



TOGETHER
for a sustainable future

OCCASION

This publication has been made available to the public on the occasion of the 50th anniversary of the United Nations Industrial Development Organisation.



TOGETHER
for a sustainable future

DISCLAIMER

This document has been produced without formal United Nations editing. The designations employed and the presentation of the material in this document do not imply the expression of any opinion whatsoever on the part of the Secretariat of the United Nations Industrial Development Organization (UNIDO) concerning the legal status of any country, territory, city or area or of its authorities, or concerning the delimitation of its frontiers or boundaries, or its economic system or degree of development. Designations such as “developed”, “industrialized” and “developing” are intended for statistical convenience and do not necessarily express a judgment about the stage reached by a particular country or area in the development process. Mention of firm names or commercial products does not constitute an endorsement by UNIDO.

FAIR USE POLICY

Any part of this publication may be quoted and referenced for educational and research purposes without additional permission from UNIDO. However, those who make use of quoting and referencing this publication are requested to follow the Fair Use Policy of giving due credit to UNIDO.

CONTACT

Please contact publications@unido.org for further information concerning UNIDO publications.

For more information about UNIDO, please visit us at www.unido.org

1

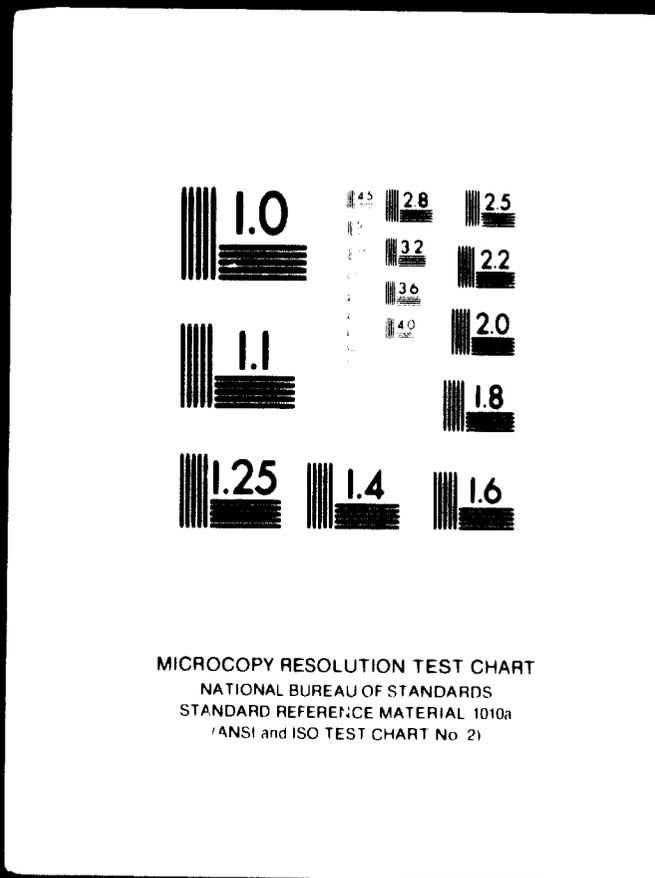
OF

1

U
N
I
D
O

24X

G



We regret that some of the pages in the microfiche copy of this report may not be up to the proper legibility standards, even though the best possible copy was used for preparing the master fiche

*METHODS UTILISEES
POUR
ECONOMISER L'EAU
DANS LES INDUSTRIES
ALIMENTAIRES*

ETUDES SUR LES INDUSTRIES ALIMENTAIRES

N° 3



NATIONS UNIES

**METHODES UTILISEES POUR
ECONOMISER L'EAU DANS LES
INDUSTRIES ALIMENTAIRES**

**ORGANISATION DES NATIONS UNIES POUR LE DEVELOPPEMENT INDUSTRIEL
VIENNE**

ETUDES SUR LES INDUSTRIES ALIMENTAIRES

N° 3

***METHODES UTILISEES POUR
ECONOMISER L'EAU DANS LES
INDUSTRIES ALIMENTAIRES***



**NATIONS UNIES
New York, 1970**

ID/SER. 1/3

PUBLICATION DES NATIONS UNIES

Numéro de vente: F.69.II.B.16

**Prix: 1 dollar des Etats-Unis
(ou l'équivalent en monnaie du pays)**

Printed in Austria

AVANT-PROPOS

La présente monographie fait partie d'une série d'études à l'usage des industries alimentaires des pays en voie de développement. L'optique dans laquelle elle a été élaborée et les critères qui y sont définis reposent sur le principe selon lequel ces pays doivent adopter des procédés et des techniques leur permettant de produire des denrées capables par leur qualité, leur prix et leur régularité d'approvisionnement, de concurrencer celles des pays dont l'industrialisation a commencé plus tôt. Ce principe est considéré comme valable même dans les cas où il y a pénurie de capitaux et de main-d'oeuvre qualifiée et où les perspectives de commercialisation sont limitées, voire inexistantes. Il n'est pas de pays, et surtout pas de pays en voie de développement, qui puisse se permettre de gaspiller ses ressources en créant des industries dont les produits ne trouveront pas acquéreur sur le marché mondial en raison de leur prix excessif ou de leur mauvaise qualité.

En publiant cette série d'études sur l'industrie de l'alimentation, l'ONUDI désire donc aider les pays en voie de développement à acquérir une bonne connaissance technique de certains secteurs de l'industrie alimentaire et à faire l'économie de méthodes et de procédés périmés. Elle espère que ces études fourniront des renseignements sûrs et pratiques aux services gouvernementaux et aux investisseurs éventuels publics et privés.

M. Lavoslav Richter, de l'Institut des techniques des industries de transformation de Zagreb (Yougoslavie) a rédigé la présente monographie en qualité de consultant de l'ONUDI. Les opinions exprimées dans le présent document sont celles de l'auteur et ne reflètent pas nécessairement celles du Secrétariat de l'ONUDI.

TABLE DES MATIERES

	<i>Page</i>
<i>Introduction</i>	1
<i>Chapitre premier</i> L'EAU, SES FORMES, SES SOURCES, SON UTILISATION	3
Caractéristiques de l'eau naturelle	4
Qualité des différentes sources d'eau naturelle	10
Alimentation en eau des usines de produits alimentaires	11
<i>Chapitre II</i> QUALITE DE L'EAU REQUISE A DES FINS TECHNIQUES ET AUTRES DANS LES DIFFERENTES BRANCHES DE L'INDUSTRIE ALIMENTAIRE	13
L'eau et ses applications technologiques	13
Eau potable	19
L'eau dans l'équipement d'une installation thermique	20
<i>Chapitre III</i> METHODES DE PURIFICATION DES EAUX	27
Clarification et décoloration de l'eau	27
Désinfection de l'eau	40
Elimination du fer de l'eau	41
Elimination de l'huile de l'eau	42
Adoucissement de l'eau	43
<i>Chapitre IV</i> LA POLLUTION DES EAUX DANS LES DIVERSES BRANCHES DE L'INDUSTRIE ALIMENTAIRE	52
Indicateurs de qualité des eaux usées	53
Caractéristiques des eaux usées évacuées pour certaines branches de l'industrie alimentaire	55
<i>Chapitre V</i> EPURATION DES EAUX USEES A L'USAGE DE L'INDUSTRIE ALIMENTAIRE	62
Utilisation des cours d'eau pour l'évacuation des eaux usées	62
Epuration des eaux usées : méthodes et matériel	65
<i>Chapitre VI</i> L'ECONOMIE D'EAU DANS L'INDUSTRIE	75
Utilisation échelonnée de l'eau	75
Réemploi de l'eau	75
Considérations de coût dans le fonctionnement des installations d'épuration des eaux	77
<i>Sélection bibliographique</i>	79

