

CHAPITRE XII c

LES MODES DE TRAITEMENT DES EAUX D'ALIMENTATION DES CHAUDIÈRES

Devant les graves inconvénients résultant de la présence de tartre ou de corrosions dans les chaudières, on s'est, depuis très longtemps, attaché à la recherche de procédés permettant d'empêcher leur formation.

De multiples solutions ont été proposées qui, tout en réduisant plus ou moins les effets de ces « maladies », ne les supprimaient pas complètement.

Le procédé de traitement *intégral* des eaux d'alimentation des chaudières, qui donne une solution complète aux problèmes posés, n'a été mis au point que récemment. Aussi, la S.N.C.F. appliquait-elle auparavant à titre de palliatifs, divers modes de traitements que nous rappellerons ci-après et dont certains sont d'ailleurs encore utilisés pour des besoins particuliers.

Les divers modes de traitements des eaux peuvent se diviser en deux catégories :

a) **les modes de traitements, externes** qui consistent à épurer l'eau avant son introduction dans les chaudières.

b) **les modes de traitements internes**, où le traitement de l'eau s'effectue dans la chaudière même.

A - TRAITEMENTS EXTERNES

D'une manière générale, ces traitements sont effectués à **poste fixe**; ils permettent, plus ou moins complètement, d'éliminer ou de transformer en sels très solubles, les sels incrustants contenus dans l'eau destinés à l'alimentation des chaudières.

Parmi les modes de traitements externes nous citerons :

1° **le traitement à la chaux et au carbonate de sodium** ;

2° **les traitements par échangeurs d'ions.**

1° **Traitement à la chaux et au carbonate de sodium, dit « Traitement à la chaux-soude »**

Nous avons vu que la majeure partie des incrustations qui se forment dans les chaudières sont provoquées par les bicarbonates de calcium et de magnésium et le sulfate de calcium contenus dans l'eau d'alimentation.

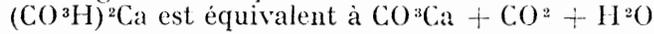
Nous avons vu également que les carbonates de calcium et de magnésium sont extrêmement peu solubles. Il suffit donc de transformer les bicarbonates de calcium et de magné-

sium ainsi que le sulfate de calcium dissous dans l'eau, en carbonates pour que ceux-ci, étant donnée leur faible solubilité, se déposent.

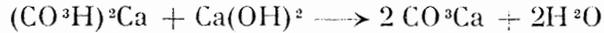
C'est là le principe du traitement à la chaux et au carbonate de sodium.

En effet, la chaux $\text{Ca}(\text{OH})_2$, est un corps capable de fixer du gaz carbonique (CO_2) avec lequel elle se combine pour donner le carbonate de chaux.

D'autre part, les bicarbonates en solution peuvent être considérés comme une association de carbonate avec du gaz carbonique :



Par conséquent, si l'on ajoute de la chaux à une eau contenant du bicarbonate de calcium par exemple, la chaux s'emparera du CO_2 du bicarbonate et ramènera celui-ci à l'état de carbonate de calcium, tout en se transformant elle-même en carbonate de calcium :



Le carbonate de calcium formé se dépose et l'eau se trouve ainsi débarrassée des bicarbonates incrustants qu'elle contenait en solution sans formation, en contre-partie, de sels résiduels. Sa « minéralisation » est diminuée.

