# Perturbations causées dans les installations par l'eau et sa vapeur: remèdes apportés par le conditionnement

Autor(en): **Robert, E. / Lerat, H. / Mayet, J.**

Objekttyp: **Article**

Zeitschrift: **Bulletin technique de la Suisse romande**

Band (Jahr): **97 (1971)**

Heft 8: **Foire de Bâle, 17-27 avril 1971**

PDF erstellt am: **27.04.2024**

Persistenter Link: https://doi.org/10.5169/seals-71194

**Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.
Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.
Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

**Haftungsausschluss**

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Ein Dienst der *ETH-Bibliothek*
ETH Zürich, Rämistrasse 101, 8092 Zürich, Schweiz, www.library.ethz.ch

**http://www.e-periodica.ch**

# Perturbations causées dans les installations par l'eau et sa vapeur [1]

## Remèdes apportés par le conditionnement

par Dr E. ROBERT, ingénieur EPF-SIA, H. LERAT et J. MAYET, Société Permo

## Première partie

## L'eau et les phénomènes engendrés par l'ensemble eau-métal et les variations de température

### Introduction

L'évolution régulière des techniques appliquées aux circuits d'eaux froides et chaudes, à la production de vapeur ou de frigories, conduit inévitablement les installateurs, les thermiciens et les frigoristes, à l'utilisation d'eaux de plus en plus pures, et de mieux en mieux adaptées aux fonctions auxquelles ils les destinent.

La sensibilisation de ces entreprises aux problèmes techniques posés par l'eau pour ses usages industriels ou domestiques n'est pas un phénomène récent. Elle est évidemment apparue avec les premières incrustations et les premières corrosions.

Toutefois, ces inconvénients n'avaient, en général, que des répercussions très limitées, comparativement à l'époque actuelle, étant donné la taille et la technique des installations.

Cette sensibilisation s'accrut très vite avec les perfectionnements des techniques relatives aux matériels et à leurs diverses applications.

D'autres impératifs tels que les coûts matière, l'importance des installations, les encombrements réduits, etc., incitèrent les entreprises à s'adjoindre de nouvelles techniques dépendant de l'électronique et des disciplines relevant, pour l'eau, de la chimie et de la physique.

Ceci entraîna donc particulièrement la collaboration des installateurs, thermiciens et frigoristes, avec les instituts techniques, les sociétés de traitement et de conditionnement de l'eau.

Notre propos n'est pas de développer conjointement le traitement et le conditionnement.

De nombreuses études ont déjà été publiées sur le premier sujet, nous nous attacherons donc plus particulièrement au conditionnement.

Au point de vue technique et surtout dans les études que nous présenterons pour illustrer nos divers chapitres, il sera bien entendu, fait mention des deux, car de plus en plus les deux techniques sont étroitement associées et souvent interdépendantes.

Aussi, pour préciser notre pensée, et pour la bonne compréhension de la suite de cet article, avons-nous estimé qu'il serait préférable de donner une définition du traitement et du conditionnement.

*Traitement :* Ensemble des opérations physiques et chimiques destinées à épurer l'eau par élimination d'une partie ou de la totalité :

- des éléments en suspension,
- des éléments en émulsion,
- des matières organiques,
- des matières végétales,
- des sels minéraux solubilisés,
- des gaz dissous.

*Conditionnement :* Enrichissement de l'eau ou de sa vapeur à l'aide de produits minéraux, végétaux ou organiques, destiné à combattre les réactions chimiques, physiques, physico-chimiques et électrochimiques existant entre le fluide liquide ou gazeux et les matériaux qui les contiennent ou les retiennent. La stérilisation peut aussi être considérée comme un des aspects du conditionnement quand, par apport de produit elle a pour effet : la destruction des bactéries du fer par exemple. Le conditionnement étant fonction de la qualité de l'eau employée, du matériel dans lequel elle est admise, et du service qu'elle devra rendre, il n'est pas inutile d'étudier brièvement sa nature et les réactions qu'elle engendre lorsque sa température est élevée.

La première partie de cet article se rapportera donc à l'eau et aux phénomènes souvent mal connus qui se développent dans le système eau - métal - chaleur.

Toute la seconde partie aura pour sujet l'étude détaillée de divers types d'utilisation de l'eau, avec la description des inconvénients inhérents à la qualité du fluide ou de son utilisation.

En parallèle, nous développerons les principales méthodes de conditionnement capables de réduire ou de faire disparaître les causes d'accident, et des exemples illustreront ces chapitres.

### 1. L'eau

#### 1.1 Formation

L'eau se forme à la combustion par l'oxygène ou les oxydes des substances hydrogénées telles que les substances organiques.

Dans un eudiomètre : appareil destiné à la synthèse de l'eau, la combustion est réalisée par l'union directe de deux volumes d'hydrogène et d'un volume d'oxygène.

A la différence de la synthèse naturelle, qui se produit par une combinaison lente des éléments sous l'influence de la lumière solaire ou d'une légère température, la synthèse eudiométrique est très brutale.

Le déclenchement de la réaction est provoqué par un fil métallique porté au rouge ou par une étincelle électrique. Il se produit une explosion au niveau de la source de chaleur, explosion qui de proche en proche, s'étend à la vitesse de 2800 mètres/seconde au mélange gazeux contenu dans l'enceinte de l'eudiomètre.

La température ponctuelle est de 3000°C et la pression s'élève à 9 bars.

[1] Cet article a également paru dans les numéros 313 à 316 (1969) de la revue française *L'Installateur*, avec les prescriptions françaises.

Cette synthèse peut, d'autre part, être réalisée à froid grâce à des catalyseurs tels que la mousse de platine, le nickel réduit, etc.

### 1.2 Connaissance de l'eau

Jusqu'à la seconde moitié du XVIII$^{e}$ siècle, il était admis que l'eau, bien que classée parmi les éléments définis en alchimie : terre - air - feu et eau, n'était pas complètement différente de la terre, et était capable de se transformer en cette dernière.

Cette affirmation résultait des mauvaises interprétations des expériences prouvant que l'eau par évaporation, abandonne un dépôt solide plus ou moins important.

C'est en 1777 que Lavoisier et Laplace, en réalisant la combustion de l'hydrogène dans de l'oxygène, montrèrent qu'il en résultait des gouttes d'eau.

Par la suite, les travaux se rapportant à l'eau se succédèrent rapidement avec une précision toujours accrue.

Au début, il a été possible de définir chimiquement l'eau par sa molécule élémentaire : $H^{+}—O—H^{-}$.

Mais étant donné de nombreuses anomalies, telles que augmentation de sa densité, contradiction avec la théorie cinétique des gaz de Bernoulli étendue aux liquides, contradiction avec la loi de Van der Waals liant le volume moléculaire, la pression et la température absolue, l'EAU EST ANORMALE.

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Eau $H_2O$ | Masse moléculaire | 18 | Température d'ébullition | +100°C |
| Oxyde de méthyle $(CH_3)_2O$ | » | 46 | » | − 23°C |
| Oxyde d'éthyle $(C_2H_5)_2O$ | » | 74 | » | + 35°C |

Une constatation similaire est faite à partir des molécules des hydrures des métalloïdes de la famille de l'oxygène :

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Eau $H_2O$ | | Masse moléculaire | 18 | Température d'ébullition | + 100°C |
| Hydrogène sulfuré | $H_2S$ | » | 34 | » | −63,5°C |
| Hydrogène sélénié | $H_2Se$ | » | 81 | » | −41,5°C |
| Hydrogène telluré | $H_2Te$ | » | 130 | » | 0°C |

Ses anomalies s'étendent au fait qu'elle soit liquide à la température ordinaire et que sa température d'ébullition soit supérieure à −80 °C.

En effet, l'eau est à la fois le premier terme d'une série d'oxydes classés par ordre croissant de leur masse moléculaire dont la température d'ébullition croît parallèlement.

### 1.3 La vapeur d'eau

C'est un gaz plus léger que l'air, ayant une densité relative de 0,62 à 100°C. C'est un gaz transparent, incolore.

La vapeur visible est en fait le résultat de sa condensation dans l'atmosphère sous forme de fines gouttelettes.

La vapeur d'eau résulte du passage du fluide liquide à l'état gazeux.

La chaleur latente de vaporisation ou quantité de chaleur qu'il faut fournir à l'eau à 100°C (eau en ébullition) pour provoquer sa vaporisation est de 537 grandes calories par litre. (Soit 537 petites calories par ml.)

Il faut donc 6,7 fois plus de chaleur pour évaporer un litre d'eau que pour élever ce même litre de 20 à 100°C. Au-dessus de 365°C (température que l'on peut obtenir quand l'eau est chauffée dans un récipient dont elle occupe la totalité du volume) l'eau n'existe plus qu'à l'état de vapeur.

Notons enfin que l'eau, sous forme de vapeur, est stable jusqu'à 2000°C. A cette température, elle commence à se décomposer en oxygène et hydrogène dans la proportion de 2 % de la masse.

### 1.4 Eléments rencontrés dans l'eau

L'eau est un excellent solvant des substances organiques, minérales et des gaz. C'est aussi le véhicule naturel de bon nombre de corps plus ou moins solubles.

De plus, avec ses accumulations naturelles ou artificielles, nappes souterraines, rivières, canaux, lacs, etc. l'eau est devenue le réceptacle d'une grande partie des déchets produits par les activités de l'homme. Ces pollutions sont provoquées par infiltration ou par déversements volontaires.

Alors que les techniques appliquées à l'utilisation de l'eau réclament un fluide de plus en plus pur, d'autres techniques le polluent plus sûrement par les résidus sans cesse croissants qu'elles produisent.

Cette situation est pour le moins paradoxale.

| Etat ou forme des éléments dans l'eau | Nature des éléments |
|---|---|
| Matières en suspension | Sables, argiles, boues diverses.<br>Roches en débris, matières organiques minérales et végétales.<br>Débris divers insolubles. |
| Matières en émulsion | Matières organiques colloïdales.<br>Huiles minérales, goudrons, suies, pétrole, argiles colloïdales. |
| Matières organiques solubilisées | Tourbes, déchets végétaux, matières azotées.<br>Produits de synthèse organique solubles, etc. |
| Sels minéraux | Carbonates - bicarbonates<br>sulfates - chlorures de Calcium, Magnésium, Sodium, Potassium, Ammonium, etc.<br>nitrates, etc. |
| Gaz | Oxygène - azote - gaz carbonique - parmi les principaux. |
| Organismes vivants d'origine végétale, animale, bactérienne et virale | Plancton - algues - champignons - vers - larves d'insectes - larves - bactéries - amibes - virus - protozoaires - infusoires, etc. |

Pour être objectifs, nous devons noter que de très grands efforts sont faits, tant en Suisse qu'à l'étranger, pour limiter ces pollutions et purifier les eaux de rejet, mais que malheureusement, trop de rejets de toutes sortes existent encore.

Une classification très succincte des éléments rencontrés dans l'eau permet d'obtenir le tableau suivant :

## 2. Phénomènes physiques et chimiques dus à l'élévation de la température de l'eau

### 2.1 Définition de la température

La température d'un système mesure le degré d'agitation de tous les atomes et molécules composant le système.

A la température normale d'existence d'un corps sous sa phase liquide, les molécules composant ce liquide sont soumises à une certaine agitation.

Celle-ci a pour cause :

*a)* l'attraction intermoléculaire ou « attraction électronique de Van der Waals », existant entre les noyaux d'une molécule du liquide et les électrons d'une autre;

*b)* la fluidité du liquide qui permet aux molécules, tout en s'attirant entre elles, de glisser les unes par rapport aux autres, créant ainsi une modification continuelle de leur répartition autour d'une molécule donnée.

Ainsi, l'eau à sa température moyenne d'existence sous forme liquide, est composée d'atomes et de molécules en mouvement avec un certain degré d'agitation.

### 2.2 Abaissement de la température de l'eau

Le refroidissement de l'eau par prise de calories se traduit par un ralentissement de l'agitation des molécules et il en résulte son passage de la phase liquide à la phase solide.

### 2.3 Elévation de la température de l'eau

A l'inverse, l'apport de calories provoque une augmentation de l'intensité de l'agitation des molécules.

La force qui résulte de ces mouvements moléculaires, égale puis dépasse la force d'attraction intermoléculaire et il y a départ des molécules dans l'espace environnant.

Si les calories sont fournies en quantité suffisante pour vaporiser l'eau arrivée à sa température d'ébullition, celle-ci passe de la phase liquide à la phase vapeur.

Cette quantité de chaleur propre à chaque corps s'appelle chaleur de vaporisation. Pour l'eau, elle est égale à 539,6 calories par gramme ou 537 calories par ml.

L'accélération des mouvements vibratoires des molécules d'eau en phase vapeur peut encore être accrue et à 2000°C ce mouvement accéléré provoque une réaction chimique de début de décomposition en oxygène et hydrogène.

### 2.4 Influence de l'élévation de la température sur la solubilité des gaz

La solubilité de tous les gaz dissous, notamment du gaz carbonique libre et de l'oxygène diminue.

Ces gaz seront plus ou moins complètement éliminés en fonction de la température atteinte.

Il est toutefois très important de noter que dans le cas de l'oxygène, le dégazage thermique de l'eau se produit avec un minimum de gaz résiduel à la température de 105-115°C.

Au-delà de cette température, il y a reprise de ce gaz, et à 200°C, il peut y avoir autant d'oxygène dissous qu'à 30°C.

### 2.5 Influence de l'élévation de la température sur la décomposition des bicarbonates

Les bicarbonates (ou carbonates acides de formule : $CO_3H^-$) sont transformés en carbonates neutres et en gaz carbonique libre qui se dégage dans la vapeur.

$$(CO_3H)_2\ Ca + \text{Chaleur} \rightarrow \underset{\text{carbonate}}{CO_3Ca} + \underset{\text{gaz}}{CO_2} + \underset{\text{eau}}{H_2O}$$
(bicarbonate)

$$2\ CO_3H\ Na + \text{Chaleur} \rightarrow CO_3Na_2 + CO_2 + H_2O$$

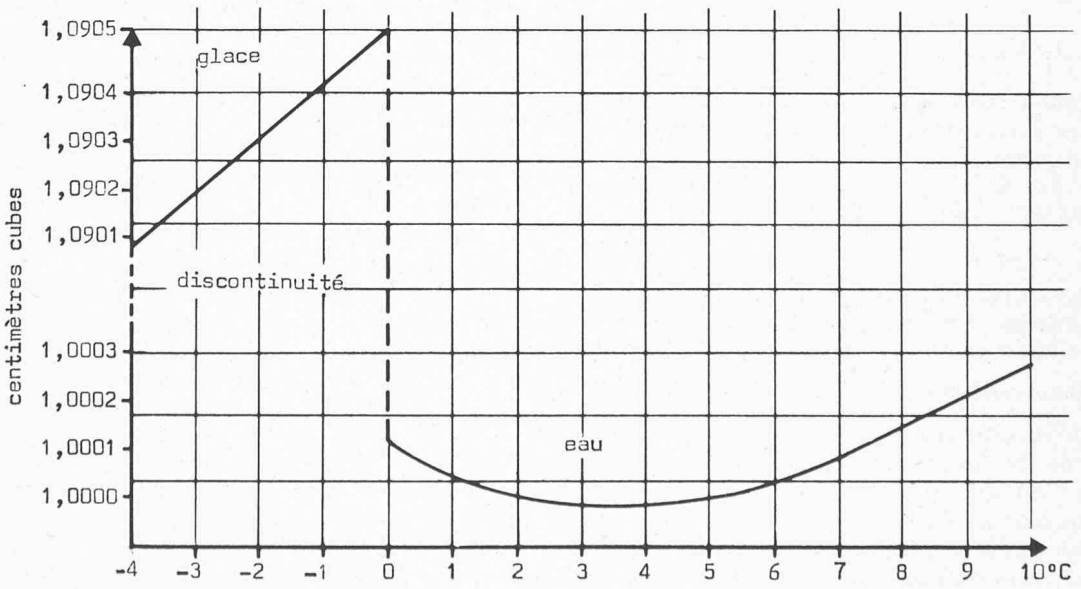



Fig. 1. — Variations du volume de la glace et de l'eau en fonction de la variation de la température.