Abréviations utilisées dans le présent document

mg = milligramme

g = gramme

l = litre

équiv. mg = équivalent en milligrammes

ppm = parties par million

t = tonne

ml = millilitre

INTRODUCTION

La consommation d'eau dans le monde s'est accrue considérablement de nos jours en raison de l'explosion démographique, de l'amélioration de l'hygiène et de l'expansion de l'industrie. Dans le même temps, l'eau pure, ce don précieux de la nature, est non seulement gaspillée mais aussi de plus en plus polluée par le déversement des égouts et les déchets industriels. Cette pollution est un exemple frappant de la façon dont l'homme modifie le milieu naturel par ses activités sociales.

Les usines de produits alimentaires se rangent parmi les principaux consommateurs d'eau à usage industriel. L'eau est pour elles une matière première qu'elles utilisent, soit comme solvant dans différents procédés techniques, soit comme agent de lavage et de refroidissement, soit comme agent de transmission de la chaleur.

Les divers procédés techniques n'exigent pas tous de l'eau de même qualité et utilisent rarement les qualités de l'eau à l'état brut, le plus souvent, celle-ci doit être traitée avant d'entrer dans le processus de production.

Le déversement des eaux usées dans le réseau des égouts ou dans le lit des cours d'eau constitue aussi un grave problème. La pollution des eaux naturelles s'aggrave de jour en jour et il faudra, dans l'intérêt de la santé publique, accorder plus d'attention à l'avenir au problème de l'épuration de l'eau. Par souci d'économie, on procède de plus en plus au traitement des eaux usées et partout où la chose est possible, on les remet en circulation.

L'industrie doit maintenant s'employer d'urgence à mettre au point des méthodes assurant l'approvisionnement en eau des industries alimentaires dans les conditions les plus économiques, à rechercher un procédé sûr d'épuration des eaux d'égout et la manière la plus efficace de traiter l'eau.

L'EAU, SES FORMES, SES SOURCES, SON UTILISATION

D'après la forme sous laquelle l'eau se présente dans la nature, on peut distinguer quatre sortes d'eau : l'eau atmosphérique, l'eau de surface, l'eau souterraine et l'eau salée.

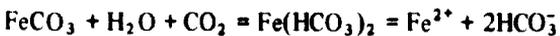
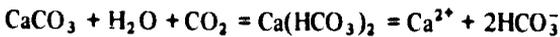
L'eau atmosphérique est la plus pure si l'on considère la quantité de substances qui y sont dissoutes. Cependant, elle contient, elle aussi, des impuretés, en particulier des gaz (oxygène, azote, gaz carbonique) qui proviennent de l'air, ainsi que des matières organiques et inorganiques dont la nature et la quantité dépendent de la composition de l'atmosphère. Dans les zones habitées et les centres industriels, l'eau atmosphérique contient de l'oxyde sulfurique, de la suie et des poussières. En général, la concentration totale en sel ne dépasse pas 50 mg/l.

Les eaux de surface, souterraines et marines contiennent plus de minéraux que l'eau atmosphérique et, dans la plupart des cas, elles doivent être traitées avant de pouvoir être utilisées dans les processus techniques. L'eau de surface des lacs, des rivières et des réservoirs à usage industriel contient toujours des matières dissoutes et des corps étrangers non solubles.

A la surface du sol, l'eau se sature de matières en suspension, d'impuretés et de substances organiques; pendant son passage à travers les couches minérales du sous-sol, elle se débarrasse par filtration des corps étrangers non dissous en même temps qu'elle s'enrichit de sels, de gaz et de substances organiques provenant de la décomposition d'organismes végétaux et animaux.

En s'oxydant les matières organiques du sol consomment de l'oxygène et libèrent du gaz carbonique. Cette réaction est importante car elle enrichit l'eau en carbonates peu solubles.

Les dépôts sédimentaires de calcaire, de dolomite et de gypse, sont de remarquables agents d'enrichissement de l'eau. L'eau du sous-sol dissout le NaCl, le Na₂SO₄, le MgSO₄ et autres sels facilement solubles. L'enrichissement de l'eau en carbonates de calcium CaCO₃, de magnésium MgCO₃, et de fer FeCO₃, se déroule selon les formules suivantes:



Ces réactions donnent naissance à des sels bivalents facilement solubles, bicarbonates de calcium, de magnésium et de fer qui se dissocient en cations Ca²⁺, Mg²⁺ et en anion HCO₃⁻.

Aux températures normales, ces sels se dissolvent dans l'eau, mais à des températures plus élevées, ils libèrent de l'oxygène et donnent naissance aux carbonates correspondants qui se déposent à la surface des tubes, dispositifs et appareils.

L'eau souterraine, qui s'est enrichie d'ingrédients minéraux en traversant les diverses couches de terrain, réapparaît à la surface du sol propre et débarrassée des corps étrangers, mais, sa teneur en sels minéraux est généralement plus élevée que celle de l'eau de surface.

Les océans, les mers et les lacs salés sont les eaux naturelles les plus chargées en sels solubles.

A côté du cycle naturel de circulation de l'eau, il existe aussi des systèmes industriels de consommation et d'exploitation de cet élément.

L'eau nécessaire à différents secteurs de l'industrie pour l'alimentation des chaudières, le refroidissement, les processus techniques, le lavage, etc., est captée à ses sources naturelles, telles que cours d'eau, rivières souterraines, mers et lacs et amenée aux consommateurs au moyen de pompes et de canalisations. Après utilisation, l'eau est déversée dans les rivières comme déchet. Sa qualité se dégrade toujours entre le moment de son entrée dans une usine et celui de sa sortie, particulièrement lorsqu'il s'agit de raffineries de pétrole, d'usines alimentaires ou d'établissements métallurgiques.

Les eaux usées ainsi déversées continuellement altèrent progressivement les eaux naturelles au voisinage des centres industriels et des zones habitées et un contrôle plus strict est indispensable. Le problème de la pollution de l'eau naturelle se pose avec de plus en plus d'acuité et sa solution exige par conséquent le recours à des dispositifs de plus en plus sûrs et de plus en plus complexes.

Caractéristiques de l'eau naturelle

Substances contenues dans l'eau naturelle

Les différentes substances dont l'eau naturelle se trouve additionnée en raison du cycle qu'elle décrit dans la nature peuvent être réparties en trois catégories selon le degré de dispersion : a) les particules brutes de plus de 100 millimicrons; b) les particules colloïdales de 1 à 100 millimicrons; c) les particules moléculaires de dimensions inférieures à 1 millimicron.

