Type 3:

Eaux de moyenne dureté. Le TH est compris entre 12 - 15 °F. Elles sont généralement incrustantes à chaud du fait de la transformation des bicarbonates de Ca et Mg en carbonates alcalino-terreux insolubles.

... Type 4:

Eaux très dures. Le TH est compris entre 30 - 50 °C. Ce sont des eaux très incrustantes formant des dépôts hétérogènes.

... Type 5:

Eaux anormalement douces et fortement minéralisées.

NB: Le TH ou titre hydrométrique mesure la dureté (teneur en ions  $\text{Ca}^{2+}$  et  $\text{Mg}^{2+}$  et éventuellement  $\text{Fe}^{2+}$  et  $\text{Mn}^{2+}$ ).

Le principe de fonctionnement d'un appareil d'adoucissement sur résine est donné en (figure N° 9) et la principe d'échange en (figure 10).

Pourquoi veut-on adoucir l'eau, aurait-elle des conséquences fâcheuses sur l'homme et son environnement.

En effet, l'influence de la dureté sur la santé publique a fait l'objet de plusieurs publications.

Il existe une polémique entre différents chercheurs, certains sont pour la dureté de l'eau, d'autres contre.

Le calcium n'étant assimilable par l'organisme humain qu'en présence de facteurs nutritifs spéciaux et de vitamines, un auteur [VOL 13] estime que la dureté des eaux potables ne devrait relever d'aucune prescription légale: Cependant une influence bénéficiaire de la dureté sur la réduction des caries dentaires est revendiqué par d'autres.

D'autres chercheurs [TAR 24] ont constaté une corrélation inverse entre la dureté de l'eau et le taux de mortalité par défaillance cardiaque: Une eau dure est donc, à cet égard, favorable à la santé, d'autres par contre ont suggéré que le calcium favoriserait la formation des calculs rénaux. Enfin l'on signale un effet bénéfique de la dureté sur l'action bactéricide des sels ammoniacs quaternaires utilisés en chirurgie.

Il existe également une influence directe de la dureté de l'eau sur l'environnement de l'homme, notamment dans le processus de la fabrication industrielle.

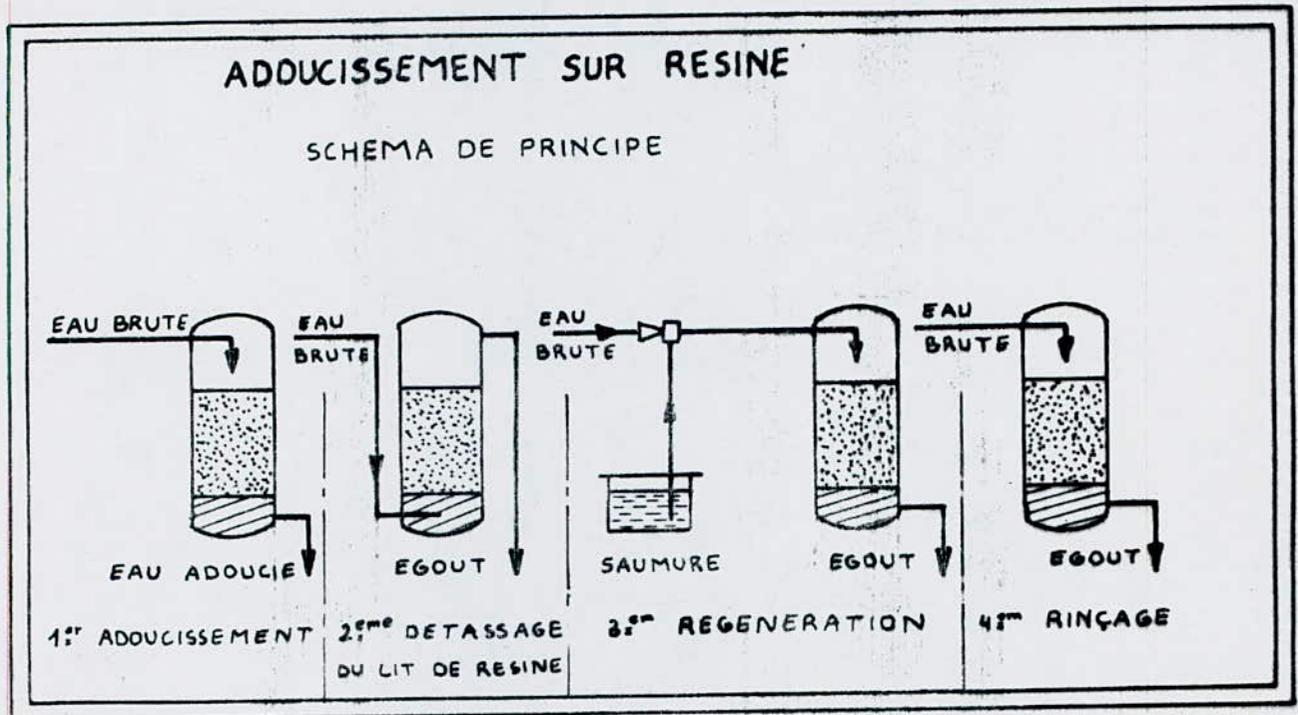
...- En blanchisserie:

La dureté provoque un gaspillage de savon et la formation de pâtons de savon calcaire (faits qui sont à l'origine de la dureté).

...- Dans les textiles:

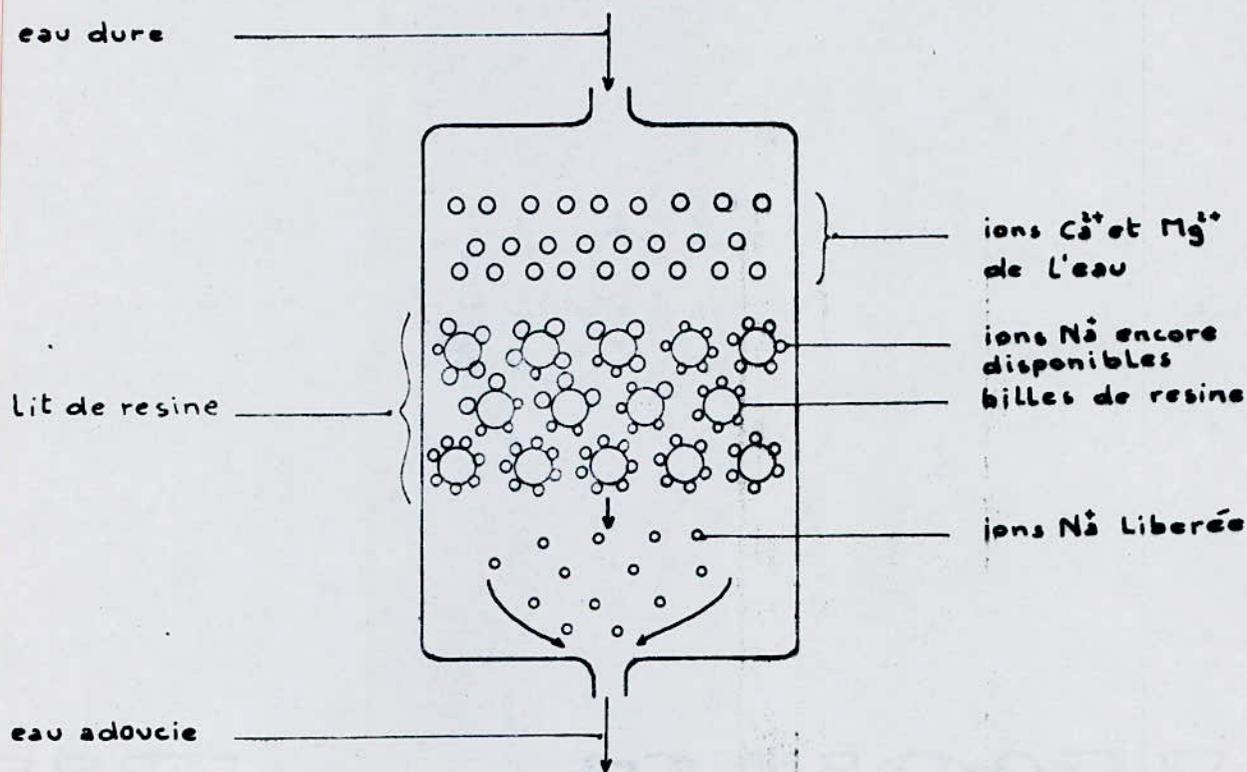
Outre son influence dans le lavage des produits, la dureté intervient dans les processus de teinturerie en compliquant la formulation.

- Figure N° 9 -



ADOUCCISSEMENT SUR RESINES.  
SCHEMA DE PRINCIPE. D'après [GER 12].

- Figure N° 10 -



ADOUCCISSEMENT DANS UNE COLONNE PAR PERMUTATION SODIQUE.  
D'après (LEC 16).

••- Dans les papeteries:

Influence anti-économique sur le collage des papiers par les savons des résines traditionnelles et présente un inconvénient lors de la fabrication du papier coloré.

••- Dans les procédés photographiques:

Une dureté supérieure à 20 °F est susceptible d'interferer dans les manipulations de développement, de fixation et de rinçage.

••- Dans l'alimentation et conserverie:

La dureté excessive retarde la fermentation des levures en boulangerie, et en conserverie de légumes et de fruits se combine avec les pectines, pour donner des pectides insolubles qui durcissent le produit final.

Et enfin, l'on note l'influence particulièrement néfaste des eaux dures, en ce qui concerne le phénomène d'entartrage, nous citerons quelques exemples, pour montrer l'ampleur de ce phénomène se manifestant de manière plus ou moins accentuée, à pratiquement tous les stades de l'équipement individuel, tel que:

-\*- Les machines à laver le linge:

- Risque d'entartrage des résistances de chauffage.
- Risque d'incrustation dans les fibres du linge entraînant une usure prématurée et un touché râpeux.

-\*- Les sanitaires:

- Dépôt grisâtre sur les baignoires et lavabos des produits de réactions Ca/savon.
- Entartrage des pommes de douches.
- Entartrage et dérèglement des robinets thermoplastiques.
- Entartrage des robinets à flotteur des chasses d'eau, pouvant

causer des fuites permanentes importantes.

\*- Les appareils de chauffage:

- Entartrage avec obstruction des serpentins de chauffe-eau instantané, avec déperdition d'énergie importante.
- Entartrage de résistance de chauffe-eau électrique.

Nous avons essayé de montrer pourquoi l'adoucissement de l'eau s'impose, au risque de détériorer l'appareillage mis en service, car, si des contradictions résident encore quand à l'impact de la dureté sur la santé de l'homme, il a été démontré clairement que celle-ci est très peu recommandée pour les appareils.

## II- 9.2 Déminéralisation.

L'eau adoucie, suffisante pour les usages domestiques ou l'alimentation des petits générateurs de vapeur à basse pression, est encore trop chargée en sels pour être employée dans les chaudières à haute ou moyenne pression et pour les opérations chimiques exigeant de l'eau pure.

