



Mini-mémoire fin de cycle présenté en vue de l'obtention du diplôme de

LICENCE ACADEMIQUE

Génie des procédés

Thème

L'échange d'ions

Présenté par:

• BIA HOUDA

• HAMIDATOU MEDHA

Encadré par:

LAMI NASSIMA

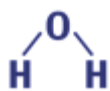
Année Universitaire 2013/2014

Introduction

L'échange d'ions est une technologie puissante, bien que peu connue du grand public. Cette page de vulgarisation tente de décrire l'échange d'ions en termes simples, pour les non spécialistes.

Quand mes amis me demandent quelle est mon activité professionnelle, je réponds : "L'échange d'ions" La plupart d'entre eux n'ont aucune idée de ce que c'est. Pourtant en Europe de l'ouest, la majorité des foyers ont un ou deux appareils qui contiennent des résines échangeuses d'ions. Je leur demande alors : "Pourquoi mettez-vous du sel dans votre lave-vaisselle ?" Peu d'entre eux connaissent la réponse. Si vous êtes dans ce cas, vous la découvrirez plus bas.

L'eau



L'eau est simple en apparence : c'est un liquide fait de molécules d'eau (formule H_2O). Vous savez cependant que cette simplicité apparente est trompeuse, et que la réalité est plus complexe. Sinon, pourquoi croyez-vous que les vendeurs d'eau en bouteille feraient de telle publicité autour de sa minéralisation ?

Toutes les eaux naturelles contiennent des substances étrangères, généralement en faible concentration. L'eau de la rivière, une eau de forage, l'eau de votre robinet n'est pas juste H_2O , elle contient aussi, en petites quantités :

- Des substances solides, insolubles, comme du sable ou des débris végétaux. En principe, vous pouvez les filtrer.
- Des substances solubles, que vous ne voyez pas la plupart du temps et que l'on ne peut pas filtrer. Ces substances peuvent être d'origine minérale ou organique, elles peuvent être **ionisées** (chargées électriquement) ou non.

Les substances solubles **non ionisées** existent dans l'eau sous forme de **molécules** de taille et de formule variable, par exemple :

- Le gaz carbonique (les bulles de votre Perrier) est une petite molécule avec une formule simple : CO_2 .
- Le sucre (saccharose) est une molécule plus grande avec une formule compliquée, abrégée en $\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}$. Voulez-vous voir la formule développée en trois dimensions ? Les sucres ne sont cependant pas fixés sur des résines échangeuses d'ions.

Si vous voulez éliminer de l'eau ces substances étrangères, vous pouvez utiliser l'échange d'ions pour celles qui sont **ionisées** ou ionisables.

Ions

Les matières solubles **ionisées** dissoutes dans l'eau sont présentes sous forme d'**ions**, qui sont des atomes ou des molécules chargées électriquement. Les ions de charge positive sont appelés **cations**, et ceux de charge négative sont appelés **anions**. Comme l'eau est électriquement neutre globalement — sinon vous recevriez un choc

électrique en y plongeant la main — le nombre de charges positives et de charges négatives est exactement le même.

Les ions peuvent avoir une ou plusieurs charges, le plus souvent entre 1 et 3. Les ions peuvent être constitués d'un seul atome (ions monoatomiques), ou de plusieurs atomes attachés ensemble, comme les molécules (ions polyatomiques).

Exemples :

- Un cation monovalent monoatomique : l'ion sodium Na^+
- Un cation divalent monoatomique : l'ion calcium Ca^{++}
- Un cation monovalent polyatomique : l'ion ammonium NH_4^+
- Un anion monovalent monoatomique : l'ion chlorure Cl^-
- Un anion monovalent polyatomique : l'ion nitrate NO_3^-
- Un anion divalent polyatomique : l'ion carbonate $\text{CO}_3^{=}$
- Un autre anion divalent polyatomique (complexe métallique) : l'ion chromate $\text{CrO}_4^{=}$
- Le cation trivalent aluminium Al^{+++} n'existe que dans des solutions très acides, pas dans l'eau "normale".
- De même, il n'y a pas d'anions monoatomiques di ou trivalents dans l'eau.

Dans l'eau, les ions sont libres de se mouvoir, ils ne sont pas fixes, et ils ne sont pas attachés à des ions de charge opposée. Seule la **somme des charges** des cations et celle des anions est identique. Voir la figure 1 pour une représentation schématique des ions dans l'eau.

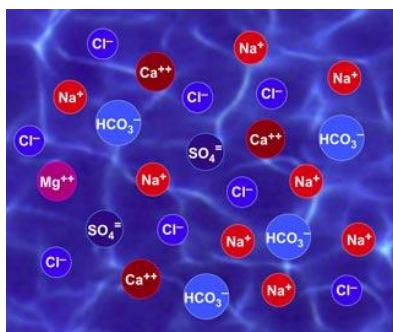


Figure 1 : Les ions dans l'eau ne sont pas attachés. La somme des charges est constante.