Les particules brutes et les colloïdes forment avec l'eau un système hétérogène, c'est-à-dire qu'il existe une phase liquide et une phase solide distinctes alors que les particules moléculaires dispersées dans la solution constituent un système homogène. Il n'y a pas de séparation nette entre les deux systèmes.

Les dispersions de substances brutes, qui donnent un aspect trouble à l'eau naturelle, consistent en sable, argile et autres particules d'origine minérale et organique qui sont arrachées au sol au cours des fortes précipitations de la fonte des neiges ou des inondations.

L'eau naturelle est encore transparente lorsque la concentration en substances brutes est inférieure à 5 mg/l. Ces particules finissent par se déposer, lorsque leur densité est supérieure à celle de l'eau.

Les dispersions colloïdales occupent une position intermédiaire variant en fonction de la taille des particules entre les systèmes de dispersion brute et moléculaire. Elles ne se déposent pas, même après de longues périodes. Les colloïdes

contenues dans l'eau naturelle sont des composés de silicium, d'aluminium, de fer et aussi de substances organiques résultant de la décomposition d'organismes végétaux et animaux.

Les solutions salines, acides et basiques constituent les systèmes de dispersion moléculaire. Les ions que l'on trouve le plus fréquemment dans l'eau naturelle sont les suivants : Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , Cl^- , SO_4^{2-} , HCO_3^- , HSiO_3^- . Les autres ions tels que, CO_3^{2-} , H^+ , OH^- , NH_4^+ , NO_2^- , NO_3^- , Fe^{2+} , Cu^{2+} n'apparaissent habituellement qu'à l'état de traces, bien qu'ils modifient parfois de façon déterminante les propriétés de l'eau et son comportement aux hautes températures: dans les chaudières, au cours de la cuisson lors du traitement des denrées alimentaires et sur les surfaces de refroidissement.

Les ions calciques sont les plus abondants dans l'eau dont la teneur en sels est faible (eaux peu minéralisées). La principale source d'ions calciques, dans l'eau naturelle, est le calcaire qui est composé de carbonates de calcium et qui est soluble sous l'effet de l'anhydride carbonique contenu dans l'eau.

L'eau est enrichie par les ions de calcium et de gypse ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$).

Les ions de magnésium proviennent essentiellement de la décomposition des dolomites ($\text{MgCO}_3 \cdot \text{CaCO}_3$) en présence de l'anhydride carbonique libre qui se trouve dans l'eau.

Lorsque la minéralisation de l'eau naturelle augmente, la proportion d'ions de calcium diminue. En raison de l'évaporation de l'eau, la concentration en carbonate de calcium et en sulfate de calcium s'accroît et la substance solide précipite.

Étant donné la solubilité plus grande du sulfate de magnésium, les ions de magnésium peuvent se trouver dans l'eau naturelle en concentrations importantes pouvant aller jusqu'à plusieurs grammes par litre dans le cas de l'eau très minéralisée.

Des métaux alcalins, le sodium est le plus abondant dans l'eau naturelle. La concentration en ions de sodium s'élève à mesure que la teneur de l'eau en substances minérales augmente.

Il y a des ions de chlore dans presque toute l'eau naturelle et en quantités très variables. De même que les ions de sodium, les ions de chlore sont très caractéristiques de l'eau en forte teneur en sel.

Les ions de sulfate, comme les ions de chlore, sont très répandus. Dans l'eau souterraine, les concentrations de sulfate sont habituellement beaucoup plus importantes que dans l'eau de lac et de rivière. La principale source des ions de sulfate est le gypse.

Les ions d'hydrogène (H^+) et d'hydroxyle (OH^-) contenus dans l'eau résultent de la dissociation de celle-ci :



On trouve aussi dans l'eau des ions d'hydrogène provenant de la dissociation de l'acide: $\text{HCl} \rightleftharpoons \text{H}^+ + \text{Cl}^-$, et des ions d'hydroxyle provenant de la dissociation de l'alcali $\text{NaOH} \rightleftharpoons \text{Na}^+ + \text{OH}^-$.

Dans l'eau chimiquement pure, à une température de 23°C , la concentration en ions (H^+) et (OH^-) est égale à 10^{-7} g/ion l et caractérise la réaction neutre du liquide. En milieu acide les conditions sont les suivantes:

$$[\text{H}^+] > 10^{-7} > [\text{OH}^-] \text{ et en milieu basique: } [\text{OH}^-] > 10^{-7} > [\text{H}^+]$$

Pour plus de commodité, on exprime la réaction qui se produit dans une solution par les indicateurs pH et pOH, qui l'un et l'autre représentent un logarithme négatif des concentrations correspondantes. En milieu neutre, $\text{pH} = 7 = \text{pOH}$.

Un milieu acide est caractérisé par l'inégalité $\text{pH} < 7 < \text{pOH}$ et un milieu alcalin par $\text{pH} > 7 > \text{pOH}$.

L'acide carbonique bivalent se dissocie en deux phases:



Dans l'eau naturelle on peut trouver des ions de bicarbonate, en plus de ce qu'on appelle "l'acide carbonique libre", sous forme de gaz CO_2 dissous et de molécules d'acide carbonique d' H_2CO_3 non dissociées.

Le rapport entre CO_2 , H_2CO_3 , HCO_3^- et CO_3^{2-} détermine le pH de l'eau comme l'indique le tableau 1 ci-après:

TABLEAU 1. RAPPORT ENTRE LES DIFFERENTES FORMES D'ACIDE CARBONIQUE CONTENU DANS L'EAU A 25°C

Forme d'acide carbonique	pH								
	4	5	6	7	8	9	10	11	12
$\text{CO}_2, \text{H}_2\text{CO}_3$	100	95	70	20	2				
HCO_3^-		5	30	80	98	95	70	17	2
CO_3^{2-}						5	30	83	98

Dans les solutions aqueuses, il existe un équilibre cinétique entre les différentes formes d'acide carbonique:



Il résulte de cette équation que, pour maintenir une concentration d'un ion de bicarbonate, il faut qu'il y ait dans l'eau une concentration correspondante d'anhydride carbonique libre (CO_2). Si la quantité d'acide carbonique libre contenue dans l'eau est supérieure à la concentration nécessaire au maintien de l'équilibre, l'excédent peut provoquer la dissolution du carbonate de calcium au contact des dolomites. Une telle eau est dite "agressive". Par contre, une insuffisance de CO_2 entraîne la décomposition des ions de carbonate, c'est-à-dire un glissement vers la gauche.

Les composés azotés se présentent dans l'eau naturelle sous la forme d'ions d'ammonium (NH_4^+) et d'ions de nitrate et de nitrite. Ces ions résultent principalement de la décomposition des matières organiques d'origine végétale et animale. En outre, les ions d'ammonium sont apportés par l'eau résiduaire. En présence d'une quantité suffisante d'oxygène et d'une variété particulière de bactéries, les ions d'ammonium se transforment par oxydation en ions de nitrite, puis en ions de nitrate. Ainsi, les ions de nitrite et de nitrate sont le produit final d'un processus complexe de minéralisation de matières organiques.

Les composés ferreux existent dans l'eau naturelle sous la forme d'ions bivalents et trivalents. Ces composés peuvent se présenter sous forme de solutions, colloïdes et suspensions.

