

Document : [http://www.olympiades-chimie.fr/04\\_epreuves/habitat.htm](http://www.olympiades-chimie.fr/04_epreuves/habitat.htm)

## Annexe 1: Comment fonctionne un adoucisseur d'eau domestique ?

### ❖ Pourquoi adoucir l'eau ?

Une **eau dure** est une eau riche en ions calcium ( $\text{Ca}^{2+}$ ) et / ou magnésium ( $\text{Mg}^{2+}$ ). Elle ne présente aucun danger pour la santé et peut donc être consommée en tant qu'eau de boisson.

Mais elle peut être à l'origine de certains inconvénients tels que l'**entartrage** (dépôt de carbonate de calcium  $\text{CaCO}_3$  ou de carbonate de magnésium  $\text{MgCO}_3$ ) des appareils dans lesquels l'eau est chauffée (lave-linge, lave-vaisselle...) ou de traces sur des surfaces lavées (baignoires, lavabos, robinetterie). Utilisée lors de la toilette, elle peut être responsable d'une certaine sécheresse de la peau et des cheveux. D'autre part, le savon donne, en présence d'une eau dure, un précipité de carboxylate de calcium  $(\text{R-COO})_2\text{Ca}$  et/ou de magnésium  $(\text{R-COO})_2\text{Mg}$ , donc son pouvoir détergent sera réduit et le dépôt de ces précipités sur les textiles lors de la lessive rend le linge rêche.

La dureté d'une eau se mesure en **degré hydrotimétrique ( $^{\circ}\text{TH}$ )** : une eau est qualifiée de « douce » si son degré hydrotimétrique est inférieur à 12 ; elle est dite « dure » si son  $^{\circ}\text{TH}$  est supérieur à 12.

### ❖ Les résines échangeuses d'ions

#### Constitution

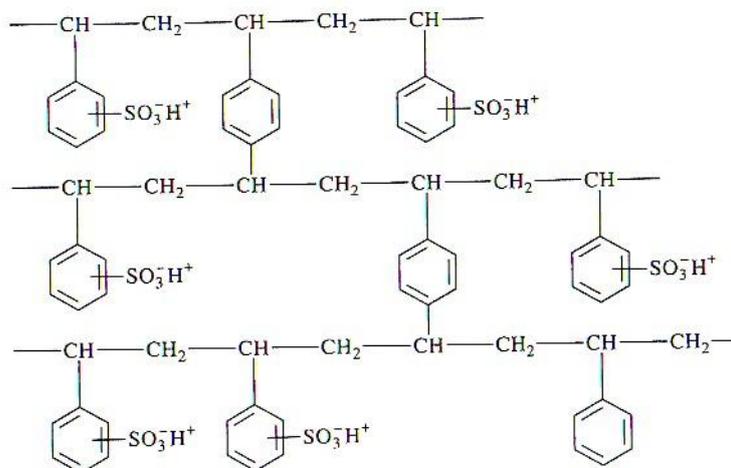
De nombreux adoucisseurs contiennent des **résines échangeuses d'ions**, et plus précisément des **résines échangeuses de cations** (ou **cationiques**). Une résine échangeuse d'ions est un solide insoluble, qui, au contact d'une solution, peut échanger les ions qu'il contient avec d'autres ions de même signe provenant de la solution. Cette propriété d'échanger les ions était reconnue depuis longtemps à des silico-aluminates naturels appelés « zéolithes » ; dans ces composés, des ions alcalins ou alcalino-terreux sont logés dans les interstices ou les cavités d'un réseau polymère anionique, et peuvent être échangés avec d'autres cations lors du contact avec une solution.

Le développement des polymères synthétiques, stables aussi bien vis-à-vis des acides et des bases que des oxydants et des réducteurs, a suscité l'apparition d'échangeurs d'ions artificiels de nature organique. Ils sont constitués d'un réseau macromoléculaire sur lequel sont fixés un très grand nombre de groupements actifs ionisables ; ces groupements portant des charges électriques, retiennent à leur voisinage, par attraction électrostatique, les ions de charges antagonistes qui sont susceptibles d'être échangés. Les résines les plus courantes sont des résines de polymérisation : par exemple, une résine de type polystyrène est un copolymère tridimensionnel formé de styrène et de divinylbenzène (cas des résines Amberlite IR-120 et IRA-400).