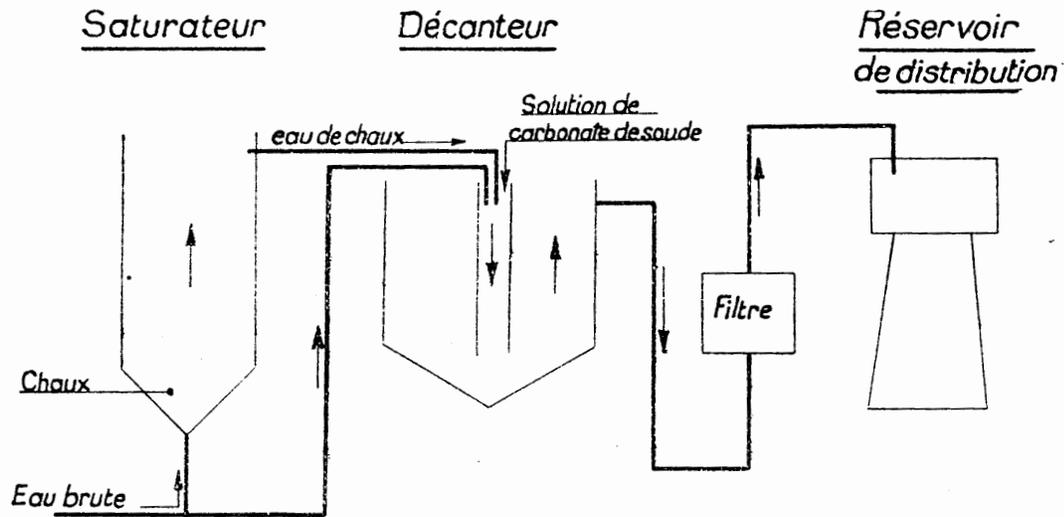
Pour éliminer le sulfate de calcium (SO^4Ca) dissous dans l'eau, on fait appel au carbonate de sodium (CO^3Na^2). En effet, lorsque ce réactif est ajouté à une solution de sulfate de calcium, il se produit une « double décomposition », c'est-à-dire qu'il y a formation de carbonate de calcium et de sulfate de sodium.



Le carbonate de calcium précipite et le sulfate de sodium (SO^4Na^2) très soluble, reste dissous.

Le sulfate de calcium incrustant, qui était contenu dans l'eau se trouve donc remplacé par une quantité équivalente de sulfate de sodium, non incrustant.

Pratiquement, l'épuration à la chaux-soude est réalisée de façon continue dans des installations d'importance variable, de la façon suivante :



L'eau à traiter (eau brute) est séparée en deux parties : d'une de celles-ci passe dans un appareil appelé saturateur dans lequel elle dissout, jusqu'à saturation, de la chaux qu'on y introduit périodiquement. La seconde partie est amenée à l'entrée du décanteur où elle se mélange avec l'eau de chaux saturée sortant du saturateur et avec une solution de carbonate de sodium. L'eau monte ensuite lentement dans le décanteur, en abandonnant les carbonates insolubles qui se rassemblent en bas de cet appareil sous forme de boues, évacuées périodiquement par des purges.

A la sortie du décanteur, et avant d'être distribuée, l'eau traverse des filtres qui retiennent les dernières traces de carbonates précipités qu'elle pourrait encore tenir en suspension.

Dans certaines installations plus modernes, le saturateur est supprimé. La chaux est ajoutée sous forme de lait de chaux, à l'eau brute en même temps que la solution de carbonate de sodium, à l'entrée du décanteur.

Ce mode d'épuration n'est pas parfait.

La réaction de double décomposition entre le carbonate de sodium et le sulfate de calcium n'est pas complète et il reste, dans l'eau épurée, des petites quantités de sulfate de calcium et de carbonate de sodium qui n'ont pas réagi. De plus, le carbonate de calcium n'est pas totalement insoluble et l'eau en contient encore en solution une faible proportion. C'est pourquoi le titre hydrotimétrique des eaux épurées par ce procédé est encore de l'ordre de 5 à 10°.

L'utilisation exclusive de ces eaux pour l'alimentation des chaudières ne met pas complètement à l'abri des incrustations. La formation de celles-ci est cependant ralentie mais, par contre, le tartre formé est constitué, en majeure partie, par de la silice, qui n'est pas éliminée par le traitement, et du sulfate de calcium; il est donc particulièrement dur et fortement isolant.

La présence de sulfate de calcium dans ce tartre est due au fait que sa solubilité dans l'eau diminue quand la teneur en sulfate de sodium de cette eau augmente. Or, nous avons vu que les eaux épurées à la chaux-soude contiennent des quantités de sulfate de sodium équivalentes aux quantités de sulfate de calcium éliminées. Du fait de l'évaporation de l'eau en chaudière, ce sulfate de sodium se concentre, et il arrive un moment où sa teneur est suffisante pour que la solubilité du sulfate de calcium devienne plus faible que celle du carbonate de calcium. Les sels de calcium incrustants qui subsistent dans l'eau épurée précipitent alors uniquement sous forme de sulfate.

