

- ✓ En effet il ne porte pas de charge électrique et sa forme ressemble à celle de l'eau. La membrane cytoplasmique le laisse donc passer en même temps que l'eau contrairement au ClO^- qui ne pénètre pas du fait de sa charge négative.
- ✓ A l'intérieur de la cellule, l' HOCl bloque toute activité enzymatique, entraînant ainsi la mort de la cellule.

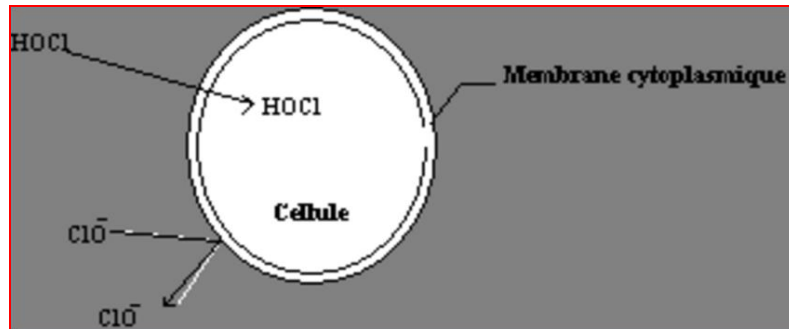
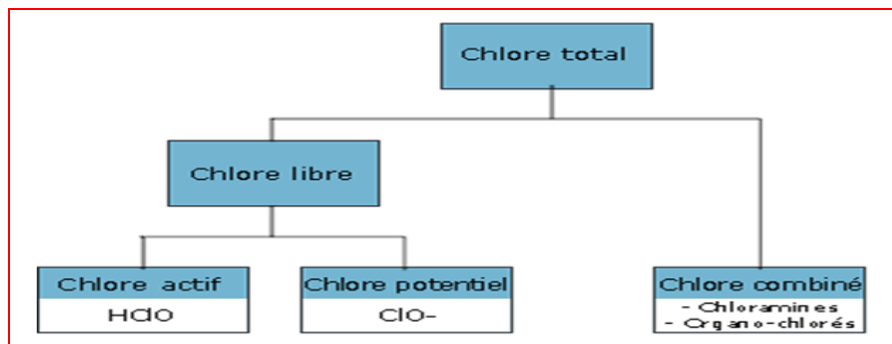


Figure III.2. Action du chlore sur la cellule

III.1.2.1.3. Différentes formes du chlore



III.1.2.1.4. Facteurs influençant l'efficacité de la chloration

a) Influence du pH :

La proportion des deux composés dépend essentiellement de la valeur du pH de l'eau, comme l'indiquent les courbes ci-dessous. Pour un effet rapide du chlore et une économie en produits, il convient de traiter l'eau à des valeurs de pH proches de la neutralité. Ainsi on procèdera à la désinfection avant tout traitement de neutralisation et/ou de reminéralisation élevant le pH.

Remarque :

- La forme prédominante est l'acide hypochloreux au $\text{pH} < 7,4$ et l'ion hypochloreux aux $\text{pH} > 7,4$.

- La réaction d'oxydation par le chlore a néanmoins l'inconvénient de former des composés organique chlorés tels que les trihalométhanes et générer des mauvais goûts.

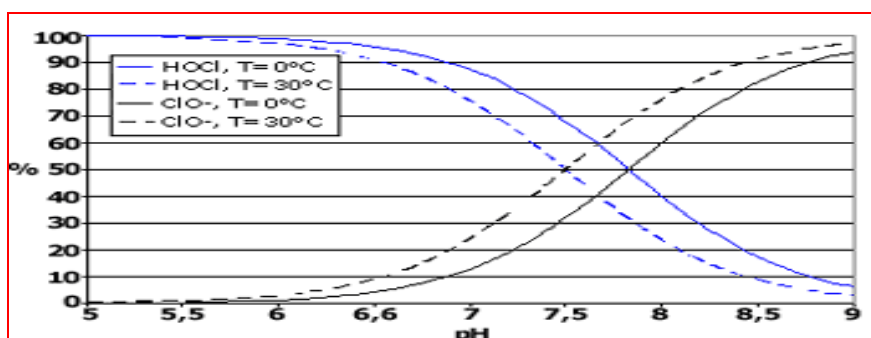


Figure III.3. Influence du pH sur le chlore libre

b) Influence de la température :

La diminution de la température de l'eau entraîne une baisse de l'efficacité du désinfectant, bien qu'elle augmente légèrement la proportion d'HOCl par rapport à ClO⁻

III.1.2.1.5. Temps de contact avec l'eau

Le temps de contact réel du chlore avec l'eau à traiter est un paramètre important qui oblige à une conception des bassins de contact (minimum 30 minutes)

III.1.2.1.6. Inefficacité du Chlore

- En présence d'une eau trouble (turbidité supérieure à 5 NTU « Nephelometric Turbidity Unit »), un traitement préliminaire est nécessaire pour diminuer la turbidité et améliorer l'action du chlore : la présence de matières en suspension inhibe l'action du chlore, favorisant ainsi la présence de bactéries.
- Le chlore est inefficace sur les œufs et kystes de parasites (helminthes, giardia, crypto...), justifiant ainsi une décantation et filtration préalables, en particulier lorsqu'il s'agit d'eau de surface.