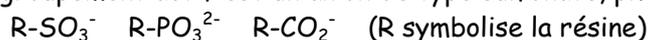
La vitesse des échanges doit être aussi rapide que possible, la résine doit donc être finement divisée afin de présenter une grande surface de contact avec la solution ; c'est sous forme de perles très fines que la plupart des échangeurs d'ions sont généralement utilisés.

Le groupe ionique est introduit dans les résines en général après polymérisation, en substituant un atome de carbone du noyau benzénique.



On distingue les résines cationiques pouvant échanger des cations et les résines anioniques échangeant des anions.

Dans les résines cationiques, le groupement actif est un anion de type sulfonate, phosphate ou carboxylate :



Les résines anioniques sont constituées de groupements ammonium quaternaire :



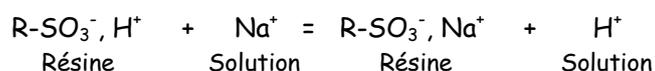
Toutes ces résines sont commercialisées sous forme d'acide, de base ou de sel suivant le type.

| <i>Exemples :</i>                                       |  | Capacité<br>d'échange |
|---|--|-----------------------|
| — Résine Amberlite IR-120 (H) :<br>(résine cationique)  | $R-SO_3H$<br>résine sous forme<br>acide                              | 5 eq/kg               |
| — Résine Amberlite IRA-400 (Cl) :<br>(résine anionique) | $R-NR'_3Cl$<br>(R' = radical alkyl)<br>résine sous forme<br>chlorure | 3                     |
| — Résine Amberlite IR-45 (OH) :<br>(résine anionique)   | $R-NHR'_2OH$<br>résine sous forme<br>basique                         | 5,5                   |

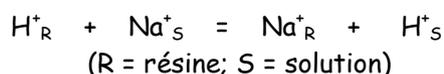
Une des caractéristiques des résines échangeuses d'ions est la capacité d'échange : c'est le nombre d'équivalents-g d'ions fixés sur 1 kg de résine sèche (ce qui correspond au nombre de moles de groupes actifs).

### Mécanisme de l'échange

Lorsqu'on plonge une résine gorgée d'eau dans une solution contenant des ions, ceux-ci traversent les mailles du réseau et diffusent jusqu'aux centres actifs ; par suite une quantité équivalente d'ions fixés initialement sur la résine passent dans la solution ; nous pouvons représenter ce phénomène réversible, dans le cas d'une résine cationique sous forme acide et d'une solution de chlorure de sodium (par exemple) par l'équation :



Soit:



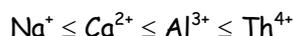
La constante d'équilibre associée à l'équation de cette réaction, à une température donnée, est:

$$K = \frac{[\text{Na}^+]_R \cdot [\text{H}^+]_S}{[\text{Na}^+]_S \cdot [\text{H}^+]_R}$$

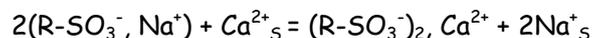
K est une grandeur caractéristique de la réaction, dépendant de la température, sans dimension.

Si K est élevée (supérieure à  $10^4$ ), on peut considérer que la réaction est totale, si bien que les ions  $\text{Na}^+$  sont remplacés quantitativement par des ions  $\text{H}^+$  dans la solution.

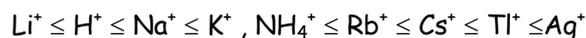
L'équilibre dépend de l'affinité des ions pour la résine ; cette affinité augmente avec la charge (pour des solutions diluées) :



Par exemple les ions calcium déplaceront les ions sodium de la résine suivant :



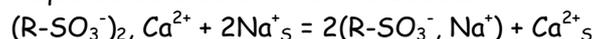
L'affinité augmente également avec le diamètre de l'ion solvaté :



Donc  $\text{Li}^+$  mis à part,  $\text{H}^+$  est donc déplacé de la résine par tous les cations.