La concentration du sulfate de sodium dans l'eau des chaudières, présente d'autres inconvénients : elle peut être la cause de primages et d'entraînements d'eau et elle facilite le développement des corrosions électrochimiques.

Cependant, l'épuration préalable des eaux à la chaux et au carbonate de sodium est pratiquée sur une assez grande échelle à la S.N.C.F. car elle permet de simplifier l'application du T.I.A. lors de l'utilisation d'eaux de très mauvaise qualité.

2° Traitements par échangeurs d'ions

Ces modes de traitement, dénommés également *traitements par permutaton*, sont basés sur **la propriété que possèdent certains corps insolubles d'échanger, de façon réversible, des éléments constitutifs de leur molécule contre certains ions, présents dans les solutions mises en leur contact.**

Nous examinerons successivement les divers modes d'épuration des eaux que les échangeurs d'ions, ou *permutites*, permettent de réaliser.

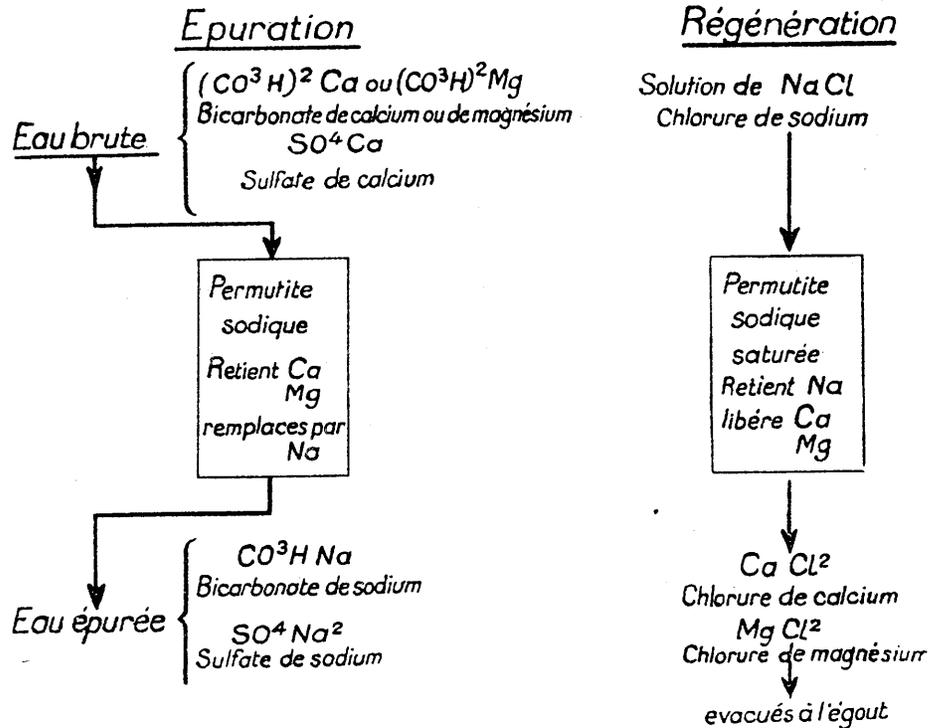
a) Permutites sodiques.

Les permutites sodiques, dont il existe plusieurs variétés, sont des composés, naturels ou synthétiques, contenant du sodium échangeable contre des ions métalliques, comme, par exemple, le calcium et le magnésium.

Pour épurer une eau contenant des sels de calcium et de magnésium, il suffit donc de la faire passer à travers une couche de petits grains de permutite sodique. Les ions calcium et magnésium sont retenus par l'échangeur, qui les remplace dans la solution par des ions sodium. Ainsi, tous les sels incrustants contenus dans l'eau sont transformés en sels de sodium correspondants, non incrustants.

Lorsque la couche de permutite ne contient plus de sodium échangeable, il est possible de la *régénérer* en la faisant traverser par une solution de chlorure de sodium. Les échanges s'effectuent alors en sens inverse, : la permutite retient les ions sodium et libère les ions calcium et magnésium qu'elle avait précédemment fixés, et se trouve ainsi capable d'épurer une nouvelle quantité d'eau.