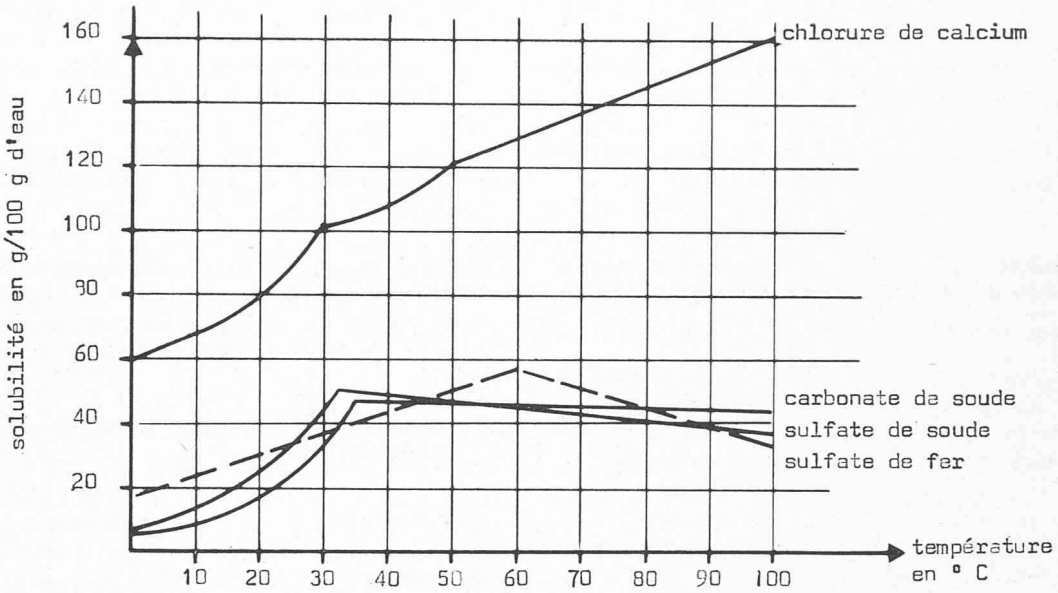



Fig. 2. — Variation de la solubilité dans l'eau de sels formant plusieurs hydrates, en fonction de la variation de la température de l'eau.

### 2.6 Influence de l'élévation de la température sur la solubilité des sels alcalino-terreux (sels de calcium et de magnésium)

Les composés alcalino-terreux, sulfates et carbonates de calcium, voient leur coefficient de solubilité diminuer avec l'élévation de la température.

Ces phénomènes sont attribués à des changements dans la nature des formes cristallines stables.

Le tableau suivant donne, pour le carbonate et le sulfate de calcium, l'évolution de la solubilité de ces sels dans l'eau :

| Sulfate de calcium | | Carbonate de calcium | |
|---|---|---|---|
| Température °C | Solubilité g/m³ | Température °C | Solubilité g/m³ |
| 200 | 121,5 | 185 | 24,8 |
| 225 | 70,0 | 225 | 14,0 |
| 260 | 46,0 | 260 | 11,0 |
| 310 | 14,8 | 330 | 8,2 |

Il se produit un bouleversement des divers équilibres réalisés dans l'eau entre les gaz et les sels dissous.

Le dégagement des premiers, la précipitation ou la transformation des seconds, modifient considérablement la composition et le comportement de l'eau.

## 3. Définition et étude des phénomènes d'entartrage, de corrosion et de primage provoqués par l'association eau-métal-température

### 3.1 Définitions générales

Avant de détailler chacun d'eux, une courte définition permettra de les situer et de connaître les éléments contenus dans l'eau qui les provoquent.

Trois phénomènes résultant de l'association eau - métal - élévation de température vont désormais être mentionnés très fréquemment dans la suite de ce sujet, il s'agit des phénomènes d'ENTARTRAGE, de CORROSION et de PRIMAGE.

**Définition de l'entartrage**

L'entartrage d'un générateur de chaleur (chaudière-échangeur) d'une canalisation résulte de la formation sur les parois du matériel au contact de l'eau, de dépôts plus ou moins durs et plus ou moins adhérents.

Ces dépôts ou incrustations proviennent de la précipitation sous forme insoluble des sels dissous dans l'eau.

En fonction de ceux-ci, toute une variété de tartres peuvent se former, les principaux étant :

— les tartres carbonatés,
— les tartres sulfatés,
— les tartres siliceux,
— les tartres magnésiens, etc.

**Définition de la corrosion**

La corrosion est un ensemble de phénomènes chimiques, et électrochimiques, dus à l'action directe ou indirecte des gaz, des sels minéraux ou des bactéries contenus dans l'eau, et ayant pour résultat la détérioration d'un métal.

Il s'ensuit des diminutions locales de son épaisseur, des fissures dans sa structure qui par les pertes de résistance mécanique qu'elles occasionnent permettent le passage de l'eau hors de l'élément métallique qui la contient ou la retient.

Les principaux types de corrosion sont :

— les corrosions électrochimiques,
— les corrosions par aération différentielle,
— les corrosions par cavitation,
— les corrosions par l'oxygène et le gaz carbonique,
— les corrosions par érosion.

**Définition du primage**

Le primage est un phénomène qui concerne les générateurs de vapeur.

Indépendamment des considérations relatives au matériel ou à la conduite du générateur, le primage est défini par l'entraînement de fractions d'eau de la chaudière par la vapeur produite par cette dernière.

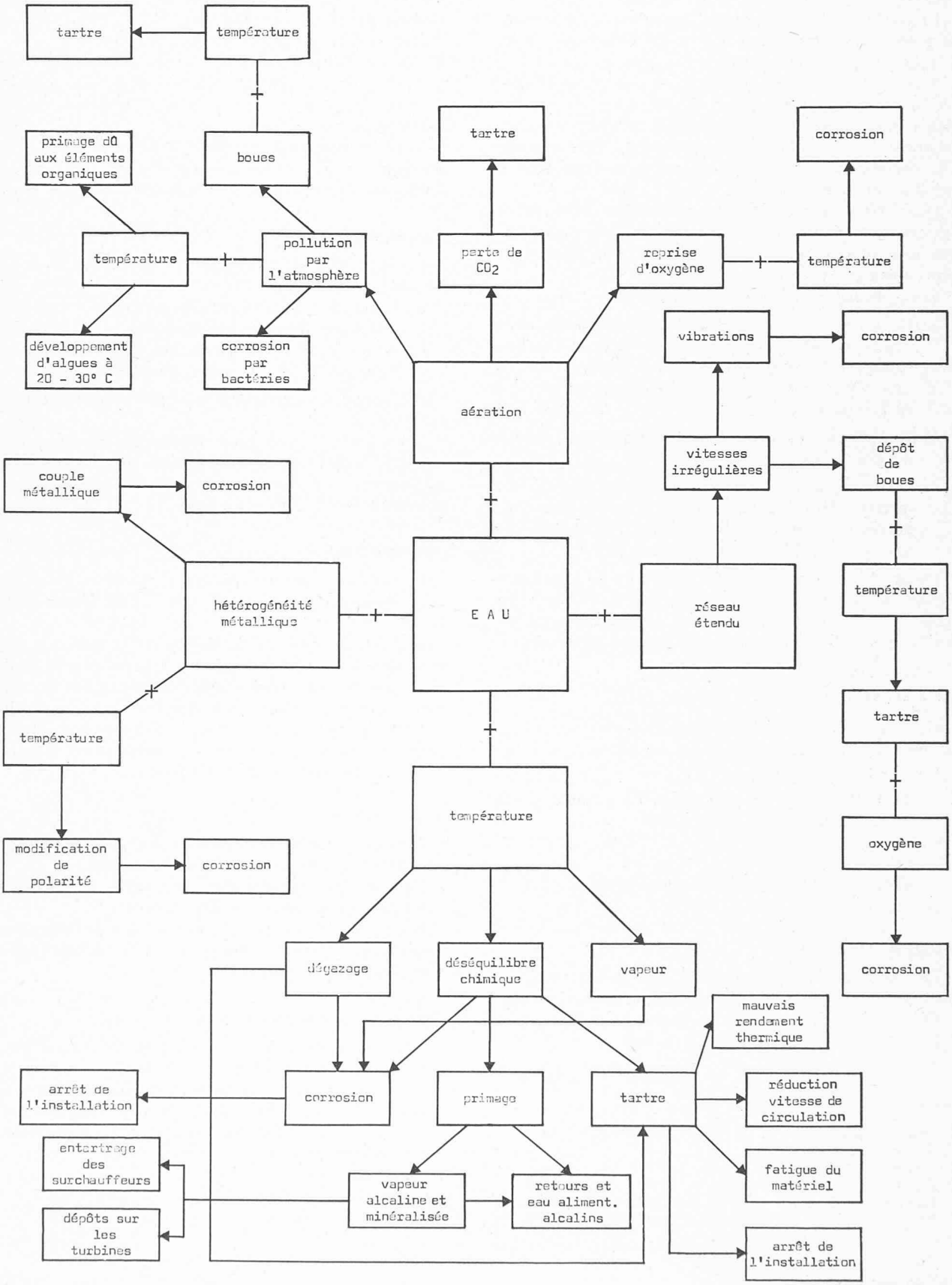



Fig. 3. — Schéma de différents traitements de l'eau.

Le primage est dû en général à une élévation de la viscosité de l'eau de la chaudière, laquelle viscosité est provoquée par une augmentation de la salinité.

La viscosité de l'eau entourant les bulles qui se forment peut conférer à celle-ci une tension de surface supérieure à la pression de vapeur contenue au sein de la bulle.

A la surface de l'eau la bulle n'éclate pas et peut demeurer en l'état sur le plan d'eau, ou être entraînée par son élan avec la vapeur se dirigeant dans le collecteur adéquat. Le primage peut aussi être provoqué par un défaut inhérent à la construction même de la chaudière. Il s'agit dans ce cas d'un primage mécanique.

Dans ce cas, même avec un conditionnement idoine de l'eau en chaudière et malgré une conduite plus rigoureuse que pour d'autres générateurs de chaleur, le phénomène peut subsister.

Les principales causes sont par exemple :

*a)* Dans les chaudières à tube d'eau, insuffisance de la circulation de l'eau par rapport à la production de vapeur. Il se forme dans les tubes des bouchons de vapeur qui créent de violentes turbulences quand ils atteignent le plan d'eau.

*b)* Une prise de vapeur située trop près du niveau normal du plan d'eau.

*c)* Quand dans les tubes la circulation de l'eau est inversée dans une partie des tubes. Un défaut de ramonage provoque des réductions de chaleur sur une zone du faisceau vaporisateur.

L'augmentation de densité du fluide dans les zones plus froides provoque une inversion de la circulation. Il en résulte un déséquilibre de l'assiette du plan d'eau et des oscillations qui amènent le niveau près des prises de vapeur.

### 3.2 L'entartrage

Comme nous l'avons défini précédemment, l'entartrage est provoqué par les sels minéraux solubilisés dans l'eau.

Il s'agit :

— des bicarbonates et carbonates de calcium et de magnésium,
— sulfates de calcium,
— oxydes de fer,
— silice et silico-aluminates alcalino-terreux,
— alumine.

#### Dureté de l'eau

Les sels de calcium, de magnésium et à un degré moindre ceux de fer et d'aluminium constituent la dureté de l'eau.

Cette dureté est exprimée en degrés hydrotimétriques (TH) ou en milliéquivalents par litre (mé/l).

| Nature de l'eau | Dureté en degrés franç. | Dureté en mé/l |
|---|---|---|
| Eau très douce . . . . . | 0-7 | 0-1,4 |
| Eau douce . . . . . | 7-15 | 1,4-3,0 |
| Eau moyennement douce . | 15-22 | 3,0-4,4 |
| Eau assez dure . . . . . | 22-32 | 4,4-6,4 |
| Eau dure . . . . . | 32-42 | 6,4-8,4 |
| Eau très dure . . . . . | > 42 | > 8,4 |

#### Mécanisme de l'incrustation

Ce mécanisme peut être défini de la façon suivante :

Un volume d'eau déterminé, à une température et une pression données ne peut dissoudre qu'un poids bien défini de sel en fonction du coefficient de solubilité de ce dernier.

Avec l'élévation de température de l'eau, certains sels atteignent leur limite de solubilité en chaudière et dans un premier temps, on observe la formation de petits cristaux dans la phase aqueuse.

Puis une partie de ces cristaux est attirée sous l'effet de forces électrostatiques par la paroi métallique.

A partir de ces premiers dépôts, les édifices cristallins se développent et retiennent en plus les boues, éléments métalliques, etc. véhiculés par l'eau.

Le tartre peut aussi se former à partir de boues qui se déposent sur les parties horizontales des tubes, et sous l'influence de la surchauffe s'agglomèrent à leur tour.

#### Tartres carbonatés

Le carbonate de calcium peut précipiter sous deux formes :

*a)* A chaud et à faible pression en cristaux sous forme d'aiguille. Il s'agit de l'aragonite.

*b)* A chaud et à haute pression (en chaudière) sous forme de calcite (cristaux rhomboédriques).

En général, il s'agit de dépôts friables et relativement peu résistants.

Toutefois, avec des eaux dépourvues de boues et de matières organiques et sous l'action du gaz carbonique apporté par l'eau d'appoint, il se produit un durcissement considérable du tartre carbonisé.

#### Tartres sulfatés

Le sulfate de calcium précipite rapidement, car sa solubilité passe par un maximum à 38°C puis décroît rapidement.

A l'inverse, le sulfate de magnésium conserve un dégré élevé de solubilité et ne risque pas de provoquer de dépôts.

En général, les tartres sulfatés accompagnent les tartres carbonatés et sont beaucoup plus durs que ces derniers.

Le tartre sulfaté se développe sous forme d'anhydrite perpendiculairement à la paroi. Il revêt l'aspect d'aiguilles enchevêtrées formant un dépôt fibreux.

#### Tartres siliceux

Il s'agit de tartres extrêmement durs à forte adhérence se présentant sous forme de dépôts minces.

La silice est présentée dans ces tartres sous forme de silice pure et de silicate alcalino-terreux.