Pour expliquer ce traitement, nous donnerons l'exemple de la SNVI-CVI, qui traite l'eau en vue de la déminéraliser par les résines échangeuses d'ions, afin d'alimenter les chaudières à haute pression.

### \*- Description de la SNVI-CVI.

La SONACOME est créée en 1967 par ordonnance N° 67.150. Elle a été chargée de promouvoir et de développer le secteur des industries mécaniques et d'exercer le monopole d'importation des produits mécaniques en Algérie.

Le complexe industriel se compose d'un; bâtiment mécanique; bâtiment forge; bâtiment tolerie-emboutissage; bâtiment montage camions; bâtiment montage autobus; auto-cars; bâtiment formation; bâtiment

carrosserie; bâtiment services généraux et enfin un bâtiment fonderie (MAM 351). Pour ce faire, la SNVI possède une centrale air-comprimé, où, elle utilise des chaudières à haute pression.

L'eau brute n'est pas directement utilisée, elle est d'abord déminéralisée, afin d'éviter le phénomène d'entartrage et de corrosion.

Une installation (voir planche 1) de déminéralisation est alors installée; elle consiste à faire passer l'eau brute par un lit de résine acide fort, type Duolite C-20 dont les caractéristiques et les propriétés ont été définies en chapitre N° II.6, puis par un dégazeur afin d'éliminer le CO<sub>2</sub> responsable du phénomène de corrosion, puis par un autre ballon contenant un mélange de résines anioniques faiblement et fortement basiques du type Duolite A 102 et Duolite A 368 PR, dont les caractéristiques seront données en annexe, et enfin, par un second dégazeur qui consiste quand à lui à éliminer l'oxygène dissous qui est également responsable de la corrosion. L'eau est ainsi dépourvue de tous les ions, y compris la silice.

Ce dispositif, permet d'accéder à une qualité d'eau acceptable, il présente aussi un intérêt économique certain car l'eau de la SNVI contient une forte proportion d'anions (chlorures et sulfates).

Cette installation a lieu depuis 1973, et les lits de résines n'ont pas été changés grâce à leur propriété fondamentale qui est la régénération.

La régénération de la résine se fait, lorsque celle-ci est saturée, c'est à dire que tous les ions propres à la résine sont échangés contre ceux de l'eau.

## II- 10. MODE D'UTILISATION DES RESINES ECHANGEUSES D' IONS.

Dans la majorité des applications, la résine est disposée en colonne. Une colonne d'échangeur d'ions est constituée par un remplissage de grains de résine dans une colonne cylindrique, à l'extrémité duquel est injectée la solution à traiter. Cette solution s'écoule en contact des grains, et, est recueillie à l'autre extrémité de la colonne (Figure N° 11).

Des auteurs (ARD 11) ont montré que l'efficacité de la résine peut être influencée par la nature de la résine, la quantité, les caractéristiques géométriques et enfin par le débit de la solution affluente.

Les colonnes fonctionnent dans la plupart des cas en discontinu, c'est à dire qu'une est employée jusqu'à épuisement, mise hors circuit, régénérée et le cycle recommence.

On y emploie presque toujours des couches fixes et beaucoup plus rarement des couches fluidisées (alternance des phases de fixation et des phases d'éluion).

Bien que leur emploi, soit très courant dans l'industrie, un certain nombre d'inconvénients est lié à l'utilisation discontinue des couches fixes, ce sont:

- L'irrégularité de la qualité des produits traités, la concentration de l'effluent n'étant pas constante dans le temps.

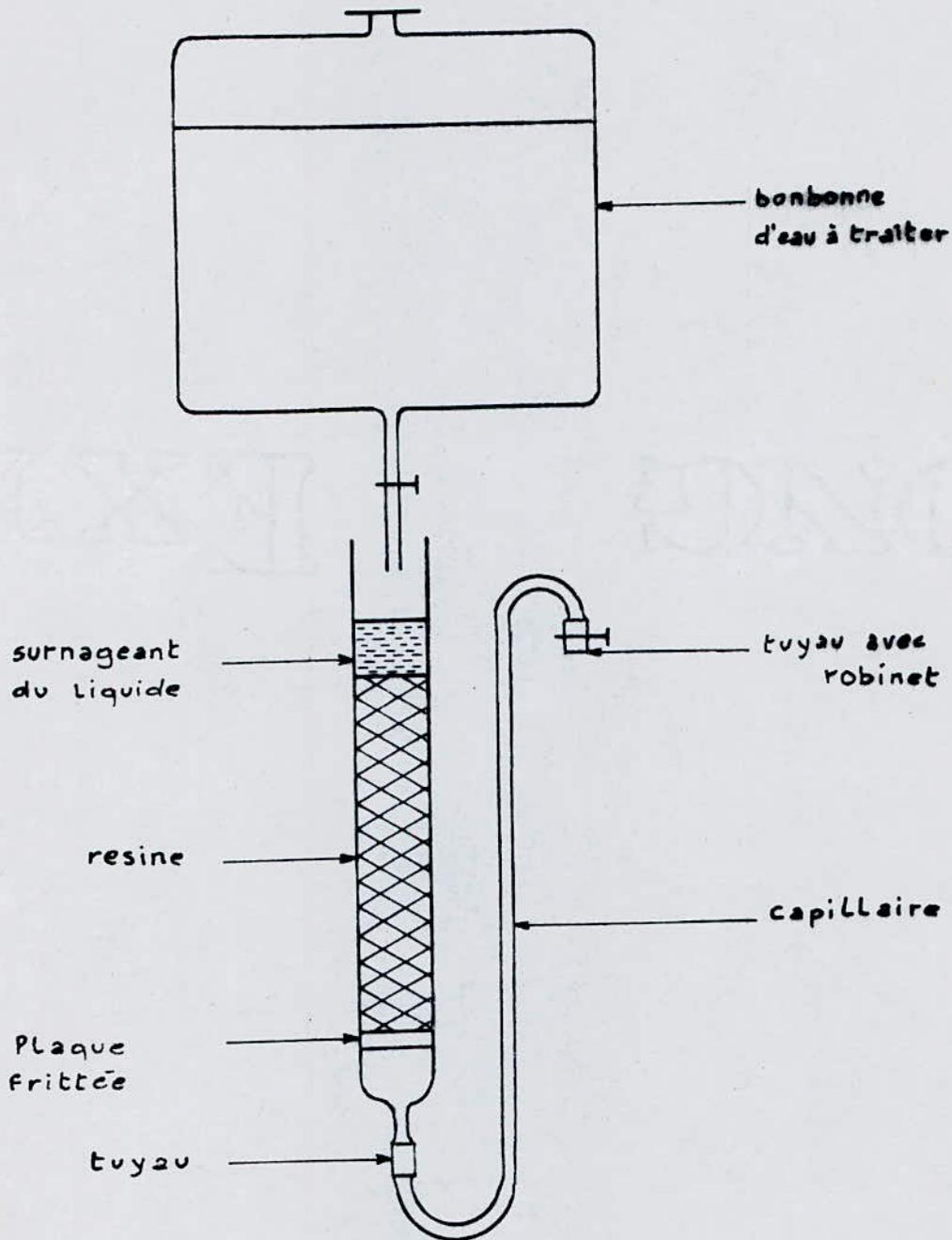
- Des traitements préliminaires de décantation et de l'infiltration nécessaires à traiter, faute de quoi la couche fixe se colmate au fur et à mesure des échanges.

- De l'éventuelle présence d'une deuxième même de plusieurs autres lignes d'échanges d'ions en parallèle, pour continuer le traitement pendant les prises de régénération.

Suite à cela, des techniques d'échanges d'ions en continu ont été développées. Ce type de dispositif permet de renouveler les phases liquides-solides en permanence, grâce à leur circulation. Il en résulte une immobilisation des résines plus faibles que pour le fonctionnement cyclique, le grain est d'autant plus important que les concentrations en espèces à fixer sont élevées et qu'on souhaite organiser des cycles de longue durée.

Aussi, la qualité des produits d'une installation à fonctionnement continu est constante. Cependant certains inconvénients s'y rattachent également et sont bien développés dans [BET 43].

- Figure N° 11 -



SCHEMA REPRESENTANT UNE COLONNE POUR L'ADOUCCISSEMENT PAR ECHANGE D'IONS.

### III. PARTIE EXPERIMENTALE.

UTILISATION DE LA RESINE ECHANGEUSE  
D'IONS DUOLITE C-20, DANS L'ADOUCCISSEMENT  
DES EAUX DE NATURES DIFFERENTES

Avant de donner les résultats des différentes expériences, nous donnerons brièvement un aperçu sur le mode d'activation de la Duolite C-20, sa mise en colonne, sur le méthode de prélèvement et les examens préliminaires.

### III.1 MODE D'ACTIVATION DE LA DUOLITE C-20.

Avant la mise en colonne, on fait subir à la résine un prétraitement, afin d'éliminer des éventuelles impuretés ayant pu s'inscruster au cours des diverses manipulations depuis sa fabrication jusqu'à son arrivée au laboratoire du génie de l'environnement de l'ENPA.

Le prétraitement consiste à effectuer des cycles alternés de lavage par de l'acide chlorhydrique (2,5 N) et par la base NaOH (2N), avec rinçage à l'eau distillée. Après sa "désinfection", on a activé la résine en la mettant dans un bécber en contact d'une solution saline NaCl (2N) pendant 24 heures en agitation continue.

Pour permettre une bonne imprégnation des grains de la résine nous avons refait cet essai 3 fois. Ainsi, la résine se trouve saturée en ions Na<sup>+</sup> et "prête" pour les différents échanges.

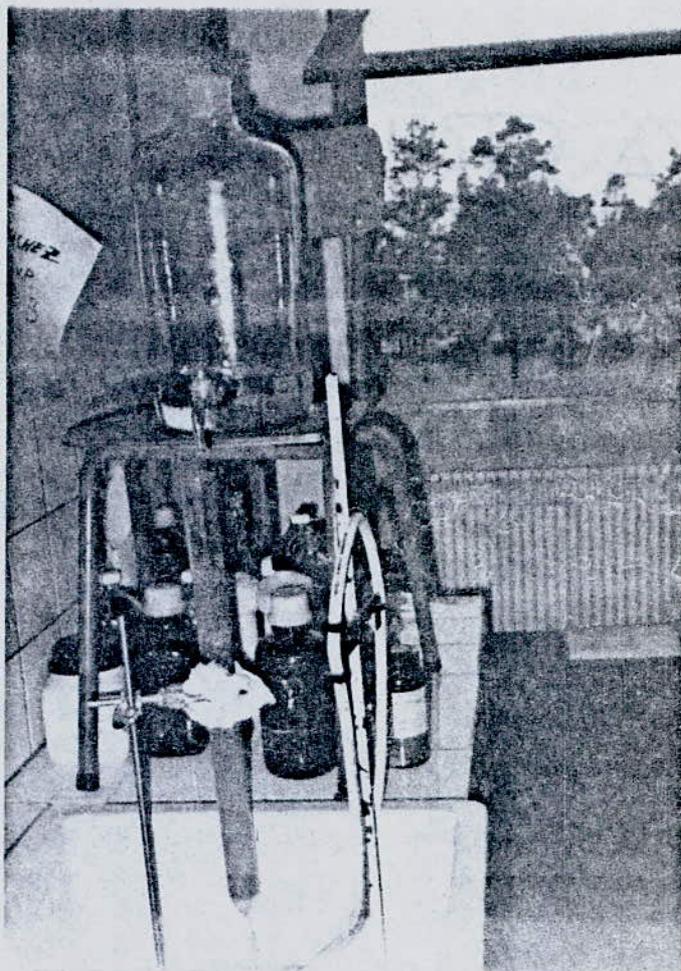
### III 2 DESCRIPTION ET MISE EN SERVICE DE LA COLONNE D'ADOUCCISSEMENT.

