

## Traitement d'eau des chaudières vapeur

### Osmose inverse et électrodéionisation



Utilisées dans de nombreuses industries de pointe (micro-électronique, biotechnologie, optique...) pour la production d'eau ultrapure, l'osmose inverse et l'électrodéionisation (E.D.I.) trouvent aujourd'hui une application croissante dans le traitement d'eau des générateurs de vapeur.



A l'origine de cette évolution, une innovation technologique toujours d'actualité, les performances des membranes chaque année améliorées par les fabricants, la chute de leur prix rendue possible par une large diffusion, le travail remarquable des équipementiers pour en simplifier l'utilisation industrielle, la réglementation toujours plus contraignante sur les rejets industriels.

Mais pour garantir une propreté constante et un rendement optimal d'une production vapeur, c'est par leur fiabilité et performances élevées que l'osmose inverse et l'E.D.I. se rendent incontournables lors du choix d'un traitement d'eau de chaudière.



L'eau traitée par ces techniques permet d'améliorer la qualité de la vapeur, d'optimiser les échanges thermiques par l'absence totale de dépôt sur les surfaces d'échange, de réduire les pertes calorifiques par une réduction des purges de déconcentration, d'alléger les coûts en traitement chimique anticorrosion/antitartre.



Compte tenu des coefficients de transfert de chaleur de plus en plus élevés dans les chaudières vapeurs, tout dépôt risque d'avoir des conséquences sévères sur la consommation d'énergie et de fragiliser le matériel.

Un défaut de refroidissement des parois entraîne une augmentation locale de la température et une baisse de la résistance mécanique des tubes de chaudière, pouvant aller jusqu'à leur rupture. Les phénomènes peuvent être complexes.

Néanmoins les problèmes les plus classiques peuvent se résumer de la manière suivante :

Chacun sait que les sels de calcium et de magnésium, constitutifs du TH des eaux dures, ont une solubilité limitée avec l'augmentation de la température.

Ce phénomène est particulièrement critique en chaudière vapeur où les températures sont élevées.

De même, la silice au-delà d'une certaine concentration et dans des conditions particulières d'alcalinité, précipite pour former des dépôts extrêmement isolants.

Enfin, l'eau alimentaire peut contenir des traces de fer provenant des retours de condensats ou de corrosion de la bêche alimentaire.

Au pH rencontré en chaudière (supérieur à 9,5) le fer est pratiquement totalement insoluble et précipitera pour former des dépôts d'oxydes participants à l'encrassement général des tubes et ballons de chaudières.

## CORROSION

Bien que de multiples paramètres soient à considérer, deux facteurs principaux sont responsables des corrosions.

L'oxygène dissous en présence de métal joue le rôle de cathode. Un courant électrique continu s'établit entre les régions du métal auxquelles l'oxygène a facilement accès (cathode) et celles où le gaz ne peut que difficilement parvenir (anode). Ces corrosions se localiseront dans tout le système d'alimentation et principalement dans la bêche alimentaire, dans la chaudière elle-même, notamment lors des arrêts de production.

Les hydrogénocarbonates ( $\text{HCO}_3$ ) contenus dans l'eau alimentaire des chaudières se décomposent à la température pour former des carbonates  $\text{CO}_3$  et du dioxyde de carbone  $\text{CO}_2$ . Le  $\text{CO}_2$  s'échappera avec la vapeur pour se solubiliser dans les condensats, produisant une eau acide dont le pH dans les cas extrêmes peut descendre en dessous de 6. A de tels pH, les corrosions de l'acier sont extrêmement fortes et entraînent des percements très rapides.

Bien entendu, plus il y aura d'hydrogénocarbonates dans l'eau et plus la formation de  $\text{CO}_2$  sera importante.



Il s'agit d'un entraînement de gouttelettes d'eau de chaudière au sein de la vapeur produite dû à un excès de concentration des sels minéraux, une alcalinité caustique élevée, la présence de turbulences et de mousses au niveau du plan d'eau de la chaudière, favorisé par ce qui précède et des variations anormales de vaporisation.

Les conséquences sont évidemment une baisse de rendement de la vapeur, des risques d'érosion et d'encrassement des installations en aval.

Produire de la vapeur dans des conditions optimales impose donc de respecter un certain nombre de contraintes, dont la mise en œuvre d'un prétraitement de l'eau d'appoint.

Le niveau minimum de prétraitement sera le plus souvent fonction de la pression de la vapeur produite.

On pourra ainsi aller d'un simple adoucissement jusqu'à une déminéralisation complète. (voir tableau ci-après).