L'élévation prolongée de la température de l'eau jusqu'à l'ébullition provoque la floculation de la silice et l'apparition d'un tartre spongieux.

#### Tartres dus aux oxydes de fer

Dans les eaux profondes le fer se trouve parfois en solution sous forme d'ion ferreux $Fe^{++}$.

Les eaux profondes non aérées sont pauvres en oxygène.

Lors de la remontée à l'air, l'hydrate ferreux s'oxyde en hydrate ferrique $Fe(OH)_3$, insoluble et qui précipite.

Ces tartres sont particulièrement dangereux, car le fer ferrique $Fe^{+++}$ plus électropositif provoque une amorce de corrosion électrochimique au détriment du fer sur lequel il s'est déposé.

#### Principaux inconvénients occasionnés par le tartre

Avec la généralisation de l'épuration et du conditionnement des eaux, les inconvénients causés par le tartre disparaissent au fur et à mesure des années.

Les explosions de chaudières bouchées par le tartre, sauf accident, deviennent de plus en plus rares.

Les effets principaux des tartres sur les canalisations, les échangeurs thermiques, les chaudières, sont :

— diminution du débit de circulation de l'eau, au pire arrêt total ;
— réduction considérable des échanges thermiques au niveau des échangeurs ou des chaudières ;
— déformation des plaques tubulaires ;
— déformation des tubes de foyer etc.

*Dans les chaudières à tube d'eau*

Déformation et surchauffe locale pouvant provoquer la dislocation des tubes.

Obligation de faire procéder à de fréquentes opérations de détartrage, acide ou mécanique qui provoquent toujours une altération des métaux entartrés et immobilisent l'installation.

Nécessité de réfections multiples des vannes, de la robinetterie, des clapets, des compteurs, etc.

### 3.3 Etude sommaire de la corrosion

Les phénomènes qui président à la formation de corrosions sur des systèmes métal - eau, métal - métal - eau sont d'une telle complexité qu'il ne nous est pas possible de leur consacrer ici toute la place nécessaire à une étude détaillée.

De brillants exposés dus à des spécialistes et des chercheurs constituent une abondante littérature technique à laquelle nous vous conseillons de vous référer.

Dans ce chapitre, nous décrirons plus largement la façon suivant laquelle se manifestent les phénomènes, afin de permettre de les identifier dans la pratique, et l'explication théorique des lois qui les régissent sera plus succincte.

#### Mécanisme de la corrosion électrochimique et corrosion acide

Un morceau de métal plongé dans l'eau engendre, suivant les conditions extérieures, toute une série de processus plus ou moins complexes.

Au contact de l'eau, des atomes de métal perdent leurs électrons, s'échappent de la masse de métal et passent en solution.

Initialement, le métal était électriquement neutre, car, la charge électrique négative des électrons des atomes équilibrait la charge positive de leurs protons contenus dans le noyau.

Les atomes de métal devenus positifs (ou ions positifs), par la perte de leurs électrons, créent un nuage chargé positivement à proximité de la surface métallique devenue électriquement négative par l'excès d'électrons qu'elle possède.

Les ions positifs et les électrons sont maintenus au voisinage du métal par les forces électrostatiques qui existent entre ces zones de signe contraire, il se forme un champ électrique.

Avec le départ de nouveaux atomes de métal ionisés, la force de ce champ électrique augmente progressivement jusqu'au moment ou l'énergie de libération des ions métalliques n'est plus suffisante pour vaincre ce champ.

L'équilibre est atteint, la corrosion devrait cesser.

La raison pour laquelle les ions métalliques sont conduits à quitter la place qu'ils occupaient dans les mailles des cristaux du métal s'explique par le principe de la thermodynamique, selon lequel toute matière tend vers un état de désordre.

Les ions métalliques sont dans un état beaucoup plus ordonné dans les cristaux du métal que dans l'eau. Leur tendance naturelle les conduit à quitter l'ordre pour le désordre.

De plus, en abandonnant le réseau cristallin, ils perdent de l'énergie lors de leur libération, et étant donné que tout système tend vers un état d'énergie minimum, ce deuxième principe vient confirmer la tendance démontrée par le premier.

Si l'état d'équilibre n'est pas maintenu entre l'énergie de libération des ions métalliques et le champ électrique créé à la suite des libérations précédentes, c'est parce que dans l'eau existent des éléments avides d'électrons.

Il s'agit d'une part de l'hydrogène ionisé H ou de l'oxygène qui prenant les électrons libérés vont provoquer la destruction du champ électrique équilibrant précédemment l'énergie de libération des ions métalliques, et permettre à nouveau le départ de ceux-ci.

La quantité des ions hydrogènes libres dans une eau détermine le degré d'acidité de ce liquide.

Il s'agit donc dans le cas présent d'une corrosion de forme acide si ce sont les ions hydrogènes qui captent les électrons libérés.

Sous l'autre forme il sera question d'une corrosion par action de l'oxygène.

Ces phénomènes se traduisent chimiquement par les relations suivantes : $2H^+ + 2e^- = H^2 +$ destruction du champ électrique réalisé entre les $e^-$ sur le métal et les ions métal$^+$.

(2 hydrogène ionisé) + (2 électrons) = molécule d'hydrogène.

Avec l'oxygène nous obtiendrons la relation :

$O_2 + 4e^- + 2H_2O = 4OH^- +$ destruction du champ électrique.

#### Corrosion par l'oxygène

Elle se traduit par des piqûres du métal, et c'est une forme de corrosion électrochimique.

La surface du métal est recouverte d'hydroxyde ferreux $Fe(OH)_2$ qui, en présence de l'oxygène dans l'eau, se transforme en hydroxyde ferrique $Fe(OH)_3$ qui possède donc un degré supplémentaire d'oxydation.

Ce fer oxydé se place sur le précédent, et l'ensemble forme un dépôt de couleur brune en forme de capsule.

Ce dépôt poreux, n'empêche pas le passage des ions décrits plus haut et il se produit une corrosion intense très localisée en forme de piqûre profonde sous la capsule.

C'est le phénomène de corrosion par aération différentielle sur lequel nous allons revenir.

L'intensité de l'attaque provient du fait que la couche de fer oxydé en forme de capsule protège la zone amoindrie par le départ des ions, non arrêtés par la couche poreuse, de l'action stabilisatrice du liquide.

La production, sur la paroi métallique en contact avec l'eau, d'écailles de laminage formées de magnétite et dont les fissures exposent une aire anodique à l'action de l'oxygène.

#### Corrosion directe par action de l'oxygène : corrosion par aération différentielle

Les eaux froides et non désaérées, servant en général à l'alimentation des circuits contiennent des taux d'oxygène voisins de la saturation.

A titre indicatif, nous donnons ici les teneurs moyennes d'oxygène dans l'eau jusqu'à 100°C.

| Température en °C | Oxygène en g/m³ |
|---|---|
| 10 | 11,25 |
| 20 | 9,09 |
| 30 | 7,49 |
| 40 | 6,41 |
| 50 | 5,50 |
| 60 | 4,69 |
| 70 | 3,81 |
| 80 | 2,81 |
| 90 | 1,59 |
| 100 | 0,17 |

Ces chiffres sont valables pour une pression de 760 mm Hg (1 bar).

Quand la température augmente, comme le montre le tableau ci-dessus, la solubilité de l'oxygène diminue. Le gaz quitte l'eau et entre en contact avec les parois du métal.

Il se crée des zones fortement oxygénées sur le métal, zones qui deviennent cathodiques et le processus de corrosion s'enclenche.

Dans la gamme des pH (mesure de l'acidité ou de l'alcalinité d'un corps) entre 4 et 10, avec les eaux industrielles généralement rencontrées, et des vitesses linéaires relativement faibles, la teneur en oxygène, en l'absence de produits de conditionnement aggrave les corrosions acides des aciers faiblement alliés ou non alliés.

La présence dans les eaux brutes d'ions tels que chlorures, iodures, hypochlorite, accélèrent les corrosions.

A l'inverse, les ions hydroxyde, chromate, silicate, etc. freinent ou bloquent les corrosions localisées.

**Développement du processus de la corrosion par aération différentielle**

Lorsqu'un métal est recouvert irrégulièrement par des boues ou des incrustations, et que ce métal est en présence d'eau contenant de l'oxygène, les zones recouvertes sont attaquées préférentiellement aux zones découvertes.

Ces attaques, qui résultent d'une aération différente des deux surfaces sont qualifiées « d'éléments d'aération différentielle ou éléments EVANS » en mémoire du nom du chercheur qui les mit en évidence.

L'oxygène entre plus facilement en contact avec le métal découvert par rapport à celui recouvert de boues ou d'incrustations.

La partie métallique faiblement aérée, conserve un plus grand nombre d'électrons libérés, car ils sont plus difficilement captés par l'oxygène, que les électrons de la zone découverte en contact direct avec l'agent oxydant.

De ce fait, la région incrustée devient électriquement positive ou anodique, alors que les zones non recouvertes jouent le rôle de cathode (partie négative).

La surface cathodique possède en milieu neutre ou alcalin (pH supérieur à 7) un potentiel suffisamment élevé pour entraîner une dissolution sensible des métaux anodiques correspondants. Cela explique que les portions métalliques incrustées soient le siège de corrosions localisées et profondes, préférentiellement aux zones aérées.

Donc, la théorie selon laquelle l'oxygène provoque des trous là où il arrive est erronée, puisque au contraire, ceux-ci se créent aux endroits où l'oxygène n'arrive pas.

Une autre théorie doit aussi être récusée, au sujet de l'oxygène, il s'agit de celle suivant laquelle les corrosions d'oxygène rencontrées dans les réchauffeurs et les économiseurs seraient dues à la formation de bulles d'oxygène.

En effet, dans la plupart des cas, la température de ces appareils est supérieure à 100°C, zone de température dans laquelle la solubilité de l'oxygène augmente. (Ce phénomène a été mentionné lors de l'explication du comportement des gaz dans l'eau subissant une élévation de température.)

Le dégazage de l'oxygène est impossible dans ce cas.

S'il existe dans ces appareils des corrosions visiblement provoquées par l'oxygène, il est évident, que celles-ci se sont produites pendant l'arrêt de la chaudière. Il ne peut y avoir d'oxydation que si l'oxygène est dissous dans l'électrolyte. A l'arrêt les vapeurs se condensent, et l'oxygène dissous dans le liquide peut provoquer les corrosions précédemment décrites.

Si l'eau a été conditionnée avec un produit réducteur, ou la vapeur avec un agent filmogène, ce phénomène ne pourra se développer.

**Corrosions par le gaz carbonique**

Le gaz carbonique dans les installations a deux origines principales :

1° sous forme de gaz carbonique libre dans les eaux d'appoint non dégazées ;

2° *a)* par transformation en chaudière des bicarbonates dissous dans l'eau, en carbonates avec libération de gaz carbonique ;

*b)* à la décomposition en chaudière des carbonates en soude et gaz carbonique.

La corrosion par le gaz carbonique ou plutôt par l'acide carbonique se caractérise par une diminution d'épaisseur du métal qui peut être généralisée et uniforme sur toutes les parties de la surface métallique ou bien aller en augmentant vers le fond de la tuyauterie.

La corrosion se manifeste habituellement par une fuite qui se produit à l'endroit où le métal est le plus mince.

On ne peut déceler de pustules quand l'oxygène n'entre pas dans le processus de l'attaque.

Les corrosions par le gaz carbonique se produisent dans les circuits de vapeur et spécifiquement sur les lignes de vapeur condensées.

En effet, tant que les circuits ne véhiculent que de la vapeur sèche, surchauffée, ce gaz est sans effet sur le métal.

Son action, comme celle de l'oxygène, ne devient perceptible que lorsqu'il est en présence d'eau.

Donc en cas de vapeur saturée, humide ou condensée, il y aura développement des corrosions.

Le gaz carbonique par élévation de la température de l'eau (dégazage) et par la décomposition des bicarbonates et carbonates en chaudière passe dans la vapeur.

Au moment de sa condensation, le gaz carbonique se redissout dans la vapeur en formant de l'acide carbonique.

*Nota :*

En général, il se produit une attaque simultanée de l'oxygène et du gaz carbonique.

Le métal s'amincit et laisse apparaître en de nombreuses zones des pustules sous chacune desquelles se décèle une cavité.

La partie principale des tubercules est composée d'une matière brun noirâtre qui se compose, soit d'oxyde magnétique, soit d'un mélange d'hydroxydes de fer.

L'amincissement est provoqué par la formation de bicarbonates de fer ferreux qui passe en solution avec la vapeur condensée.

Sa présence est décelée indépendamment de la couleur de l'eau par le dosage du fer en solution dans l'eau.

Pour prévenir de telles corrosions, il sera donc nécessaire de procéder à un conditionnement de la vapeur mettant en œuvre :

— soit une base volatile capable de neutraliser l'acidité carbonique,
— soit un élément capable de former un film isolant le métal de l'eau agressive.

*Remarque :*

Il est nécessaire de faire une distinction entre les dénominations eau corrosive et eau agressive.

Souvent ces deux termes sont confondus alors que les phénomènes auxquels ils s'attachent sont très différents.

Une eau corrosive est une eau qui attaque le métal (l'acier par exemple). Son inverse est une eau non corrosive.

Une eau agressive est une eau qui attaque les carbonates (le marbre, les incrustations par exemple). Son inverse sera une eau entartrante.

Il existera une eau ayant une position intermédiaire qui sera non entartrante et non agressive.

Les travaux du professeur Girard ont porté sur ces propriétés particulières, et retenons pour explications les constatations qui en résultent.

En fonction de la teneur totale d'une eau en gaz carbonique et en fonction de son pH (mesure de la concentration en ion hydrogène acide $H^+$) une eau peut être :

*a)* agressive et non corrosive ;

*b)* corrosive et non agressive ;

*c)* agressive et corrosive ;

*d)* non agressive et non corrosive.

Dans le cas *a)*, l'eau n'est pas entartrante et attaque le métal.

Dans le cas *b)*, l'eau est incrustante et le tartre ne protège pas le métal contre la corrosion.

**Corrosion par cavitation**

Le phénomène d'attaque du métal par cavitation se produit pour les fluides liquides circulant à grande vitesse le long des parois métalliques des canalisations.

La pression statique qui règne à l'intérieur du fluide devient inférieure à la tension de vapeur de ce liquide.

Il se forme des bulles de vapeur, qui, lorsqu'elles sont entraînées vers des zones où règne une pression supérieure, implosent.

Dans le cas d'un liquide, l'eau par exemple, circulant à grande vitesse puisqu'il y a baisse de pression dans le fluide, il existe à l'inverse une zone de pression plus élevée à la jonction métal - eau.

C'est dans cette région que se produisent les implosions qui atteignent plusieurs milliers de bars au lieu où elles se produisent.

Le métal subit une déformation de son réseau cristallin et ne peut résister longtemps à la désagrégation.

En parallèle, les régions métalliques attaquées deviennent anodiques et un processus de corrosion électrochimique vient donc s'ajouter au processus mécanique de dégradation du métal.

Les corrosions par cavitation sont caractérisées par un ensemble de trous, de cicatrices et de fentes profondes, à bords tranchants et dont l'intérieur est exempt de trace de corrosion.