Notre colonne est constituée d'un tube en verre de 3,5 cm de diamètre et de 50 cm de hauteur.

Celui-ci est étranglé à sa partie inférieure. Au dessus de l'étranglement, un mince tampon en fibres de verre est placé afin de soutenir les grains de résines et les empêcher de fuir par la partie terminale effilée ou encore d'obturer celle-ci.

L'extrémité de la colonne est reliée à un tube en caoutchouc qui remonte le long de la colonne et constitue un siphon, de façon à éviter l'entrée des bulles d'air, pour que le liquide interstitiel ne se vide pas accidentellement et crée ainsi des chemins préférentiels. (voir figure N° 11).

Le remplissage de la colonne de la résine se fait en versant dans le tube une suspension de grains dans l'eau. La résine se dépose ainsi par décantation et le surplus de liquide est évacué. On prendra soin au cours de cette opération d'éviter l'emprisonnement entre les grains de bulles d'air qui viendraient perturber les opérations en colonne; pour cela, on agite continuellement la résine dans l'eau pendant sa décantation afin d'obtenir un dépôt uniforme; et enfin pour immobiliser la couche supérieure de la résine et la maintenir horizontale, on la couvre d'une rondelle en polyéthylène.



COLONNE D'ADOUCCISSEMENT (LABORATOIRE ENPA).

### III- 3 PRELEVEMENT ET EXAMENS PRELIMINAIRES.

#### III- 3.1 Prélèvement.

Le prélèvement d'un échantillon est une opération délicate à laquelle il faut apporter un grand soin, car il conditionne les résultats analytiques et l'interprétation qui en sera donnée.

Dans le cas des robinets, il faut vidanger soigneusement les conduites pour que l'échantillon soit réellement représentatif de l'eau étudiée. Les bouteilles d'échantillonnage doivent être rincées plusieurs fois avec l'eau à prélever; on laisse déborder largement, puis on bouche le contenant plein à ras bord.

Notre échantillon est dit ponctuel, car il a été fait à un endroit et à un instant donné [TAR 24].

Nous avons utilisé des bouteilles en polyéthylène pour la conservation de nos échantillons, car les bouteilles en verre sont déconseillées pour les mesures de dureté, de conductivité, de teneur ionique globale et de silice, car bien qu'inerte, le verre contient de la silice, du sodium, du calcium et parfois d'autres cations susceptibles de passer en solution.

#### III- 3.2 Examens préliminaires.

Les examens préliminaires que nous avons effectué à notre niveau sont:

- La température,
- Le pH,
- La conductivité,

##### III- 3.2.1 La température.

Il est important de connaître la température de l'eau à traiter pour un échantillon donné car elle joue un rôle dans la solubilité des sels et des gaz. Elle joue aussi un rôle sur la conductivité électrique, le pH et des mélanges éventuels [ROD 22].

### III- 3.2.2 Le pH.

Le pH d'une eau représente son acidité et son alcalinité. Les eaux très calcaires ont un pH élevé, et celles qui sont pauvre en calcaire ont un pH voisin de 7 et quelques fois un peu inférieur (environs de 6). Une eau potable se situe entre 6,5 à 8,3.

### III- 3.2.3 La conductivité.

La conductivité électrique d'une eau est la conductance d'une colonne d'eau comprise entre deux électrodes métalliques de 1 cm<sup>2</sup> de surface et séparées l'une de l'autre de 1cm . Elle est l'inverse de la résistivité électrique et s'exprime en micro-siemene par centimètre (µs/cm).

La mesure de la conductivité permet d'évaluer la minéralisation globale de l'eau et d'en suivre l'évolution.

Le tableau ci-après nous permet d'évaluer la minéralisation en fonction de la conductivité.

Conductivité (µs/cm)	Minéralisation totale (mg/l)
Cond. < 50	1,365079 x cond. à 20 °C
50 < cond. < 166	0,947658 x cond. à 20 °C
166 < cond. < 333	0,769574 x cond. à 20 °C
333 < cond. < 833	0,715920 x cond. à 20 °C
833 < cond. < 10.000	0,758544 x cond. à 20 °C
cond. > 10.000	0,85043 x cond. à 20 °C

### III- 4 CHOIX DE LA METHODE D'ANALYSE.

pour pouvoir apprécier l'efficacité de la résine Duolite C-20 nous avons effectué des analyses d'eau de l'ENPA et de la SNVI-CVI avant et après leur traitement qui consiste au passage à travers un lit de résine.

Il existe plusieurs méthodes d'analyse. Nous avons fixé notre choix sur celles qui minimiseraient l'erreur.

Ce sont principalement les ions  $\text{Ca}^{2+}$  et  $\text{Mg}^{2+}$  qui confèrent à l'eau sa dureté; pour estimer leur teneurs avec une assez bonne précision, nous avons utilisé plusieurs méthodes d'analyse.

Pour le calcium, nous avons utilisé le dosage par complexométrie, le dosage par gravimétrie et le dosage par l'absorption atomique.

Pour le magnésium, nous avons utilisé la complexométrie et l'absorption atomique.

Pour le dosage des autres ions ( $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{CO}_3^{--}$  et  $\text{SO}_4^{--}$ ), nous avons utilisé une seule méthode d'analyse.

Les ions  $\text{Na}^+$  et  $\text{K}^+$  ont été dosés par l'absorption atomique tandis que les ions  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{CO}_3^{--}$  et  $\text{SO}_4^{--}$  ont été dosés par la méthode volumétrique.

### III- 5 RESULTATS EXPERIMENTAUX ET INTERPRETATION.

Pour toutes les analyses qui suivent, nous avons prélevé 3 échantillons et effectué 3 essais de dosage pour chaque échantillon.

#### III- 5.1 Examens préliminaires.

Echantillon N° 1,

Echantillon	Température [°C]		pH		conductivité (µs/cm)		minéralisation (mg/l)	
	avant	après	avant	après	avant	après	avant	après
SNVI-CVI	17	16	7,88	2,87	100,00	20,00	94,77	27,30
ENPA	19	21	7,20	7,90	90,00	12,00	85,30	16,38

Echantillon N° 2,

Echantillon	Température [°C]		pH		conductivité (µs/cm)		minéralisation (mg/l)	
	avant	après	avant	après	avant	après	avant	après
SNVI-CVI	15	16	7,45	1,95	130,00	45,00	123,19	61,42
ENPA	17	19	7,15	8,10	100,00	19,00	94,77	25,94

Echantillon N° 3,

Echantillon	Température [°C]		pH		conductivité (µs/cm)		minéralisation (mg/l)	
	avant	après	avant	après	avant	après	avant	après
SNVI-CVI	14	19	7,40	2,75	135,00	25,00	127,93	34,13
ENPA	16	19	7,20	6,20	95,00	15,00	90,02	20,48

Nous remarquons que les pH se trouvent dans une zone neutre avant leur traitement. Après le traitement, les eaux de la SNVI-CVI deviennent acide; ceci s'explique aisément par le fait que les résines utilisées sont sous forme  $H^+$  et donc, après les échanges résine-eau, des ions  $H^+$  sont cédés, ce qui tend à augmenter l'acidité de ces eaux.

Les eaux de l'ENPA, par contre gardent un pH pratiquement inchangé, ceci s'explique par le fait que la résine utilisée est sous forme  $Na^+$  et que ces derniers (les ions  $Na^+$ ) n'affectent pas l'acidité/ l'alcalinité de l'eau.

Nous remarquons aussi une forte minéralisation de ces eaux, ceci pourrait s'expliquer par leur fortes teneurs en ions Ca, Mg, Na, Cl,  $SO_4$  et les hydrogénocarbonates.

Cette forte teneur dans les eaux potables (eau ENPA) contribue bien à l'homéostasie de l'homme et surtout de l'enfant, cependant, elle peut donner des problèmes endocriniens très complexes [ROD 22].

II- 5.2 Dosage du calcium ( $\text{Ca}^{2+}$ ).

Echantillon N° 1

\*\*\* méthode complexométrique.

- A.T : Avant passage par le lit de résine.
- A.P : Après passage par le lit de résine.

Echantillon		Volume de l'échantillon (ml)	volume E-D-T-A (ml)	Concentration $\text{Ca}^{2+}$ (mg/l)	Concentration $\text{Ca}^{2+}$ (meq/l)
SNVI	A.T	50,00	7,80	150,60	7,53
CVI	A.P	50,00	0,15	2,90	0,14
ENPA	A.T	50,00	5,80	111,99	5,60
	A.P	50,00	0,20	3,86	0,19

\*\*\* Méthode gravimétrique.

- $P_1$  : Poids de l'échantillon avant la calcination
- $P_2$  : Poids de l'échantillon après la calcination

Echantillon		$P_1$ (mg)	$P_2$ (mg)	$\Delta P$ (mg)	concentration $\text{Ca}^{2+}$ (mg/l)	concentration $\text{Ca}^{2+}$ (meq/l)
SNVI	A.T	35,5878	35,0987	0,4691	68,57	3,43
CVI	A.P	20,5356	20,4513	0,0743	10,42	0,52
ENPA	A.T	15,7840	15,2322	0,5518	77,36	3,87
	A.P	23,8513	23,8485	0,0028	0,39	0,02

\*\*\* Méthode par absorption atomique.