Les sels sont des substances cristallisées contenant une proportion fixe de cations et d'anions. Par exemple, le sel de table a exactement le même nombre de cations sodium (Na^+) et d'anions chlorure (Cl^-). Sa formule est NaCl . Quand vous dissolvez du sel dans de l'eau, ses cations et anions se déplacent librement comme dans la figure 1. Dans l'eau, les ions sont faiblement liés aux molécules d'eau. On dit qu'ils sont hydratés. Les cations sont attirés par l'atome d'oxygène O, les anions par les atomes d'hydrogène H de la molécule d'eau H_2O , comme dans la figure 2.

Substance ionisée dissoute dans l'eau

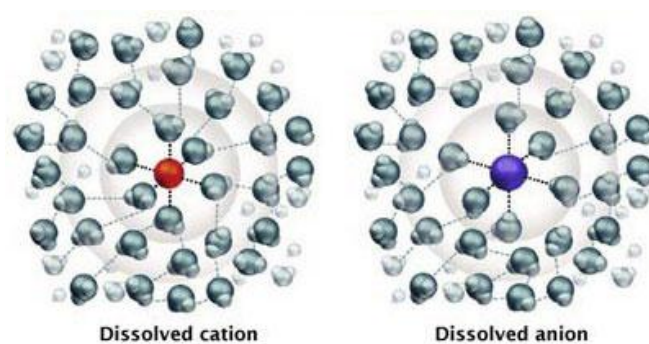


Figure 2 : Ions hydratés, ici Na^+ en rouge et Cl^- en bleu (sel de table NaCl)

Le sulfate de magnésium est un sel avec exactement le même nombre de cations magnésium (avec une charge double : Mg^{++}) et d'anions sulfate (également avec une charge double, SO_4^{--}). La formule de ce sel est donc MgSO_4 .

Le chlorure de calcium est fait d'ions calcium (avec 2 charges, Ca^{++}) et d'ions chlorure (avec 1 charge seulement, Cl^-). Il faut donc 2 anions chlorure pour équilibrer chaque cation calcium. La formule du chlorure de calcium est par conséquent CaCl_2 .

De façon analogue, le carbonate de sodium a des cations sodium Na^+ et des anions carbonate CO_3^{--} , et il vous faut donc deux ions sodium pour chaque carbonate, ce qui donne la formule Na_2CO_3 .

Quand vous faites bouillir de l'eau, si vous la laissez s'évaporer complètement, vous vous retrouvez avec un **résidu sec** qui est fait de sels et peut-être d'autres substances

comme de la silice ou des composés organiques. Seule l'eau de mer laissera une masse non négligeable de résidu sec, de 30 à 40 g par litre d'eau. Si c'est de l'eau de rivière ou du robinet, ce résidu sera très petit, de l'ordre de 50 à 500 mg/L. Il s'agit des **solides dissous totaux** (abréviation TDS en anglais).

Ces substances étrangères peuvent être éliminées par échange d'ions, à condition qu'elles soient dissoutes et ionisées. Voir des détails dans l'analyse d'eau et les unités de concentration en usage dans l'échange d'ions.

L'échange d'ions

Impuretés de l'eau

Comme nous l'avons vu, l'eau contient de faibles quantités de substances étrangères. Dans beaucoup de cas, ces substances ne causent aucun problème. Boire de l'eau contenant une certaine salinité est meilleur pour la santé que de l'eau ultra-pure. Pour certaines applications, en revanche, ces substances sont considérées comme des **impuretés** et doivent être éliminées.

Les substances insolubles (sable etc.) peuvent être enlevées par filtration. Il existe de nombreuses technologies de filtration, jusqu'à l'ultrafiltration qui peut éliminer des particules inférieures à un micron. Pour les substances solubles, d'autres techniques sont nécessaires

Les substances solubles ionisées peuvent être éliminées par échange d'ions.

Les résines échangeuses d'ions

Ce sont de minuscules billes de plastique, d'un diamètre d'environ 0,6 mm. Ces billes sont poreuses et contiennent de l'eau, invisible et inamovible. On mesure la teneur en eau et on l'exprime en "rétention d'humidité". La structure de la résine est un polymère (comme tous les plastiques) sur lequel un **ion fixe** a été fixé de façon permanente. Cet ion ne peut pas être enlevé ou remplacé : il fait partie de la structure. Pour préserver la neutralité électrique de la résine, chacun de ces ions fixes doit être neutralisé par un **contre-ion** de charge opposée. Ce contre-ion est mobile et peut sortir de la résine ou y entrer. La figure 3 représente schématiquement des billes

échangeuses de cations et d'anions. Les lignes grises représentent le squelette polymère de la résine : il est poreux et contient de l'eau. Les ions fixes de la bile échangeuse de cations sont des sulfonates (SO_3^-) attachés au squelette. Dans cette image, les ions mobiles sont des cations sodium (Na^+). Les résines échangeuses de cations, comme l'Amberjet 1000, sont souvent livrées sous forme sodium.