Dans les cas extrêmes, le métal revêt un aspect granuleux et spongieux.

**Corrosion par érosion**

Cette forme de corrosion se traduit par une diminution de l'épaisseur du métal, mais la zone concernée reste saine et lisse.

L'attaque est rapide et importante, des pertes de métal sur un centimètre d'épaisseur ont déjà été enregistrées pour une période d'exploitation de l'installation inférieure à un an.

Ce phénomène n'a pas, contrairement à ce qu'on pourrait croire, une origine mécanique similaire à celle que provoquerait un fluide abrasif sur le métal.

En fait les corrosions par érosion sont dues :

a) *A l'entraînement par le courant d'eau des particules d'hydroxyde de fer* (dans le cas de l'acier) qui se forment à la surface du métal au contact de l'eau, particules qui, habituellement assurent une protection du métal.
Comme ces particules se forment aux dépens du métal, leur départ provoque une diminution d'épaisseur de ce dernier.

b) *A la vitesse de circulation de l'eau* le long des parois de certaines zones métalliques.

Les corrosions se situent principalement aux changements de direction et de vitesse de l'eau : coudes, vannes, rétrécissements de canalisation, variations de diamètre intérieur, etc.

**Amplification des corrosions par les vibrations**

Lorsqu'un métal est soumis à des vibrations, celles-ci ont un effet catalytique sur les corrosions d'origine électrochimique et par cavitation, qui se produisent lors de son contact avec l'eau.

De récentes études ont montré :

1) que l'augmentation de l'importance des corrosions d'origine électrochimique (départ de métal ionisé depuis le métal au contact de l'eau) était accélérée lorsque le métal entrait en résonnance et que l'augmentation de l'amplitude de la vibration provoque l'augmentation de la vitesse de corrosion ;

2) que pour de faibles vibrations (basse fréquence — faible amplitude) il ne pouvait y avoir aucune influence sur le taux de transfert des ions métalliques ;

3) que les vibrations, provoquant une agitation du liquide, celle-ci se traduit par une importante turbulence hydrodynamique.

Avec des vibrations de haute fréquence, il en résulte des vides de cavitation et des corrosions causés par les changements de pression rapides et répétés.

Pour ces deux phénomènes de corrosion, il est raisonnable d'estimer qu'ils aident et accélèrent le transfert des agents dépolarisants vers la surface métallique corrodée.

Dès lors, il y a accélération du processus de corrosion par départ des ions métalliques depuis le métal vers l'eau.

**Corrosions fissurantes**

*Par les caustiques*

Les caustiques : la soude, la potasse, provenant de la décomposition des carbonates correspondants, déterminent dans le métal des corrosions qui s'amorcent sur le bord des cristaux et des grains métalliques (l'effet au départ, est similaire à celui des corrosions par l'oxygène.

Si le métal est soumis à une corrosion continue à partir de cette piqûre, un cheminement de la corrosion se produit sous forme de fissures entre les cristaux du métal.

Ce phénomène est aussi appelé « rupture par fatigue sous tension ». Dans presque tous les cas, il ne peut être détecté de l'extérieur.

Cet accident se produit lorsque la surface métallique au contact de l'eau représente une fêlure ou une cassure.

L'agent caustique a tendance à se concentrer à l'intérieur de la faille, et sous l'effet de la chaleur, il transforme la couche d'oxyde métallique préexistant en sel alcalin métallique soluble.

*Par les chlorures*

Des examens au microscope électronique ont permis d'observer que les ions chlorures attaquaient en quelques minutes la surface des aciers austénitiques, si elle était déformée.

Il apparaît des corrosions en tunnels formées par des pores submicroscopiques du métal, ces pores étant placés en ligne aux endroits où le réseau cristallin du métal a été déformé.

On suppose que le fond des pores est anodique et que leurs parois se recouvrent des produits de corrosion qui, en s'accumulant jouent le rôle de coins entre les cristaux et provoquent des failles par écartement de ces derniers.

Il se forme ainsi des microfissures qui entraînent ensuite des ruptures visibles du métal.

**Corrosions vermiculaires**

Dans les eaux magnésiennes, le métal peut être présent sous forme de carbonates et de chlorures de magnésium.

A la température de l'ébullition de l'eau le chlorure de magnésium se décompose pour former de l'acide chlorhydrique qui attaque profondément le métal.

Ces corrosions revêtent l'aspect caractéristique de vermicules creusées dans la surface métallique.

**Corrosions par le cuivre**

Des particules de cuivre dans l'eau se déposent dans les chaudières sous forme de dépôts spongieux.

Ces dépôts se remplissent d'oxydes, de silice, etc. et forment rapidement une couche isolante qui provoque une élévation ponctuelle de la température de la paroi.

A cet endroit, il se produit une modification de la structure cristalline du métal et la corrosion se développe rapidement au point de surchauffe.

Les éléments touchés par ces dépôts sont principalement les parties de chaudière soumises à un transfert élevé de chaleur ; tubes écran par exemple.

**Corrosions biochimiques**

Ces phénomènes très particuliers de corrosion sont provoqués par des organismes appelés généralement « bactéries du fer ».

Le processus général de corrosion qui aboutit à une perforation complète du métal (fonte ou acier) diffère suivant le cas où il s'agit de bactéries ferrugineuses ou de bactéries capables d'oxyder l'hydrogène élémentaire et de réduire les sulfates contenus dans l'eau : bactéries sulfatoréductrices.

Dans le premier cas, les bactéries ferrugineuses accélèrent le processus d'oxydation du fer par l'oxygène.

Dans le second, elles se servent d'abord de l'hydrogène en tant qu'élément énergétique, puis stimulent les corrosions d'origine électrochimique.

Une étude plus poussée montrerait que très souvent dans des eaux contenant des sulfates et ayant un pH situé entre 5,5 et 8,4, ces deux types de bactéries agissent ensemble.

Dans un premier temps, les bactéries ferrugineuses se développent sur des zones corrodées par l'oxygène et provoquent la formation de tubercules composés d'hydroxyde de fer et d'éléments minéraux et organiques qui y adhèrent.

A l'intérieur de ces tubercules spongieux l'activité biologique des bactéries ferrugineuses se poursuit et l'oxygène nécessaire à leur action corrosive est consommé à la surface des bulbes.

De ce fait, l'oxygène ne pénètre pas à l'intérieur des pustules et son milieu devient anaérobie.

Dans un deuxième temps, les bactéries sulfato-réductrices pénètrent dans ce milieu propice à leur développement car leur activité est optimum en l'absence d'oxygène.

Leur action aura pour effet, par réduction des sulfates, de transformer l'hydroxyde de fer formé par les bactéries ferrugineuses en sulfure de fer qui, moins volumineux que le précédent sel, occupe un espace plus réduit et par contraction provoque une cavité dans le métal.

Un conditionnement bactéricide détruit ces organismes et stoppe immédiatement les corrosions qu'ils provoquent.

*Aspect général des corrosions par les bactéries du fer*

Les bactéries entraînent la formation de tubercules sous forme de nodules plus ou moins volumineux dont la paroi est constituée par des oxydes de fer.

A ces oxydes se mêlent des dépôts de sels minéraux, de la silice et des filaments de bactéries ferrugineuses.

La couleur de ces pustules est en général brun rougeâtre.

A l'intérieur il y a un liquide noir à odeur d'œuf pourri (hydrogène sulfuré) et le métal situé sous cette cloche est souvent en creux.

L'importance de la cavité dépend de l'ancienneté de la corrosion.

### 3.4 Le primage

En nous reportant à sa définition nous noterons que deux formes de primage ont été définies :

*a)* le primage provoqué par la viscosité de l'eau ;

*b)* celui dû à la construction de la chaudière.

Etant donné que notre intention est de développer les problèmes et les méthodes relatifs au conditionnement, seul le premier cas sera considéré.

En effet dans le second, la qualité de l'eau n'est pas la cause première du phénomène.

**Mécanisme du primage**

*Par augmentation de la viscosité de l'eau*

Les bulles de vapeur prennent naissance dans l'eau en un point quelconque de la surface de chauffe. Elles montent vers la surface de séparation air - eau et éclatent en projetant de minuscules particules d'eau.

Si cette eau, finement divisée, était constituée par l'élément chimiquement pur, elle s'évaporerait complètement en chaudière.

Mais étant donné que l'eau de chaudière renferme des substances dissoutes ou en suspension, l'évaporation des fractions de cette eau est toujours incomplète.

De fait une partie des sels minéraux entraînés par ces gouttelettes part avec la vapeur, c'est le primage. Le reste retombe dans l'eau de chaudière et provoque l'augmentation de la salinité.

L'élévation du taux de concentration de l'eau en sels minéraux et éléments en suspension augmente sa viscosité. L'eau plus visqueuse entoure les bulles de vapeur et se dissipe en partie avec elle sous forme de mousse et accroît le primage.

Ce cycle s'accélère très rapidement car il est entretenu par l'eau d'appoint minéralisée, et les vapeurs condensées qui, sous forme de retours, restituent une partie des sels qu'elles ont véhiculés à cause du primage initial.

La viscosité de l'eau de chaudière dépend de la nature des éléments contenus dans l'eau d'appoint.

Parmi ceux-ci les principaux responsables de l'augmentation de la viscosité sont :

*a)* produits minéraux : soude et carbonates alcalins, phosphates, chlorures, sulfates.

*b)* produits organiques : composés à base d'acide humique.

*Par abaissement de la tension superficielle de l'eau*

La présence d'agents mouillants de synthèse (détergents - émulgateurs de la classe anionique — non ionique cationique) dans les eaux alimentaires provoquent la formation des mousses légères situées au-dessus du plan d'eau.

Ces mousses sont constituées de bulles d'air entourées d'un film d'eau minéralisée.

Ces bulles ayant une très faible densité sont aspirées par la vapeur lors de son départ dans le collecteur.

*Par la présence de particules solides en suspension*

Le professeur Splittgerber classe dans une étude ces particules en trois groupes :

1° Particules grossières dont le diamètre est voisin de 0,1 micron (1 micron = 1 millième de mm).

2° Particules colloïdales de 0,1 à 0,001 micron.

3° Particules de diamètre inférieur à 0,001 micron.

Des études consacrées au rôle joué par ces particules en suspension dans l'eau ont montré que ce sont les particules grossières qui favorisent le plus la formation de mousses et donc le primage.

*Par la présence de silice aux pressions élevées de vaporisation*

Dans une communication de Messieurs Straub et Grabowsky aux Etats-Unis, il a été fait mention de la silice qui se solubilise dans la vapeur pour des pressions supérieures à 60 bars, sous forme d'acide silicique à l'état gazeux.

Lors du refroidissement qui accompagne la détente de la vapeur, le point de saturation en silice se trouve dépassé en dessous de 200°C et des dépôts siliceux sont relevés principalement dans les étages inférieurs des turbines alimentées par de la vapeur haute pression.

**Solubilité dans la vapeur de quelques composés minéraux en fonction de la température du fluide**

| | *à 310°C* g/T. de vapeur | *à 364°C* g/T. de vapeur |
|---|---|---|
| Chlorure de sodium . . . . | 6 | 200 |
| Soude caustique . . . . . | 3 | 70 |
| Sulfate de soude . . . . . | 0 | 1 |
| Bioxyde de silicium . . . . | 0,05 | 0,3 |

**Principaux inconvénients enregistrés à la suite du primage**

Le primage n'est pas dangereux si la vapeur est saturée lorsqu'elle est utilisée pour des circuits de chauffage.

Mais dans les cas d'utilisation de vapeur « blanche » ou « alimentaire » ce phénomène peut être catastrophique pour la pureté ou la qualité des produits traités ou fabriqués en contact avec la vapeur vive.

Nous citerons pour exemples :

— stérilisation de tissus ou d'appareils en chirurgie ;
— fabrication ou traitement de produits blancs dans les industries du papier de la blanchisserie ;
— destruction des colorants dans les bains de teinture ;
— produits alimentaires, pharmaceutiques, de beauté, etc. pollués par apport de sels étrangers ;
— dans l'industrie, les inconvénients porteront sur le matériel : dépôts dans les surchauffeurs, sur les vannes d'admission, déséquilibrage des turbines pouvant conduire à leur éclatement ;
— usure des aubes par abrasion.

Le traitement et le conditionnement des eaux qui provoquent le primage est indispensable.

Ces méthodes feront appel à de multiples techniques allant de la déminéralisation totale au simple apport d'agent antimousse, à raison de quelque g/m$^3$ d'eau alimentaire.

# Deuxième partie
# Eau chaude sanitaire

## 4. Eau chaude sanitaire

Par sa dénomination, et les usages domestiques auxquels elle est destinée, une eau chaude sanitaire est une eau potable dont la température a été élevée de x° centigrade pour justifier par sa nouvelle qualité sa définition d'eau chaude.

Les eaux chaudes sanitaires sont distribuées à des températures qui varient en général de 55 à 75°C.

Elles peuvent être obtenues à partir des systèmes les plus divers et en quantités infiniment variables.

L'obtention des eaux chaudes sanitaires se résume en un transfert de calories depuis une source de chaleur vers le fluide qui les reçoit.

Il est évident que dans le cas de la distribution des eaux chaudes sanitaires, les déperditions calorifiques doivent être aussi réduites que possible, de manière à fournir au consommateur une eau raisonnablement chaude et constante dans ses qualités thermiques.

**Cette remarque mise à part, dans tous les cas, l'eau potable froide transformée en eau chaude sanitaire doit obligatoirement demeurer potable.**

### 4.1 Principales normes se rapportant à la potabilité des eaux

Parmi les textes législatifs, relatifs aux eaux potables, il faut citer l'Ordonnance fédérale réglant le commerce des denrées alimentaires et de divers objets usuels (du 26 mai 1936, articles 260 et suivants), régulièrement mise à jour, et le Manuel suisse des denrées alimentaires, qui a force de loi.

A cela s'ajoutent les législations cantonales sur la distribution de l'eau, les règlements communaux, approuvés par les autorités cantonales, et les directives techniques émises par diverses associations professionnelles, en particulier la Société suisse du gaz et des eaux (SSGE).

Comme cela existe dans de nombreuses législations, tout distributeur d'eau, à titre onéreux ou gratuit, est tenu de livrer aux consommateurs *jusqu'au robinet de consommation* une eau potable répondant aux normes légales. Il s'ensuit que tout traitement d'eau thermique, physique, chimique ou autre, installé sur la canalisation de distribution, ne doit pas altérer la potabilité de l'eau utilisée par le consommateur.