L'eau souterraine contient surtout du bicarbonate de fer ($\text{Fe}(\text{HCO}_3)_2$) qui s'hydrolyse et s'oxyde facilement en présence de l'oxygène de l'eau. Dans l'eau de surface, le fer se présente sous la forme de composés organiques complexes ou d'un nitrate de fer trivalent ($\text{Fe}(\text{OH})_3$). Le fer que l'on trouve dans l'eau naturelle provient en partie des eaux résiduaires de l'industrie.

Les composés de silicium se présentent en dispersions plus ou moins poussées. L'anhydride silicique peut se combiner avec diverses quantités d'eau pour former différents acides dont la formule générale est: $m \text{SiO}_2 \cdot n \text{H}_2\text{O}$. Les sels de ces acides donnent naissance à toute une gamme de minéraux dont la dissolution dans l'eau naturelle produit des composés d'acides siliciques de composition variable.

La solubilité des acides siliciques dans l'eau naturelle dépend de toute une gamme de facteurs et en premier lieu de la composition ionique de l'eau et du pH. La présence dans l'eau de cations, de calcium et de magnésium provoque la formation de silicates peu solubles et abaisse la concentration en acide silicique de la solution. La présence dans l'eau de cations de sodium et l'augmentation du pH accroît la solubilité des acides siliciques. Dans l'eau de surface (rivières, lacs, réservoirs, canaux) et également dans l'eau souterraine, la teneur en silicium, qui est représentée par la formule SiO_3^{2-} est généralement de l'ordre de 0,6 à 40 mg/l et n'atteint qu'exceptionnellement 65 mg/l. Une partie des composés siliciques se présente à l'état colloïdal sous forme de particules d'acide polysilicique. Des expériences ont montré que cet aspect colloïdal représente 3 à 15% de la teneur totale en acide silicique de l'eau.

Dans l'eau naturelle, on trouve aussi les cations Al^{3+} , Mn^{2+} et, très rarement, K^+ .

Les gaz les plus répandus dans l'eau sont l'azote, l'oxygène et l'anhydride carbonique. Leur solubilité dépend de la température et de la pression partielle exercée par chacun d'eux dans l'espace situé au-dessus de l'eau.

L'oxygène que l'on trouve dans l'eau naturelle provient de l'atmosphère; l'oxygène de l'air pénètre dans l'eau lorsque les deux milieux sont en contact. La teneur en oxygène dépend de la pression de ce gaz dans l'atmosphère et dans l'eau, il se consume au cours de divers processus d'oxydation.

L'anhydride carbonique contenu dans l'eau est le résultat de l'oxydation de matières organiques qui se produit dans l'eau elle-même et dans le sol qu'elle traverse. En eau profonde, les réactions chimiques liées au changement de la teneur en minéraux ont pour effet d'augmenter la quantité de CO_2 . La teneur en acide carbonique peut se trouver réduite après qu'une fraction de l'anhydride carbonique s'est échappée dans l'atmosphère ou qu'il s'est formé des composés chimiques à partir de l'anhydride carbonique et des carbonates de calcium et de magnésium provenant du calcium et de la dolomite.

Indicateurs de la qualité de l'eau

Les indicateurs de qualité les plus importants pour l'eau utilisés dans l'industrie de l'alimentation sont: la composition des matières en suspension, les solides, la dureté totale et ses composantes, l'alcalinité totale et ses composantes, le potentiel d'oxydation, la concentration des ions d'hydrogène, la composition des gaz dissous et l'état microbiologique.

Les matières en suspension qui souillent l'eau sont des mélanges durs et insolubles dont la quantité est exprimée en mg/l.

Le résidu sec de l'eau est la quantité totale de matières, minérales ou organiques, non solubles, non évaporables, colloïdales et à molécules dispersées, qu'elle contient;

on l'exprime en mg/l. Pour le déterminer, on évapore l'échantillon d'eau préalablement filtré et l'on fait sécher le résidu à une température constante de 110°C jusqu'à ce que son poids reste constant. Si l'on fait brûler le résidu sec à une température de 800°C, son poids décroît et on obtient un résidu fixe. La réduction de poids est due à la décomposition des matières organiques et des carbonates destructibles et à l'évaporation totale de l'eau.

Le résidu minéral est constitué par la totalité des cations et des anions ainsi que par les oxydes Fe_2O_3 et Al_2O_3 .

A quelque fin que l'eau soit utilisée, sa dureté est un des indicateurs de qualité les plus importants. La dureté totale est la somme des concentrations de cations de calcium (dureté en calcium) et de magnésium (dureté en magnésium) exprimée en équiv. mg/l ou en équiv. g/m³. La dureté de l'eau est aussi exprimée en degrés dureté allemand, français ou anglais. Un degré de dureté allemand, par exemple, équivaut à 10 mg/l ou à 10 ppm de CaO. Le tableau 2 donne les correspondances entre les différentes mesures de dureté de l'eau.

TABLEAU 2. DEGRE DE DURETE DE L'EAU.

1° allemand	= 1,79°	français	= 1,25°	anglais	=	10 ppm de CaO
1° français	= 0,70°	anglais	= 0,56°	allemand	=	7 ppm de CaO
1° anglais	= 0,80°	allemand	= 1,43°	français	=	8 ppm de CaO

ppm = partie par million = mg/l

$$\text{équiv. m/l} = \frac{\text{mg/l}}{\text{poids équivalent}}$$

Pour calculer la concentration en calcium et en magnésium, on utilise les rapports suivants:

$$\text{dureté en calcium} = \frac{(\text{Ca}^{2+})}{20,04} \text{ (équiv. mg/l)}$$

$$\text{dureté en magnésium} = \frac{(\text{Mg}^{2+})}{12,16} \text{ (équiv. mg/l)}$$

où (Ca^{2+}) et (Mg^{2+}) indiquent la concentration des ions de calcium et de magnésium dans l'eau, mesurée en ppm, 20,4 et 12,16 étant les poids équivalents de calcium et de magnésium.

La dureté totale de l'eau comprend la dureté en bicarbonates et la dureté en autres sels. La dureté en bicarbonates résulte de la présence de bicarbonates de calcium et de magnésium ainsi que de carbonates de tous les minéraux peu solubles dans l'eau. La dureté en autres sels (dureté permanente) résulte de la présence de sels de calcium et de magnésium autres que les carbonates: chlorures, sulfates ou autres, par exemple, CaCl_2 , MgCl_2 , CaSO_4 , CaSiO_3 , MgSiO_3 . La dureté totale de l'eau peut

être définie comme étant soit la somme de la dureté en bicarbonates et de la dureté en autres sels, soit la somme de la dureté en magnésium et de la dureté en calcium. Il arrive que l'eau naturelle présente une concentration en HCO_3^- , mesurée en équiv. mg/l, plus grande que sa dureté totale. Dans ce cas, la dureté totale est égale à la dureté en bicarbonates, et la dureté permanente est nulle. La différence entre la dureté en bicarbonates et la dureté totale est imputable à la présence de bicarbonates de sodium dans l'eau.