### Régénération d'une résine

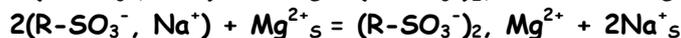
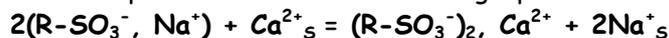
L'ion initialement présent dans la résine et qui a été échangé, peut être à nouveau fixé dans la résine en utilisant une solution concentrée de cet ion, ce qui a pour conséquence d'inverser le sens de l'équilibre d'échange. Par exemple, si l'on veut régénérer une résine cationique initialement sous forme sodique ayant fixé des ions calcium, on plongera la résine dans une solution aqueuse saturée en chlorure de sodium :



### ❖ Les adoucisseurs d'eau domestiques

#### Principe de fonctionnement

L'adoucissement d'une eau consiste à remplacer ses cations  $\text{Ca}^{2+}$  et  $\text{Mg}^{2+}$  par des ions sodium  $\text{Na}^+$  :



Les ions sodium, contrairement aux ions calcium et magnésium, ne provoquent pas l'entartrage des canalisations.

#### Caractéristiques



Un adoucisseur domestique contient un compartiment contenant la résine, un bac à sel (chlorure de sodium sous forme de sel de cuisine), ainsi qu'un système de vannes régulant la circulation de l'eau.

#### **Encombrement**

L'appareil et le bac à sel sont en général des cylindres entre 20 et 50 cm selon la capacité.  
de hauteur de l'ordre de 1 m, et de diamètre variant

### Coût

Le prix d'achat varie de 900 à 4000 euros, auquel il faut ajouter environ 200 euros pour l'installation par un installateur agréé, sans compter les aménagements éventuels du réseau de distribution d'eau de la maison que cette installation pourrait nécessiter.

Il faut tenir compte d'une augmentation de la consommation moyenne d'eau après l'installation (environ 10%), due aux rinçages de la résine, ainsi que du coût du contrat annuel d'entretien.

### Régénération de la résine

Lorsque tous les ions sodium de la résine ont été échangés, la résine ne peut reprendre son rôle qu'après avoir été régénérée. La régénération de la résine par une solution aqueuse saturée en sel peut être programmée. Deux types de programmation existent : la régénération volumétrique se fait automatiquement dès qu'un volume d'eau maximal (préétabli lors de la programmation) est passé sur la résine ; la régénération chronométrique se fait automatiquement à intervalles de temps réguliers (entre 1 et 12 jours) sans tenir compte de la consommation en eau.

### Inconvénients liés à l'utilisation d'un adoucisseur domestique

Le principal inconvénient de l'adoucisseur est l'enrichissement de l'eau en sodium surtout pour celle qui en contient déjà naturellement en quantité notable. De telles eaux adoucies peuvent nuire aux personnes souffrant d'hypertension, de problèmes cardiaques, aux femmes enceintes, aux nourrissons et à toutes les personnes soumises à un régime sans sel.

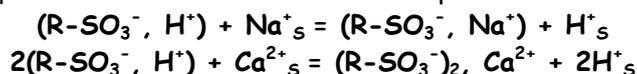
D'autre part, une eau contenant trop d'ions sodium peut accroître la corrosion de la tuyauterie domestique.

Il est donc fortement conseillé de n'adoucir que les circuits alimentant les équipements où l'eau est chauffée (salle de bains, chauffe-eau, lave-linge, lave-vaisselle), et de consommer en tant qu'eau de boisson de l'eau non adoucie.

Il peut également apparaître des problèmes de prolifération bactérienne sur les résines. Un bon entretien de l'adoucisseur domestique (nettoyage et désinfection deux fois par an) permet de limiter la prolifération des bactéries.

### ❖ Déminéralisation d'une eau minérale sur résine échangeuse d'ions

Les eaux minérales sont riches en cations tels que  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ ... Déminéraliser ces eaux consiste à supprimer ces ions en les fixant sur la résine, qui cède alors des ions  $\text{H}^+$ . Par exemple :



Notons qu'un cation possédant 2 charges positives se fixe sur deux sites de la résine et libère 2 ions  $\text{H}^+$ .

### Bibliographie et sites Internet

*Chimie inorganique et générale* F.Brénon-Audat, F.Rafflegeau, D.PrévotEAU

*Chimie Analytique* Skoog, West, Holler

*Chimie Term S* Hachette

*Encyclopédie Universalis*

BUP

<http://www.sdea.fr>

<http://www.cile.be>

<http://www.ac-nancy-metz.fr/enseign/physique/CHIM/Chromato01/chromato1.htm>