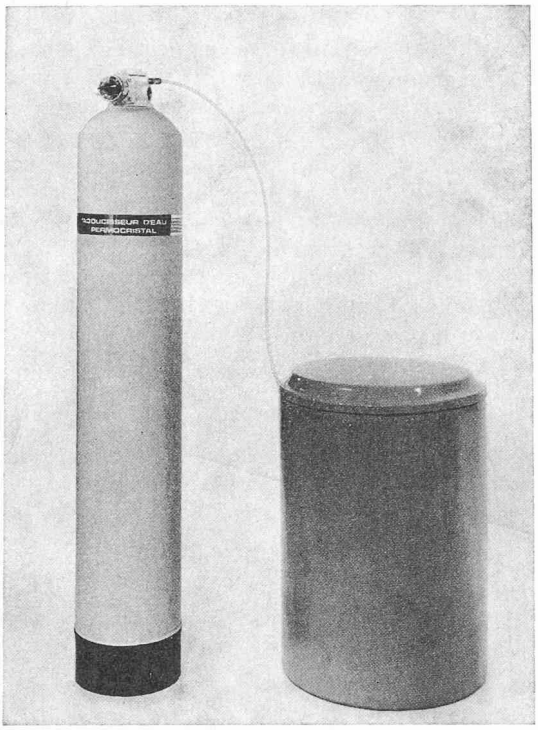



Fig. 4. — Adoucisseur d'eau par échange d'ions.

### 4.2 Normes de qualité

Des normes européennes applicables à l'eau de boisson ont été étudiées par un comité d'experts internationaux, sous l'égide de l'Office régional pour l'Europe de l'Organisation mondiale de la santé. Les normes indiquées ci-dessous sont extraites de la seconde édition (1970). Elles correspondent sensiblement aux normes du nouveau manuel suisse des denrées alimentaires (éd. 1971). Pour une meilleure commodité, nous admettons ci-dessous la classification préconisée par l'OMS.

**Radioactivité**

Il importe de maintenir la radioactivité de l'eau potable au niveau le plus bas possible. Dans l'état actuel de nos connaissances, on a admis les normes suivantes :

Activité alpha totale : 3 pCi/l (picocurie)

Activité béta totale : 30 pCi/l

En dessous de ces activités, il n'est pas nécessaire de rechercher la nature de l'élément radioactif.

**Concentration maximum admissibles de substances toxiques dans l'eau de boisson**

| Substance | Concentration limite | Note |
|---|---|---|
| Plomb (en Pb) | 0,1 mg/l | La concentration limite à 0,1 mg/l est valable pour l'eau du réseau. Là où se trouvent encore des canalisations en plomb, les concentrations peuvent légèrement augmenter, mais elles ne doivent en aucun cas dépasser 0,3 mg/l après 16 h de contact avec les canalisations. Au cas contraire, il faudra changer les canalisations. Le plomb est utilisé comme stabilisateur dans certaines canalisations de matières plastiques qui peuvent en céder à l'eau. |
| Arsenic (en As) | 0,05 mg/l | |
| Selenium (en Se) | 0,01 mg/l | |
| Chrome (en Cr VI) | 0,05 mg/l | |
| Cadmium (en Cd) | 0,01 mg/l | Le cadmium contenu dans les canalisations en matières plastiques peut passer en dissolution dans l'eau. Il peut en être de même pour le mercure et l'étain. Certaines canalisations en matières plastiques peuvent ainsi communiquer à l'eau une couleur et un goût désagréables. |
| Cyanures (en CN) | 0,01 mg/l | |

Pour des teneurs supérieures, il est important de la connaître : présence éventuelle de 226 Ra pour les émetteurs alpha ou 90 Sr (Strontium-90) et 129 I (Iode-129) pour les émetteurs béta. Ces deux derniers éléments sont d'origine artificielle et peuvent être présents dans les eaux potables, à la suite de pluies radioactives.

Lorsque la teneur de l'eau ou l'une quelconque de ces substances dépasse le taux indiqué, il y a lieu de proscrire l'utilisation de cette eau dans le réseau de distribution.

**Matière organique extractible**

On admet généralement que la quantité de matière organique contenue dans l'eau et extractible dans certaines conditions (passage sur charbon actif et extraction au chloroforme) ne doit pas dépasser 0,2 à 0,5 mg/l. Cette matière organique peut être abondante dans des eaux polluées (lacs, rivières, par exemple).

**Hydrocarbures aromatiques polycycliques (PAH)**

Certains de ces hydrocarbures sont carcinogènes. Les normes européennes se limitent à la recherche de six d'entre eux. Dans l'état actuel de nos connaissances, leur recherche ne se justifie que dans le cas d'eaux superficielles traitées. Pour la sécurité des consommateurs, leur concentration totale ne doit pas excéder 0,2 µg/l (0,2 microgramme par litre).

**Pesticides**

La contamination des eaux profondes ou superficielles par les pesticides ou substances analogues peut être causée par traitement intentionnel direct (herbicides aquatiques, insecticides) par décharge d'eaux usées industrielles ou de résidus de traitements, que ce soit par contamination accidentelle sur une nappe superficielle, ou par percolation ou encore par ruissellement ou lavage des terrains traités dans la pratique agricole.

La contamination de l'eau par les pesticides doit être empêchée autant que possible. Non seulement à cause de leur toxicité directe sur l'homme, mais aussi à cause de leur influence sur la biocénose aquatique et leur accumulation possible dans la chaîne alimentaire. Pour ces raisons, des mesures préventives sévères doivent être prises. En dépit de toutes les mesures de protection qui sont prises, la contamination des eaux potables est loin d'être rare.

| Substances | Nature des effets possibles | Concentration approximative au-delà de laquelle les effets risquent de se produire | Remarques |
|---|---|---|---|
| Fluor (en F) | Fluorose | 0,8-1,5 | Cette valeur, calculée en mgF/1 est valable pour une moyenne annuelle du maximum de température diurne de l'air comprise entre 12° et 17°5, moyenne de nos régions. |
| Nitrates (en $NO_3$) | Danger de méthémoglobinémie dans l'eau de préparation des biberons. | 50 mg/l | Valeur maxima recommandée.<br>Acceptable dans nos pays.<br>Non recommandé. |
| Cuivre (en Cu) | Goût astringent. Décoloration et corrosion des conduites et installations. | 0,05 mg/l<br>3,0 mg/l | A la station de pompage.<br>Après 16 heures de contact avec des canalisations neuves. |
| Fer (total en Fe) | Goût, décoloration. Dépôts, développement de bactéries ferrugineuses, turbidité | 0,1 mg/l<br>3,0 mg/l | Au point d'entrée de l'eau dans le réseau.<br>Limite maxima tolérable dans le réseau. |
| Manganèse (en Mn) | Goût désagréable, décoloration. Dépôts dans les canalisations, turdité. | 0,05 mg/l | La présence de manganèse dans l'eau est l'indice d'une origine souvent de terrain riche en matière organique (marais, etc.). |
| Zinc (en Zn) | Goût astringent. Opalescence. Dépôts sableux dans les canalisations. | 5,0 mg/l | |
| Aluminium (en Al) | Goût | 5,0 mg/l | Des concentrations plus élevées sont parfois admissibles. |
| Argent | Goût | 0,2 mg/l | Peut provenir de procédés de désinfection de l'eau. |
| Magnésium (en Mg) | Dureté.<br>Goût désagréable. | 30 mgl/<br>125 mg/l | Si l'eau contient 250 mg/l de sulfates (en $SO^4$).<br>Si l'eau est pauvre en sulfates. |
| Sulfates (en $SO_4$) | Irritation gastro-intestinale. | 250 mg/l | Une eau de très bonne qualité ne contient que 50 mg par l. A partir de 200 à 250 mg/l, les canalisations en béton peuvent être attaquées. |
| Chlorures (en Cl) | Goût désagréable. Corrosion dans les canalisations d'eau chaude. | 200 mg/l<br>600 mg/l | Dans nos régions, la teneur en chlorures dépasse rarement 10 à 20mg/l.<br>Dans certaines conditions fixées par les autorités sanitaires. |
| Hydrogène sulfuré (en $H_2S$) | Goût et odeur. | 0,05 mg/l | |
| Composés phénoliques (en phénol) | Goût désagréable, notamment dans les eaux traitées par le chlore. | 0,001 mg/l | Dans certains cas, en particulier pour les eaux de lacs, lors de décomposition des algues, il peut se produire des substances de dégradation à caractère phénolique, dont la concentration excède la valeur limite fixée. |

Des concentrations très faibles de ces pesticides provoquent des modifications organoleptiques de l'eau, de sorte qu'ils ne peuvent être tolérés dans l'eau de consommation, sans tenir compte en plus des qualités toxiques de ces produits.

Le problème des pesticides, algicides ou herbicides se pose déjà dans nos régions où l'on en a décelé dans certaines eaux de boisson. Du reste, la Commission internationale pour la protection des eaux du lac Léman et du Rhône contre la pollution a adopté le 6 novembre 1970 une recommandation visant à interdire tout emploi d'algicide ou d'herbicide dans les eaux du lac Léman et de ses affluents.

**Substances chimiques dont la présence en quantités excessives dans l'eau de boisson peut entraîner des inconvénients**

Ces substances, sans présenter de danger pour les consommateurs, peuvent néanmoins donner lieu à divers inconvénients lorsqu'elles sont présentes en quantités excessives.

**Substances dont la concentration dans l'eau de boisson devrait, de préférence, être contrôlée.**

Les normes suivantes se rapportent à des substances qui, sans présenter de danger direct pour la santé humaine visent à déterminer si cette eau est d'une consommation agréable et aussi si certains indices permettent de faire penser à des souillures.

| Substances | Nature des effets possibles | Concentration approximative au-delà de laquelle les effets risquent de se produire | Remarques |
|---|---|---|---|
| Détergents anioniques | Goût.<br>Ecumes. | 0,2 mg/l | (Norme OMS.) Selon le Manuel suisse des denrées alimentaires, on ne devrait pas déceler de détergents anioniques dans l'eau de distribution. On tolère cependant jusqu'à 0,5 mg/l pour les eaux de nappes enrichies artificiellement. |
| Ammoniaque (en $NH_4$) | Développement d'organismes. Danger de corrosion dans les canalisations. Difficultés dans la chloration. | 0,05 mg/l<br><br>0,5 mg/l | Ne doit pas être décelé selon le Manuel suisse des denrées alimentaires. Le cas échéant, il y a lieu de rechercher si l'ammoniaque est d'origine naturelle (eaux réduites, eaux de nappes superficielles) ou s'il provient de souillures (eau usée d'origine fécale ou industrielle).<br>Limite maxima tolérable pour des eaux bactériologiquement irréprochables. |
| Nitrites | Danger de méthémoglobinémie en cas de fortes concentrations. | Absence | La présence de nitrites peut être naturelle (eaux réduites, eaux de nappes superficielles) ou provenir de souillures (eaux usées, pollution par hydrocarbures). |
| Gaz carbonique libre (en $CO^2$) | Attaque des canalisations. Danger de mise en solution des métaux toxiques. | Zéro, exprimé en gaz carbonique agressif. | Dans la norme européenne, l'agressivité de l'eau est mesurée par le test au marbre. |
| Oxygène dissous (en $O_2$) | Goût et odeur désagréables. Corrosion. Prolifération d'organismes. | Min. 5 mg/l | La solubilité de l'oxygène dépendant de la pression atmosphérique, donc de l'altitude, on estime qu'une bonne eau potable doit contenir entre 80 et 100 % de la valeur de saturation. Pour des teneurs inférieures à 60 %, l'eau peut être corrosive et la couche passivante des canalisations peut être détruite. |
| pH | Goût, saveur. | 7,0 à 8,5 | |
| Dureté totale en mé/l ou en °fr. | Dépôt calcaire. Dissolution de métaux lourds si le degré de dureté est trop bas. | 2-10 mé/l<br>ou<br>10 à 50°fr | La tendance moderne est d'exprimer la plupart des éléments en mé/l (milliéquivalents par l).<br>Voir première partie, chiffres 3.2. |
| Minéralisation totale (résidu sec) | | 500 mg/l<br><br>2000 mg/l | On admet de manière générale dans nos régions que le résidu sec de l'eau potable ne devrait pas dépasser cette valeur.<br>Limite à ne dépasser en aucun cas. |
| Oxydabilité de l'eau (en $KMnO_4$) | Eau instable putréfiable. | 6,0 mg/l | Sauf cas exceptionnels (eau de nappes tourbeuses ou de lacs eutrophes) une oxydabilité supérieure à 6,0 mg/l est considérée comme une souillure par des eaux usées d'origine organique. |
| Chlore libre ou bioxyde de chlore ($Cl_2$) | Goût désagréable. | 0,1 mg/l | Teneur maxima à la distribution. |
| Ozone (en $O_3$) | Odeur et goût désagréables. | 0,1 mg/l | |
| Phosphates (en $PO_4$) | | 0,1 mg/l<br>3 mg/l | Valable pour une eau naturelle.<br>Cette teneur est tolérée par le Service fédéral de l'hygiène publique, uniquement pour la vaccination des eaux chaudes par des polyphosphates. |
| Silicates (en $SiO_2$) | | 40,0 mg/l<br>8,0 mg/l | Cette teneur est hygiéniquement admissible.<br>Limite des adjonctions de silicates pour le traitement des eaux. |

Ces informations (ch. 4.1 - 4.2) nous ont été obligeamment fournies par le Dr R. Monod, adj. chimiste cantonal vaudois.

### 4.3 Problèmes relatifs à l'eau chaude sanitaire

Ces normes permettent de préciser le moment où l'intervention du conditionnement et du traitement des eaux est souhaitable, ou au contraire indispensable.

Jusqu'à la fin de la deuxième guerre mondiale les problèmes relatifs à l'eau chaude sanitaire se limitaient à des inconvénients d'ordre privé.

L'eau chaude était fournie par maison ou par appartement depuis un générateur particulier, et s'il y avait des corrosions, des incrustations, des eaux rouges, etc. un nombre infiniment restreint de personnes était concerné et l'ampleur du problème était limité à la taille de la cellule familiale d'habitation.

Depuis la réalisation des « grands ensembles » et surtout depuis la généralisation de l'équipement en eau chaude sanitaire de ces derniers, les cas de corrosion, d'entartrage, d'eaux rouges, etc. se sont multipliés de façon systématique pour atteindre depuis ces dernières années une proportion plus qu'inquiétante. A chaque fois ce problème ne concerne plus un mais des centaines de logements.

Ce problème est d'autant plus actuel que la qualité des métaux utilisés pour les équipements d'eau chaude a fortement évolué.

Nous avons longuement développé dans la première partie tous les phénomènes qui résultaient de l'association eau - métal - chaleur.

C'est essentiellement parce que ces phénomènes pourtant connus et prévisibles ont été négligés ou traités préventivement de manière incomplète lors de la réalisation des installations d'eau chaude sanitaire, que tant d'inconvénients existent aujourd'hui, tant pour les utilisateurs, que pour les distributeurs ou les exploitants.

### 4.4 Inconvénients pouvant être évités par le traitement et le conditionnement

Il est évident, étant donné les normes très strictes qui s'appliquent aux eaux potables, que les possibilités d'intervention sur ces dernières sont très limitées.

Toutefois elles existent, et permettent actuellement de prévenir ou de combattre les principaux phénomènes qui perturbent les réseaux de distribution des eaux chaudes sanitaires.

Nous citerons pour mémoire :

**Entartrage**

des générateurs de chaleur — des échangeurs — des ballons de productions d'eau chaude — des canalisations — des vannes et robinets, etc.

**Corrosion**

des installations de production et de distribution d'eau chaude sanitaire.

**Coloration**

des eaux en rouge ou brun : corrosion du fer en bleu ou bleu-vert, corrosion du cuivre ou du fer par grain-noirs et gris (effet de sable), corrosion du zinc des canalisations en acier galvanisé.