Echantillon		Concentration $\text{Ca}^{2+}$ (mg/l)	Concentration $\text{Ca}^{2+}$ (meq/l)
SNVI-CVI	A.T	140,00	7,00
	A.P	0,00	0,00
ENPA	A.T	120,00	6,00
	A.P	0,00	0,00

Echantillon N° 2:

## \*\*\* Méthode complexométrique

Echantillon	Volume de l'échantillon (ml)	volume E-D-T-A (ml)	Concentration $Ca^{2+}$ (mg/l)	Concentration $Ca^{2+}$ (meq/l)
SNVI   A.T	50,00	7,80	150,60	7,53
CVI   A.P	50,00	0,00	0,00	0,00
ENPA   A.T	50,00	6,50	125,50	6,27
A.P	50,00	0,00	0,00	0,00

## Méthode gravimétrique.

Echantillon	P <sub>1</sub> (mg)	P <sub>2</sub> (mg)	$\Delta P$ (mg)	Concentration $Ca^{2+}$ (mg/l)	Concentration $Ca^{2+}$ (meq/l)
SNVI   A.T	30,5670	30,2089	0,3581	50,21	2,51
CVI   A.P	14,6976	14,6312	0,0664	9,31	0,46
ENPA   A.T	14,8692	14,7998	0,2694	37,77	1,89
A.P	23,8661	23,8379	0,0222	3,11	0,86

## Méthode par absorption atomique.

Echantillon	Concentration $Ca^{2+}$ (mg/l)	Concentration $Ca^{2+}$ (meq/l)
SNVI - CVI   A.T	129,00	6,45
A.P	5,60	0,25
ENPA   A.T	90,00	4,50
A.P	1,00	0,05

Echantillon N° 3

\*\*\* Méthode complexométrique.

Echantillon	Volume de l'échantillon (ml)	volume E-D-T-A (ml)	Concentration $\text{Ca}^{2+}$ (mg/l)	Concentration $\text{Ca}^{2+}$ (meq/l)
SNVI   A.T	50,00	7,50	144,81	7,24
A.P	50,00	0,70	13,56	0,68
ENPA   A.T	50,00	7,00	131,29	6,56
A.P	50,00	0,25	4,82	0,24

\*\*\* Méthode gravimétrique.

Echantillon	P1 (mg)	P2 (mg)	$\Delta P$ (mg)	Concentration $\text{Ca}^{2+}$ (mg/l)	Concentration $\text{Ca}^{2+}$ (meq/l)
SNVI   A.T	32,7128	31,5869	1,1259	157,85	7,89
CVI   A.P	30,1010	30,0728	0,0282	3,95	0,20
ENPA   A.T	28,8971	28,0778	0,8193	114,87	5,74
A.P	17,7776	17,7602	0,0174	2,44	0,13

Les résultats obtenus par les trois méthodes d'analyse sont différents. En considérant que les valeurs les plus justes sont données par l'absorption atomique (méthode qui nécessite le moins de manipulation, les lectures étant faites par un appareil très sensible, diminuant les risques d'erreurs) et en les prenant comme référence, on constate que les résultats de l'analyse volumétrique rentrent dans le même ordre de grandeur, alors que ceux donnés par la méthode gravimétrique s'en éloignent. Cette grande différence serait due, d'abord aux erreurs de manipulations ensuite à l'absence du matériel qui nous a obligé à doubler certaines manipulations, d'où augmentation du risque d'erreur en gravimétrie.

Néanmoins, on remarque qu'avant le traitement les teneurs en calcium sont importantes et dépassent les concentrations recommandées par l'O.M.S. ( $\approx 100$  mg/l) et très faibles sinon nulles après le traitement. La Duolite C-20 avec laquelle nous avons travaillé est donc aussi efficace que celle de la SNVI-CVI, sinon meilleure, car les résultats obtenus après le traitement sont inférieurs. Cela laisse supposer que le mode d'activation est bon et que notre résine est encore neuve, alors que celle de la SNVI-CVI est en fonction depuis 1973.

III- 5.2 Dosage du magnésium ( $Mg^{2+}$ ).

Echantillon N° 1,

\*\*\* Méthode complexométrique.

Echantillon	Volume de l'échantillon (ml)	volume E-D-T-A (ml)	Concentration $Mg^{2+}$ (mg/l)	Concentration $Mg^{2+}$ (meq/l)
SNVI   A.T	50,00	31,80	30,09	2,47
CVI   A.P	50,00	4,00	3,79	0,31
ENPA   A.T	50,00	27,30	25,83	2,12
A.P	50,00	2,00	1,89	0,16

\*\*\* Méthode par absorption atomique.

Echantillon	Concentration $Mg^{2+}$ (mg/l)	Concentration $Mg^{2+}$ (meq/l)
SNVI-CVI   A.T	34,00	2,80
A.P	0,70	0,06
ENPA   A.T	26,00	2,14
A.P	0,00	0,00

Echantillon N° 2,

\*\*\* Méthode complexométrique.

Echantillon	Volume de l'échantillon (ml)	volume E-D-T-A (ml)	Concentration Ca <sup>2+</sup> (mg/l)	Concentration Ca <sup>2+</sup> (meq/l)
SNVI   A.T	50,00	30,60	28,96	2,38
A.P	50,00	3,70	3,50	0,29
ENPA   A.T	50,00	37,80	35,78	2,94
A.P	50,00	0,00	0,00	0,00

\*\*\* Méthode par absorption atomique.

Echantillon	Concentration Mg <sup>2+</sup> (mg/l)	Concentration Mg <sup>2+</sup> (meq/l)
SNVI-CVI   A.T	40,00	3,29
A.P	3,00	0,25
ENPA   A.T	35,00	2,88
A.P	2,00	0,16

Echantillon N° 3,

\*\*\* Méthode complexométrique.

Echantillon		Volume de l'échantillon (ml)	volume E-D-T-A (ml)	Concentration Ca <sup>2+</sup> (mg/l)	Concentration Ca <sup>2+</sup> (meq/l)
SNVI	A.T	50,00	30,40	28,77	2,37
CVI	A.P	50,00	1,00	0,95	0,08
ENPA	A.T	50,00	27,50	26,03	1,14
	A.P	50,00	3,20	3,03	0,25

\*\*\* Méthode par absorption atomique

Echantillon		Concentration (mg/l)	Mg <sup>2+</sup>	Concentration (meq/l)	Mg <sup>2+</sup>
SNVI-CVI	A.T	57,00		4,69	
	A.P	4,00		0,33	
ENPA	A.T	63,00		5,18	
	A.P	2,00		0,16	

Dans ce cas, la différence entre les deux méthodes est moindre, les deux types de résultats restant dans la même tranche de grandeur.

La concentration en magnésium est également grande, du fait que c'est un des éléments les plus répandus dans la nature (2,1 % de l'écorce terrestre).

Son abondance géologique, sa grande solubilité, sa large utilisation industrielle (alliages, batteries, réacteurs chimiques, ... ) font que sa teneur dans l'eau peut-être importante (quelques mg à quelques centaines de mg/l).

A partir de 100 mg/l, le magnésium pourrait donner un goût désagréable à l'eau et à partir de 400 à 500 mg/l il a un effet laxatif; cette action diminue cependant avec l'accoutumance.

Le magnésium comme le calcium, s'il n'a pas d'effet toxique sur l'homme, participe grandement à l'entartrage des appareils et à leur détérioration prématurée.

Cependant les ions  $Mg^{2+}$  disparaissent ou restent en faible quantité, après le passage de l'eau par la résine.

III- 5.3 Dosage du sodium ( $\text{Na}^+$ ).

\*\*\* Méthode complexométrique.

Echantillon N° 1

Echantillon		Concentration $\text{Na}^+$ (mg/l)	Concentration $\text{Na}^+$ (meq/l)
SNVI - CVI	A.T	95,00	4,13
	A.P	1,00	0,04
ENPA	A.T	73,00	3,17
	A.P	284,00	12,35

Echantillon N° 2,

Echantillon		Concentration $\text{Na}^+$ (mg/l)	Concentration $\text{Na}^+$ (meq/l)
SNVI - CVI	A.T	95,00	4,13
	A.P	1,00	0,04
ENPA	A.T	75,00	3,26
	A.P	289,00	12,56

Echantillon N° 3,

Echantillon		Concentration $\text{Na}^+$ (mg/l)	Concentration $\text{Na}^+$ (meq/l)
SNVI - CVI	A.T	96,00	4,17
	A.P	1,00	0,04
ENPA	A.T	73,00	3,17
	A.P	287,00	12,48

Après son passage par le lit de résine, l'eau de l'ENPA est surchargée en ions  $\text{Na}^+$ , car au cours des échanges résine-eau, des ions sodium sont cédés à l'eau.

La concentration recommandée par l'O.M.S. (200 mg/l) s'en trouve légèrement dépassée, sans conséquences pour la consommation, car celle-ci est destinée à l'alimentation des appareils de laboratoire.

Par contre, l'échange résine-eau ( $\text{Na}^+$ ) a eu lieu pour l'eau de la SNVI-CVI d'où la concentration est plus faible après traitement.

III- 5.4 Dosage du potassium (K<sup>+</sup>).

\*\*\* Méthode par absorption atomique,

Echantillon N° 1.

Echantillon		Concentration K <sup>+</sup> (mg/l)	Concentration K <sup>+</sup> (meq/l)
SNVI - CVI	A.T	2,00	0,05
	A.P	0,00	0,00
ENPA	A.T	2,00	0,05
	A.P	0,00	0,00

Echantillon N° 2.

Echantillon		Concentration K <sup>+</sup> (mg/l)	Concentration K <sup>+</sup> (meq/l)
SNVI - CVI	A.T	3,00	0,08
	A.P	0,00	0,00
ENPA	A.T	2,00	0,05
	A.P	0,00	0,00

Echantillon N° 3 ,

Echantillon		Concentration K <sup>+</sup> (mg/l)	Concentration K <sup>+</sup> (meq/l)
SNVI - CVI	A.T	2,00	0,05
	A.P	0,00	0,00
ENPA	A.T	2,00	0,05
	A.P	0,00	0,00

Le potassium se trouve dans une concentration constante et à une faible proportion (2mg/l), aussi bien dans l'eau de l'ENPA que dans celle de la SNVI-OVI.

Comme les ions  $\text{Na}^+$ , après le traitement, la concentration en ions  $\text{K}^+$  diminue.

III- 5.5 Dosage des chlorures (Cl<sup>-</sup>).

\*\*\* Méthode volumétrique.

Echantillon N° 1,

Echantillon		Volume de l'échantillon (ml)	Volume de AgNO <sub>3</sub> (ml)	Concentration Cl <sup>-</sup> (mg/l)	Concentration Cl <sup>-</sup> (meq/l)
SNVI	A.T	50,00	6,00	426,00	12,02
CVI	A.P	50,00	0,50	35,50	1,00
ENPA	A.T	50,00	2,50	177,50	5,01
	A.P	50,00	2,00	142,00	4,01

Echantillon N° 2,

Echantillon		Volume de l'échantillon (ml)	Volume de AgNO <sub>3</sub> (ml)	Concentration Cl <sup>-</sup> (mg/l)	Concentration Cl <sup>-</sup> (meq/l)
SNVI	A.T	50,00	5,50	390,50	11,01
CVI	A.P	50,00	0,00	0,00	0,00
ENPA	A.T	50,00	2,50	177,50	5,01
	A.P	50,00	2,00	142,00	4,01

Echantillon N° 3,

Echantillon		Volume de l'échantillon (ml)	Volume de AgNO <sub>3</sub> (ml)	Concentration Cl <sup>-</sup> (mg/l)	Concentration Cl <sup>-</sup> (meq/l)
SNVI	A.T	50,00	5,50	390,50	11,01
CVI	A.P	50,00	0,00	0,00	0,00
ENPA	A.T	50,00	2,00	142,00	4,01
	A.P	50,00	1,00	71,00	2,00

L'eau de la SNVI-CVI est très chargée en ions chlorures la teneur dépasse la concentration limite admissible recommandée par l'O.M.S..