III.1.2.1.7. Avantage et inconvénients de la chloration

Les avantages et les inconvénients de la désinfection au chlore sont donnés dans le tableau III.1.

Tableau III.1. Avantages et inconvénients de la chloration

AVANTAGES	INCONVENIENTS
<ul style="list-style-type: none"> • Investissement plus faible que pour un système d'ozonisation 	<ul style="list-style-type: none"> • Le chlore donne un goût caractéristique à l'eau
	<ul style="list-style-type: none"> • Certains dérivés chlorés sont dangereux
<ul style="list-style-type: none"> • Système très simple: il suffit d'utiliser une pompe à injection ou un injecteur venturi pour mélanger du chlore avec l'eau 	<ul style="list-style-type: none"> • L'installation nécessite le transport et le stockage de produit toxique
	<ul style="list-style-type: none"> • L'efficacité du chlore dépend du pH de l'eau

III.1.2.2. Rayonnement Ultra-violet UV

Lors de la désinfection aux UV, l'eau à désinfecter est soumise à un rayonnement de lumière ultraviolette, ce qui représente donc un processus purement physique et sans produits chimiques destiné à la désinfection de l'eau.

Plus précisément, le rayonnement UV-C d'une longueur d'ondes comprise entre 240 et 280 nm s'attaque directement à l'ADN vital des germes. Le rayonnement amorce une réaction photochimique et détruit ainsi les informations génétiques contenues dans l'ADN. Le germe perd son pouvoir de reproduction et dépérit.

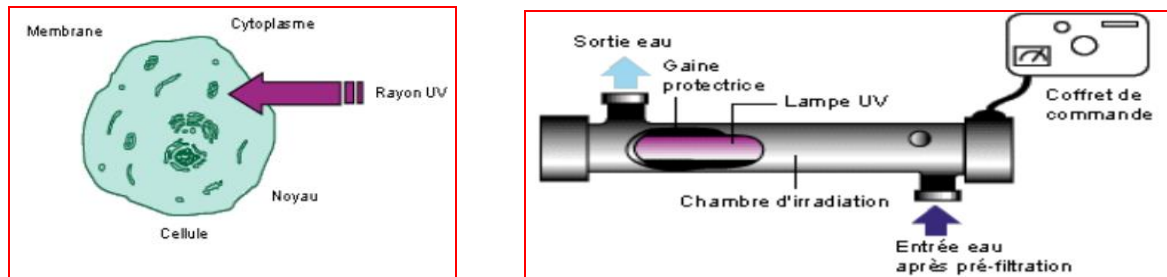


Figure III.4. Principe du Rayonnement Ultra-violet UV

III.1.2.2.1. La dose d'exposition

Elle s'exprime par le produit de l'intensité du rayonnement (énergie par unité de surface) par le temps d'exposition, soit :

$$\text{DOSE} = I \times T$$

Avec I : l'intensité du rayonnement

T: le temps d'exposition

L'unité couramment utilisée est le mJ/cm^2 , équivalent à 1000 microwatt seconde/ cm^2 .

III.1.2.2.2. Avantage et inconvénients des UV

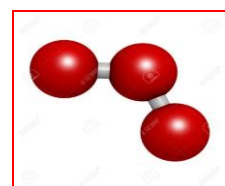
Les avantages et les inconvénients de la désinfection à l'UV sont écartés dans le tableau III.2.

Tableau III.2. Avantages et inconvénients de la désinfection à l'UV

AVANTAGES	INCONVENIENTS
<ul style="list-style-type: none"> Le système est bon économique à l'investissement et à l'utilisation 	<ul style="list-style-type: none"> Les U.V. inactivent mais n'éliminent pas les bactéries. L'eau doit donc être consommée directement après traitement
<ul style="list-style-type: none"> Il n'y a pas de stockage de produit chimique; le traitement ne laisse aucun dérivé dans l'eau 	<ul style="list-style-type: none"> Les particules dans l'eau stoppent les rayons U.V. et diminuent l'efficacité du traitement

III.1.2.3. L'Ozone

L'ozone est un gaz instable composé de molécules d'oxygène triatomique. Puisque l'ozone se décompose rapidement en oxygène, on doit le produire immédiatement avant son utilisation, grâce à l'émission d'un effluve électrique sous haute tension dans une atmosphère contenant de l'air sec.