**Perte de calories**

par entartrage des échangeurs.

**Disparition de la qualité eau potable**

de l'eau chaude sanitaire à la suite de son enrichissement en fer, cuivre, zinc et ce au-delà des normes de potabilité définies par la législation à la suite de la corrosion des métaux entrant dans l'équipement du réseau de distribution.

**Arrêt**

des installations pour détartrage, nettoyage ou réparation.

### 4.5 Classification des eaux

Des essais de classification des eaux, basés sur une minéralisation croissante et destinés à faire ressortir plus ou moins les caractères corrosifs, agressifs ou entartrants des eaux n'ont pas donné entière satisfaction, du fait des nombreuses catégories qu'il a fallu établir.

En pratique, chaque eau est étudiée pour elle-même, en fonction de l'usage auquel on la destine.

### 4.6 Utilité du traitement et du conditionnement

De toute manière, quelle que soit la catégorie à laquelle l'eau est censée appartenir, il est indispensable de la traiter, de la conditionner ou de lui appliquer les deux processus, si on veut progéger l'installation d'eau chaude sanitaire contre les corrosions et l'entartrage.

Ces interventions sont d'autant plus nécessaires que l'eau chaude sanitaire est en déséquilibre physique et chimique par suite de son élévation de température.

Les gaz dissous s'échappent du fluide et par les modifications qu'ils créent dans le milieu ambiant, ils provoqueront des entartrages (limite de stabilité des sels bicarbonatés par exemple et transformation des bicarbonates en carbonates incrustants), des attaques acides, des corrosions.

Il est bien évident que le traitement et le conditionnement des eaux chaudes sanitaires n'est pas, comme trop de personnes auraient tendance à le croire, la panacée.

Les processus ont pour fonction d'inhiber les caractères naturellement agressifs ou entartrants des eaux et de protéger les réseaux contre les corrosions.

Si les installations de distributions ont été mal conçues ou imparfaitement équipées, il sera nécessaire de remédier aux défauts supplémentaires apportés par le réseau et ensuite de pallier les inconvénients propres à la nature de l'eau.

### 4.7 Influence de la réalisation des installations d'eau chaude sanitaire

**Utilisation conjointe de tubes en cuivre et en acier galvanisé**

Quelle que soit la qualité d'une tuyauterie en acier galvanisé, celle-ci subit une détérioration de son revêtement protecteur quand elle est coupée, filetée, cintrée ou soudée.

Plus grave encore, avec la soudo-brasure, il y a un apport de cuivre créant un couple métallique supplémentaire.

Avec une eau froide ne comportant pas de traces de cuivre, il a été constaté qu'un tube en acier galvanisé dont le revêtement a été détérioré ne se corrode pratiquement pas.

Cela tient au fait que le fer, généralement plus noble que le zinc devient cathodique, et se trouve protégé là où il a été mis à nu.

Avec une eau chaude toujours dépourvue de cuivre, et à une température de 60/70°C, le zinc se couvre d'une couche d'oxyde ayant un potentiel plus élevé que celui du fer qu'il recouvre.

Il y aurait établissement de conditions favorables à la corrosion, mais l'oxyde de zinc ayant une faible conductivité électrique, l'action oxydante de l'oxygène de l'eau est considérablement inhibée.

Il n'y a qu'un très faible courant de corrosion.

Par contre, dès que l'eau véhicule des particules de cuivre, ces dernières, en contact avec l'oxyde de zinc, provoquent

une disparition de la mauvais conductibilité de l'oxyde et le courant de corrosion devient non négligeable.

Lors de la mise en eau d'une installation, et surtout dans le cas de circuits de distribution d'eau chaude recyclée, les particules de cuivre résultant inévitablement des travaux effectués sur les tubes de même métal, ou celles fixées par soudo-brasure sur le zinc et le fer provoqueront avec l'oxyde de zinc formé à chaud de multiples points de départ pour les corrosions.

En cours d'exploitation, des vitesses exagérées de circulation de l'eau dans les tubes en cuivre, des réparations, des modifications d'installation, etc., sont autant d'occasions pour un réenrichissement régulier de l'eau en particules métalliques cuivre.

**Vitesse excessive de l'eau dans les canalisations**

Lorsque l'eau circule à grande vitesse dans une tuyauterie, elle peut provoquer des corrosions localisées en des points particuliers tels que coudes, vannes, raccords, point d'assemblage en ligne de tubes de section différente, etc.

Par l'action mécanique des particules en suspension, le film protecteur de l'acier, du zinc, etc., se trouve détruit aux points d'impact des particules sur le métal et ce, sur une très faible surface.

Celle-ci devient anodique par rapport au métal protégé et de polarisation inverse. Une attaque rapide et intense peut provoquer des perforations qui ont pour origine une cause mécanique.

D'autre part, nous rappellerons les corrosions par cavitation (chapitre 1) qui se développent aux endroits où le flux a une grande vitesse linéaire.

Notons que les processus de corrosions par cavitation due à la grande vitesse linéaire d'un fluide peuvent être considérablement réduits par l'étude en engineering du tracé approprié de la veine fluide.

**Elévation progressive de la température de distribution des eaux chaudes sanitaires**

Il y a de très nombreux exemples d'installations alimentées par une même eau, de conception identique construites avec les mêmes métaux qui ont des comportements totalement différents suivant la température à laquelle l'eau chaude sanitaire est distribuée.

Dans le premier cas, l'installation est alimentée en eau à 45/50°C. Les manchettes témoins montrent avec l'eau brute un entartrage et des traces de corrosion.

Dans le second cas, l'eau chaude sanitaire est distribuée à 75°C. Il a déjà fallu remplacer plusieurs canalisations et il y a des phénomènes d'eau rouge.

La Société COX aux Etats-Unis a effectué des essais de corrosion sur des réseaux expérimentaux.

Il est démontré que :

— la corrosion provoquée par l'eau chaude dans un réseau croît régulièrement de 10 à 50°C ;

— les pertes de poids du métal corrodé exprimées en mg par décimètre carré et par jour de contact (mg/dm²/j) passent approximativement de 8-10 mg/dm²/j à 20°C à 24-25 mg/dm²/j à 50°C ;

— à 60°C la perte de poids par corrosion s'élève à 200 mg/dm²/j ;

— à 70° cette perte est 600 mg/dm²/j ;

— il faut attendre plus de 80°C pour observer une diminution de la corrosion par l'eau chaude. Elle se traduit encore cependant par une perte de 450 à 500 mg/dm²/j;

— à l'inverse et ce jusqu'à 75°C, les tartres sauf exception sont carbonatés et friables, à partir de 80°C, ils renferment des sulfates. Ces tartres sulfatés très durs peuvent obturer irrémédiablement les canalisations.

**Utilisation des surpresseurs**

Pour des installations de grande hauteur, la pression initiale de l'eau potable est, dans la plupart des communes, insuffisante pour alimenter les étages supérieurs.

Il est fait appel à des surpresseurs fonctionnant sous matelas d'air. Ceux-ci ont l'extrême désavantage de provoquer une sursaturation en gaz de l'eau surpressée.

La teneur en oxygène peut atteindre et dépasser 15 mg/l.

Si, en bas de l'installation, la pression initiale est portée à 11-12 bars, il n'est pas rare compte tenu des pertes de charge, d'atteindre aux niveaux supérieurs des pressions résiduelles de 2 ou 3 bars. Les gaz, dissous dans l'eau chaude sanitaire, se dégagent sous la double influence de la température et de la baisse de pression. Au fur et à mesure que l'eau s'élève dans l'installation, les gaz dissous se rassemblent en minuscules bulles qui montent le long des parois des tubes et s'accumulent aux points hauts des installations surtout si ceux-ci sont mal ou même non ventousés.

De plus, dans les colonnes montantes par suite de la décompression des eaux et de leur dégazage si celles-ci n'ont pas été adoucies, il se produit un déséquilibre entre le gaz carbonique et les bicarbonates alcalino-terreux (ces bicarbonates de calcium et de magnésium deviennent incrustants sous forme de carbonates correspondant à la suite du départ de gaz carbonique équilibrant) et l'eau devient incrustante.

Donc, dans le cas d'une eau surpressée par matelas d'air, aux inconvénients dus au dégazage de l'eau normalement saturée, viennent s'ajouter ceux résultant de la sursaturation gazeuse pouvant être provoquée par les compresseurs.

Des purgeurs situés aux points hauts permettent d'éliminer une bonne partie des gaz résultant de l'élévation de la température de l'eau et de sa décompression dans le réseau.

Il est à noter qu'il existe des dispositifs équipés de pompes à turbines qui remplissent le même office que les surpresseurs sans présenter le risque d'une saturation accidentelle de l'eau en gaz.

**Juxtaposition de plusieurs métaux différents**

Celle-ci est malheureusement trop fréquente. Il n'est pas rare de rencontrer des installations d'eau chaude sanitaire comportant trois et même quatre métaux différents sans parler des bavures internes, des soudo-brasures, des raccords en fonte malléable, voire en aluminium.

Il se crée autant de couples galvaniques qu'il y a d'associations de métaux différents.

Cette juxtaposition de différents métaux vient d'autre part d'être étudiée pour les phénomènes qu'elle occasionne dans le cas fer galvanisé - cuivre (4.7).

**Absence de dispositif de régulation de débit**

Les caprices de régime d'écoulement de l'eau dans les installations importantes d'eau chaude sanitaire sont provoqués par des soutirages irréguliers effectués par les utilisateurs. Aux heures de pointe, matin, midi et soir, un réseau sous pression moyenne de 8 bars par exemple voit cette dernière tomber brutalement à un ou deux bars et remonter aussi brusquement.

L'importance des amplitudes de ces variations de pression, et l'espacement des fréquences varient en fonction du nombre de postes d'eau, de la pression initiale du fluide.

Ces paramètres varient aussi suivant la période de temps depuis laquelle les bâtiments sont occupés et sont aussi fonction de la catégorie de l'immeuble.

Nous avons remarqué, par exemple, que dans des H.L.M. récemment occupés, les consommations d'eau chaude étaient très fortes durant les six premiers mois. Les graphiques d'enregistrement montraient des écarts importants, aux heures de pointe de consommation, pour les débits ou les pressions affectant le réseau.

Après la réception de la première facture, la consommation tombait brutalement au dixième de la consommation du départ. Après un an, celle-ci s'établissait aux deux tiers des toutes premières consommations et se stabilisait aux environs de 100-150 l par logement et par jour.

A l'inverse dans les immeubles de « standing », la consommation est élevée d'emblée et le demeure dans le temps (300 à 350 l/logement/jour) avec évidemment comme pour toutes les autres installations de brusques variations de débit et de pression mais suivant des fréquences beaucoup plus espacées et plus réparties au cours de la journée.

Ces caprices de régimes absolument prévisibles provoquent des vibrations dans les installations, des « coups de bélier » occasionnés par les pompes de surpression, les clapets anti-retour, etc.

Il en résulte des oscillations brutales de la masse liquide dans les tubes et les attaques par cavitation (cf. ch. 1). Ces oscillations s'accompagnent de mouvements tourbillonnants aux effets désastreux pour les canalisations, et provoqués à la suite des demandes d'eaux à divers niveaux, par des changements brusques de direction du fluide dans le réseau.

Il est nécessaire d'installer sur le circuit des dispositifs anti-bélier régularisant le régime d'écoulement, ainsi que des clapets anti-retour par étage pour éviter les inversions de courant du fluide dans le réseau.

### 4.8 Traitement des eaux chaudes sanitaires

**L'adoucissement**

est destiné à l'élimination des éléments constituant la dureté de l'eau (caractère incrustant).

**La neutralisation**

est une opération ayant pour but d'éliminer l'agressivité d'une eau.

**L'adoucissement**

Comme nous l'avons expliqué au chapitre 1 (1.4 Eléments rencontrés dans l'eau), l'eau contient en particulier des sels minéraux : carbonates, bicarbonates, sulfates, chlorures, etc.

Parmi ceux-ci, il existe des sels incrustants : sels de chaux et de magnésie qui rendent l'eau dure.

Une eau dure est une eau qui à l'ébullition provoque des dépôts sur les parois du récipient qui la contient, qui empêche le savon de mousser, qui confère au linge lavé avec celle-ci un « toucher » rugueux, qui entartre les canalisations, les échangeurs, etc.

La dureté d'une eau se mesure en degrés. Elle est aussi appelée titre hydrotimétrique.

L'unité de dureté est le °TH qui correspond à un poids de 10 mg de carbonate de calcium par litre d'eau pour le système unitaire français ou à 8,4 g/l de carbonate de magnésium par litre d'eau, et toujours pour le même système unitaire.

Le titre hydrotimétrique d'une eau correspond à la somme globale des éléments incrustants calcium et magnésium qu'elle contient.

Le classement des eaux en fonction de leur titre hydrotimétrique ou de leur degré de dureté a été donné dans la 1re partie, chap. 3.2.

*Principe de l'adoucissement*

La plupart des sels minéraux une fois mis en solution dans l'eau et dissous cessent d'exister intégralement sous leur forme moléculaire comme ils le faisaient quand ils étaient à l'état solide.

Par exemple, le sel de cuisine ou chlorure de sodium qui est composé d'un élément chlore associé à un élément sodium se présente lorsqu'il est solide sous la forme de cristaux composés de molécules de chlorure de sodium.

Ce même chlorure de sodium dissous dans l'eau se dissocie en chacun de ses composants : une partie chlore comportant une charge électrique négative et appelé anion, une partie métallique sodium comportant une charge électrique positive et appelé cation. Il y a une ionisation du sel dans l'eau.

Ces ions libres peuvent être échangés et remplacés par d'autres ions. L'adoucissement d'une eau est une opération d'échange au cours de laquelle s'effectue une permutation d'ions entre un corps capable de fournir à l'eau des ions non incrustants et de recevoir en échange les ions incrustants de cette dernière (les ions calcium et magnésium).

Cette permutation se fait stœchiométriquement, c'est-à-dire que les ions s'échangent équivalent pour équivalent.

*Résine échangeuse d'ions*

*Définition*

Les résines échangeuses d'ions utilisées actuellement sont des solides de forme sphérique (billes) obtenus par synthèse. Ces solides insolubles possèdent des ions mobiles (anions ou cations) susceptibles d'être échangés réversiblement et stœchiométriquement avec les ions de même signe des solutions d'électrolytes (acides, bases ou sels dissous) avec lesquels ils sont mis en contact.

Les résines échangeuses d'ions doivent leurs propriétés à la nature particulière de leur squelette. Celui-ci se présente sous la forme d'un réseau tridimensionnel portant des charges électriques fixes qui sont équilibrées par des ions mobiles de charge opposée.

Ce sont ces ions mobiles dans le réseau qui sont échangeables.

*Adoucissement de l'eau potable par des résines*

*Principe de l'opération*

L'adoucissement, comme nous l'avons expliqué plus haut, a pour but d'ôter à l'eau ses éléments incrustants (ions calcium et magnésium) en les remplaçant par des ions non incrustants.

Pour l'eau potable, il s'agira de lui fournir au cours de cet échange des ions qui peuvent être en quantité assez élevée dans l'eau sans pour cela lui ôter son caractère de potabilité.