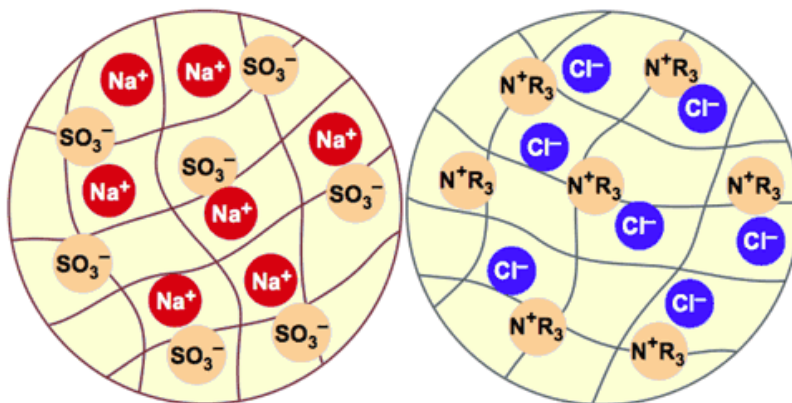


Figure 3 : Représentation schématisée de billes de résines échangeuses de cations et d'anions

La bille échangeuse d'anions a un squelette très semblable. Les groupes fonctionnels sont ici des ammoniums quaternaires, donc des cations, représentés par la formule N^+R_3 ; une formule plus précise serait $\text{CH}_2-\text{N}^+(\text{CH}_3)_3$. Les ions mobiles présents dans la bille d'échangeur d'anions sont ici des anions chlorure (Cl^-). La forme chlorure est également la forme de livraison de beaucoup d'échangeurs d'anions. Tout ion pénétrant dans la résine produit la sortie d'un ion de même charge pour préserver l'électroneutralité. C'est ce que l'on appelle **l'échange d'ions**. Seuls les ions de même signe sont échangés. On ne peut pas produire une résine qui échangerait à la fois les cations et les anions, car les cations fixes à l'intérieur de la bille neutraliseraient les anions fixes, et aucun échange avec le monde extérieur ne serait possible. Il faut donc fabriquer séparément les résines échangeuses de cations et les résines échangeuses d'anions.

Des détails sur la structure des résines sont donnés dans une page séparée (en anglais).

Adoucissement d'eau

Parmi les substances dissoutes dans l'eau, on trouve très fréquemment la **dureté**. La dureté est une expression familière qui représente principalement les sels de calcium et le magnésium présents dans l'eau. Dans certaines conditions, ces ions peuvent précipiter et former des dépôts, le “tartre” que vous aurez vu dans votre bouilloire et qui peut obstruer les conduites d'eau chaude et encrasser les chaudières. L'adoucissement de l'eau est l'élimination de cette dureté : les ions entartrants (Ca^{++} et Mg^{++}) sont échangés contre des ions qui ne forment pas de tartre, car ils sont beaucoup plus solubles : les ions sodium Na^+ .

Pour adoucir l'eau, vous prenez une résine échangeuse de cations dans laquelle les ions mobiles à l'intérieur de la résine sont du sodium (Na^+) et vous faites passer l'eau à travers une colonne remplie de cette résine sous forme sodium. Les ions Ca^{++} et Mg^{++} constituant la dureté passent de l'eau dans la résine, et chacun de ces ions divalents est remplacé dans l'eau par deux ions sodium qui quittent la résine. La réaction d'échange peut s'écrire :



La figure 4 illustre cette réaction : les billes de résine sont initialement chargées avec des ions sodium (Na^+). Comme on le voit schématiquement, chaque ion calcium ou magnésium qui pénètre dans la résine est remplacé par deux ions sodium qui en sortent. Les anions présents dans l'eau — qui ne sont pas représentés ici — ne peuvent pas entrer dans la résine, car ils seraient repoussés par les anions sulfonate fixes (SO_3^-) de la résine.

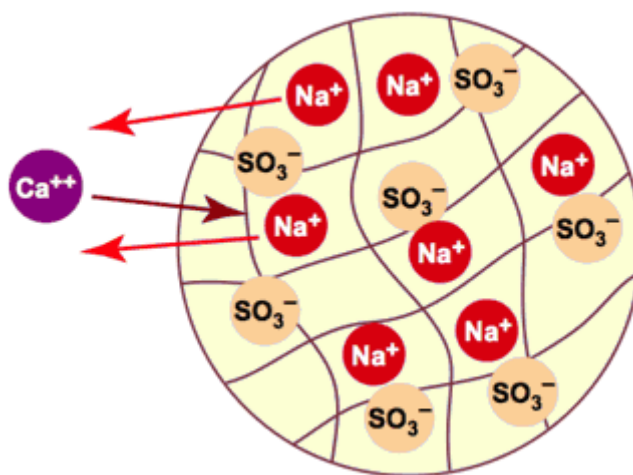


Figure 4 : Adoucissement (échange sodium) dans une bille de résine

Cet échange de cations ne peut avoir lieu de façon efficace que parce que la résine échangeuse de cations a une **affinité** plus grande pour les cations formant la dureté que pour le sodium. En termes simples la résine préfère le calcium et le magnésium au sodium. Le résultat de l'opération d'adoucissement n'est pas une élimination nette des ions “durs” de l'eau, mais simplement leur remplacement par des ions sodium.

Il est évident que cet échange n'est pas illimité : après un certain temps, la résine a enlevé tant d'ions calcium et magnésium de l'eau qu'il n'y a plus de place pour en accueillir d'autres. La phase dite d'**épuisement** (ou de saturation) est alors terminée, et il faut remplacer la résine par une charge neuve, ou la régénérer (voir plus bas).