Le pouvoir désinfectant de l'ozone est de 10 à 100 fois supérieur à celui du chlore, et ce pour tous les types de microorganismes. Il est même efficace contre les spores et les kystes, qui sont pourtant les microorganismes les plus résistants.

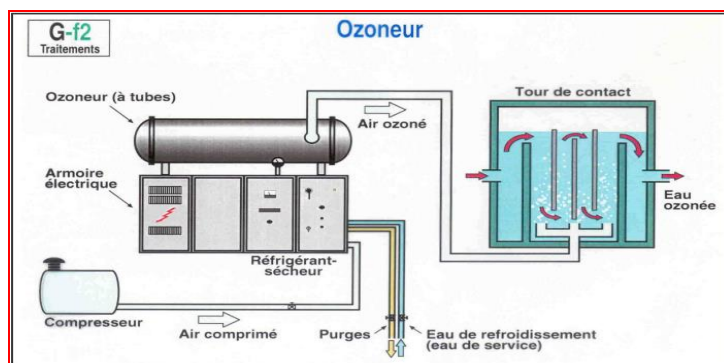


Figure III.5. Fonctionnement d'un ozoneur

III.1.2.3.1. Quantité d'ozone à injecter

La quantité qu'on doit ajouter à l'eau pour obtenir une bonne désinfection varie d'une eau à l'autre en fonction de la demande d'ozone due aux matières organiques et inorganiques oxydées par l'ozone. Tout comme pour le chlore, on suggère donc de maintenir une certaine concentration résiduelle après un temps de contact déterminé. Généralement une concentration résiduelle d'ozone de 0,4mg/l après un temps de contact de 5 à 8 min.

III.1.2.3.2. Avantage et inconvénients de la désinfection à l'ozone

Les avantages et les inconvénients de l'ozonisation sont présentés dans le tableau III.1.

Tableau III.3. Avantages et inconvénients de l'ozonisation

AVANTAGES	INCONVENIENTS
<ul style="list-style-type: none"> L'ozone se décompose en oxygène, sans laisser de produits dérivés dans l'eau 	<ul style="list-style-type: none"> La production d'ozone consomme de l'énergie
	<ul style="list-style-type: none"> Le système est assez complexe
<ul style="list-style-type: none"> L'ozone est produit sur place (pas de transport de produits toxiques ni de consommable à changer régulièrement) 	<ul style="list-style-type: none"> Certains matériaux ne sont pas résistants à l'ozone
	<ul style="list-style-type: none"> Ce système demande un investissement de départ important

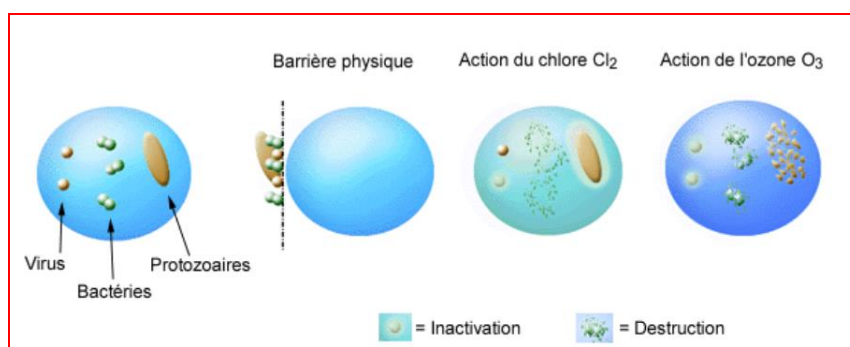


Figure III.6. Actions des différents désinfectants sur les microorganismes

III.2. L'adsorption et l'échange d'ions

III.2. 1. L'adsorption

L'adsorption est un phénomène de surface par lequel des molécules de gaz ou de liquides se fixent sur les surfaces solides des adsorbants. Le phénomène inverse par lequel les molécules se détachent de la surface des matériaux est la désorption.

Le phénomène de l'adsorption est le résultat de l'interaction d'une molécule ou d'atomes libre (l'adsorbat) avec une surface (l'adsorbant) d'une manière plus ou moins réversible.