Le choix s'est donc porté sur le sodium en tant qu'ion d'échange, car :

— d'une part, il peut être présent dans l'eau suivant de fortes concentrations comparativement aux autres ions, et ce sans altérer la potabilité de l'eau ;

— d'autre part, il est contenu dans un produit bon marché facilement obtenu, relativement soluble : le chlorure de sodium, appelé vulgairement sel.

*Définition et fonctionnement d'un adoucisseur*

Un adoucisseur est un appareil contenant des résines qui par leur composition et par les ions qu'elles portent ne provoquent lorsqu'elles sont au contact de l'eau potable aucune altération de cette qualité.

Il est équipé de tubulures qui permettent par des jeux de vannes :

1. Le passage de l'eau à adoucir sur les résines.
2. La sortie de l'eau adoucie après son passage sur les résines échangeuses d'ions.

Après un certain volume d'eau ainsi traité et dont l'importance est fonction de la dureté de cette eau et du volume de résines mis en contact avec le fluide, les éléments échangeurs d'ions ont perdu tous les ions sodium (ions non incrustants) qu'ils pouvaient échanger et sont saturés en ions incrustants : calcium et magnésium.

L'adoucisseur est saturé, le « cycle » d'adoucissement est terminé.

Afin de pouvoir réaliser un autre cycle, il suffit de faire passer sur les résines enrichies en ions incrustants une solution fortement saturée de chlorure de sodium.

Il se produit un échange inverse et les résines perdent leurs ions calcium et magnésium pour recevoir en échange de nouveaux ions non incrustants : des ions sodium. Elles sont prêtes pour un nouveau cycle d'adoucissement.

Il y aura donc deux autres tubulures sur l'adoucisseur (cf. schéma).

3. Une canalisation destinée à faire pénétrer dans l'adoucisseur la solution saturée de sel destinée à la régénération des résines.
4. Une canalisation ayant pour but l'évacuation vers l'égout de la solution saturée en ions incrustants après qu'il y ait eu au niveau des résines l'échange des ions sodium et le rejet dans la solution de régénération des ions calcium et magnésium.

*Nota :* ces opérations de régénération, de rinçage après régénération pour éliminer le chlorure de sodium en excès, de détassage préalable des résines par contre-courant d'eau, de remise en circuit pour un nouveau cycle, d'adoucissement peuvent être, suivant les types d'appareils, réalisées manuellement ou automatiquement.

De même les régénérations peuvent être déclenchées soit après un nombre constant de $m^3$ adoucis et préalablement calculés (régénération au volume) ou elles peuvent être déclenchées régulièrement dans le temps par une horloge calendaire après un nombre fixe de jours de fonctionnement (régénération dans le temps).

*Modifications chimiques subies par une eau après son adoucissement*

Les seules modifications chimiques, subies par une eau après son adoucissement, se rapportent au seul remplacement des ions calcium et magnésium par des ions sodium et ce à l'exclusion de tout autre changement de composition. *Son caractère corrosif ou agressif n'est pas diminué, son pH* (caractère acide, neutre ou alcalin) demeure pratiquement inchangé, *son TAC* (titre alcalimétrique complet) *ne varie pas.*

*Remarque*

La seule modification accidentelle pouvant intervenir sur la minéralisation totale d'une eau adoucie par permutation sodique (résines régénérées par le chlorure de sodium) est un léger enrichissement en chlorure de sodium au début du cycle d'adoucissement si les résines ont été incomplètement rincées après régénération.

Exemple : Composition chimique d'une eau potable

| | Avant adoucissement | Après adoucissement |
|---|---|---|
| TA° (titre alcalimétrique) . . | 0,0 | 0,0 |
| TA C° (titre alcalimétrique complet) . . . . . | 32,0 | 32,0 |
| TH° (dureté de l'eau) . . . . | 40,0 | 0,1 ou 0,0 |
| pH (caractère alcalin acide au neutre) . . . . . | 7,3 | 7,3 |
| Sulfates en $SO_4$ . . . mg/l | 27,0 | 27,0 |
| Chlorures en Cl . . . mg/l | 30,0 | 30,0 + q.q. mg provenant d'un rinçage incomplet |
| Fer . . . . . mg/l | 0,2 | 0,1 (fer retenu par (les résines) |
| Silice en $SiO_2$ . . . . mg/l | 10,0 | 10,0 |
| Oxygène . . . . . mg/l | 6,0 | < 6,0 oxygène consommé sur résine par oxydation du fer ferreux |
| Gaz carbonique libre . mg/l | 40,0 | 40,0 |
| Matière organique en oxygène consommé . mg/l | 1,5 | 1,5 |

Une eau adoucie conserve ses qualités propres et acquiert une qualité supplémentaire : elle est devenue non entartrante.

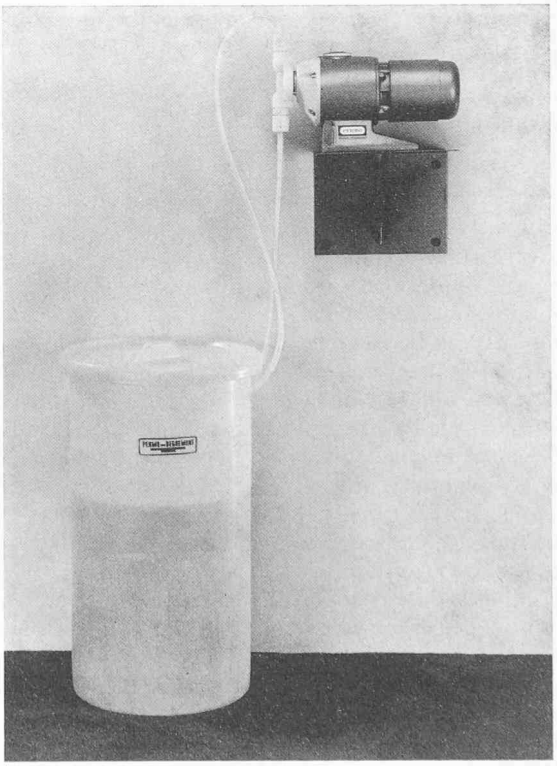


Fig. 5. — Groupe de dosage.

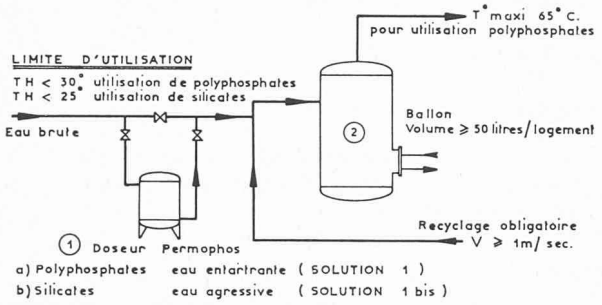



Fig. 6 a. — Dosage à polyphosphates et silicates par déplament.

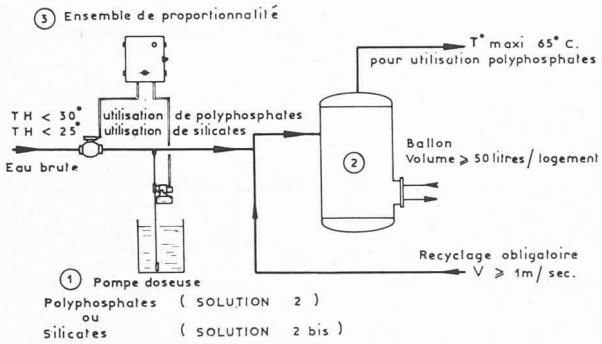



Fig. 6 b. — Dosage de polyphosphates et silicates par pompe doseuse.

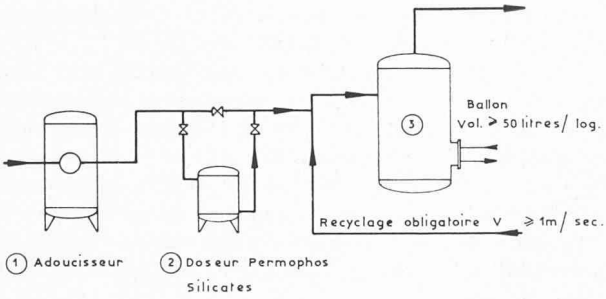



Fig. 6 c. — Traitement de l'eau par adoucisseur et doseur à déplacement.

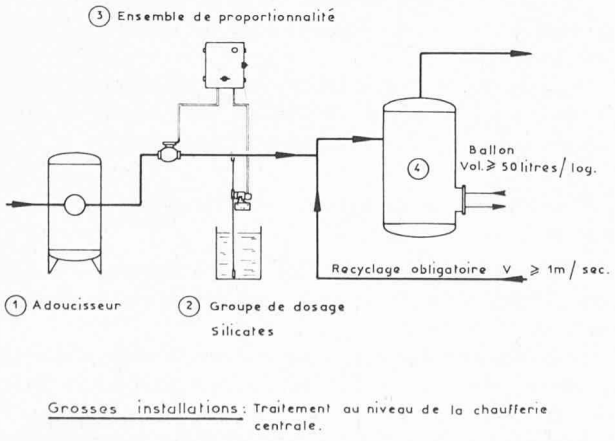
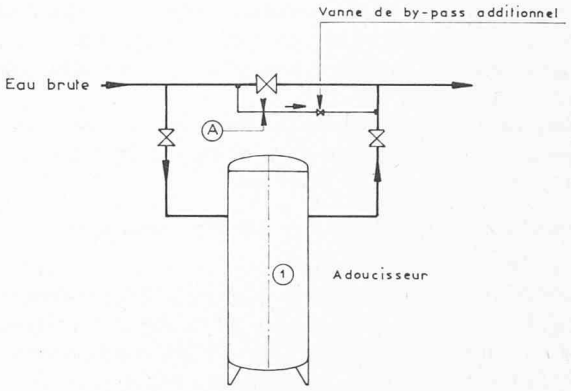



Fig. 6 d. — Traitement de l'eau par adoucisseur et pompe doseuse.

Fig. 6 — Eau chaude sanitaire.




| Adoucisseur | By pass additionnel A |
|---|---|
| D 100 A | ⌀ 15/21 |
| AP 40/15 A | ⌀ 26/34 |
| AP 50/18 A | ⌀ 26/34 |
| AP 65/35 A | ⌀ 33/42 |

Fig. 7. — Adoucisseur avec by pass additionnel.

## Neutralisation

Les eaux qui contiennent naturellement du gaz carbonique libre en excédent par rapport à la quantité requise pour maintenir les bicarbonates en état d'équilibre sont des eaux agressives.

*Principe de la neutralisation*

Cette opération a pour but de faire réagir le gaz carbonique libre de l'eau (gaz qui lui confère son caractère agressif) sur des composés de carbonate de calcium et

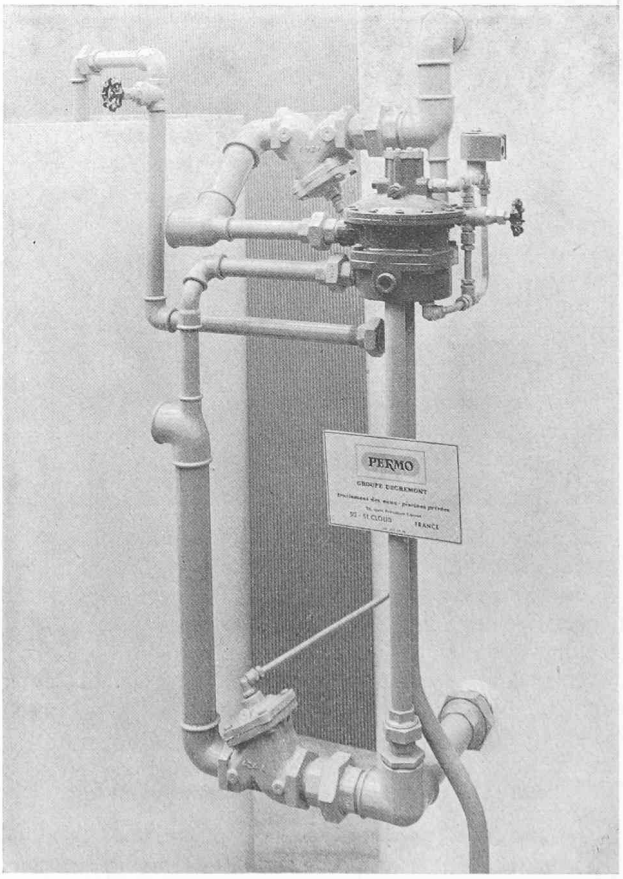



Fig. 8. — Batterie automatique pour adoucisseur.

de magnésium ayant une solubilité rapide et constante et de le transformer en bicarbonates correspondants.

L'eau perd son caractère agressif et une des causes de corrosion disparaît.

Il est indispensable que les éléments neutralisants soient totalement exempts d'alcali libre, ce qui conférerait à l'eau neutralisée une alcalinité excessive.

*Opération de neutralisation sur produits neutralisants*

*Neutralisation sur filtre ouvert*

La charge neutralisante marbre-dolomie calcinée (Magno-Neutralite, etc.) est placée dans un récipient qui reçoit l'eau à traiter à la partie supérieure. L'eau traitée s'écoule par gravité à travers la couche neutralisante et se dirige vers une citerne de départ.

Ce dispositif offre une solution très pratique pour les installations ne pouvant disposer que d'une très faible perte de charge (cas des eaux de sources captées et distribuées par gravité par exemple).

*Neutralisation dans un filtre fermé sous pression*

Le filtre fermé comportant la charge neutralisante est intercalé sur le circuit d'eau sous pression.

L'eau à traiter traverse la couche neutralisante du haut vers le bas comme pour le dispositif précédent.

Un tel appareil est en principe composé d'un corps vertical contenant la charge neutralisante et de canalisations permettant l'arrivée de l'eau à traiter, son départ après traitement, l'évacuation des eaux de lavage de la charge neutralisante.

Deux manomètres placés en amont et en aval de l'appareil sont destinés à surveiller la perte de charge et de connaître le moment où le lavage devient nécessaire.

*Consommation moyenne de produit neutralisant et variation de la dureté d'une eau après neutralisation*

En fonction de la teneur d'une eau en gaz carbonique agressif et du produit neutralisant employé, la consommation de ce dernier varie et l'eau voit son titre hydrotimétrique s'élever légèrement.

Le tableau ci-dessous permet de connaître les consommations en produit neutralisant par g de gaz carbonique agressif et l'augmentation de dureté de l'eau en fonction de sa teneur en élément agressif à neutraliser.

| Réactif | Consommation en g par g de gaz carbonique agressif | Augmentation de dureté en ° par g de gaz carbonique agressif |
|---|---|---|
| Marbre . . | 2,30 g/g | 0,22°TH/g |
| Magnésie . | 0,45 g/g | 0,11°TH/g |
| Magno . . | 1,6 à 2,2 g/g | 0,12 à 0,22°TH/g |
| Neutralite . | 1,6 à 2,2 g/g | 0,12 à 0,22°TH/g |

*Exemple :* pour neutraliser 1 $m^3$ d'eau contenant 40 g de gaz carbonique agressif avec de la neutralite, il faudra de 64 à 88 g de neutralite et le dureté de l'eau augmentera au total de 4,8 à 9,6°TH et sa salinité augmentera de 80 à 160 mg par litre.