On a établi la classification approximative suivante des eaux d'après le degré de leur dureté totale:

<i>Dureté totale (mesurée en équiv. mg/l)</i>	<i>Classification</i>
0– 1,5	très douce
1,5– 3,0	douce
3,0– 6,0	moyennement dure
6,0–12,0	dure
au-dessus de 12,0	très dure

L'alcalinité de l'eau, naturelle ou traitée, résulte habituellement de sa teneur en bicarbonates et en hydroxydes; elle est exprimée en équiv. mg/l. On la détermine de deux façons: soit en la titrant par une solution-étalon d'un acide minéral fort, avec le phénolphthaléine comme indicateur; cette quantité d'acide permet de mesurer la fraction de l'alcalinité due aux hydroxydes et à la moitié des carbonates présents dans l'eau; soit en la titrant par une solution d'un acide minéral étalon avec du méthyle orange comme indicateur, cette méthode permettant de déterminer l'alcalinité totale de l'eau.

Les résultats obtenus grâce à ces deux méthodes permettent d'établir une classification fondée sur l'analyse stoechiométrique des éléments des trois principales formes d'alcalinité d'un grand nombre d'eaux naturelles ou traitées:

- Il y a alcalinité en carbonates si l'alcalinité indiquée par la phénolphthaléine est plus grande que zéro mais inférieure à l'alcalinité totale;
- Il y a alcalinité en hydroxydes si l'alcalinité indiquée par la phénolphthaléine est supérieure à la moitié de l'alcalinité totale;
- Il y a alcalinité en bicarbonates si l'alcalinité indiquée par la phénolphthaléine est inférieure à la moitié de l'alcalinité totale.

Etant donné qu'il est pratiquement impossible de doser directement la concentration des matières organiques dans l'eau, on la mesure indirectement en déterminant ce qu'on appelle l'oxydabilité de l'eau. Cette oxydabilité s'exprime en quantité de solution-étalon de permanganate de potasse (KMnO_4) consommée au cours d'un titrage en milieu acide. Cette solution de KMnO_4 peut oxyder non seulement les matières organiques contenues dans l'eau mais aussi certaines matières

minérales facilement oxydables. L'oxydabilité ne permet donc qu'une détermination approximative de la teneur en matières organiques; elle marque en fait la présence de matières facilement oxydables et elle ne peut être considérée que comme un indicateur conditionnel.

Qualité des différentes sources d'eau naturelle

Les cours d'eau, les lacs et les eaux souterraines constituent pour l'industrie des sources d'alimentation en eau de la plus grande importance dont la valeur se mesure à la quantité et la qualité de l'eau qu'elles fournissent, soit directement, soit indirectement par l'intermédiaire de différentes installations industrielles ou publiques. La quantité comme la qualité des eaux de surface varie considérablement selon la période de l'année (période de fortes pluies, fonte des neiges, sécheresse). En outre, la qualité de l'eau des rivières varie suivant le point de leur cours, notamment lorsque la rivière est longue et reçoit des affluents de qualité diverse.

En général, l'eau de rivière ne contient pas de grandes quantités de sels leur concentration est d'environ 500 à 600 mg/litre. Cependant, les rivières des régions arides présentent souvent des concentrations de sels plus élevées. Les principaux corps dissous dans l'eau de rivière sont les cations Ca^{2+} , Mg^{+} , Na^{+} et les anions HCO_3^- , SO_4^{2-} et Cl^- . L'eau des rivières légèrement minéralisée contient en particulier les ions Ca^{2+} et HCO_3^- .

Lorsque la teneur totale en sels de l'eau s'accroît, la concentration des ions Na^{+} , SO_4^{2-} et Cl^- s'accroît aussi. La concentration de l'oxygène dissous dans l'eau est très proche de la limite de solubilité à une température donnée.

L'indicateur de pH de l'eau se situe habituellement entre 6,5 et 7,5. L'eau de rivière contient, en règle générale, une certaine quantité de matières en suspension dont la concentration varie considérablement suivant la saison et le volume des précipitations. En hiver l'eau de rivière présente une concentration et une dureté plus grandes des sels dissous.

Dans l'ensemble des mers et des océans, la concentration des cations et des anions est à peu près la même. La salinité des océans et des mers ouvertes est d'environ 35 g/l alors que celle des lacs salés varie entre 8 et 16 g/l. Les principaux corps dissous dans l'eau de mer sont des ions de sodium et de chlore. La dureté totale des océans et des mers ouvertes est d'environ 215 à 225 équiv. mg/l, y compris la dureté en bicarbonates qui représentent environ 15 équiv. mg/l. En choisissant bien l'endroit où on la capte, on peut trouver de l'eau de mer à usage industriel contenant très peu de matières en suspension. En été, il arrive que la teneur de l'eau de mer en matières en suspension s'élève avec le développement du plancton. Dans les usines de fabrication de produits alimentaires, l'eau de mer non traitée sert surtout au refroidissement des générateurs, et l'eau traitée est utilisée pour alimenter les différents évaporateurs. L'eau de mer présente l'inconvénient d'être très corrosive pour la plupart des matériaux qu'elle touche.

L'eau souterraine provient de l'infiltration dans le sol des eaux atmosphériques et de surface. Dans les couches aquifères, les infiltrations confluent pour former des nappes souterraines dont le caractère dépend entre autres de la composition géologique du terrain, du relief et du climat. Les eaux souterraines se caractérisent notamment par leur plus grande variété de composition chimique. Leur degré de minéralisation dépend des conditions dans lesquelles s'est formée la nappe phréatique et varie de 100 mg/l à plusieurs grammes par litre.

Alimentation en eau des usines de produits alimentaires

Le système d'alimentation en eau comprend essentiellement des réceptacles, destinés à recueillir l'eau des sources naturelles, et des stations de pompage. Les stations de pompage sont construites près des réceptacles et alimentent les usagers au moyen d'un réseau de canalisations. Avant de choisir l'emplacement des réceptacles on procède à des tests très poussés qui permettent de déterminer, pour chaque cas, les conditions hydro-géologiques, hydro-chimiques et hydro-biologiques optimales. Entre autres emplacements à recommander, citons les anses des cours d'eau ou les zones de courant faible le long des rives, mais les anses doivent être suffisamment profondes pour que le risque d'alluvionnement y soit négligeable.

L'installation d'un réceptacle à un endroit où les rives sont en pente est à proscrire. Si le réceptacle est situé près d'un affluent ou d'une île, il faut déterminer la direction du courant permanent de l'affluent et la stabilité du lit de la rivière. Il convient également de tenir compte des sources de pollution de l'eau. Lorsqu'une rivière ne peut, à certaines périodes de l'année, fournir la quantité d'eau nécessaire à l'usine, il faudra, soit faire le nécessaire pour régulariser son cours saisonnièrement ou de façon durable, soit choisir une autre source d'eau plus régulière. Si la rivière n'est pas suffisamment profonde, on aménagera son lit. La profondeur normale de l'eau à l'endroit où elle s'écarte du courant principal pour entrer dans les réceptacles doit être d'au moins 2,5 m en été et 3 m en hiver. La hauteur du niveau de l'eau détermine le type et les dimensions du réceptacle. Si l'eau est très bourbeuse, on ne la laissera entrer dans le réceptacle qu'après lui avoir fait déposer la majeure partie des impuretés grossières en suspension.