Le risque est, qu'il pourrait se produire une corrosion dans les canalisations et les réservoirs notamment ceux en acier inoxydable; cependant, après le traitement, l'eau de la SNVI-CVI se trouve complètement "démunie" de cet ion.

Par contre la concentration en ions chlorures de l'eau de l'ENPA, ne diminue que légèrement.

on conclue donc, que la résine de forme  $H^+$  est préférable pour l'élimination des chlorures.

III- 5.6 Dosage des carbonates ( $\text{CO}_3^{2-}$ ).

\*\*\* Méthode volumétrique .

Echantillon N° 1,

Echantillon		Volume de l'échantillon (ml)	Volume de $\text{H}_2\text{SO}_4$ (ml)	Concentration de $\text{CO}_3^{2-}$ (mg/l)	Concentration de $\text{CO}_3^{2-}$ (meq/l)
SNVI	A.T	50,00	0,00	0,00	0,00
CVI	A.P	50,00	0,00	0,00	0,00
ENPA	A.T	50,00	0,15	9,00	0,30
	A.P	50,00	0,00	0,00	0,00

Echantillon N° 2,

Echantillon		Volume de l'échantillon (ml)	Volume de $\text{H}_2\text{SO}_4$ (ml)	Concentration de $\text{CO}_3^{2-}$ (mg/l)	Concentration de $\text{CO}_3^{2-}$ (meq/l)
SNVI	A.T	50,00	0,00	0,00	0,00
	A.P	50,00	0,00	0,00	0,00
ENPA	A.T	50,00	0,05	3,00	0,10
	A.P	50,00	0,00	0,00	0,00

Echantillon N° 3,

Echantillon		Volume de l'échantillon (ml)	Volume de $\text{H}_2\text{SO}_4$ (ml)	Concentration de $\text{CO}_3^{2-}$ (mg/l)	Concentration de $\text{CO}_3^{2-}$ (meq/l)
SNVI	A.T	50,00	0,00	0,00	0,00
CVI	A.P	50,00	0,00	0,00	0,00
ENPA	A.T	50,00	0,20	12,00	0,40
	A.P	50,00	0,00	0,00	0,00

III- 5.7 Dosage des bicarbonates ( $\text{HCO}_3^-$ ).

\*\*\* Méthode volumétrique.

Echantillon N° 1,

Echantillon		Volume de l'échantillon (ml)	Volume de $\text{H}_2\text{SO}_4$ (ml)	Concentration de $\text{HCO}_3^-$ (mg/l)	Concentration de $\text{HCO}_3^-$ (meq/l)
SNVI	A.T	50,00	3,00	3,27	5,36
	A.P	50,00	1,20	130,80	2,14
ENPA	A.T	50,00	2,80	305,20	5,00
	A.P	50,00	2,40	261,60	4,29

Echantillon N° 2,

Echantillon		Volume de l'échantillon (ml)	Volume de $\text{H}_2\text{SO}_4$ (ml)	Concentration de $\text{HCO}_3^-$ (mg/l)	Concentration de $\text{HCO}_3^-$ (meq/l)
SNVI	A.T	50,00	2,80	305,20	5,00
	A.P	50,00	1,60	174,40	2,86
ENPA	A.T	50,00	2,10	228,90	3,75
	A.P	50,00	1,40	152,60	2,50

Echantillon N° 3,

Echantillon		Volume de l'échantillon (ml)	Volume de $\text{H}_2\text{SO}_4$ (ml)	Concentration de $\text{HCO}_3^-$ (mg/l)	Concentration de $\text{HCO}_3^-$ (meq/l)
SNVI	A.T	50,00	3,00	327,00	5,36
CVI	A.P	50,00	1,60	174,40	2,86
ENPA	A.T	50,00	2,70	294,30	4,82
	A.P	50,00	2,30	250,70	4,11

La teneur en carbonates dans les eaux est relativement nulle, tandis que celle en bicarbonates est élevée. On présume donc que les  $\text{CO}_3^{2-}$  passent de la forme la moins stable à la forme  $\text{HCO}_3^-$  qui est plus stable.

L'eau de la SNVI-CVI, chargée en ions  $\text{HCO}_3^-$  l'est beaucoup moins après traitement, par contre la concentration de l'eau de l'ENPA ne diminue que légèrement.

On peut expliquer ce phénomène par la réaction de décomposition des bicarbonates en dioxyde de carbone et en hydrogène:

La réaction est complète pour un pH < à 4,5 (cas de l'eau de la SNVI); la réaction est incomplète pour un pH de l'ordre de 8,3 (cas de l'eau de l'ENPA).

III- 5.8 Dosage des sulfates ( $\text{SO}_4^{2-}$ ),

\*\*\* Méthode gravimétrique .

Echantillon N° 1,

Echantillon		P1 (mg)	P2 (mg)	$\Delta P$ (mg)	Concentration $\text{SO}_4^{2-}$ (mg/l)	Concentration $\text{SO}_4^{2-}$ (meq/l)
SNVI	A. T	11,5711	11,5876	0,0165	157,22	3,27
CVI	A. P	11,3207	11,3344	0,0137	131,01	2,73
ENPA	A. T	12,6634	12,6880	0,0246	235,11	4,89
	A. P	12,9813	12,9137	0,0224	213,79	4,45

Echantillon N° 2,

Echantillon		P1 (mg)	P2 (mg)	$\Delta P$ (mg)	Concentration $\text{SO}_4^{2-}$ (mg/l)	Concentration $\text{SO}_4^{2-}$ (meq/l)
SNVI	A. T	11,6468	11,6646	0,0178	169,81	3,54
CVI	A. P	11,4156	11,4323	0,0167	159,32	3,32
ENPA	A. T	12,5259	12,5508	0,0249	237,55	4,95
	A. P	12,7972	12,8207	0,0235	224,19	4,67

Echantillon N° 3,

Echantillon		P1 (mg)	P2 (mg)	$\Delta P$ (mg)	Concentration $\text{SO}_4^{2-}$ (mg/l)	Concentration $\text{SO}_4^{2-}$ (meq/l)
SNVI	A. T	11,6287	11,6462	0,0175	167,03	3,48
CVI	A. P	11,5131	11,5294	0,0163	155,09	3,23
ENPA	A. T	12,5709	12,5939	0,0230	219,74	4,58
	A. P	12,6814	12,7031	0,0217	207,31	4,32

Les ions  $\text{SO}_4^{2-}$  se trouvant en quantité admise par l'O.M.S. passent dans la phase résine dans une faible proportion, ce qui laisse supposer que la résine n'a pas une grande affinité pour cet ion.

\*\*\* Calcul de la dureté totale et de l'efficacité de la résine.

Echantillon	D U R E T E						Efficacité %
	Calcoique		Magnésienne		Totale		
	A.T	A.P	A.T	A.P	A.T	A.P	
(1)	120,00	0,00	26,00	0,00	146,00	0,00	100,00
(2)	90,00	1,00	35,00	2,00	125,00	3,00	97,60
(3)	95,00	0,00	63,00	2,00	158,00	2,00	98,73
Moyenne	101,67	0,33	41,33	1,33	143,00	1,66	98,84

L'efficacité a été calculé pour les ions  $\text{Mg}^{2+}$  et  $\text{Ca}^{2+}$ , car ils constituent la dureté totale de l'eau.

La dureté a beaucoup diminué après le passage de l'eau par la résine, ceci est clairement montré par le calcul de l'efficacité de la résine (moyenne 98,84 %).

on définit l'efficacité comme le rendement de l'échange.

*IV. CONCLUSION GENERALE  
ET SUGGESTIONS.*

Après avoir effectué l'évaluation ionique de l'eau de l'ENPA et constate que c'est une eau relativement dure, ce qui expliquerait la détérioration de certains appareils comme la pompe à chaleur (département de génie mécanique).

Un traitement d'adoucissement s'avère nécessaire. Notons que la Duolite C-20 forme  $\text{Na}^+$  à un bon rendement pour les ions  $\text{Ca}^{2+}$  et  $\text{Mg}^{2+}$ , mais l'échange est moins bon pour les ions  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{Cl}^-$  et  $\text{HCO}_3^-$ .

Pour y remédier, nous avons pensé à proposer un système d'adoucissement qui contribuerait peut-être à réduire le taux de pannes de ces appareils et augmenter ainsi leur durée de vie.

Le système que nous proposons, sera constitué à base de résine échangeuse d'ions. Afin d'évaluer le coût d'un tel système nous avons contacté la Direction de la douane d'Alger pour avoir une idée sur le prix de revient d'un kg de résine.

Le tableau suivant nous renseigne donc sur les pays d'importation, la quantité importée et enfin le prix de la résine en D.A. .

## PRODUIT IMPORTE : RESINE ECHANGEUSE D' IONS.

Année	Pays	Quantité en kg	Valeurs en D.A.
1978	Espagne	496	11.995
	France	7.828	85.160
	Italie	14.910	180.600
	Pays-bas	20.000	322.575
	RFA	32.542	909.325
		365.176	1 509.655
1979	France	22.283	180.397
	Pays-bas	20.520	107.158
		42.803	287.555
1980	U.S.A.	50	11.772
	France	50.365	463.697
	Italie	36.251	257.092
	Pays-bas	11.880	116.409
	RFA	54	555
		98.600	849.525
1981	France	127.747	682.929
	Italie	12.474	208.868
	Pays-bas	7.560	349.836
	RFA	3.170	35.086
		150.951	1.276.719
1982	France	49.232	827.586
	Italie	1.400	20.931
	Pays-bas	3.780	329.355
	RFA	1.854	20.861
		56.266	79.395.127

Année	Pays	Quantité en kg	Valeurs en D.A.
1983	Japon	4	813
	France	88.715	703.101
	Italie	29.070	247.742
	RFA	2.035	55.598
	Suisse	69	7.395
		119.893	1.018.619
1984	France	29.428	237.756
	Italie	68.435	535.204
	RFA	2.078.561	1.036.495
		2.176.424	1.809.455
1985	France	19.139	185.450
	Italie	49.827	323.728
	RFA	22.192	284.903
		91.158	794.081
1986	Japon	533	18.414
	France	63.836	790.755
	RFA	34.323	1.735.865
		78.692	2.545.034

Le prix d'un kilogramme de résine est en moyenne de 8,50 DA. En prenant le coût le plus élevé de ces dix dernières années (qui correspond à l'année 1986 et a pour valeur 25,80 DA), nous allons essayer d'évaluer le prix approximatif majoré du système d'adoucissement (voir croquis).