Pression de service (bar)	≤ 15	15 à 25	25 à 35	35 à 45	≤ 45 à 60	60 à 75	75 à 100
<b>Eau d'alimentation</b>							
pH	≥ 8,5	≥ 8,5	≥ 8,5	≥ 8,5	≥ 8,5	≥ 8,5	≥ 8,5
TH (° f)	< 0,5	< 0,2	< 0,2	< 0,1	< 0,05	< 0,05	< 0,5
Fe total maxi (mg/l)					< 0,05	< 0,05	< 0,03
Cu total maxi (mg/l)					< 0,03	< 0,03	< 0,01
O <sub>2</sub>	Elimination de l'oxygène dissous par dégazage thermique efficace (O <sub>2</sub> < 0,02 mg/l) ou/et utilisation de réactifs réducteurs						
Eau de chaudière	< 120	< 80	≤ 60	≤ 40	≤ 15	≤ 10	≤ 5
TAC (° f)	= 0,7	= 0,7	= 0,7	= 0,7	≥ 0,5	≥ 0,5	≥ 0,5
TA (° f)	TAC	TAC	TAC	TAC	TAC	TAC	TAC
SiO <sub>2</sub> (mg/l)	< 200	≤ 150	≤ 90	≤ 40	≤ 15	≤ 10	≤ 5
SiO <sub>2</sub> TAC	≤ 2,5	≤ 2	≤ 1,5	< 1	< 1	≤ 1	≤ 1
Salinité totale (mg/l)	< 4000	< 3000	< 2000	< 1500	< 500	< 300	< 100
NaOH libre (mg/l)	≤ 800	≤ 600	≤ 400	≤ 300	< 20	≤ 10	≤ 5
Phosphate (mg/l)	30 à 100	30 à 100	20 à 80	20 à 80	10 à 60	10 à 40	5 à 20
pH	10,5 à 12	10,5 à 12	10,5 à 12	10,5 à 12	10 à 11	10 à 11	9,5 à 10,5



Les techniques les plus couramment mises en œuvre sont les échangeurs d'ions. On les emploie pour adoucir, décarbonater ou déminéraliser l'eau. Ils utilisent la propriété de certaines résines synthétiques de remplacer des ions indésirables par des ions acceptables par le process.

Ainsi en adoucissement, on utilisera une résine cationique forte de type polystyrène/sulfonique qui échangera des ions sodium dont les sels sont très solubles contre des ions calcium à l'origine des phénomènes d'entartrage. Ces résines en forme de billes soigneusement calibrées ont un pouvoir d'échange limité, au-delà duquel il devient nécessaire de procéder à leur régénération.

On utilisera comme solution de régénération, le chlorure de sodium pour l'adoucissement, l'acide chlorhydrique pour la décarbonatation, l'acide et la soude pour la déminéralisation.

Leurs équipements comprennent un réservoir où sont logées les billes de résine, une panoplie de vannes assurant la régulation des débits de service et de régénération, et un stockage du réactif chimique permettant l'échange ionique pendant les régénérations.

Rappelons qu'au cours de cette opération qui peut durer plusieurs heures, il n'y a plus de production d'eau traitée.

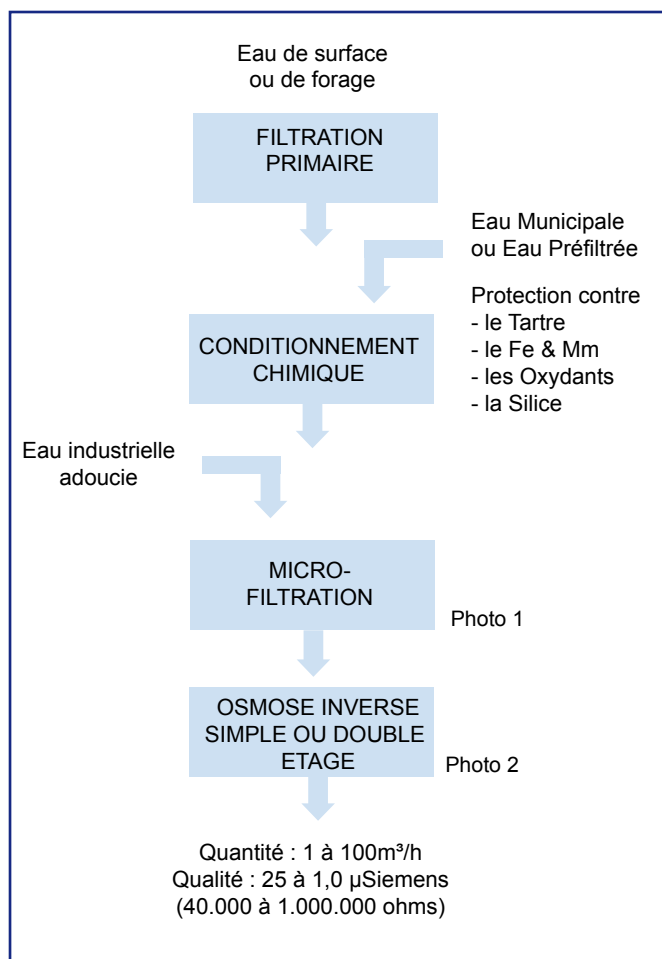
Aussi convient-il de disposer de deux réservoirs, l'un en production et l'autre en régénération ou en attente pour une production en continu.