Du collecteur situé à proximité immédiate de la rivière elle-même, l'eau est transportée par gravité au moyen de canalisations ou de canaux bétonnés jusqu'à la station de pompage qui l'envoie à l'usine. Les canalisations qui vont de la station de pompage à l'usager sont en général enterrées sur toute leur longueur pour que l'eau ne gèle pas en hiver.

Du point de vue de leur fiabilité et de leur continuité de fonctionnement, on distingue généralement trois sortes de stations de pompage:

- a) Stations de pompage dont on ne peut arrêter le fonctionnement parce que certains procédés techniques ou de fourniture d'énergie très complexes ne doivent en aucun cas être interrompus.
- b) Stations de pompage dont le fonctionnement peut être arrêté pendant de brèves périodes, par exemple, pour commuter sur l'autre générateur.
- c) Stations de pompage où des interruptions en cours de fonctionnement sont admises.

Pour les stations de pompage des deux premières catégories, il faut prévoir deux sources d'énergie différentes, électricité et vapeur par exemple, l'une pouvant facilement relayer l'autre en cas de panne. Les pompes peuvent avoir des capacités très différentes allant de quelques m^3 à des milliers de m^3 à l'heure. La chute de pression à laquelle elles peuvent faire face va de plusieurs mètres à des centaines de mètres de la colonne d'eau. On choisit la capacité des pompes en fonction de la taille et de la capacité de production de l'usine. La chute de pression à laquelle les pompes peuvent faire face dépend notamment du compensateur de hauteur, de la distance entre l'usine et la station de pompage, du diamètre de la canalisation et de la déperdition d'énergie par frottement.

Le type des différentes installations (canalisations, appareillages, dispositifs de mesure et de contrôle) et les matériaux dont ils sont faits dépendent de la qualité requise pour l'eau et de la pression prévue. Ainsi, pour les installations destinées à amener de l'eau potable et de l'eau à usages techniques à des usines de produits alimentaires organiques, on peut utiliser des canalisations en fer, en acier, en amiante-ciment, en béton, en céramique ou en matière plastique. Les caractéristiques hydrauliques des pompes et des canalisations sont calculées en fonction des conditions techniques et économiques, des conditions d'exploitation, de la qualité de l'eau, de la dureté des matériaux, etc.

QUALITE DE L'EAU REQUISE A DES FINS TECHNIQUES ET AUTRES DANS LES DIFFERENTES BRANCHES DE L'INDUSTRIE ALIMENTAIRE

L'eau à usage technique qui entre en contact avec les produits de l'industrie alimentaire doit satisfaire aux normes de qualité qu'on exige de l'eau potable.

Cependant, à chaque branche de l'industrie alimentaire, doivent correspondre des caractéristiques spécifiques. On utilise habituellement dans l'industrie alimentaire une eau répondant aux normes appliquées par les services de distribution d'eau potable. Là où il est impossible d'utiliser l'eau fournie par ces services, il faut se servir d'eau naturelle superficielle ou souterraine; mais cette eau doit au préalable être soumise à des contrôles et à un traitement sanitaires. Le traitement de l'eau comprend les opérations suivantes: clarification et décoloration; élimination des gaz corrosifs, du fer, de l'huile, des sels de calcium et de magnésium; désinfection par diverses méthodes réactives et non réactives. La désinfection de l'eau (destruction des bactéries et des micro-organismes), se fait au moyen du chlore, de l'hypochlorite, de la chaux chlorée et des ions d'argent et de cuivre. Le traitement par rayons ultra-violetts donne également d'excellents résultats.

L'eau et ses applications technologiques

L'eau dans la production d'alcool

L'eau est classée dans le tableau 3 suivant qu'elle se prête plus ou moins à la production d'alcool. La concentration des impuretés dans l'eau et les propriétés sont d'un effet déterminant sur la technique de production d'alcool.

Le pH de l'eau influence l'élaboration du moût du fait que l'amidon est plus soluble dans l'eau alcaline. Les carbonates à des concentrations atteignant 300 mg/l, sont pratiquement sans effet sur le moût, mais, à des concentrations plus élevées, réduisent l'action de la diastase. La diastase du moût est activée par les sels d'acide sulfurique, tels que CaSO_4 , MgSO_4 et NaSO_4 , si leur concentration est très proche de 400 mg/l. Par contre, l'eau alcaline (l'eau ayant un pH supérieur à 7,5) ralentit l'hydrolyse de l'amidon, surtout aux températures assez élevées.

Les chlorures, les nitrates, les phosphates et les nitrites concentrés jusqu'à 200 mg/l et la présence d'acide sulfurique et d'anhydride carbonique sont sans action sensible sur la diastase du malt. La concentration des sels dissous peut atteindre

TABLEAU 3. CLASSIFICATION DE L'EAU DU POINT DE VUE DE LA PRODUCTION D'ALCOOL.

<i>Classification de l'eau</i>	<i>Nombre de bactéries dans 1 ml</i>	<i>Dureté totale en mg/l</i>	<i>Ammonium</i>	<i>Nitrites</i>	<i>Nitrates</i>	<i>Chlorures</i>	<i>Sulfates</i>	<i>Fer sous forme de Fe₂O₃</i>	<i>Magnésium</i>	<i>Calcium</i>	<i>Matière dissoute</i>	<i>mg de O₂ pour oxydation de matière organique dans un litre d'eau</i>
Excellent	60	56	0	0	0	Traces	3	2	15	135	263	0
Très bon	750	71	0	0	Traces	13	35	8	40	143	453	15
Suffisant	800	95	0	9	80	42	90	8	51	186	750	45
Utilisable uniquement en cas d'extrême nécessité		97				88	100	10	71	118	800	30

3 000 mg/l sans exercer d'action notable sur la diastase du malt. L'hydrolyse est influencée par la présence des sulfates et des chlorures qui, à partir de 300 à 400 mg/l, augmentent le titre de l'extrait et le pourcentage de sucre. Les nitrates et les nitrites, les phosphates et les silicates (jusqu'à 200 mg/l), l'ammonium (moins de 20 mg/l) et une teneur en NaCl de 2 à 2,5 g/l n'ont guère d'effet sur l'hydrolyse.

Jusqu'à 300 mg/l, les bicarbonates de calcium, le magnésium et le fer sont sans effet particulier sur le processus de fermentation; en plus grandes quantités, ils augmentent la teneur de sucre non fermenté et la teneur en alcool. A des concentrations de chlorure oscillant entre 400 à 800 mg/l, le pourcentage de sucre non fermenté augmente, mais la production d'alcool ne diminue aucunement. La concentration la plus élevée en sulfate, dont l'incidence reste nulle sur le pourcentage de fermentation, varie entre 400 et 800 mg/l.

Une augmentation de la salinité de l'eau jusqu'à 2 000 mg/l, active la fermentation; au-delà, elle a un effet contraire.

L'eau de brasserie et la production de boissons non alcoolisées

L'eau utilisée pour le brassage du malt servant à fabriquer la bière est l'ingrédient de base de la bière; la qualité de la bière dépend surtout des caractéristiques de cette eau. Les normes de qualité sont encore plus rigoureuses pour l'eau de brasserie que pour l'eau potable. L'eau ne doit contenir aucune matière en suspension, aucun corps étranger; elle doit être inodore et contenir des quantités importantes de matières organiques, de micro-organismes ou de composés de fer ou de manganèse.