Donc dans le cas où une eau doit être neutralisée et adoucie, il faudra d'abord procéder à la neutralisation puis à l'adoucissement.

### 4.9 Conditionnement des eaux chaudes sanitaires

Compte tenu des règlements en vigueur, deux produits peuvent être utilisés pour le conditionnement des eaux chaudes sanitaires.

**Les polyphosphates de sodium**

**Les silicates de sodium**

**Les polyphosphates de sodium**

Ces produits sont utilisés pour la prévention de l'entartrage et la protection contre la corrosion des circuits d'eau chaude sanitaire.

*Origine*

Les polyphosphates dérivent des acides polyphosphoriques et sont des sels très condensés de la forme $(PO_3Na)6$ : hexametaphosphate, $P_3P_{10}Na_5$ : tripolyphosphate, $PO_3Na$ : métaphosphate vitreux, $P_2O_7Na_4$ : pyrophosphate de sodium.

*Mécanisme de la séquestration des éléments de dureté d'une eau par les polyphosphates*

Avec le tripolyphosphate de sodium par exemple.

Ce polyphosphate possède la propriété de former des complexes avec un certain nombre d'ions métalliques et en particulier avec les ions incrustants calcium et magnésium.

$$P_3O_{10}\,Na_5 + Ca \longrightarrow [P_3O_{10}Ca]\,Na_3$$

Polyphosphate calcium complexe non précipitable, non incrustant.

Le pouvoir complexant des polyphosphates est fonction du pH de l'eau, de sa température et de la concentration de la solution, eau - polyphosphate.

L'efficacité des phosphates complexes diminue avec la température car ils s'hydrolysent et se transforment en phosphates appelés pyrophosphates et orthophosphates dont l'action séquestrante devient très faible.

Par exemple, si on chauffe une eau enrichie avec 2 mg par litre de polyphosphate, la précipitation immédiate et donc l'action incrustante rapide de l'eau commence pour des teneurs en bicarbonate de calcium supérieures à 1 g/l si l'eau est portée à 35°C, à 0,8 g/l si l'eau est portée à 40°C, à 0,7 g/l si l'eau est portée à 50-60°C.

En outre les polyphosphates ont une vitesse d'hydrolyse qui double sensiblement chaque fois que la température s'élève de 10°C.

C'est pourquoi tel polyphosphate actif comme séquestrant pour telle eau à 60°C pendant 4 heures, ne sera plus actif que pendant une heure à 80°C avec la même eau.

Le facteur temps pendant lequel le polyphosphate est soumis à l'action de l'eau chaude est donc un facteur très important.

A cause de l'hydrolyse rapide à 65°C, il faudra remplacer les polyphosphates par les silicates dans le cas où l'eau est maintenue en permanence en température.

*Mécanisme de la protection contre la corrosion par les polyphosphates*

L'action anti corrosive des polyphosphates dans les eaux chaudes sanitaires peut être définie de la manière suivante.

Il se forme au départ à proximité des parties métalliques anodiques des particules complexes polyphosphates mixtes de fer et de calcium.

Ces particules se dirigent vers les zones cathodiques et s'y déposent sous une forme relativement homogène qui adhère au métal.

Par ailleurs, les polyphosphates peuvent former avec le fer une combinaison stable phosphate - oxyde métallique

($P_2O_5$ - $Fe_2O_3$) et ils assurent également une protection anodique.

Dans le cas particulier d'eaux riches en chlorure, les polyphosphates interviendront en diminuant la structure poreuse du film cathodique et s'opposeront par le fait même à la dépolarisation des cathodes.

*Mise en œuvre des polyphosphates*

*Polyphosphates solubles*

Ils se présentent sous forme de poudre blanche relativement soluble dans l'eau.

Le pH des solutions à 1 % varie entre 6 et 8,5.

Au cours de la réalisation de la solution, il est nécessaire de procéder à une agitation afin d'éviter des formations de dépôts cristallisés insolubles présentant en général un aspect gommeux.

Il est déconseillé d'utiliser de l'eau chaude qui faciliterait la dilution car l'hydrolyse des polyphosphates se produirait parallèlement.

Compte tenu de ces éléments, les solutions mères sont préparées à des concentrations variant entre 1 et 5 % (10 à 50 g/litre d'eau).

*Deux modes de dosage peuvent être retenus*

*a)* une méthode approximative consistant en l'emploi d'un doseur à déplacement ;

*b)* une méthode de dosage régulière et proportionnelle réalisée avec une électrotrompe doseuse couplée à la pompe alimentaire du circuit ou commandée par un compteur à tête émettrice d'impulsions placé sur la canalisation d'eau d'appoint du réseau.

*Doseur à déplacement*

Cet appareil est constitué essentiellement par une capacité destinée à recevoir la solution de polyphosphates.

Il est muni à sa partie supérieure d'un trou de poing obturé par un couvercle mobile et par lequel les solutions peuvent être introduites aisément et rapidement.

La capacité est équipée de deux tuyauteries placées en opposition sur les génératrices latérales, l'une débouchant à sa partie supérieure, l'autre à sa partie inférieure.

Les deux tuyauteries sont équipées de vannes de réglage.

Une canalisation de vidange munie d'une vanne peut être placée à la partie inférieure de la capacité.

Cet appareil est installé en dérivation sur la canalisation d'eau d'appoint, le courant d'eau dans cette canalisation est dérivé partiellement dans la capacité au moyen d'un diaphragme ou d'une vanne placée sur la canalisation principale.

Par différence de pression on provoque le déplacement de polyphosphates vers l'aval.

Les vannes de réglage situées sur les canalisations permettent de régler approximativement le débit.

Si ce dispositif a l'avantage d'être très simple, il présente par contre plusieurs inconvénients : précision très relative du dosage, difficulté de surveillance de la présence de polyphosphates dans la capacité.

*Electropompe doseuse*

En fonction des caractéristiques du circuit et du produit à injecter, il est possible de choisir une électropompe doseuse parfaitement adaptée aux exigences techniques.

Le corps du doseur de l'électropompe pourra être en PCV, en fonte, en acier inoxydable, en Hastelloy, en fonte spéciale acide, en verre industriel, etc.

Les électropompes peuvent comporter 1 doseur : pompe simplex, deux doseurs ; pompe duplex, trois doseurs, etc., jusqu'à dix doseurs.

Chacun de ces doseurs peut être régié individuellement au point de vue débit.

Suivant les types de pompe, chaque doseur peut débiter de 0 à 3,5 l/h, de 0 à 20 l/h, etc., jusqu'à 0 à 3000 l/h.

En fonction des appareils les pressions de refoulement peuvent atteindre jusqu'à 250 bars pour les pompes à membrane, et 525 bars pour les pompes doseuses à piston.

*Asservissement*

Celui-ci peut être réalisé avec la pompe alimentaire ou avec un compteur à tête émettrice d'impulsions monté sur la canalisation d'eau d'appoint.

En utilisant les variations possibles de la temporisation de la pompe, du réglage de son débit, de la concentration de la solution à injecter, il est possible d'obtenir sans difficulté un dosage précis et rigoureusement proportionnel.

Pour les eaux, potables en particulier où les doses admissibles en phosphates ou en silicates ne doivent en aucun cas dépasser les normes présentées par la législation, c'est le dispositif le mieux adapté, le plus précis, et le plus utilisé.

*Polyphosphate vitreux*

Ces polyphosphates se présentent sous forme de cristaux de calibres différents suivant le choix, très durs ils ont une solubilité relativement restreinte.

Leur vitesse de dissolution est en moyenne de 2 g par $m^3$ d'eau lorsque cette eau est à 18-20°C et qu'elle traverse 1 kg de polyphosphates vitreux à un débit de 200 litres heure.

En fonction de ces paramètres, connaissant le débit moyen et le débit instantané d'une installation, ainsi que la consommation journalière moyenne, il est possible de calculer les dimensions de l'appareil qui contiendra ces cristaux, ainsi que la masse de produits à mettre en réaction.

*Appareil nécessaire pour la mise en œuvre des cristaux*

Cet appareil se compose en général d'un corps rempli d'une quantité de polyphosphates en cristaux en rapport avec les quantités d'eau à conditionner.

La totalité ou une partie de l'eau peut passer sur ces cristaux suivant que l'appareil, muni de deux orifices pour l'entrée et la sortie de l'eau, est montré en dérivation ou directement sur l'installation.

Plusieurs appareils peuvent être mis en série.

*Précautions indispensables pour le bon fonctionnement de ce type d'appareil*

*Température de l'eau*

La vitesse de dissolution des cristaux étant fonction de la température de l'eau qui la traverse, il y a lieu de vérifier que celle-ci n'est pas trop basse car le dosage en phosphate serait insuffisant.

Il est possible dans le cas d'eaux très froides à l'arrivée de by-passer une fraction d'eau chaude pour maintenir une température voisine de 20-22°C.

*Emplacement du doseur*

A l'inverse il est déconseillé de placer le doseur sur les retour d'eau chaude sanitaire, car la solubilisation des cristaux est trop rapide.

Même, si l'appareil a été réglé pour distribuer des phosphates avec une eau plus chaude il se produit des

surdosages, car, la nuit en particulier, la température des retours est voisine de celle de l'eau distribuée et la solubilisation des cristaux devient alors trop importante du fait de l'élévation de la température du fluide qui les traverse.

Selon décision du Service fédéral de l'hygiène publique, prise en avril 1966 sur préavis de l'Association des chimistes cantonaux et municipaux de Suisse, et, confirmée en juin 1970 après examen approfondi par une commission d'experts, l'utilisation des polyphosphates pour la prévention de l'entartrage et la protection contre la corrosion est réglementée comme suit :

L'adjonction de polyphosphates à l'eau froide dans les installations individuelles (villas, etc.) est interdite.

Des exceptions peuvent être accordées par les chimistes officiels pour l'eau froide distribuée par des centrales, après consultations et accord des autorités cantonales et des organes de la protection des eaux. Dans ces cas, exceptionnels, on admet une concentration maxima de 5 mg/l, exprimée en $PO_4$.

L'utilisation des phosphates n'est réellement autorisée que pour l'eau chaude. Dans ce cas, la concentration maxima autorisée est de 3 mg/l, exprimée en $PO_4$.

Les produits utilisés doivent satisfaire aux exigences de l'Ordonnance fédérale réglant le commerce des denrées alimentaires.

Ces mesures sont justifiées par le fait que l'adjonction de phosphates à l'eau froide favorise la prolifération bactériologique. Or, les distributeurs d'eau doivent fournir de l'eau répondant à tous les critères de potabilité jusqu'au robinet.

Notons que les maisons qui installent ces appareils sont tenues d'aviser les organes communaux responsables de l'approvisionnement en eau, pour eux et à l'intention des organes cantonaux de contrôle, des lieux où des installations de tels appareils seront faites.

**Les silicates de sodium**

Les silicates utilisés se présentent sous forme de solution liquide assez visqueuse de densité moyenne 1,4 à 40 % ou sous l'aspect de cristaux lentement solubles comme pour les phosphates vitreux, ils sont aussi appelés silicates vitreux.

*Composition*

En général, les silicates vitreux ont pour formule $SiO_2$, $xNa_2O$, $x$ variant entre 2 et 5 ($SiO_2$ est du bioxyde de silicium).

Pour les solutions liquides, la fraction saline représente 39 à 40 % et se compose de 25 à 27 % de silice, 10-11 % de soude en $Na_2O$ et des traces de potasse.

*Mécanisme de protection des silicates*

Si l'action anticorrosive des silicates est actuellement constatée, le processus de protection est encore relativement mal connu. D'après les dernières études, il semblerait que dans un premier temps les silicates agissent en formant un film de silice à proximité du métal.

Le film résulterait de la centrifugation de la silice dans l'eau.

Dans un deuxième temps, la silice s'absorberait sur le métal pour former dans les régions anodiques des complexes silice - oxyde métallique et dans les régions cathodiques du silicate de calcium.

*Protection contre l'entartrage au moyen des silicates*

Par hydrolyse en milieu faiblement acide ou légèrement alcalin la silice forme un gel possédant une action dispersante et anti tartre vis-à-vis des ions alcalino-terreux (ions incrustants).

Cette protection est valable pour des eaux ayant une dureté inférieure à 25°TH. Au-delà de ce titre hydrotimétrique il faudrait mettre en œuvre une quantité trop importante de silicates, et ceux-ci formeraient un gel déplaisant et conféreraient à l'eau un pH et une teneur supplémentaire en silice incompatibles avec la législation.

Les silicates ont pour avantage de s'hydrolyser beaucoup moins facilement sous l'action de la température que les polyphosphates.

*Association phosphate-silicate pour la protection antitartre*

Les silicates en présence d'ions alcalino-terreux incrustants lorsqu'ils sont en concentration trop importante (TH de l'eau supérieure à 25°) précipitent sous forme de silicates alcalino-terreux insolubles sur les points chauds du circuit (faisceaux des échangeurs par exemple).

Il se forme des tartres siliceux extrêmement durs et isolants sur les tubes.

Mais si les silicates sont associés avec des polyphosphates, ils formeront avec les ions magnésium de l'eau dure un composé silice-phosphate-magnésium-oxyde d'aspect translucide, perméable et peu incrustant appelé « serpentine ».

Avec une telle association de sels minéraux il est possible de conditionner des eaux titrant jusqu'à 40°TH.

*Mise en œuvre des silicates*

Celle-ci est identique à celle des polyphosphates (cf. 4.9).

*Précautions pour la mise en œuvre des silicates*

*En ce qui concerne les silicates vitreux*, leur solubilité étant fonction directe de la température, il y a lieu de s'assurer que l'eau qui les traverse est au minimum à 20-25°C.

Si cette condition ne peut être remplie directement il y a lieu de prévoir un léger by-passage d'eau chaude avec l'eau d'appoint (le système étant équipé d'un thermomètre et d'une vanne de régulation de débit) pour maintenir la température optimum.

A l'inverse, il ne faudra pas pour les mêmes raisons que celles citées en 4.9 mettre le doseur sur les retours.

Dans le cas d'emploi de silicates liquides, l'expérience nous a montré que des solutions mères à plus de 25-30 % en produit pouvaient lors de l'arrêt des pompes provoquer des formations de cristaux par dessication à l'air.

Dans la mesure du possible, il est recommandé d'utiliser des solutions diluées.

*Remarque :* Dès que la température d'une eau dépasse 60°C, il y a lieu de recommander l'utilisation des silicates en association avec les phosphates, car l'hydrolyse de ces derniers conduirait pour une efficacité convenable à un emploi de produit supérieur aux normes prescrites.

*Traitement des eaux d'alimentation par les silicates*

Les concentrations de silicates autorisées pour le traitement des eaux froides et chaudes sont limitées à 16 mg/l, calculées en $Na_2SiO_3$, soit environ 8 mg/l, calculées en $SiO_2$. Les produits utilisés doivent satisfaire aux exigences de l'Ordonnance fédérale réglant le commerce des denrées alimentaires (absence de produits toxiques, etc.).

*(à suivre)*