Déminéralisation

Si vous remplacez tous les cations dissous dans l'eau par des ions H^+ et tous les anions par des ions OH^- , ceux-ci vont se recombiner pour former de nouvelles molécules d'eau. Pour y parvenir, il vous faut une résine échangeuse de cations sous la forme H et une résine échangeuse d'anions sous la forme OH. Tous les cations et anions de l'eau seront échangés, et le résultat net est une “disparition” complète des contaminants ionisés. La réaction d'échange de cations sera :



Dans ces équations, R' représente la résine échangeuse de cations. L'échange est illustré dans la figure 5. La résine est initialement sous forme hydrogène (H⁺). Les anions ne sont pas montrés dans cette illustration. Vous voyez qu'un ion calcium Ca⁺⁺ pénétrant dans la résine cause la sortie de deux ions H⁺, tandis qu'un ion Na⁺ est échangé contre un ion H⁺.

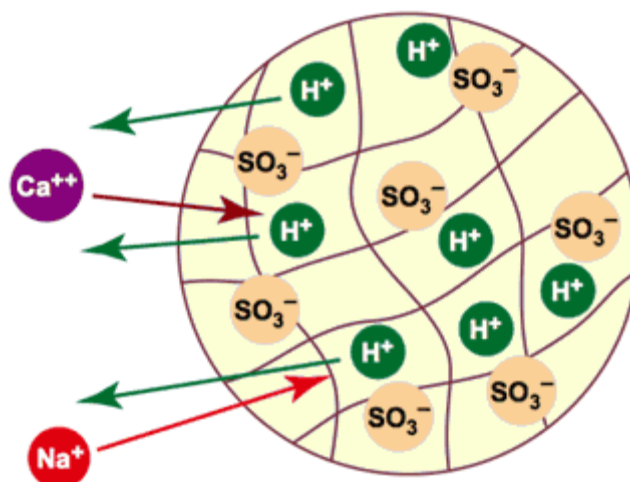


Figure 5 : Décationisation (tous les cations sont remplacés par H⁺).

De la même façon, une résine échangeuse d'anions sous forme OH⁻ peut éliminer tous les anions :



où R'' représente la résine échangeuse d'anions. Tous les anions sont remplacés par des ions hydroxyde (OH⁻). Il n'y a pas ici d'illustration de cet échange d'anions, car il est en tout point semblable à l'échange de cations illustré par la figure 5.

À la fin du processus d'échange, les billes de résine ont fixé tous les cations et anions présents dans l'eau et les ont remplacés par des ions H⁺ et OH⁻ ions. Les résines sont presque entièrement saturées (fig. 6).

Ces ions H⁺ et OH⁻ se recombinent instantanément pour créer de nouvelles molécules d'eau :



Les contaminants ionisés ont été fixés sur les deux résines (Na, Ca et Mg sur l'échangeur de cations, Cl, SO₄ et HCO₃ sur l'échangeur d'anions) et l'eau a été **complètement déminéralisée**. Sa salinité est réduite à presque rien, quelques ions qui ont pu s'échapper des colonnes de résine, et que l'on appelle **fuite ionique**.

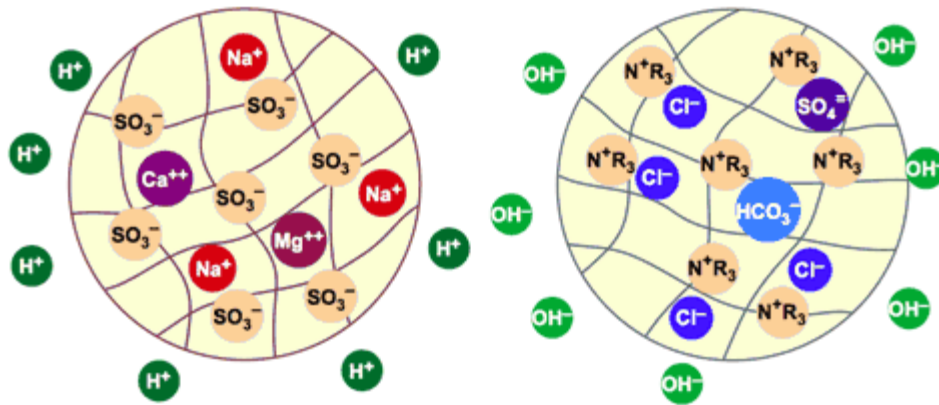


Figure 6 : Les billes de résine sont saturées.

Des ions H⁺ et OH⁻ ont été relâchés dans l'eau.

La déminéralisation peut donc être schématisée dans l'image suivante :

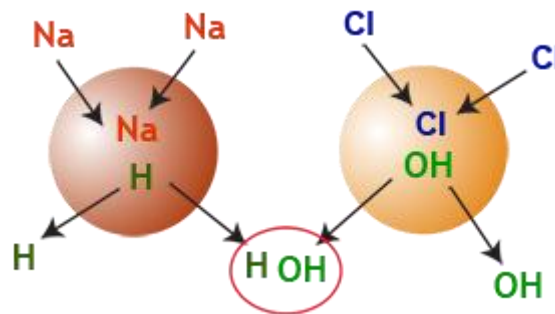


Figure 7 : La déminéralisation en une seule image !