La teneur en sel de l'eau influe sur l'acidité du moût et sur le malt de brasserie et agit de ce fait sur les processus biochimiques de fermentation et sur la qualité de la bière. Les processus technologiques de la production de la bière se produisent tous en milieu faiblement acide, un milieu alcalin ayant un effet défavorable sur le processus de fermentation. Il est donc essentiel d'utiliser une eau à faible teneur en sels de potasse, en carbonates, et en sels d'acide sulfurique et d'acide chlorhydrique. Une augmentation de cette teneur altère la saveur de la bière.

La dureté de l'eau influe sur la couleur de la bière. Pour produire une bière très blonde du type Pilsen, douce et peu amère, il faut une eau douce, parce que l'alcalinité de cette eau est négligeable et qu'elle contient très peu de gypse. On peut aussi utiliser de l'eau dure pour la production de bière blonde, mais après l'avoir adoucie au préalable et en avoir réduit l'alcalinité par traitement à l'acide lactique. Pour produire une bière plus brune, faiblement brassée et de goût sucré, du type Munich, l'eau la plus indiquée est celle de dureté moyenne (de 5 à 5,5 mg/l). Les bicarbonates de calcium et de magnésium sont les sels les plus abondants dans cette eau, qui contient également des quantités moyennes de gypse. Le "light ale" bière très alcoolisée et d'un goût modérément amer s'obtient à partir de l'eau très dure de Dortmund (15 mg/l), exempte de tout carbonate. Pour produire une bière brune d'un goût amer, on peut utiliser une eau dure sans aucun traitement préalable puisque le malt brun a une acidité plus grande et contient de plus grandes quantités de phosphates et d'acides aminés qui jouent efficacement le rôle de tampons.

Pour tremper les pains d'orge, il est préférable d'utiliser une eau naturelle, d'une faible teneur en chlorures et en sulfates. Les chlorures de calcium, de magnésium et de sodium ralentissent la croissance; le gypse, qui entre en action avec les substances provenant de l'orge, en diminue la solubilité. En outre, les sels de calcium forment une membrane sur le grain d'orge et empêchent ainsi le trempage. Si l'eau contient du fer et du manganèse, ces métaux forment des dépôts d'hydroxydes sur les grains

TABLEAU 4. COMPOSITION DE L'EAU DANS LA PRODUCTION DE QUELQUES CATEGORIES DE BIÈRES.

Indicateur de qualité	Unité	Pilsen	Munich	Dortmund	Vienne
Résidu sec	mg/l	51,6	284,2	1 110	947
Oxyde de calcium	mg/l	112	106	367	227,5
Oxyde de magnésium	mg/l	23	30	38	112,7
Chlorure	mg/l	5	2	107	39
Sulfates	mg/l	3,2	7,5	240,8	180,3
Nitrates	mg/l	Traces	Traces	Traces	Traces
Ammonium	mg/l	0	0	0	0
Dureté totale	mg/l	0,57	5,3	15	14
Dureté en raison de la présence de carbonate	meq/l	0,65	5,1	6,1	11
Oxydabilité (O ₂)	mg/l	2	2	2	2
Composés ferreux	mg/l	0,2 0,5	0,2 0,5	0,2 0,5	0,2 0,5
Composés de manganèse	mg/l	Traces	Traces	Traces	Traces

d'orge et leur donne une couleur foncée. On n'a pas encore complètement étudié l'influence des autres sels sur la qualité du malt, mais on constate qu'une teneur en sel est sans influence sur les processus physiologiques qui se produisent pendant le trempage des grains, du fait que l'enveloppe des amandes a les propriétés d'une membrane semi-perméable, qui laisse l'eau, mais non les sels, pénétrer dans l'endosperme du grain.

Le tableau 4 donne les caractéristiques de l'eau utilisée dans la production de quelques grandes marques mondiales de bière.

Les propriétés de l'eau ne sont qu'un des éléments qui déterminent la qualité de la bière; la composition des matières premières et la méthode de production ont également leur importance.

Le tableau 5 indique la consommation d'eau dans les brasseries de Tchécoslovaquie.

De très grandes quantités d'eau sont utilisées pour dissoudre les produits chimiques auxiliaires et pour laver les appareils techniques (cuves-matières, cuves à moût, tuyaux, serpentins de cuisson) et les filtres-presses. D'importantes quantités d'eau sont également consommées pour le refroidissement par pulvérisation. L'eau de lavage reste sur les parois des récipients et se mélange au malt ou au produit final; elle doit donc être exempte de bactéries, inodore et sans saveur.

Il est très économique de purifier dans une seule installation l'eau utilisée pour la production de la bière et pour la production d'énergie. On applique les méthodes de traitement classiques que l'on combine avec certaines opérations supplémentaires en vue d'obtenir la qualité voulue pour un certain type de bière.

TABLEAU 5. CONSOMMATION D'EAU DANS LES BRASSERIES TCHÉCOSLOVAQUES.

<i>Mode de consommation d'eau</i>	<i>Litres d'eau consommés pour un litre de bière produite</i>
Trempe des amandes dans le malt	7-8
Brassage du malt, y compris lavage du matériel de brassage	2-2,5
Refroidissement du malt	2-3
Rinçage des cuves et fûts	3-5
Dispositif de refroidissement	10-15
Consommation de vapeur:	
Machines à vapeur à contrepression	1-2
Machines à vapeur à condensation	20-25
Total	30-60

L'eau utilisée pour la production de boissons non alcoolisées doit satisfaire aux normes exigées pour l'eau potable; c'est pourquoi elle est habituellement prélevée sur le réseau de distribution d'eau de ville.

L'eau dans l'industrie des conserves alimentaires

L'eau utilisée dans l'industrie des conserves alimentaires sert presque exclusivement à des fins technologiques (confection de sauces, sirops, saumures), le reste servant au lavage des récipients, etc. Cette eau doit être conforme à toutes les normes qui caractérisent l'eau potable.

La présence de chlorure de magnésium et un degré élevé de dureté de l'eau avec une teneur en calcium et en magnésium de plus de 40 mg/l sont particulièrement contre-indiqués. Dans des eaux de cette nature, les légumes, en particulier les légumineuses (petits pois, haricots, féveroles, etc.) et la viande demandent une plus longue cuisson et prennent un goût désagréable. Il ne faut pas non plus que l'eau contienne une quantité de fer importante, surtout si elle est utilisée pour la mise en conserves de pommes, de poires, de cerises aigres ou de petits pois, car le fer donne à tous les produits une teinte brunâtre très peu appétissante.