Bien que présentant de nombreux inconvénients : stockage et manutention d'importants volumes de réactifs chimiques, effluents fortement salins nécessitant de plus en plus souvent un traitement préalable avant rejet, fluctuation de la qualité d'eau produite principalement en fin de cycle, maintenance difficile, les échangeurs d'ions doivent leur succès à une technologie restée longtemps inégalée et à un coût d'exploitation modéré.



Photo 1

## Schéma de procédé pour osmose ou bi-osmose



L'osmose inverse est constituée de membranes synthétiques de type polysulfone, le plus souvent roulées en spirale dans des modules de pression. Une pompe haute pression d'environ 20 bar alimente ces modules dans lesquels s'opérera une filtration tangentielle de l'eau au travers des membranes.

L'eau est ainsi scindée en deux flux, l'un déminéralisé appelé communément « perméat », l'autre concentré en sels minéraux à éliminer appelé « concentrat ». Les qualités d'eau ainsi obtenues sont de l'ordre de 3 à 25  $\mu\text{S}/\text{cm}$  pour un simple étage d'osmose, jusqu'à 1 mégohm pour un double étage d'osmose, soit deux osmoseurs montés en série.

Le taux de conversion, voisin de 75 % pour les installations récentes, définit le pourcentage d'eau déminéralisée par rapport à l'eau d'alimentation du système.

L'osmose inverse présente l'intérêt, contrairement aux résines échangeuses d'ions, de ne pas nécessiter pour leur fonctionnement l'emploi de réactifs agressifs comme l'acide chlorhydrique ou la soude caustique.

Leurs effluents ne présentent aucun problème de rejet pour l'environnement, ils sont même fréquemment recyclés sur d'autres utilités. Elles sont néanmoins sensibles aux sels de calcium, au chlore et matières en suspension.

Tout traitement par osmose inverse sera donc précédé d'une filtration, de l'ajout dans l'eau à traiter de faibles doses (10 à 30  $\text{g}/\text{m}^3$ ) de produits séquestrant/dispersant du tartre, comme les polyphosphates ou phosphonates, et de réducteurs de chlore tel que le bisulfite de sodium.

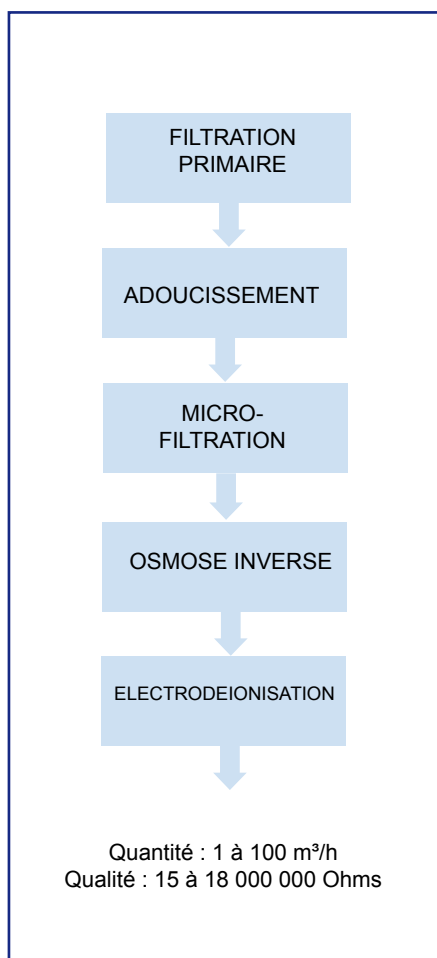
Compte tenu de la simplicité du procédé, simple « filtration », l'osmose inverse autorise des installations compactes, entièrement automatisables, ne nécessitant pas de personnel qualifié pour leur conduite. Par ces qualités, l'osmose inverse reste à ce jour d'une fiabilité inégalée.