Régénération

Une fois les résines saturées, on peut les remettre sous leur forme initiale et renouveler l'opération d'échange. L'échange d'ions est donc un procédé **cyclique**, et non continu. La régénération des résines se fait selon des réactions inverses de celles montrées précédemment.

Régénération d'un adoucisseur

La résine d'adoucissement est régénérée avec des ions sodium (Na^+) fournis par une solution de chlorure de sodium (NaCl , ou sel commun). La réaction de régénération est :



La régénération ne peut se faire que quand la concentration du régénérant est élevée, typiquement 1000 fois plus haute que la concentration dans de l'eau normale. Par exemple, le sel est utilisé dans une saumure à une concentration de 10 % (environ 100 g/L) pour régénérer un adoucisseur.

Vous avez maintenant compris pourquoi vous mettiez du sel dans votre lave-vaisselle : le sel dilué dans de l'eau régénère la résine contenue dans la cartouche d'adoucissement, habituellement invisible et située dans le bas de la machine.

Régénération d'un déminéraliseur

Pour la déminéralisation, des acides forts comme l'acide chlorhydrique (HCl) ou l'acide sulfurique (H_2SO_4) sont entièrement dissociés en solution et peuvent fournir les ions H^+ nécessaires au remplacement des ions fixés pendant l'épuisement de la résine et qui sont maintenant dans celle-ci :



De même, des bases fortes — en pratique on utilise toujours la soude caustique NaOH — peuvent fournir les ions OH^- pour remplacer les anions fixés sur la résine :



Comme on le voit sur ces réactions de régénération, cette étape produit des effluents salins. C'est le principal inconvénient de l'échange d'ions.

Voir une autre page sur les procédés de régénération à co-courant et à contre-courant.

À quoi ressemble une résine

Cliquer sur les images



Échantillon d'Amberlite™

FPC23



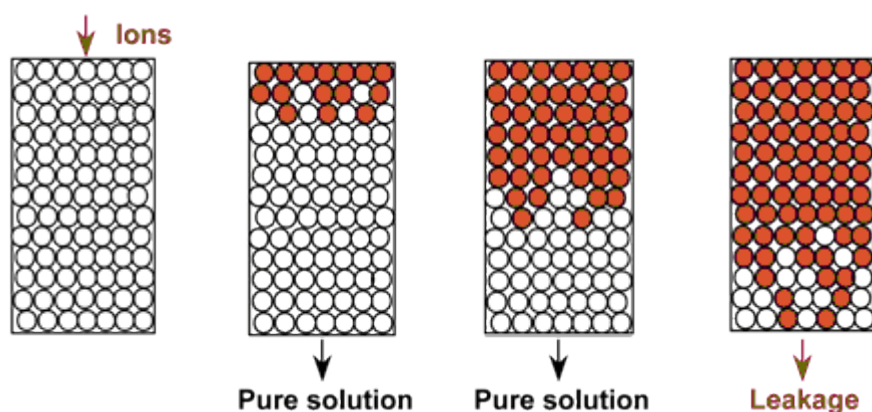
Résines pour lits mélangés



Amberjet™ 4400

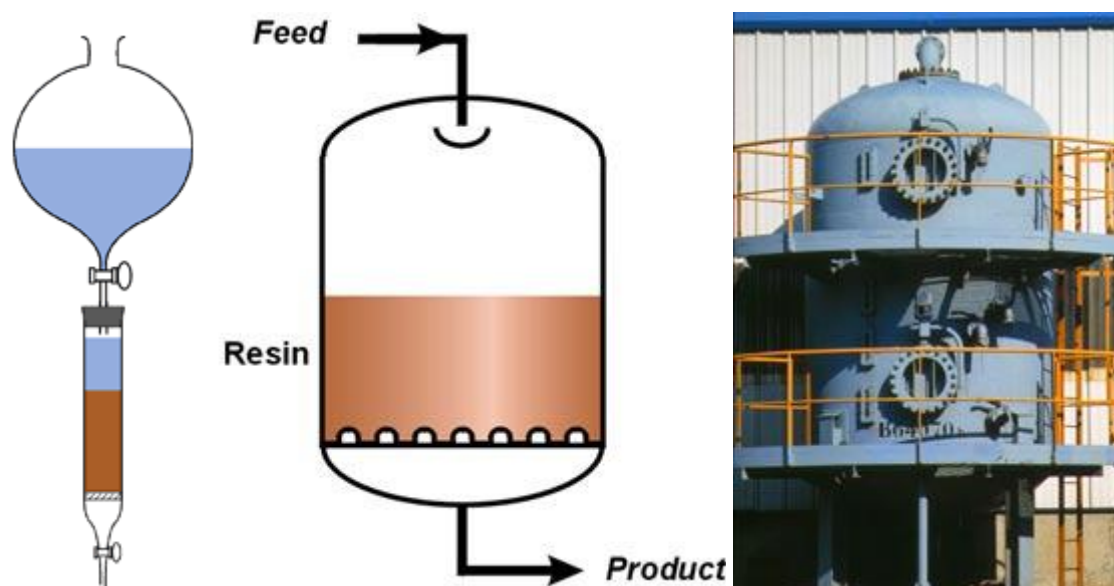
Voir aussi d'autres images de résines sur une page séparée.