\* Calcul de la quantité nécessaire de résine:

Soit des colonnes de 8 cm de diamètre et 60 cm de hauteur; le volume nécessaire est:

$$V = \pi r^2 h = \pi (4 \cdot 10^{-2})^2 \cdot 6 \cdot 10^{-1} = 0,003 \text{ m}^3$$

Soit environ 3 kg par colonne.

Le prix de la résine pour les deux colonnes sera donc:

$$25,80 \times 2 \times 3 = 154,80 \text{ DA.}$$

Soit environ 200,00 DA.

\* Evaluation du prix du système complet.

Pour cela, et compte rendu de la valeur des matières citées ci-dessous sur le marché, nous majorons les prix à:

- Armature	300,00 DA.
- Plaques en plexiglas	600,00 DA.
- Colonnes	400,00 DA.
- Résine	200,00 DA.
- Accessoires	100,00 DA.
- Main d'oeuvre	400,00 DA.

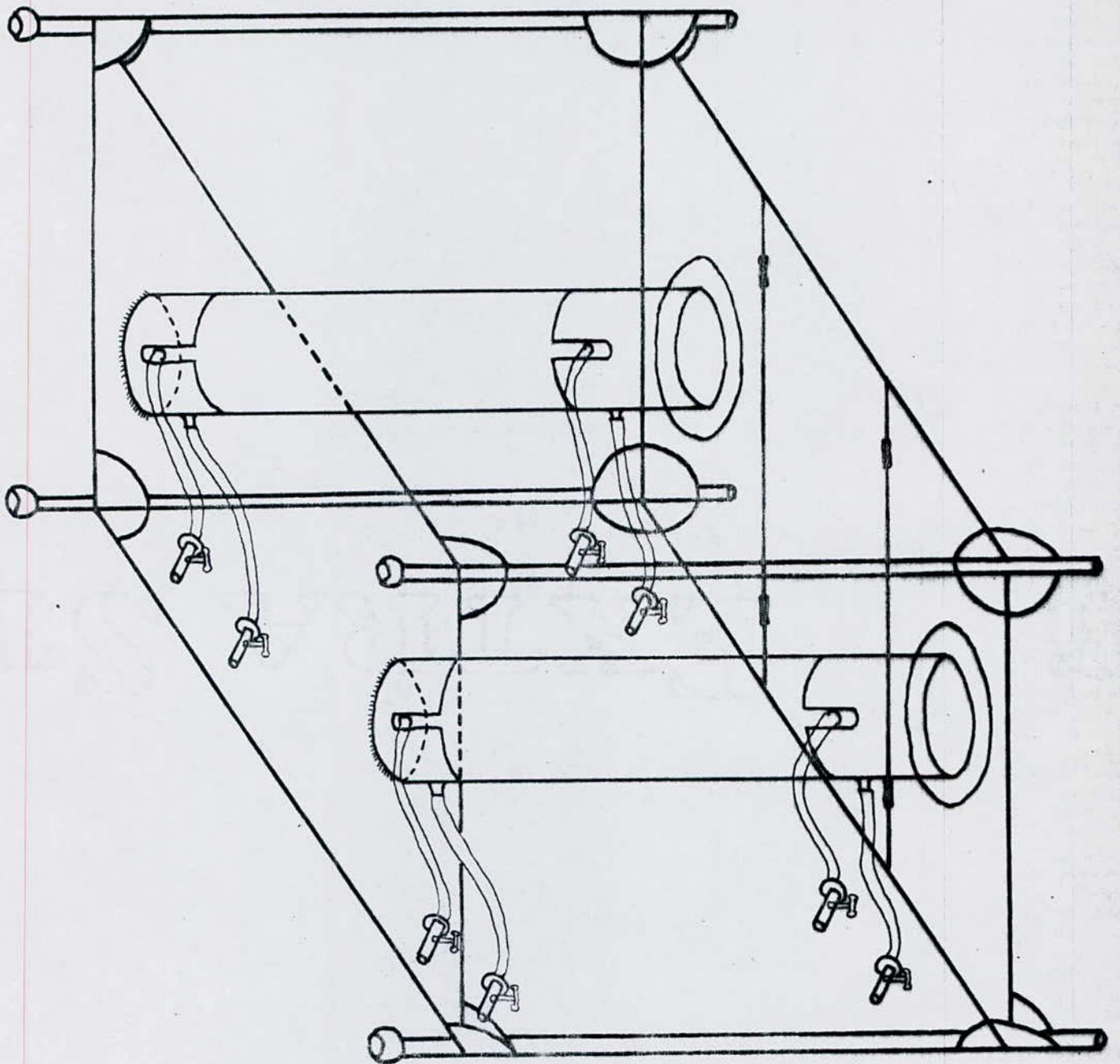
-----  
Total 2000,00 DA.

Un tel prix est négligeable comparé aux prix des machines et appareils pouvant être détériorés par le phénomène d'entartrage .

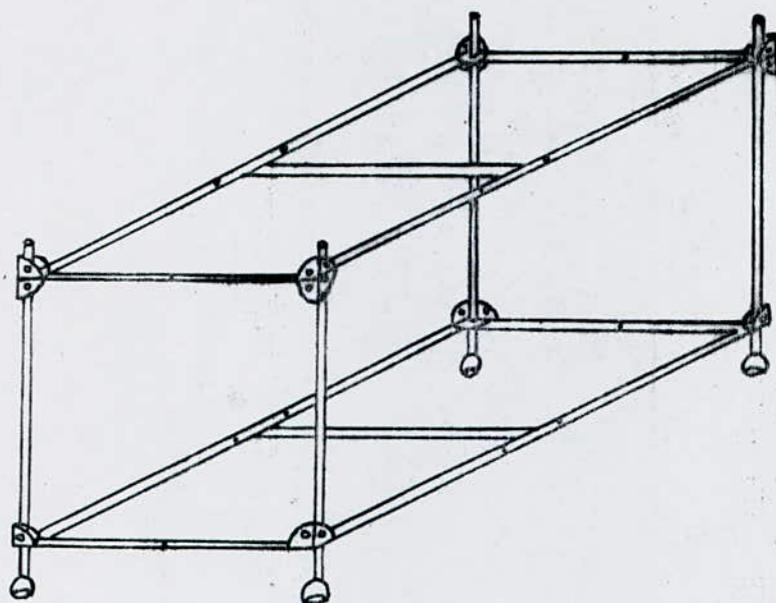
\* Fonctionnement.

Le système est composé de deux colonnes indépendantes. L'une est en fonctionnement pendant que l'autre est en régénération. Chaque colonne pouvant alimenter deux appareils à la fois (voir croquis.).

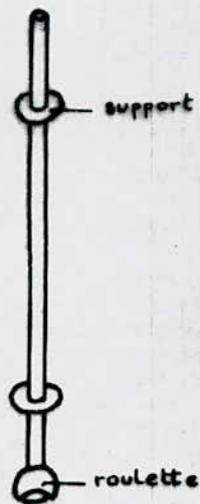
Pour l'adoucissement, l'alimentation en eau se fait par la partie supérieure, alors que le sens est inversé pour la régénération, afin de permettre un détassement de la résine et éliminer d'éventuelles impuretés ayant pu s'incruster, une grille très fine est placée à chaque extrémité de la colonne, évitant ainsi toute fuite de résine.



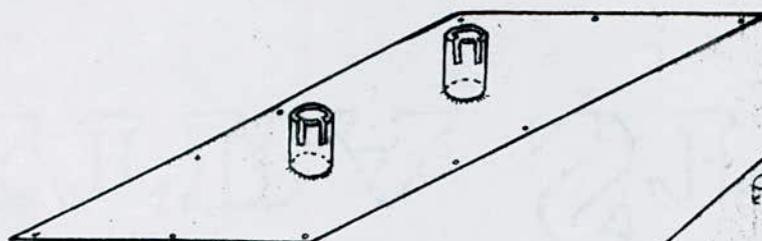
Croqui du système d'adoucissement



L'armature métallique avant le montage

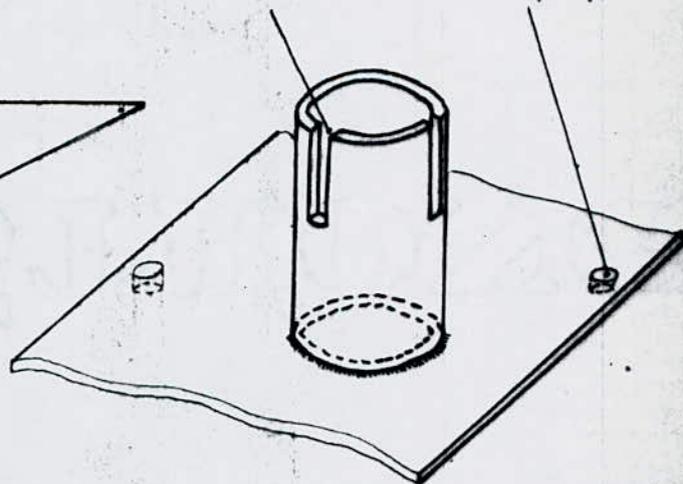


un des quatre montants

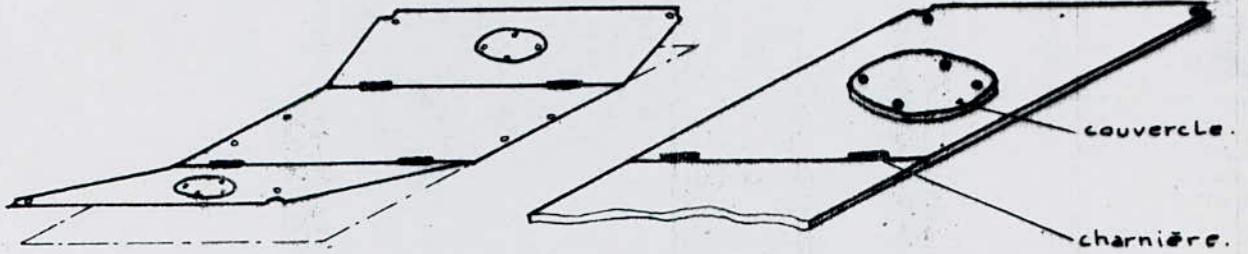


La plaque du bas

encoche d'arret rotation de la colonne      trou de fixation de la plaque

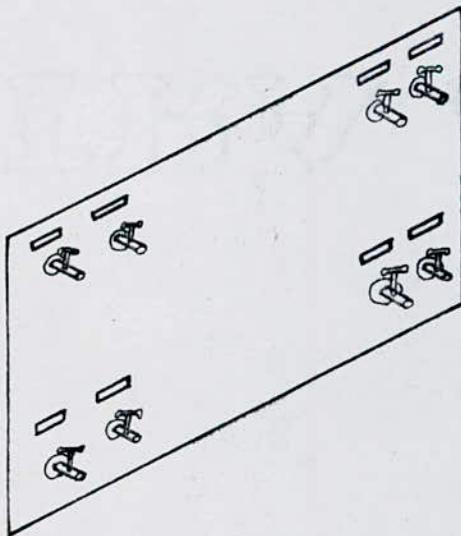


Détail du cylindre positionneur de la colonne.