Les installations d'épuration par permutation sodique fonctionnent donc de façon discontinue, en deux phases que l'on peut schématiquement représenter de la façon suivante :



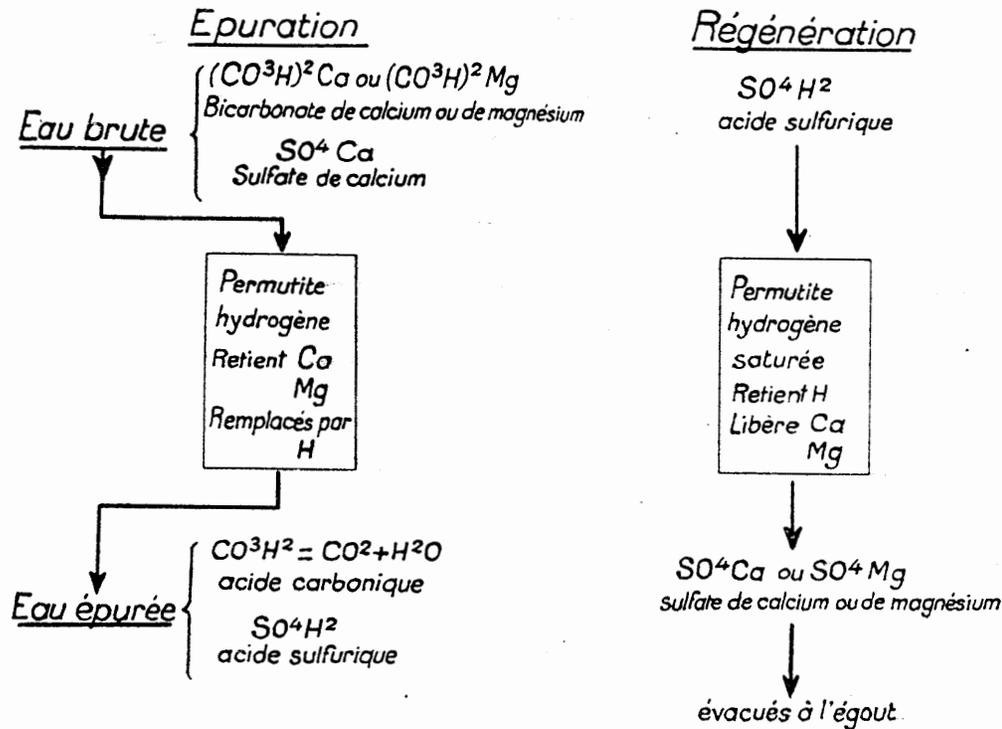
Le titre hydrotimétrique de l'eau épurée par ce procédé est de 0°. Elle ne peut donc provoquer aucune incrustation calcaire ou magnésienne. Mais l'utilisation de cette eau présente cependant des inconvénients : en effet, elle contient, sous forme de sels de sodium, la *totalité* des sels contenus dans l'eau brute. Les sels de sodium se concentrent en chaudière, où de plus, le bicarbonate de sodium s'hydrolyse en donnant du carbonate de sodium et de la soude caustique. La salinité et l'alcalinité de l'eau de chaudière augmentent rapidement et il est nécessaire, pour éviter les corrosions et les entraînements d'eau qui en résulteraient, de pratiquer des extractions importantes, représentant au minimum 10 % de la quantité d'eau vaporisée.

b) Permutation hydrogène et permutation mixte.

Les permutites d'hydrogène sont des corps synthétiques, capables d'échanger des ions hydrogène contre des ions métalliques tels que les ions calcium, magnésium, sodium, etc.

Elles permettent donc, par un processus analogue à celui qui est appliqué avec les permutites sodiques, de débarrasser une eau de ses sels incrustants en remplaçant ceux-ci par les acides correspondants. Ces permutites se régénèrent à l'aide d'une solution d'acide sulfurique ou chlorhydrique.

Le schéma de l'épuration est le suivant :



Avant d'utiliser l'eau ainsi épurée, il est nécessaire de neutraliser les acides qu'elle contient.

L'acide carbonique, provenant des bicarbonates, se dissocie facilement et une simple pulvérisation de l'eau suffit à l'éliminer presque totalement sous forme de gaz carbonique (CO^2).