Exploitation en colonnes



Tant au laboratoire que dans des installations industrielles, les résines échangeuses d'ions sont utilisées en colonne. L'eau ou la solution à traiter passe à travers la résine. Sur l'illustration de droite, on voit la résine fraîche, puis chargée peu à peu avec les ions en provenance de la solution à traiter. Des ions initialement sur la résine — que l'on ne voit pas ici — sont relargués dans la solution traitée. À la fin de l'opération, quelques-uns de ces ions “foncés” s'échappent dans la solution traitée (apparition de la fuite ou percement), et l'on arrête la phase d'épuisement.

Les images suivantes montrent une colonne de laboratoire, une colonne industrielle schématisée et une installation industrielle de type Amberpack™.



Au
laboratoire

Colonne industrielle

Un Amberpack™

La carafe du début de cette page contient un petit filtre rempli de charbon actif et de résine échangeuse d'ions. La quantité de résine est d'environ 150 ml. À titre de comparaison, une colonne industrielle de grande taille peut contenir 20'000 L de résine, parfois davantage.

Capacité d'échange

Capacité totale :

Le nombre de groupes actifs, ou groupes fonctionnels, constitue la capacité totale de la résine. Comme il y a des milliards de groupes dans une seule bille de résine, la capacité est habituellement exprimée en **équivalents par litre** de résine. Un équivalent correspond à $6,02 \times 10^{23}$ groupes actifs. Vous n'avez pas besoin de retenir ce chiffre, appelé nombre d'Avogadro.

Une résine échangeuse de cations fortement acide typique a une capacité totale de 1,8 à 2,2 eq/L .

Une résine échangeuse de cations faiblement acide typique a une capacité totale de 3,7 à 4,5 eq/L .

Une résine échangeuse d'anions fortement ou faiblement basique a une capacité totale de 1,1 à 1,4 eq/L

Capacité utile :

Dans l'illustration de l'exploitation en colonne du paragraphe précédent, la résine est totalement régénérée en début de cycle, mais n'est pas complètement saturée à l'arrêt de la phase d'épuisement. La définition de la capacité utile, ou capacité opératoire, est la différence entre les sites régénérés au début et à la fin de la phase d'exploitation. Elle est aussi exprimée en équivalents par litre.

En exploitation, la capacité utile de la résine s'élève à environ la moitié de sa capacité totale. La fourchette habituelle est de 40 à 70 % de la capacité totale, en fonction des conditions opératoires. Voir d'autres détails dans une page séparée.



C'est le **nombre** d'ions et leur **charge** (une, deux ou trois charges par ion), et non leur masse, qui est important pour l'échange d'ions. En conséquence, toutes les analyses d'eau doivent être présentées pour avoir les masses (concentrations en mg/L) converties en équivalents (meq/L).

Pourquoi exprime-t-on la quantité de résine en volume et non en poids ?

Pour le dimensionnement d'une colonne d'échange d'ions, c'est le volume de résine qui est important, et non sa masse. Les résines échangeuses d'ions ont des densités différentes (voir la page en anglais sur les propriétés des résines, par conséquent les résines sont vendues par unité de volume (en litres ou en mètres cubes). Beaucoup des propriétés des résines sont aussi exprimées par rapport au volume.

Qualité de l'eau traitée

Dans une déminéralisation typique, la qualité de l'eau traitée exprimée en conductivité est inférieure à 1 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Si l'on considère que l'eau d'une rivière ou d'un puits a une conductivité dans la fourchette de 100 à plus de 1000 $\mu\text{S}/\text{cm}$, l'efficacité de l'échange d'ions varie entre 99 et plus de 99,9 %. D'autres procédés, comme l'osmose inverse, sont loin d'atteindre ces chiffres.

Limites de l'échange d'ions

Pour que l'échange d'ions soit efficace, il faut une **différence d'affinité** entre les ions en solution et l'ion sur la résine. La résine doit avoir une meilleure affinité pour les ions que l'on veut éliminer que pour ceux qui sont sur la résine au début de l'opération.

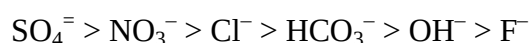
La technique de l'échange d'ions est l'outil parfait pour éliminer ou remplacer des contaminants présents **en faible concentration**. Dans de pareils cas, la durée d'épuisement de la résine peut être très longue, allant de quelques heures jusqu'à plusieurs mois. En revanche, si la concentration des contaminants est élevée, disons plusieurs grammes par litre d'eau ou de solution à traiter, le cycle d'échange devient ridiculement court et la consommation de régénérants augmente jusqu'à devenir rédhibitoire. Pour le traitement des eaux saumâtres (les eaux souterraines de forte

salinité que l'on trouve dans les pays arides), l'échange d'ions n'est pas approprié et d'autres technologies doivent être utilisées, comme l'osmose inverse ou la distillation.

De plus, les contaminants non ionisés ne peuvent pas être éliminés par échange d'ions. D'autres technologies sont disponibles qui utilisent du charbon actif, des adsorbants synthétiques, des tamis moléculaires et d'autres médias filtrants. Certains types de filtration sur membranes, notamment l'ultrafiltration et la nanofiltration, peuvent offrir des solutions efficaces.