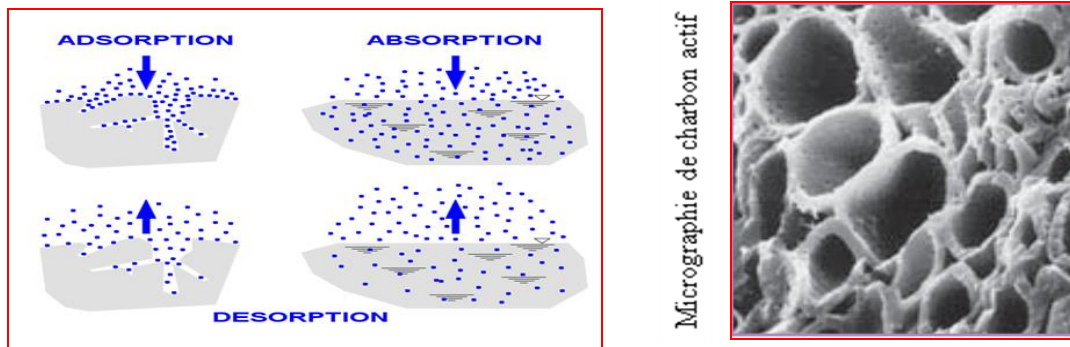


Figure III.7. Phénomènes d'adsorption et de désorption

III.2.1.1. Les types d'adsorptions

Selon les forces d'interaction intervenant entre les molécules de l'adsorbat et la surface d'adsorption (l'adsorbant), on distingue les types d'adsorption suivants :

a) L'adsorption physique (physisorption):

C'est une adsorption de type physique, qui se produit lorsque les forces qui fixent l'adsorbat à la surface de l'adsorbant sont du même ordre de grandeur que les forces de Van der Waals.

Ce type d'adsorption se caractérise par :

- ✓ La rapidité dans l'établissement de l'équilibre entre la phase adsorbée et la phase fluide.
- ✓ La diminution de la capacité de l'adsorption avec l'élévation de la température.
- ✓ Une réversibilité relativement facile et une absence de spécificité.
- ✓ L'énergie d'interaction est faible (jusqu'à 50 kJ), il n'y a pas de formation de liaison chimique.

b) L'adsorption chimique (chimisorption):

C'est une adsorption qui résulte des forces de liaison de nature chimique (nettement supérieures aux forces de Van der Waals), avec mise en commun ou transfert d'électrons ; il y a donc des créations et des ruptures de liaisons chimiques entre l'adsorbat et les sites actifs de l'adsorbant.

La chimisorption se caractérise par :

- ✓ Un équilibre long à atteindre entre la phase adsorbée et le milieu fluide.
- ✓ L'augmentation de la capacité d'adsorption avec l'élévation de la température.
- ✓ La non réversibilité.

✓ L'énergie d'interaction est forte (40 à 400 KJ), environ 10 fois supérieure à l'adsorption physique, donc il y'a formation de liaisons chimiques.

III.2.1.2. Capacité d'adsorption

La capacité d'adsorption d'un adsorbant est définie comme étant la quantité maximale d'adsorbat adsorbée par unité de poids d'adsorbant pour une température donnée. Elle nécessite la prise en compte de nombreux paramètres aussi bien pour l'adsorbat (taille des molécules, solubilité dans l'eau...) que pour l'adsorbant (surface spécifique, structure et type des particules constitutives...).

Elle peut être généralement exprimée par la relation suivante :

$$q = x/m \quad \text{où :}$$

x : masse de l'adsorbat à la surface de l'adsorbant (mg).

m : masse de l'adsorbant (g).

D'autres facteurs comme le pH, la température et la force ionique (effet de sels) peuvent influencer la capacité d'adsorption.

III.2.1.3. La désorption

Elle se fait dans la plupart des cas par circulation d'un fluide caloporteur, vapeur d'eau ou gaz inerte chaud. L'adsorbant est ensuite séché et refroidi tandis que les produits de désorption sont détruits par incinération ou récupérés par condensation

III.2. 2. L'échange d'ions

Les substances insolubles (sable etc.) peuvent être enlevées par filtration. Les substances solubles ionisées peuvent être éliminées par échange d'ions.

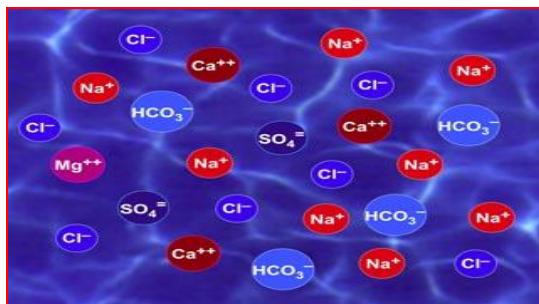
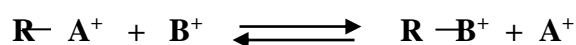


Figure III.8. Représentation des ions dans l'eau

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

L'échange d'ions est un procédé dans lequel, les ions d'une certaine charge contenus dans une solution (ex : cations) sont éliminés de cette solution par adsorption sur un matériau solide (l'échangeur d'ions), pour être remplacés par une quantité équivalente d'autres ions de même charge émis par le solide. Les ions de charge opposée ne sont pas affectés.



Où : R^- = radical anionique faisant partie de la résine échangeuse d'ions

A^+ = ions fixés sur la résine neuve, B^+ = ions en solution

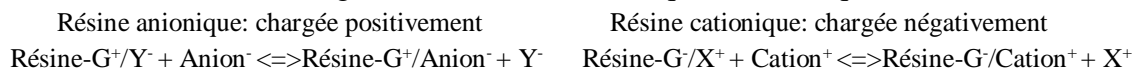
III.2.2.1. Les échangeurs d'ions

Ils ont d'abord été des terres naturelles (zéolites), puis des composés de synthèse minéraux tels que les silico-aluminates, et enfin organiques, que l'on appelle résines.