L'acide sulfurique provenant des sulfates, et éventuellement les acides chlorhydrique et nitrique provenant des chlorures et nitrates contenus dans certaines eaux, sont neutralisés à l'aide de carbonate de sodium ou de soude caustique et donnent les sels de sodium correspondants.

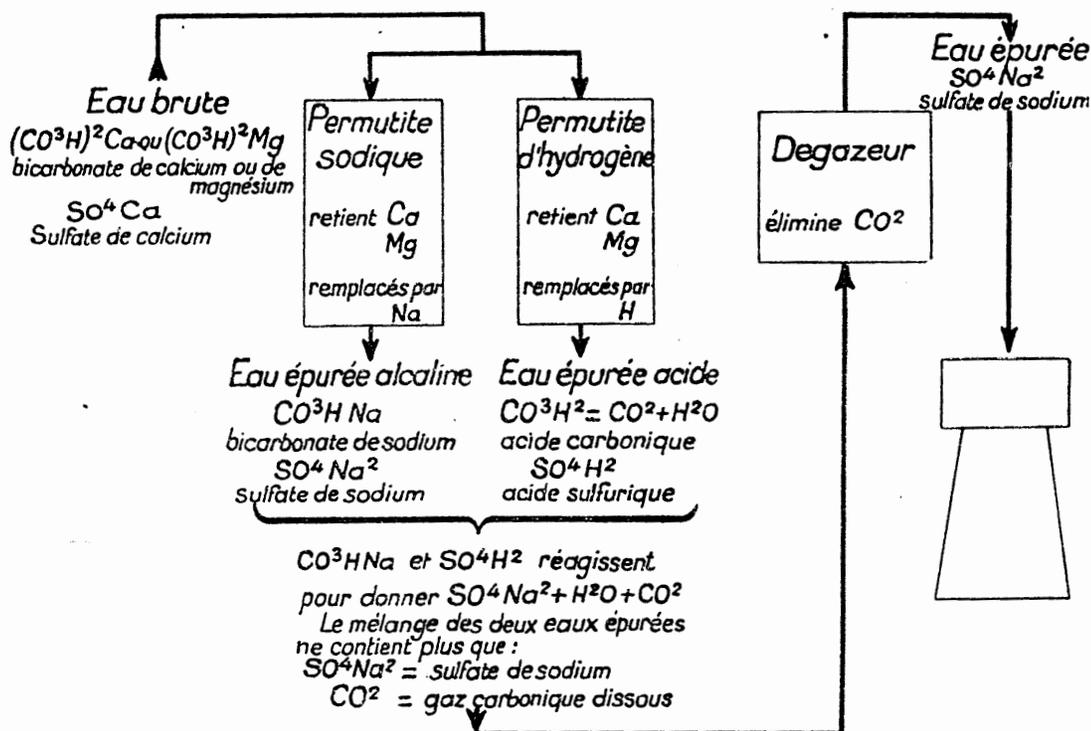
Finalement, l'eau obtenue a un titre hydrotimétrique nul et elle est moins minéralisée que l'eau brute puisque les bicarbonates de celle-ci ont été éliminés sans formation, en contrepartie, de sels dissous.

La neutralisation doit être surveillée très attentivement car un dérèglement ou un manque de réactif neutralisant, qui amènerait de l'eau acide dans les chaudières, aurait les plus graves conséquences.

Un perfectionnement de ce procédé, la permutation mixte, consiste à neutraliser l'eau épurée par permutation hydrogène à l'aide du bicarbonate de sodium contenu dans l'eau épurée par permutation sodique.

L'installation d'épuration comprend dans ce cas deux adoucisseurs (l'un contenant de la permutite sodique et l'autre de la permutite hydrogène) fonctionnant en parallèle, chacun recevant une fraction bien déterminée de l'eau brute de façon que le mélange des deux eaux épurées (l'une alcaline et l'autre acide) soit légèrement alcalin.

Le schéma de l'épuration est le suivant :



Les périodes de régénération, non mentionnées sur ce schéma, s'effectuent suivant le processus indiqué ci-dessus pour chacun des modes de permutaton utilisés.

La permutaton hydrogène et la permutaton mixte permettent d'obtenir de l'eau partiellement déminéralisée et ne contenant, à l'exception de la silice qui n'est pas éliminée, aucun sel incrustant. Une eau de cette qualité ne peut, par conséquent, provoquer aucune incrustation calcaire ou magnésienne.