Échange d'ions sélectif

Grâce aux différences d'affinité avec divers ions, des résines échangeuses d'ions conventionnelles peuvent être mises en œuvre pour l'élimination sélective de certains ions. L'un des exemples les plus évidents est l'adoucissement, décrit plus haut. On ne peut pas adoucir l'eau par osmose inverse — c'est à dire enlever seulement les ions Ca^{++} et Mg^{++} — cette technique ne permettant qu'une déminéralisation partielle; seul l'échange d'ions permet d'éliminer la dureté avec une résine sous forme Na^+ . De même, on peut éliminer au moins partiellement les nitrates et les sulfates grâce à une résine échangeuse d'anions sous forme chlorure. Ceci fonctionne parce que la résine a plus d'affinité — ou une meilleure sélectivité — pour l'ion sulfate ou nitrate que pour l'ion chlorure, l'ordre d'affinité étant :



Il n'y a donc aucun moyen pratique — avec quelque procédé que ce soit — de n'éliminer que le chlorure de l'eau sans toucher aux autres anions.

Pour les résines échangeuses de cations utilisées en adoucissement, l'ordre est :



Le plomb (Pb) fait partie de la liste pour montrer que même de faibles traces de plomb dissous seront fixées efficacement par une résine d'adoucissement, de même que de nombreux autres métaux lourds (mais pas tous). Voir les **tables de sélectivité** pour les résines échangeuses de cations et d'anions.

Il est parfois difficile d'éliminer certains contaminants avec des résines classiques, principalement en raison de la “concurrence” avec d'autres ions non gênants. Dans de nombreux cas, des résines spécifiques ont été mises au point. Des résines sélectives sont aujourd'hui disponibles pour l'élimination du :

- Bore
- Nitrate
- Perchlorate
- Nickel
- Chromate
- Uranium

et de quelques autres contaminants. Voir la page sur l'eau potable.

En dehors du traitement d'eau

Il y a un nombre considérable d'applications dans des domaines autres que le traitement d'eau. En voici quelques exemples :

- Adoucissement de jus sucrés de betterave avant évaporation
- Décoloration de sirops de canne
- Séparation chromatographique de glucose et fructose
- Déminéralisation de lactosérum, de glucose et de nombreux autres produits alimentaires
- Récupération de polyphénols destinés à l'industrie alimentaire
- Récupération d'uranium dans les mines
- Récupération d'or dans les bains de placage électrolytiques
- Séparation de métaux en solution
- Catalyse d'additifs antidétonants pour l'essence
- Extraction d'antibiotiques et d'autres substances dans des bouillons de fermentation
- Purification d'acides organiques
- Résines en poudre utilisées dans les formulations pharmaceutiques

Constitution des échangeurs d'ions

Les échangeurs d'ions actuels sont essentiellement à base de polystyrène ou de polyacrylate réticulés, c'est-à-dire de matières synthétiques de polymérisation fabriquées sous forme de billes (diamètre de 0,3 à 1,2 mm) (Lewatit 1992).

Activation des polymères de base

Les principaux groupes actifs sont les radicaux sulfoniques ($-\text{SO}_3^-$) et carboxylique ($-\text{COO}^-$) pour les échangeurs de cations et des groupes azotés ($-\text{NR}_2$, $-\text{N}^+\text{R}_3$, $\text{N}^+\text{R}_2\text{R}'$) pour les échangeurs d'anions. L'échangeur d'ions est électriquement neutre car chaque site actif est neutralisé par ce qu'on appelle un contre-ion en solution dans l'eau qui hydrate la résine. Ce sont ces contre-ions qui vont faire l'objet des réactions d'échange (Lewatit 1992).

Les échangeurs d'ions (Figure 1) sont utilisés comme masse filtrante pour le traitement de l'eau, d'eaux résiduaires et autres solutions aqueuses. Ces résines possèdent une importante réactivité chimique et sont aptes à l'échange d'ions de part les groupes chimiquement actifs disséminés sur toute la surface et à l'intérieur des billes (Lewatit 1971).

Classification des échangeurs d'ions (Lewatit 1971)

- Echangeurs de cations : 1) faiblement acides (centres actifs : groupes carboxyliques) ont une préférence pour les cations à valence élevée et ont une très faible affinité pour les ions alcalins monovalents, 2) fortement acides (centres actifs : groupes sulfoniques)
- Echangeurs d'anions : 1) faiblement basiques fixent de préférence tous les anions dits forts (chlorure, sulfates, nitrates, chromates...) mais ne fixent pas les borates, silicates, cyanures, acétates, 2) fortement basique