Ces résines ont en général la forme de grains ou de billes. On en distingue deux catégories : Les **résines anioniques** chargées positivement et les **résines cationiques** chargées négativement. Les charges sont apportées par des fonctions acides ou basiques faibles ou fortes greffées sur le polymère constituant la résine.



Figure III.9. Résines anionique et cationique



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. 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.

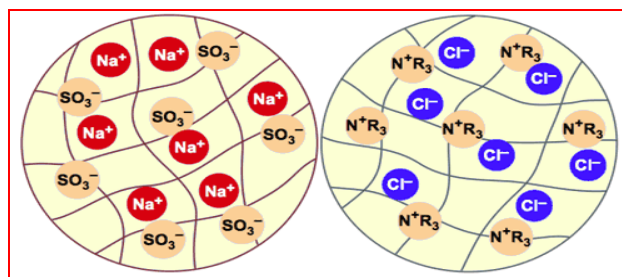


Figure III.10. Représentation de billes de résines échangeuses de cations et d'anions

III.2.2.2. Domaines d'emploi

Leurs domaines d'emploi sont extrêmement variés :

- ✓ Décarbonatation.
- ✓ Adoucissement de l'eau.
- ✓ Déminéralisation totale en plaçant des résines cationiques et anioniques fortes en série ou en lits mélangés.
- ✓ Elimination des métaux dans les eaux de process industrielles.

III.2.2.2. Cycle de traitement de la résine

Le cycle complet se déroule en 4 phases:

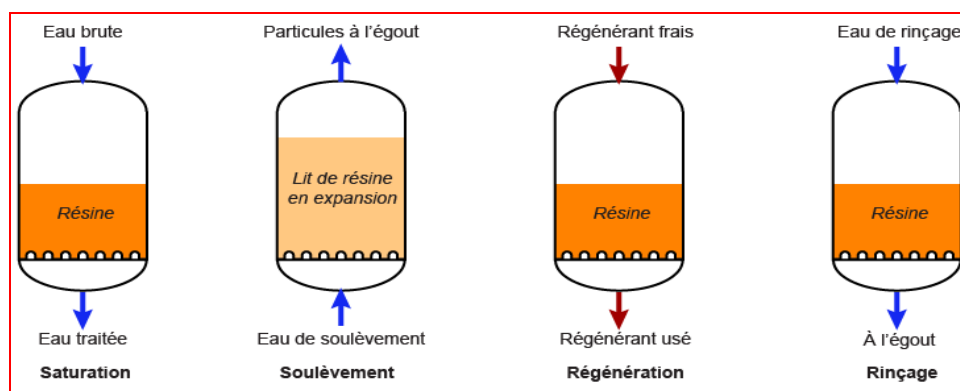


Figure III.11. Cycle de traitement de la résine

➤ **La saturation ou production:** La solution à traiter passe à travers le lit de résine, en saturant cette dernière. Au moment où la quantité d'ions fixes atteint la capacité utile, c'est-à-dire au point de percement où la fuite atteint une valeur limite fixée à l'avance, on arrête la phase de production.

➤ **Le soulèvement:** On détasse alors la résine pendant un quart d'heure environ par un courant d'eau ascendant, ce qui permet aussi d'éliminer les particules qui ont pu se déposer à la surface du lit ainsi que les éventuels débris de résine. L'expansion du lit doit être de 50 à 100 % en volume. On laisse ensuite décanter le lit.

➤ **La régénération:** On introduit alors la solution régénérante, généralement concentrée, en la faisant percoler lentement. La durée de cette opération, ou temps de contact du régénérant, varie de 15 à 60 minutes.

Lorsque la résine est épuisée ou saturée, la capacité d'échange de la résine est alors nulle. Il convient de remettre l'échangeur d'ions sous forme ionique originelle afin qu'il puisse être réutilisé pour un nouveau cycle : c'est la séquence de régénération.

➤ **Le rinçage:** Pendant cette phase, on déplace le régénérant à l'eau, à faible débit, jusqu'à ce que la résine ne contienne plus que de faibles traces de régénérant : phase de rinçage lent. Puis il y a une étape de rinçage rapide à débit plus élevé de façon à éliminer les dernières traces de régénérant.