Cependant, l'utilisation de cette eau ne permet pas d'éviter certaines corrosions, car l'eau ainsi épurée contient de l'oxygène dissous, d'autant plus que la pulvérisation pour dégazage, qui termine l'épuration, facilite la dissolution par l'eau de l'oxygène de l'air.

c) Bipermutaton.

Nous venons de voir que la permutite d'hydrogène était capable d'échanger les ions métalliques des sels dissous dans l'eau, contre des ions hydrogène, qui sont également, avec les ions OH⁻ (oxhydrile), les ions constitutifs de l'eau :



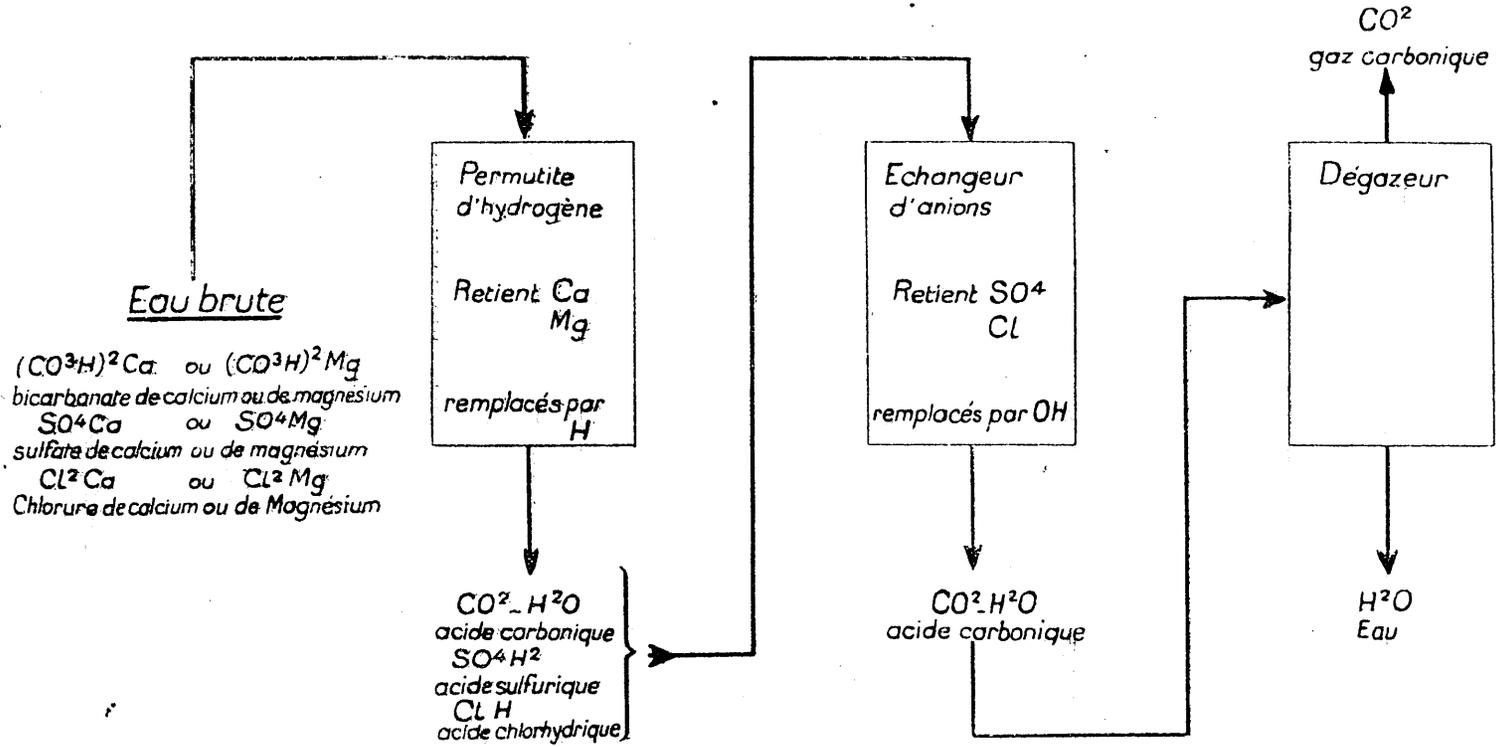
Les acides dissous dans l'eau épurée à la permutite hydrogène sont constitués, d'une part, par les ions H⁺ libérés par celle-ci et, d'autre part, par des ions négatifs dits « anions » correspondant aux sels primitivement contenus dans l'eau brute :

- l'anion SO^4 — pour l'acide sulfurique provenant des sulfates,
- l'anion Cl^- pour l'acide chlorhydrique provenant des chlorures,
- l'anion NO^3 - pour l'acide nitrique provenant des nitrates.