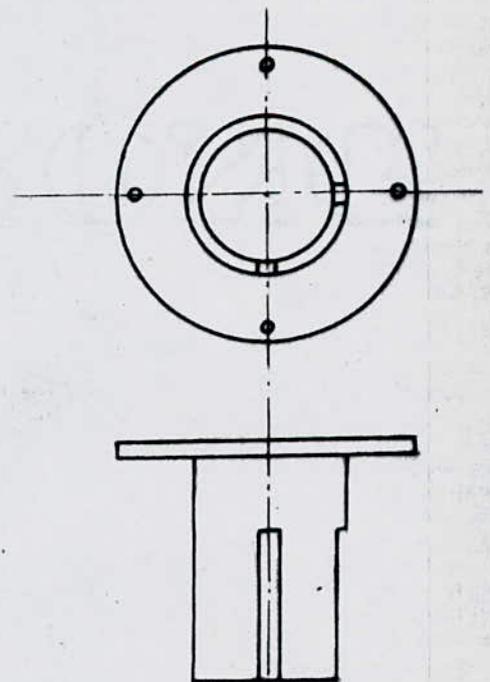


Montage des plaques du haut

Détail d'une des plaques ouvrantes



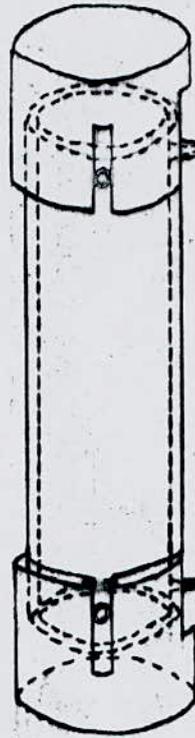
Plaque de côté



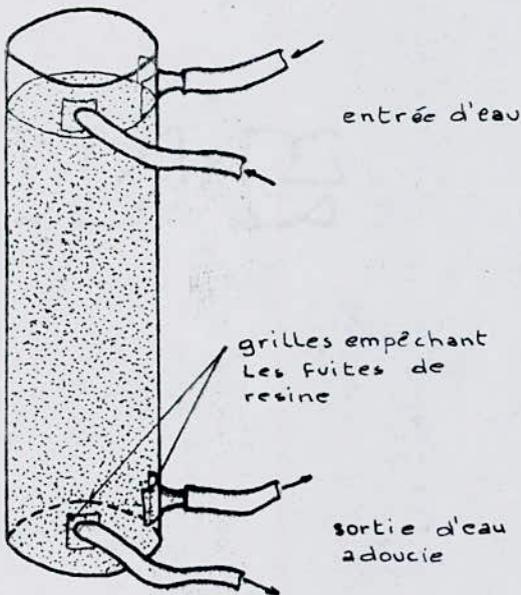
Détail du couvercle



La colonne seule



La colonne montée sur les cylindres



La colonne en fonctionnement

**ANNEXE N° 1.**

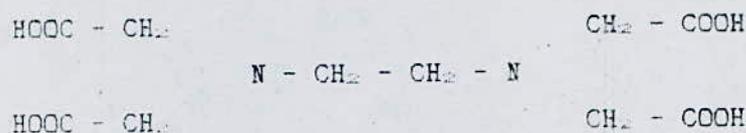
Principe des méthodes d'analyses.

Pour les différentes analyses nous avons effectué quatre méthodes qui sont:

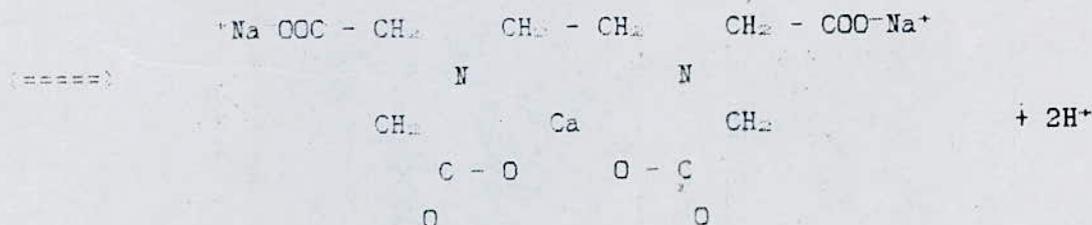
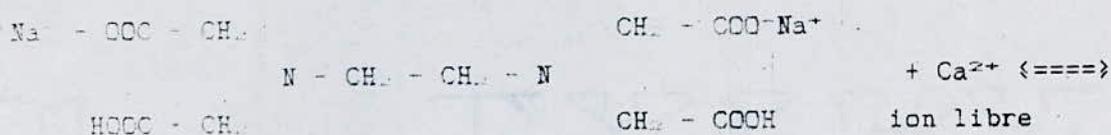
- La méthode complexométrique.
- La méthode volumétrique.
- La méthode gravimétrique.
- La méthode par absorption atomique.

1) Méthode complexométrique.

L'agent complexant ou sequestrant utilisé est l'acide éthylène - diamine tétraacétique (EDTA) qui conduit à des complexes particulièrement stables:



L'EDTA complexe quantitativement de nombreux métaux, en particulier  $\text{Ca}^{2+}$  et  $\text{Mg}^{2+}$ . Une liaison de coordinance s'établit entre le métal et chaque atome d'azote et il se forme un complexe cyclique.



- La position de cet équilibre étant fonction du pH, celui-ci doit être fixé par addition d'une solution tampon.

- Les indicateurs colorés utilisés sont des indicateurs d'ions permettant de suivre la concentration d'ions métalliques libres en solution ( ce sont généralement des composés organiques qui donnent, avec des ions, un complexe moins stable que le complexe ion métallique-EDTA).

Pour le dosage du magnésium on a utilisé le noir ériochrome T (NET) et pour le calcium de la calceine [TAR 24].

## 2) Analyse volumétrique.

L'analyse volumétrique possède un grand avantage en ce qui concerne la rapidité d'exécution.

L'accélération du dosage est obtenue, car on mesure le volume de la solution de réactif utilisé, dont la concentration est exactement connue.

Lors de l'analyse, on verse la solution titrée de réactif dans une burette et on verse peu à peu le réactif dans la solution étudiée, jusqu'à ce que, de quelques manières, on détermine que la quantité de réactif utilisé est équivalente à la quantité de corps à doser. [ALE 3].

## 3) Méthode gravimétrique.

Le dosage par gravimétrie consiste d'abord à additionner un réactif convenable, former un de ses dérivés insolubles, ensuite filtrer, rincer, sécher et peser le précipité obtenu; on peut alors déduire de cette masse la concentration de l'élément à doser en solution.

Cette méthode d'analyse est de moins en moins utilisée à cause de la difficulté qu'on éprouve à isoler et à purifier un précipité. [TAR 24]

#### 4) Absorption atomique.

Pour les éléments présents en faibles concentrations ou à l'état de traces, on utilise l'absorption atomique.

On fournit à l'atome (non excité) exactement la radiation qu'il est capable d'absorber (exemple CA,  $\lambda = 422,7 \text{ nm}$ ). Cette radiation est émise par une source externe avec une intensité  $I_0$  déterminée. En traversant la flamme, elle est partiellement absorbée par l'élément et son intensité diminue d'autant plus que la concentration de cet élément est plus grande. La flamme ne sert donc ici qu'à dissocier les combinaisons chimiques et à vaporiser l'élément sous forme atomique. Elle est généralement moins chaude et alimentée par un mélange acétylène-air .

**ANNEXE N° 2.**

Quelques vocabulaires des résines.

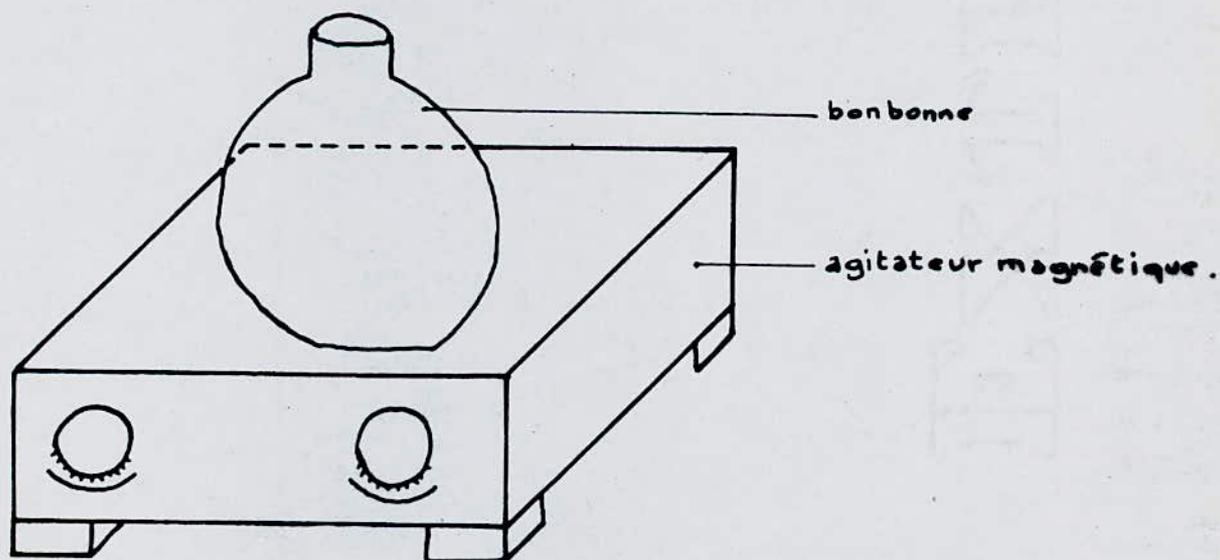
Il nous est apparu utile de définir quelques termes propres aux résines échangeuses d'ions, afin d'éclaircir le lecteur quand à leur significations réelles.

1) La régénération.

La régénération consiste à "débarasser" la résine saturée d'ions accumulés lors du phénomène d'échange résine-solution, et lui redonner ainsi son activité première. La régénération peut se faire de deux manières différentes.

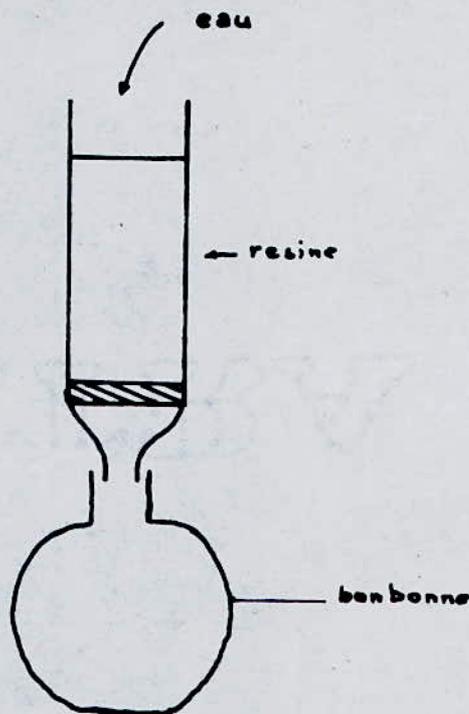
Statiquement.

