

### NÉCESSITÉ D'ADOUCCIR L'EAU



Photo 1 - Dépôts de tartre dans une canalisation

Les ions calcium ( $\text{Ca}^{2+}$ ) et magnésium ( $\text{Mg}^{2+}$ ) d'une eau déterminent sa dureté.

Le corps humain a besoin d'apports quotidiens en calcium et en magnésium, provenant de l'eau de boisson et des aliments.

Par contre, si l'eau est trop incrustante (voir Memotec n°17), cela peut entraîner des inconvénients : dépôts de calcaire dans les réseaux de distribution, les chaudières et les machines à laver, dépenses supplémentaires en énergie, risque de développement bactérien, risque de dissolution du plomb des canalisations, ... d'où la nécessité d'adoucir l'eau pour enlever une partie de sa dureté, quand celle-ci est importante.

### QUELQUES DÉFINITIONS PRÉALABLES

Titre Hydrotimétrique (TH) : caractérise la dureté (concentration en ions alcalinoterreux dans l'eau). On distingue le TH total, teneur en  $\text{Ca}^{2+}$  et  $\text{Mg}^{2+}$ , du TH calcique, teneur en  $\text{Ca}^{2+}$ .

Dureté carbonatée et non carbonatée : la dureté carbonatée correspond à la partie de la dureté totale chimiquement équivalente à la quantité des carbonates ( $\text{CO}_3^{2-}$ ) et des bicarbonates ( $\text{HCO}_3^-$ ). La dureté non carbonatée (dureté permanente), correspond la somme des ions calcium et magnésium liés aux sulfates, aux chlorures et aux nitrates.

Titre Alcalimétrique (TA) : détermine la teneur en hydroxydes ( $\text{OH}^-$ ) et la moitié de celle en carbonates.

Titre Alcalimétrique Complet (TAC) : détermine la teneur en carbonates, bicarbonates et hydroxydes.

L'ensemble de ces paramètres s'exprime en degré français (°F), en milliéquivalent par litre (meq/l) ou en mg  $\text{CaCO}_3/\text{l}$ , avec les correspondances suivantes :

$$1^\circ\text{F} = 10 \text{ mg CaCO}_3/\text{l} = 0,2 \text{ meq/l}$$

### RÉGLEMENTATION

La réglementation européenne, à travers la directive 98/83/CE, et sa transposition en droit français par décret n°2001-1220 du 20 décembre 2001, codifié en 2003 dans le code de la santé publique (voir Memotec n°12), ne mentionnent aucune valeur guide pour la dureté de l'eau. Il est simplement stipulé que « les eaux ne doivent pas être agressives », ce qui implique que l'eau doit présenter une certaine minéralisation. En pratique, on cherche à diminuer le TAC entre 10 et 20°F, mais tout en limitant les risques de corrosion (voir Memotec n°17).

### TECHNIQUES D'ADOUCCISSEMENT

Les techniques d'adoucissement font appel à trois procédés, à savoir la décarbonatation qui n'élimine que les ions calcium et magnésium liés aux bicarbonates, il s'agit alors d'un adoucissement partiel, et l'adoucissement total qui élimine l'ensemble des ions calcium et magnésium, mais sans modifier l'alcalinité de l'eau. Le troisième procédé est représenté par la nanofiltration qui élimine partiellement les ions calcium, magnésium et bicarbonates (voir Memotec n°1).

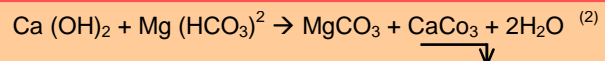
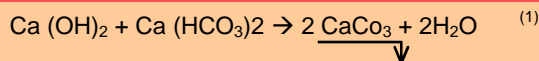
Parmi les procédés de décarbonatation, on trouve :

- la décarbonatation à la chaux ;
- la décarbonatation à la soude ;
- la décarbonatation sur résines échangeuses d'ions du type carboxylique, régénérée par un acide ;
- l'électro-décarbonatation.