III.3. La déferrisation – démanganisation

III.3. 1. Présence du fer et du manganèse dans l'eau

➤ Le fer est un des métaux les plus abondants de la croûte terrestre. Il est présent dans l'eau sous trois formes : le fer ferreux Fe^{2+} , le fer ferrique Fe^{3+} et le fer complexé à des matières organiques (acides humiques, fulviques, tanniques,...) et minérales (silicates, phosphates, ...). Dans les eaux bien aérées, le fer ferreux est oxydé en fer ferrique qui précipite sous forme d'hydroxyde, $Fe(OH)_3$. Dans les eaux souterraines, au contraire, l'absence d'oxygène fait que le fer reste en solution.

La présence du fer dans l'eau provient principalement : du lessivage des sols, avec dissolution des roches et minerais, des rejets industriels, de la corrosion des canalisations métalliques, et de l'utilisation de sels ferriques comme coagulants.

➤ Le manganèse est présent, en quantité moindre que le fer, dans les roches. Son origine dans l'eau provient essentiellement de la dissolution des roches, et d'éventuels rejets industriels.

III.3. 2. Effets et nuisances

Le fer est un oligoélément indispensable, à l'état de trace, à la santé humaine. Des concentrations en fer, même élevées, ne constituent pas de risques pour la santé humaine.

Les nuisances liées à la présence de fer dans l'eau sont :

- ✓ la neutralisation d'une partie des désinfectants due à l'oxydation du fer ;
- ✓ la distribution d'une eau de couleur rouille, esthétiquement peu engageante pour le consommateur, et qui peut tacher le linge et les sanitaires ;
- ✓ le goût "métallique" procuré à l'eau ;
- ✓ le risque de corrosion des canalisations dû au développement de micro-organismes (ferrobactéries).

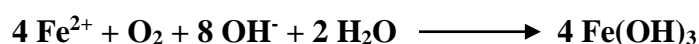
Tout comme le fer, le manganèse ne présente pas de risques pour la santé humaine. Les inconvénients sont identiques à ceux du fer :

- ✓ problèmes organoleptiques (couleurs, goûts),
- ✓ taches sur le linge,
- ✓ et risque de développements bactériens.

III.3. 3. Techniques de déferrisation

III.3. 3.1. L'oxydation chimique

A pH > 4, le fer dissous est présent sous forme de fer ferreux. Il suffit de l'oxyder en fer ferrique pour qu'il précipite. Cette oxydation est possible en réalisant une simple aération, selon la réaction ci-contre.

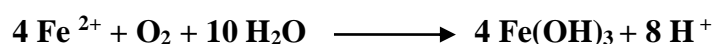


Cette étape permet d'éliminer également l'H₂S et le CO₂ agressif, lorsqu'elle est réalisée à l'atmosphère. Les différentes techniques d'oxydation sont :

- ✓ le ruissellement en nappe mince au contact de l'air ;
- ✓ la pulvérisation de l'eau en atmosphère plus ou moins oxygénée (buses, aérateurs de surface) ;
- ✓ la diffusion de gaz surpressés (air, oxygène ou air ozoné) ;
- ✓ le barbotage avec de l'air au sein d'une masse catalytique (pouzzolane).

III.3. 3.1. L'oxydation biologique

Certaines bactéries spécifiques (ferrobactéries), tirent leur énergie de l'oxydation du fer pour leur développement. Pour cela toutes les conditions doivent être réunies : teneur en oxygène, pH, température de l'eau, potentiel redox... Ces bactéries sont autotrophes, c'est à dire que leur source de carbone est minérale (HCO₃⁻, CO₂).



Cette déferrisation est réalisée dans des filtres à sable, dont le média est colonisé par les souches bactériennes spécifiques du fer. Un apport d'oxygène, plus ou moins important en fonction du pH, est réalisé en amont du filtre, afin de favoriser le développement des bactéries, et en aval, pour revenir à un taux d'oxygène normal dans l'eau après consommation par les bactéries.

III.3. 4. Techniques de démantanisation

III.3. 4.1. L'oxydation chimique par le permanganate de potassium

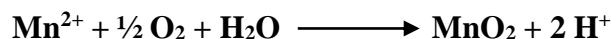
Contrairement au fer, l'oxydation du manganèse par l'air n'est pas possible car la réaction est très lente. On doit recourir à un oxydant plus puissant, comme le permanganate de potassium (KMnO₄). Le dioxyde de manganèse formé suivant la réaction ci-dessous, est insoluble.



Une partie de l'oxyde de manganèse se fixe sur le sable, et sert ensuite de catalyseur à la réaction d'oxydation du manganèse, ce qui permet de diminuer la dose de permanganate à injecter. La dose de permanganate de potassium ne doit pas être introduite en excès, car cela entraînerait la coloration rose de l'eau.

III.3. 4.2. Démantanisation biologique

La présence de manganèse dans l'eau, associée à des conditions favorables à leur développement (teneur en oxygène, pH, température de l'eau, potentiel redox...), permet le développement de bactéries spécifiques tirant leur énergie de la réaction d'oxydation du manganèse, comme suit:



Les principales bactéries utilisant le manganèse sont hétérotrophes, c'est-à-dire que leur source de carbone est organique.