Photo 2



### Schéma de procédé pour électrodéionisation Schéma de procédé pour osmose ou bi-osmose



L'électrodéionisation est la dernière née des technologies de déminéralisation de l'eau. Elle n'est utilisable qu'après un prétraitement par osmose inverse pour obtenir une eau de très haute qualité proche de 18 mégohms. L'E.D.I. fait la synthèse des techniques par résines échangeuses d'ions et des techniques membranaires.

Les résines utilisées sont identiques à celles utilisées pour les échangeurs d'ions classiques.

Mais elles seront régénérées par les ions H<sup>+</sup> et OH<sup>-</sup> contenus dans l'eau même à traiter et à l'aide d'un champ électrique.

Elles prennent place entre deux membranes dont les propriétés sont d'être imperméables à l'eau et perméables aux ions.

Chaque membrane reçoit une alimentation électrique lui conférant un rôle de cathode ou d'anode.

Les résines servant de capteur et de conducteur des ions indésirables, le champ électrique ainsi créé les fera migrer jusqu'aux membranes qui se chargeront de les éliminer ou le plus souvent les recycler en tête du prétraitement.

La régénération se fait donc en continu suivant les trois étapes suivantes :

- captation des ions indésirables par les résines,
- régénération de celles-ci par les ions H<sup>+</sup> et OH<sup>-</sup> contenus dans l'eau à traiter et
- déplacement grâce aux champs électriques jusqu'aux membranes qui, soit les rejettent, soit les recycleront en tête de prétraitement.

La qualité d'eau obtenue est proche de la valeur absolue de 18 mégohms.

Leur coût d'exploitation se limite à la seule consommation électrique d'environ 0,5 kw/h par m<sup>3</sup> produit et leur maintenance est quasi inexistante. Ils sont réservés aux chaudières hautes pressions et lors d'utilisation d'une turbine à vapeur.



Outre le traitement de l'eau d'appoint, il convient de prévoir un traitement complémentaire de l'eau d'alimentation des chaudières par conditionnement chimique.

En l'absence de dégazeur thermique destiné à éliminer mécaniquement l'oxygène, on réduira chimiquement l'oxygène par l'injection d'un sulfite de sodium, d'un tannin, d'un tannate ou d'hydrazine.

Quelle que soit la qualité du traitement de l'eau d'appoint, on se prémunira des éventuelles fuites de dureté par un dosage de phosphates associés à des dispersants organiques qui permettent de précipiter le calcium sous forme de boues de phosphate de calcium moins adhérent et moins isolant que le carbonate.

Les boues formées sont dispersées par des produits organiques, afin qu'elles ne se fixent pas ou peu sur les tubes des chaudières.

Les amines neutralisantes ou filmantes auront pour rôle de protéger le réseau de condensats des corrosions dues au CO<sub>2</sub> et à l'oxygène.

Ce sont des produits volatiles, injectés dans l'eau alimentaire ou directement en chaudière, qui, avec la vapeur, partent soit neutraliser le CO<sub>2</sub> au moment de la condensation, soit former un film protecteur entre le métal et les condensats. Il est bien évident que plus l'eau d'appoint sera épurée, moins le conditionnement chimique sera important.

## PURGE DE DECONCENTRATION

Les purges de déconcentration consistent à évacuer les sels minéraux apportés par l'eau d'appoint et qui se sont concentrés dans la chaudière par suite des pertes d'eau pure produites par la vapeur. Elles seront d'autant plus importantes que l'eau d'appoint est moins traitée. Ainsi, pour une eau d'appoint seulement adoucie ou décarbonatée, les purges pourront représenter de 5 à 25 % du débit vapeur. Le rendement des chaudières s'en trouve de fait considérablement diminué.

Pour la production d'eau déminéralisée, l'osmose inverse et l'E.D.I. s'imposent désormais comme des alternatives élégantes aux techniques échangeurs d'ions par résines. Elles seront dans tous les cas adoptées en remplacement d'adoucisseur et de décarbonateur lorsque l'on souhaitera améliorer le rendement d'une production vapeur par une meilleure propreté des surfaces d'échanges, une réduction des purges de déconcentration et une diminution des consommations en réactif chimique.

Pour les chaudières vapeur, alimentées en eau déminéralisée par résines échangeuses d'ions, l'osmose inverse, suivie éventuellement pour les hautes pressions d'un E.D.I, assurera par sa fiabilité et souplesse d'exploitation incomparables une maintenance plus sûre et plus aisée.



65, avenue Georges Politzer  
78190 TRAPPES  
FRANCE

Tel +33-1-30-16-26-46  
Fax +33-1-30-50-26-50

e-mail: [infos@epuro.fr](mailto:infos@epuro.fr)  
web site: [www.epuro.fr](http://www.epuro.fr)