La technique d'adoucissement utilise une résine échangeuse d'ions du type cationique, régénérée par une solution de chlorure de sodium.

### La précipitation à la chaux : une technique maîtrisée

Ce procédé ne permet d'éliminer que la dureté carbonée, et en particulier celle liée au calcium. Elle n'a pas d'effet sur la dureté permanente (non carbonatée), comme l'indique les réactions de base suivantes :



L'alcalinité résiduelle est de l'ordre de 2 à 3°F. Étant donné cette faible valeur, seule une partie du débit est décarbonatée pour être mitigée ensuite à de l'eau brute pour obtenir un TAC favorable du point de vue organoleptique, et de la minéralisation (voir Memotec n°17). Pour accélérer la précipitation du carbonate de calcium, l'eau à traiter est mise en contact avec des germes de cristallisation déjà formés. Pour cela l'appareil de décarbonatation doit comporter une zone où s'effectue le mélange des cristaux recirculés avec de l'eau à traiter additionnée de chaux (figure 1).

L'emploi d'un coagulant ( $\text{FeCl}_3$ ) et/ou d'un flocculant (polymère) permet d'améliorer la séparation des cristaux et de l'eau.

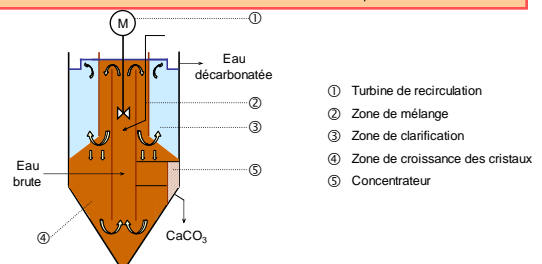


Figure 1

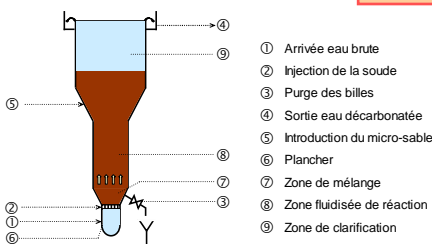
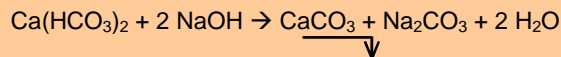
La dose théorique de chaux  $[\text{Ca}(\text{OH})_2 \text{ 100 \%}]$  à injecter pour obtenir la précipitation optimale du carbonate de calcium, est donnée par la relation ci-contre, avec C = teneur en  $\text{CO}_2$  libre, exprimée en °F ( $1^\circ\text{F} = 4,4 \text{ mg CO}_2/\text{l}$ ).

$$7,4 (\text{TAC} + \text{C}) \text{ g/m}^3$$

La charge superficielle au miroir est de l'ordre de 5 m/h pour un décarbonateur classique, et peut atteindre 15 m/h pour un appareil lamellaire. L'élimination du carbonate de magnésium ( $\text{MgCO}_3$  – voir réaction 2) peut s'obtenir par un excès de chaux. Si on désire éliminer également la dureté permanente, conjointement à la dureté carbonatée, il faut injecter du carbonate de sodium. étant donné le pH atteint, la précipitation du  $\text{CaCO}_3$  s'accompagne également de celle du fer pouvant être présent dans l'eau à traiter.

### La décarbonatation catalytique à la soude : un procédé délicat à mettre en oeuvre

La précipitation du carbonate de calcium par la soude est régie par la réaction suivante :



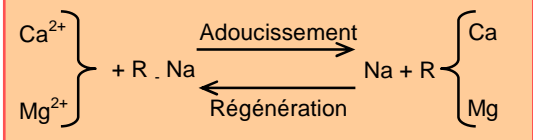
On constate la formation de carbonate de sodium qui réagira sur la dureté permanente, comme indiqué précédemment. L'introduction de micro-sable (0,2 à 0,4 mm) dans l'eau à traiter additionnée de chaux, permet d'obtenir un effet catalytique, c'est-à-dire que le carbonate de calcium précipite en se cristallisant à la surface des grains de sable pour obtenir des billes de 1 à 2 mm, à comparer à celui des cristaux de décarbonatation à la chaux qui n'excède pas 100 à 200  $\mu\text{m}$ . Grâce au lestage des billes et à leur diamètre, on peut atteindre des vitesses de l'ordre de 80 à 120 m/h dans la zone de clarification (figure 2).