Cela consiste à mettre la résine dans un ballon, en contact de la solution saline régénératrice, dans des proportions bien définies (en général deux volumes de NaCl pour un volume de résine saturée de forme Na) puis agiter la solution pendant 24h à l'aide d'un agitateur magnétique.



Dynamiquement.

Cela consiste à faire percoler une solution de NaCl à travers un lit de résine contenue dans une colonne à raison d'un débit de 10 ml/mn environ, afin que toutes les particules de la résine soient inhibées.



## 2) Fuite ionique.

Comme toutes les réactions chimiques, les réactions d'échange d'ions ne sont jamais instantanées, ni totales.

Après passage à travers un lit de résine, l'eau traitée contient des traces plus ou moins faibles de dureté non fixée dite "fuite ionique". Cette fuite ionique est fonction de:

- La vitesse de passage de l'eau à travers la résine.
- La hauteur de la couche de la résine.
- La salinité totale et de la teneur en sodium de l'eau à traiter.
- La répartition du flux d'eau à traiter sur l'ensemble du lit de résine.
- Du taux de régénération (masse de sel utilisé par litre de résine lors de la régénération).

3) Empoisonnement.

L'empoisonnement se manifeste sous l'effet de l'incubation des billes par des impuretés contenues de façon régulière ou accidentelle dans l'eau dure à traiter, les éléments principaux responsables sont:

- Les sels de fer et de manganèse qui s'oxydent et précipitent sur la résine sous forme d'hydroxyde insoluble, très peu éliminé lors de la régénération.
- Les matières organiques.
- Les argiles.

**ANNEXE N° 3.**

Caractéristiques et propriétés  
des résines Duolite A102 D et  
Duolite A368 PR.

(Résines utilisées à la SNVI-CVI)

DUOLITE A102 D.

La Duolite A102 D est un échangeur d'anions fortement basique, du type 2, principalement utilisée pour la déminéralisation de l'eau.

Elle se caractérise par une forte capacité d'échange, une excellente stabilité, une grande facilité de régénération qui se traduit par une réduction des frais d'investissement et des frais de fonctionnement.

La porosité de la Duolite A102 D, due à une réticulation homogène selon un procédé non conventionnel et breveté, lui confère une grande résistance à l'empoisonnement par les matières organiques.

Propriétés:

- Squelette polystyrénique.
- Groupements fonctionnels Ammonium quaternaire, type 2
- Aspect billes couleur jaune paille.
- Densité réelle 1,10 forme Cl.
- Densité apparente à l'expédition environ 760 g/l.
- Granulométrie 0,3 à 1,2 mm.
- Humidité 45 à 50 %.
- Forme ionique à la livraison chlorure.
- Capacité d'échange totale 1,3 eq/l minimum (forme Cl).
- Variation de volume Cl → OH + 6 %.
- Zone de pH toléré 0 à 14.
- Température max. tolérée 35 °C sous forme Oh, 75 °C sous forme CL et SO<sub>4</sub>
- Résistance chimique insoluble dans les acides, bases et solvants.

DUOLITE A368 PR.

La Duolite A368 PR est une résine échangeuse d'anions moyennement basique à structure polystyrénique macroporeuse.

Elle se caractérise par une excellente résistance mécanique, une stabilité chimique et thermique, une grande vitesse d'échange, une capacité d'échange utile satisfaisante dans la majorité des cas, et, un excellent comportement à l'égard des matières organiques.

Propriétés:

• Squelette	polystyrénique macroporeux.
• Groupements fonctionnels	$N(R)_2 =$ environ 85.
• Aspect	billes, couleur jaune pâle.
• Densité réelle	1,03 (OH); 1,05 (Cl).
• Masse volumique	environ 700 g/l.
• Variation du volume maximum	forme OH $\rightarrow$ forme Cl = + 40 %.
• Humidité	environ 50 % (forme OH).
• Capacité d'échange totale	1,3 eq/l.
• granulométrie	0,3 à 1,2 mm.
• Taille effective	0,4 à 0,48 mm.
• Coefficient d'uniformité	environ 1,58.
• Températures maximum tolérées	40 °C; 100 °C.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES.

LIVRES:

- [ARD 11] T.V. ARDEN et F. DARDEL,  
Technique de l'ingénieur (J. 2860).  
Opérations chimiques unitaires-échanges d'ions.
- [ARD 21] T.V. ARDEN,  
Information chimie, N° 143.
- [ALE 31] V. ALEXEEN,  
Analyse quantitative, 3<sup>e</sup> édition (Moscou 1980).
- [ARR 41] R. ARRUS,  
L'eau en Algérie, O.P.U. (1985).
- [AUST 51] AUSTERWEL.  
Echange d'ions et les échangeurs, principe et  
applications, (Paris 1955).
- [BEN 61] C. BENEZECH,  
L'eau, base structurale et fonctionnelle des êtres vivants  
(Paris 1962).
- [CLA 71] E. CLAUDEL,  
Catalyse au laboratoire et dans l'industrie.
- [COI 81] L. COIN,  
La pratique de l'eau; usages domestiques, collectifs et  
industriels, édition Moniteur (Paris 1981).
- [DEG 91] DEGREMONT,  
Memento technique de l'eau, 8<sup>e</sup> édition (1978).

- [DUP 101] A. DUPONT,  
Hydraulique urbaine, Tome I, 5<sup>e</sup> édition EYROLLES.
- [ECK 111] W. W. ECKENFELDER,  
Gestion des eaux usées, urbaines et industrielles  
Edition LAVOISIER (1982).
- [GER 121] L. GERMAIN, L. COLAS, J. ROUQUET,  
Traitement des eaux destinées à l'alimentation des  
chaudières à vapeur, aux circuits de refrigeration et aux  
réseaux de distribution d'eaux industrielles et potables.  
5<sup>e</sup> édition DUNOD.
- [GOL 131] H. GOLDSTEIN,  
Dureté de l'eau - composition des eaux d'Europe et  
d'Afrique - méthodes d'analyses - normes - traitement  
D'adoucissement. Tome III , édition CEBEDOC .
- [GOM 141] G. GOMELLA et H. GUERREE,  
Le traitement des eaux publiques, industrielles et privées  
2<sup>e</sup> édition (1978).
- [HIS 151] J. HISSEL,  
Chimie des eaux - la pratique du calcul des équilibres  
édition CEBEDOC.
- [LEC 161] E. LECLERC,  
Dureté des eaux - effet de la dureté des eaux dans le monde  
traitement d'adoucissement . Edition CEBEDOC (1959).
- [NIT 171] J. C. J. NITHOUL,  
Recherche et technique au service de l'environnement. Les  
modèles prédictionnels au service de la gestion de l'eau.  
Edition CEBEDOC.

- [POR 18] J. PORE,  
Les dispersions aqueuses, Dunod (1986).
- [RAM 19] F. RAMADE,  
Éléments d'écologie; écologie appliquée. (Paris 1982).
- [RAT 20] R. RATH,  
Technique de l'ingénieur (A 2070).  
propriétés physico-chimiques de l'eau.
- [RAT 21] R. RATH,  
Technique de l'ingénieur (A 2074),  
Equation par échange d'ions.
- [ROD 22] J. RODIER,  
Analyse de l'eau - eaux naturelles, résiduelles et eau de  
mer. 7<sup>e</sup> édition Dunod.
- [SAV 23] SAVIDAN,  
Les résines échangeuses d'ions.
- [TAR 24] M. TARDAT et J. P. BEAUDRY,  
Chimie des eaux.
- [THO 25] R. THOMAZEAU,  
Station d'épuration.
- [THO 26] J. THONON,  
Les résines artificielles .
- [TRE 27] TREMILLON,  
Les séparations par les résines échangeuses d'ions.  
Edition GAUTHIER - VILLARS (Paris 1965).

[WEI 281] R. WEINER,  
Equation des eaux résiduaires.  
Edition EYROLLES (Paris 1975)

THESES:

[BAO 291] Thèse de fin d'étude: Etude comparative du traitement par adoucissement et déminéralisation des eaux utilisées en laiterie.  
Etudiée par F. BAOUNIT.  
Promotion juin 1984, I.N.A. .

[BEN 301] Thèse de fin d'étude: Capacité d'une bentonite Algérienne à fixer l'uranium.  
Etudiée par M. BENADJI.  
Promotion Janvier 1984, ENPA.

[BEN 311] Thèse de fin d'étude: transfert de matière avec échange d'ions.  
Etudiée par M. BENATALLAH.  
Promotion 1984, ENPA.

[BRA 321] Thèse de fin d'étude: Traitement superficiel de verre par la méthode d'échange d'ions.  
Etudiée par M. BRADA,  
Promotion 1983, ANPA.

[DER 331] Thèse de fin d'étude: Contribution à l'adoucissement d'une eau saumâtre.  
Etudiée par M. DEROUCHE.  
Promotion 1981, ENPA.

- [HAM 34] Thèse en vue de l'obtention du diplôme de docteur ingénieur  
Texture et comportement catalytique des résines  
polystyrènes sulfonnées.  
Etudiée par F. HAMDI.  
Promotion Juin 1986, Toulouse.
- [MAM 35] Thèse de fin d'étude: Etude d'une bentonite à fixer le  
chrome.  
Etudiée par M. MAMANE.  
Promotion Janvier 1987, ENPA.
- [ZEB 36] Thèse de fin d'étude: Transfert de matière avec les  
échangeurs d'ions.  
Etudiée par S. ZEBOU DJ.  
Promotion Juin 1983, ENPA.

REVUES:

- [BAC 37] A. BACHELART,  
Conditions spéciales d'emploi et de comportement des  
résines dans les applications les plus courantes.  
Bulletin mensuel, CEBEDEAV N° 79, Mars 1959.
- [COU 38] COUSTEAU,  
Encyclopédie N° 1 à 20 Robert LAFFONT 1975.
- [JIP 39] A. JIPA et D. GEORGESCU.  
Etude techno-économique de la déminéralisation des eaux  
naturelles par les échangeurs d'ions.  
Tribune N° 260-261, Juillet-Août, 1965.
- [OMS 40] O.M.S.  
Compte rendu du séminaire sur les problèmes de santé posés  
par la rentabilisation des effluents traités.

Alger du 1-5 Juin 1980.

- [41] Environnement et pollution.  
Bulletin d'information techniques et industrielles  
bimestriel, vol. 9, N° 1,2,4,5, 1986.
- [DEG 42] Fascicule Dégagement, 1986.
- [ENT 43] ENTROPIE, N° 125, 126 . 1985.
- [ENC 44] Encyclopédies universalis, p. 81, Tome 9, 1980.