Si l'on fait passer cette eau contenant des acides en solution à travers un lit de permutite capable de retenir les anions en les remplaçant par des ions OH⁻, il est évident qu'il ne restera plus, après cette seconde permutaton, aucun corps dissous dans l'eau, puisque les ions H⁺ provenant de la première permutaton et les ions OH⁻, provenant de la seconde, se combineront pour donner de l'eau.

C'est le principe du procédé par "bipermutaton".

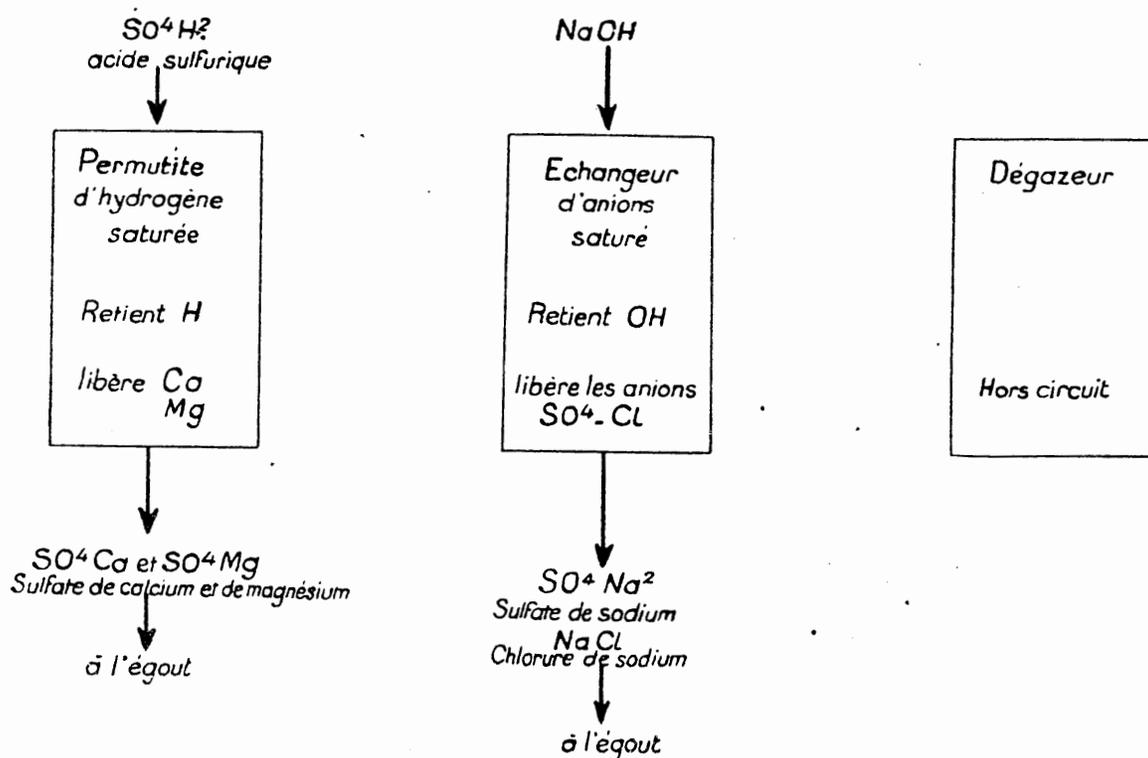
Epuraton



Les échangeurs d'anions sont, comme les permutites hydrogène, des produits organiques synthétiques. Ils se régénèrent à l'aide d'une solution alcaline : carbonate de sodium ou soude caustique.