Afin d'obtenir des conditions idéales au développement bactérien, on injecte de l'air (50 à 90% de la saturation) en amont du filtre à sable, le média servant de support au développement bactérien. Ces microorganismes consommant de l'oxygène, il est donc nécessaire de réinjecter de l'air en aval du filtre.

III.4. La décarbonatation

III.4.1. Définitions préalables

Le TH (Titre Hydrotimétrique) caractérise la dureté de l'eau. On distingue :

❖ TH total, teneur en Ca²⁺ et Mg²⁺, **TH**= [Ca²⁺]+ [Mg²⁺]

TH calcique, teneur en Ca²⁺. TH magnésienne, teneur en Mg²⁺

❖ La dureté carbonatée (dureté temporaire) correspond à la partie de la dureté totale chimiquement équivalente à la quantité des carbonates (CO₃²⁻) et des bicarbonates (HCO₃⁻).

❖ La dureté non carbonatée (dureté permanente), correspond la somme des ions calcium et magnésium liés aux **sulfates**, aux **chlorures** et aux **nitrate**s.

❖ Titre Alcalimétrique (TA) : détermine la teneur en hydroxydes (OH^-) et la moitié de celle en carbonates. $\text{TA} = [\text{OH}^-] + \frac{1}{2} [\text{CO}_3^{2-}]$

❖ Titre Alcalimétrique Complet (TAC) : détermine la teneur en carbonates, bicarbonates et hydroxydes. $\text{TAC} = [\text{CO}_3^{2-}] + [\text{OH}^-] + [\text{HCO}_3^-]$

III.4.2. Nécessité de décarbonatation

Le corps humain a besoin d'apports quotidiens en calcium et en magnésium comme oligoéléments, provenant de l'eau de boisson et des aliments. En revanche, si l'eau est trop riche en ces éléments, cela peut engendrer de nombreuses perturbations notamment :

- ✓ En réduisant les sections de passage de l'eau dans les canalisations,
- ✓ En augmentant la rugosité des parois et ainsi provoquer des pertes de charges plus ou moins importantes,
- ✓ En obstruant certains appareils type chaudières, machine à laver... et les canalisations
- ✓ En créant des supports propices à la prolifération des microorganismes.

Ainsi, certaines eaux, trop riches en ces éléments, doivent subir ce que l'on appelle une décarbonatation. La décarbonatation réduit le risque de formation de calcaire mais on ne supprime pas le calcaire. Elle n'élimine que les ions calcium et magnésium liés aux bicarbonates, il s'agit alors d'un adoucissement partiel. L'adoucissement total d'une eau correspond à l'élimination de l'ensemble des ions calcium et magnésium.

III.4.3. Procédés de décarbonatation

Parmi les procédés de décarbonatation, on trouve :

III.4.3.1. La décarbonatation à la chaux

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 :



III.4.3.2. La décarbonatation à la soude

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

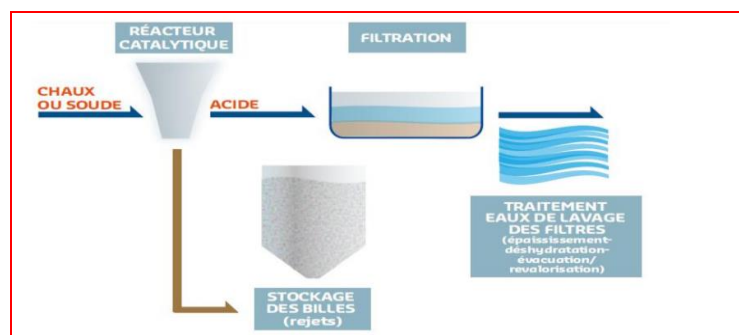
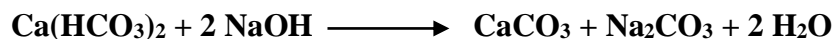


Figure III.12. Procédé de décarbonatation à la chaux ou à la soude

L'eau décarbonatée doit ensuite être filtrée pour garantir la qualité de l'eau produite et remise à pH (ajout d'acide). Ce procédé est destiné aux installations supérieures à 100 m³/h.