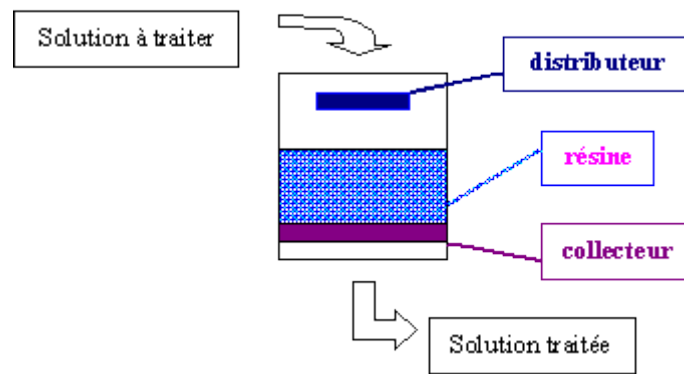


Figure 1 : colonne échangeuse d'ions

Applications de l'échange d'ions dans le traitement de surface

L'échange d'ions est un procédé de séparation très utilisé dans les ateliers du traitement de surface, d'une part pour le recyclage des matières premières et d'autres part pour contrôler la pollution aqueuse. Les techniques de l'échange d'ions sont connues et ont fait leurs preuves depuis très longtemps mais l'utilisation de celles-ci en industrie du traitement de surface est récente. Outre le recyclage de l'eau, le procédé d'échange d'ions permet de concentrer les métaux lourds de solutions dilués en une solution métallique concentrée plus apte à un recyclage que le sont les boues. La mise en place du procédé d'échange d'ions dans un système de recyclage et de purification de l'eau permet donc de réduire significativement la consommation en eau et le volume d'eau usée rejeté.

Les échangeurs d'ions utilisés pour la déminéralisation des eaux de rinçage des ateliers de galvanoplastie sont les types et dans l'ordre suivant :

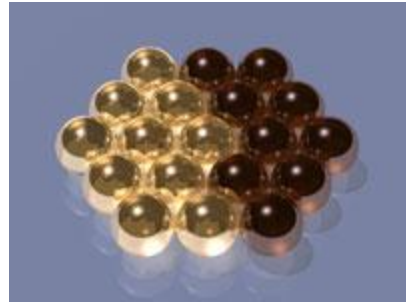
- échangeur cationique fortement acide à base de résine polystyrénique
- échangeur anionique faiblement à moyennement basique à base de résine polystyrénique et de préférence de structure macroporeuse.

Les résines cationiques et anioniques sont fabriquées à partir des mêmes polymères organiques de base. Seul le groupe ionique actif diffère. C'est ce groupe fonctionnel qui détermine le comportement de la résine. L'échangeur cationique a pour but de

retenir tous les cations des sels dissous et cède en échange les ions hydrogènes. L'échangeur basique, fixe et neutralise les acides forts élaborés par l'échangeur cationique comme, par exemple, l'acide sulfurique provenant des sulfates, l'acide chlorhydrique provenant du chromate de sodium. Pour l'élimination des acides faibles comme l'acide cyanhydrique, l'acide carbonique, la silice ou l'acide borique l'utilisation des échangeurs anionique fortement basique monté en aval est nécessaire.

Conclusion

L'échange d'ions est une technologie puissamment efficace pour l'élimination d'impuretés dans l'eau et dans des solutions diverses. De nombreuses industries ne peuvent se passer de l'échange d'ions pour produire de l'eau d'une extrême pureté :



- Centrales électriques nucléaires et thermiques
- Semiconducteurs, puces informatiques et écrans plats
- Élimination sélective de contaminants dans l'eau potable

On trouve aussi de très nombreuses applications dans des domaines autres que le traitement de l'eau, comme indiqué au paragraphe précédent.

Bibliographie :

(Anred DITS) : **Agence Nationale pour le Récupération et l'Élimination des Déchets**. *Les déchets des industries du traitement de surface*. 1988

(EPA) : "Control and treatment technology for the metal finishing industry, Ion exchange", Summary report, EPA 625/8-81-007, june 1981, 46p.

(Lewatit 71) : **Dr Ch. Oehme**, "Les échangeurs d'ions dans le recyclage des eaux de rinçage de galvanoplastie", Ed "Oberfläche-Surface", Lewatit, n°6, 1971, 18p.

(Lewatit 92) : "Echangeurs d'ions, résines absorbantes et catalyseurs destinés au traitement de l'eau et de solutions diverses, à l'épuration d'eaux résiduelles et à la chimie", Ed Bayer, Lewatit, n°10, 1992, 20p.

(TI) : **T. V. ARDEN, F. de DARDEL**, *Opérations Chimiques Unitaires, Echanges d'ions*, Extraits des cahiers techniques de l'ingénieur, ref. J 2 860, J 2861, J 2 862, J 2 +865

Sommaire :

Introduction.....	1
L'eau.....	2
Ions	2
Substance ionisée dissoute dans l'eau	4
L'échange d'ions.....	5
Impuretés de l'eau	5
Les résines échangeuses d'ions	5
Adoucissement d'eau.....	7
Déminéralisation	8
Régénération.....	11
À quoi ressemble une résine.....	12
Exploitation en colonnes	13
Capacité d'échange	14
Capacité totale :.....	14
Capacité utile :.....	14
Qualité de l'eau traitée.....	15
Limites de l'échange d'ions	15
Échange d'ions sélectif.....	16
En dehors du traitement d'eau.....	17
Constitution des échangeurs d'ions	18
Activation des polymères de base	18
Classification des échangeurs d'ions (Lewatit 1971).....	18
Applications de l'échange d'ions dans le traitement de surface	19
Conclusion	21
Bibliographie	22