Schématiquement, la bipermutation peut se représenter ainsi :

Régénération



La bipermutation permet d'obtenir une eau qui, à l'exception de la silice, est complètement déminéralisée.

C'est un procédé très intéressant, particulièrement pour les chaudières à haute pression ou à vaporisation instantanée. Il permet, de plus, d'utiliser les eaux dont la forte minéralisation en interdirait l'usage, même après application de tout autre mode de traitement préalable (c'est le cas, en particulier, de certaines eaux chargées en chlorure de sodium).

Il présente cependant l'inconvénient d'exiger un appareillage complexe, délicat, nécessitant une surveillance très attentive.

En outre, l'eau déminéralisée, de même que l'eau traitée par permutite hydrogène ou permutite mixte, contient toujours de l'oxygène dissous qui peut provoquer certaines corrosions.

Dans l'ensemble, les procédés de traitement des eaux par échangeur d'ions, permettent d'éviter complètement la formation d'incrustations calcaires ou magnésiennes. Ils permettent également d'employer certaines eaux qui, sans eux, seraient inutilisables.

Ils ne résolvent pas cependant totalement le problème de l'épuration des eaux car ils laissent toujours subsister des risques d'incrustations silicatées et de corrosions.

B - TRAITEMENTS INTERNES

Ces modes de traitement consistent à introduire dans les chaudières, soit directement, soit en mélange avec l'eau d'alimentation, certaines substances ayant, plus ou moins, le pouvoir d'éviter la formation des incrustations.

De très nombreux désincrustants, simples ou composés, ont été proposés à cet effet.

Ils agissent, soit par leurs propriétés physiques, soit chimiquement, en empêchant les petits cristaux qui apparaissent dans l'eau des chaudières, de s'accroître et de s'agglomérer; les précipitations s'effectuent ainsi, en majeure partie, sous forme de boues.

Nous ne citerons que quelques désincrustants qui furent utilisés pour le traitement des chaudières de locomotives :

1^o Désincrustants à action physique

Ce sont, en général, des substances **colloïdales**, c'est-à-dire capables de se disperser dans l'eau en particules extrêmement petites, et qui doivent à cette propriété leur pouvoir de gêner l'accroissement des germes de cristallisation.

Parmi les désincrustants de ce type figurent :

- le **graphite naturel**, qui n'est actif que s'il est extrêmement fin et présente l'avantage de ne pas provoquer de primage ni de corrosion,
- des **solutions mucilagineuses** obtenues par macération de certaines graines : graines de lin, de psillium (colloïde Lalande), de caroube,
- les **tanins** qui, en plus de certaines actions chimiques, possèdent la propriété de gêner le développement des cristaux de calcite (carbonate de calcium) qui prennent des formes arrondies et perdent toute tendance à s'agglomérer.

2^o Désincrustants à action chimique

- le **carbonate de sodium**, qui s'oppose partiellement, par son action sur le sulfate de calcium, à la formation d'incrustations sulfatées,
- les **phosphates alcalins**, qui donnent, avec les sels de calcium et de magnésium, des précipités légers, n'ayant pas tendance à s'agglomérer.

Un certain nombre de désincrustants composés associent des substances à action physique avec des réactifs chimiques. C'est le cas, par exemple, des produits suivants :

- le **William's** — composé de tanins et de chlorure de baryum,
- le **désincrustant Ouest et l'antitartre P.O.** — composé de tanins (qu'ébracho ou châtaignier), de carbonate de soude et de soude caustique,
- les **pâtes désincrustants S.N.C.F.**, dérivés de ces derniers et dont l'emploi est actuellement généralisé à la S.N.C.F. pour le traitement des locomotives non encore soumises au T.I.A.

L'emploi des désincrustants ralentit la formation du tartre, mais ne permet pas de le supprimer totalement. Ce ne sont que des palliatifs.

C'est cependant en utilisant les propriétés des désincrustants qu'on a pu mettre au point le traitement interne-intégral, qui sera décrit par ailleurs. Les complexes, utilisés pour ce traitement, peuvent être, en effet, considérés comme des désincrustants composés, le traitement interne intégral pouvant se définir alors comme l'utilisation rationnelle d'un désincrustant adapté aux caractéristiques des eaux à traiter, de telle façon que tout effet nuisible de celles-ci soit interdit.