III.4.3.3. La décarbonatation sur résines échangeuses d'ions

Les résines de décarbonatation échangent les ions H⁺ de la résine contre les ions Ca²⁺, Mg²⁺ et Na⁺. Les résines sont régénérées avec un acide fort. Il est à noter que ce procédé n'est utilisé que dans l'industrie et chez les particuliers. 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

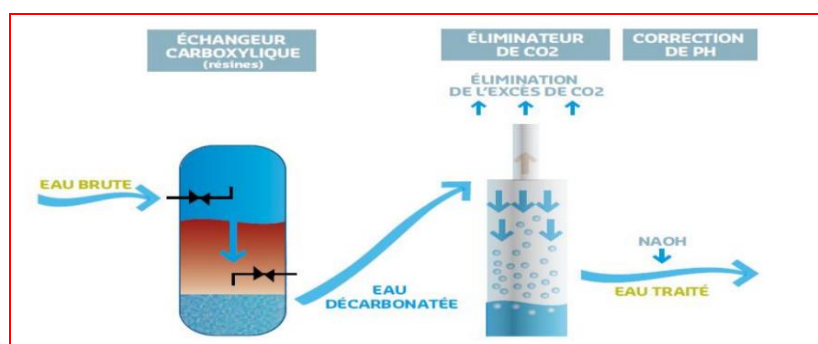


Figure III.13. Décarbonatation sur résines échangeuses d'ions

III.4.3.4. L'électro-décarbonatation

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 OH⁻ provoquant la précipitation du carbonate de calcium.
- ❖ A l'anode, il est produit des ions H⁺ qui réagissent avec les hydrogéné-carbonates pour former du dioxyde de carbone ensuite neutralisé.

Les boues formées sont recueillies au fond du réacteur, d'où elles sont périodiquement extraites. Elles sont déshydratées pour former des cristaux de CaCO₃ pur pouvant être réutilisés.

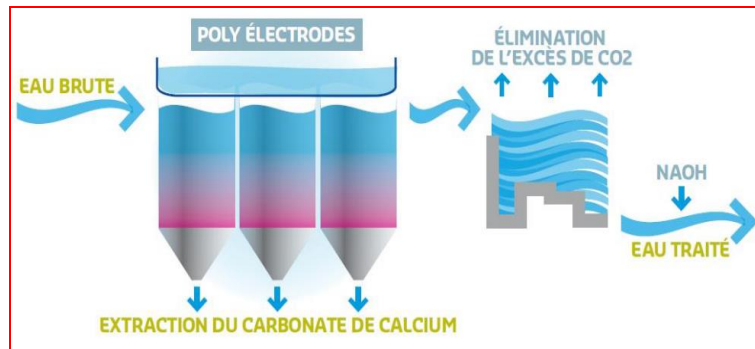


Figure III.14. Procédé de l'électro- décarbonatation

III.5. La défluoruration

III.5.1. Présence du fluor dans l'eau

Le fluor n'existe pas dans l'eau à l'état libre, mais sous forme de fluorures liés à d'autres ions : calcium, sodium, aluminium ...

Les fluorures de l'eau proviennent de la dissolution des roches pour les eaux souterraines, et de rejets industriels pour les eaux de surface. En fonction de l'origine de l'eau, les teneurs en fluorures peuvent varier de 0,01 à 0,3 mg/l dans les eaux de surface, jusqu'à quelques dizaines de mg/l dans les aquifères situés essentiellement dans des zones à activités géothermique, volcanique, ou contenant des proportions importantes de phosphates.

III.5.2. Effets et nuisances

Le principal vecteur de l'apport en fluor peut être, soit l'eau consommée, soit l'alimentation (poissons ,thé..). L'ion fluorure s'incorpore aux dents et aux os. Les fluorures à faible dose préviennent la carie dentaire, la concentration minimum efficace étant de 0,5 mg/l. Les fluorures peuvent provoquer une fluorose dentaire (taches sur l'émail) pour des concentrations se situant entre 0,9 et 1,2 mg/l. La fluorose du squelette (douleurs osseuses et articulaires accompagnées de déformations) s'observe lorsque l'eau de boisson contient de 3 à 6 mg de fluorures par litre. Il n'existe pas de preuve suffisante du caractère cancérigène des fluorures chez l'homme.



Figure III.15. Effet d'empoisonnement au fluor

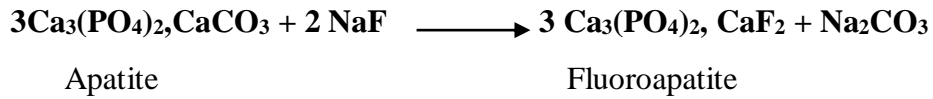
III.5.3. Techniques de défluoruration

III.5.3.1. L'adsorption sur alumine activée

Elle consiste à faire percoler l'eau à travers de l'alumine (Al_2O_3), matière poreuse capable d'adsorber le fluor. L'efficacité de cette technique dépend de la composition de l'eau à traiter. La capacité de rétention peut varier de 0,3 à 45 g d'ion F^- par litre de matériau.

III.5.3.2. L'échange d'ions sur phosphate tricalcique

Il se réalise entre un ion carbonate de l'apatite et un ion fluorure, formant ainsi de la fluoroapatite insoluble, et donc décantable.



Le phosphate tricalcique est commercialisé sous forme de poudre, mais peut également être formé in-situ grâce à une réaction entre de l'acide phosphorique et du chlorure de calcium ou de la chaux.