Les billes, dès l'obtention du diamètre optimum, sont évacuées en partie basse. Leur eau interstitielle est facilement éliminable par simple égouttage. L'application de ce procédé est limitée par la présence de composés ne cristallisant pas (colloïdes, fer, magnésie) et ne doit concerner que la précipitation du  $\text{CaCO}_3$ . Pour éviter la précipitation de la magnésie, le titre hydrométrique magnésien doit être faible. De plus ce procédé ne convient pas aux eaux présentant une concentration élevée en sodium, car il y aurait alors des risques de dépassement de la référence de qualité (200 mg/l), fixée par le code de la santé publique (voir Memotec n°12).

La décarbonatation catalytique à la soude nécessite des réglages fins pour maîtriser la taille des billes, et donc des purges, le dosage de la soude, l'alimentation en micro-sable, ainsi que la vitesse de fluidisation.

### Les résines échangeuses d'ions : le problème des éluats

L'utilisation des résines repose sur un échange d'ions entre ceux contenus dans l'eau à traiter et ceux retenus dans la structure macro poreuse de la résine. Les résines d'adoucissement échange les ions sodium de la résine contre les ions calcium et magnésium de l'eau. Lorsque la résine est saturée, il faut la régénérer à l'aide d'une solution concentrée de NaCl.



Les résines de décarbonatation échangent les ions  $\text{H}^+$  de la résine contre les ions  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  et  $\text{Na}^+$ . Les résines sont régénérées avec un acide fort ( $\text{H}_2\text{SO}_4$  généralement). Il est à noter que ce procédé n'est utilisé que dans l'industrie. Bien que relativement facile à mettre en œuvre, car totalement automatisable, l'utilisation des résines comporte certains inconvénients, dont notamment :

- la nécessité de traiter une eau exempte de matières organiques, car celles-ci peuvent entraver les échanges ioniques ;
- le risque de précipiter le fer et le manganèse, ce qui conduit à un empoisonnement des résines ;
- le devenir des éluats de régénération qui sont très concentrés.

### Le procédé électrolytique : efficace mais limité économiquement quant à la réduction de la dureté

Ce procédé repose sur le principe de l'électro-germination du  $\text{CaCO}_3$ . L'eau à traiter traverse de haut en bas un champ électrique produit par un ensemble d'électrodes, cathodes et anodes, placées en alternance. A la cathode il y a production d'hydroxydes ( $\text{OH}^-$ ) qui crée un environnement basique déplaçant l'équilibre calco-carbonique, et provoquant ainsi la précipitation du carbonate de calcium. A l'anode il est produit des ions  $\text{H}^+$  qui réagissent avec les hydrogénéo-carbonates pour former du dioxyde de carbone qu'il convient de stripper et/ou de neutraliser. Les boues formées sont recueillies au fond du réacteur, d'où elles sont périodiquement extraites. Elles ont la particularité d'être déshydratées et d'être formées de cristaux de  $\text{CaCO}_3$  pur pouvant être réutilisés. La consommation électrique est de l'ordre de 0,5 à 1,5 kWh/m<sup>3</sup>, fonction du taux désiré d'abattement de la dureté.

### CONCLUSION

Le choix de la technique d'adoucissement la mieux adaptée à une eau donnée, se fait sur la base de nombreux critères, à savoir :

- présence ou non de matières en suspension, de fer ;
- nature et composition de la dureté ;
- coûts des réactifs ;
- possibilités d'évacuer les éluats ;
- coût de la déshydratation ;
- possibilités de décharge en CET, d'épandage, de rejet en réseau d'assainissement ou de réutilisation des sous-produits ;
- conditions d'exploitation ;
- ...