Par contre, pour certaines opérations, telles que la macération des concombres dans la saumure par exemple, il faut employer une eau dure. Les concombres deviennent fermes et retrouvent leur couleur naturelle. Si l'eau est trop alcaline, les produits deviennent mous et perdent leur forme; si elle est trop dure, les denrées deviennent trop fermes et sont difficiles à traiter. L'eau dure est impropre à la préparation des jus et des sirops. Les composés de calcium et de magnésium qu'elle contient provoquent le tannage (durcissement de l'enveloppe des fruits et des légumes, en particulier des petits pois et des haricots). Ces composés se rencontrant souvent dans le sel comestible, il est recommandé d'utiliser pour la mise en conserve des légumes, du sel purifié dont la teneur maximale en calcium ne dépasse pas 0,3%. C'est ainsi qu'il faut préparer la saumure avec une concentration aussi faible que

possible de sel afin d'atténuer au maximum les effets du calcium et du magnésium. Cette recommandation est également à retenir lorsqu'il s'agit de conserver des produits à base de viande.

L'utilisation d'une eau dure pour le lavage des matières premières avant la mise en conserve n'influe pas sur la qualité du produit final.

On trouvera au tableau 6 la composition de l'eau à employer dans cette branche de l'industrie alimentaire.

TABLEAU 6. CARACTERISTIQUES DE L'EAU UTILISEE DANS LES DIVERSES BRANCHES DE L'INDUSTRIE DES PRODUITS ALIMENTAIRES.

Indicateur de qualité	Unité	Conserves	Amidon	Sucre	Produits laitiers
Résidu sec	mg/l	500	600	300 500	500 600
Oxyde de calcium	mg/l	120	120	200	200
Oxyde de magnésium	mg/l	30	20		traces
Fe ₂ O ₃ + Al ₂ O ₃	mg/l	0	jusqu'à 0,5	traces	jusqu'à 0,5
Chlorures	mg/l	30	60	50	30
Sulfates	mg/l	36	70	60	120
Nitrates	mg/l	traces	0	traces	jusqu'à 15
Nitrites	mg/l		0	0	0
Alcalinité	mg/l	2,5 4,5	4 5	60	4,5 5,5
Oxydabilité	mg/l	2	2,5	2,5	2,5
Ammonium	mg/l	0	0	0	traces
Dureté	meq/l	6 7	7	jusqu'à 7,5	jusqu'à 7,5

L'eau de boulangerie

Il faut utiliser dans la boulangerie une eau limpide, incolore, inodore et sans saveur. Elle ne doit contenir aucune matière organique, ni levures ni bactéries. Les teneurs maximales acceptables dans le cas de certaines substances sont les suivantes: ammonium et acide nitrique, traces; fer, 0,1 mg/l; manganèse, 0,005 mg/l; dureté, 7

10 meq/l. Les autres indicateurs de qualité doivent être conformes à ceux de l'eau potable.

L'eau dans la fabrication de l'amidon et des produits à base d'amidon

Pour la fabrication de l'amidon, on utilise une eau dont la dureté ne dépasse pas 7,5 mg/l. Cette eau doit être limpide et inodore et ne contenir aucune matière en suspension; elle ne doit renfermer aucun agent de fermentation. La couleur brunâtre de l'amidon est due aux matières organiques d'origine animale, la couleur jaune aux composés ferreux. Il ne faut pas utiliser d'eau dure dans cette branche de l'industrie alimentaire.

On trouvera au tableau 6 les qualités de l'eau à utiliser dans cette industrie.

L'eau utilisée dans l'industrie sucrière

L'eau utilisée dans l'industrie sucrière doit être absolument propre, douce si possible, et être sans odeur et sans saveur. On pourra tolérer à la rigueur une dose extrêmement faible de sulfates, de sels de calcium ou de sels alcalins. Les substances organiques risquent de décomposer le sucre lorsque celui-ci sera extrait de la betterave; il convient donc de ne pas utiliser une eau contenant des composés organiques pour le rinçage des filtres-presses, des filtres, ni pour éteindre la chaux au cours de l'extraction. Les sulfates donnent au sucre une couleur grise. Les sels alcalins facilement solubles passent en grandes quantités dans la liqueur-mère en augmentant la quantité ainsi que celle des sédiments dans le sucre brut. Les nitrites empêchent la cristallisation et le fer et le manganèse dans l'eau colorent le sucre. On trouvera au tableau 6 les qualités de l'eau à utiliser dans la fabrication du sucre.

L'eau dans l'industrie laitière

Pour la fabrication du beurre, du fromage et autres produits laitiers, de même que pour la pasteurisation du lait, il ne faut utiliser qu'une eau absolument pure (incolore, inodore et d'une dureté ne dépassant pas 7,5 meq/l. L'eau de rinçage du beurre ne doit pas contenir plus de 40 mg/l de magnésium, puisque les sels de magnésium donnent au beurre un goût amer. Le fer et le manganèse ne seront tolérés qu'en quantités insignifiantes (jusqu'à 0,05 mg/l) car ils donnent aux produits laitiers un goût métallique et provoquent la décomposition des graisses, ce qui détériore considérablement la qualité de ces produits.

De toutes les bactéries trouvées dans l'eau, l'action de *B. fluorescens*, qui décompose les graisses, est particulièrement néfaste. Cette bactérie provoque aussi la décomposition du fromage et du lait, décomposition qui laisse une croûte d'un vert jaunâtre à l'odeur très désagréable de putréfaction. On trouvera au tableau 6 les données sur la qualité de l'eau à utiliser dans l'industrie laitière.

L'eau des abattoirs et de traitement de la viande et du poisson

L'eau à utiliser dans ces industries doit être limpide, incolore, sans saveur et inodore. Sa dureté ne doit pas dépasser 7 meq/l et la concentration de calcium, qui forme une croûte dure sur la viande traitée et sur les produits à base de poisson, doit être aussi faible que possible. La concentration en fer ne doit pas se situer au-dessus de 0,05 mg/l car elle donne une coloration brunâtre aux produits. Le sel comestible ne doit pas contenir plus de 0,3% de gypse.

Pour l'eau de lavage de la viande crue, du poisson sale, et des appareils utilisés dans ces industries, la teneur en sel ne joue pas un rôle essentiel. Cependant, cette eau doit être débarrassée au préalable de toute matière en suspension, notamment des matières organiques et des bactéries responsables de la fermentation.

Eau potable

Quelles que soient les branches de l'industrie, l'eau potable doit satisfaire à une condition fondamentale: celle d'être sans danger pour l'homme. On trouvera au tableau 7 les normes à observer pour l'eau potable des systèmes d'adduction d'eau, ainsi que les normes de qualité après chaque opération de traitement que l'on fait subir à l'eau pour la rendre potable.

TABLEAU 7. INDICATEUR DE QUALITE DE L'EAU POTABLE.

<i>Indicateur de qualité</i>	<i>Unité</i>	<i>Paramètre</i>
a) Usines de distribution d'eau potable		
Coloration (échelle Pt-Co)	degré	Plus de 20
Transparence (d'après Schrifft)	cm	Jusqu'à 20
Dureté totale	meq/l	Jusqu'à 7
Teneur en plomb (Pb)	mg/l	Jusqu'à 0,1
Teneur en arsenic (As)	mg/l	Jusqu'à 0,5
Teneur en fluor (F)	mg/l	Jusqu'à 1,5
Teneur en cuivre (Cu)	mg/l	Jusqu'à 3
Teneur en zinc (Zn)	mg/l	Jusqu'à 5
Nombre total de bactéries à t = 37°C		Jusqu'à 120
b) Eau potable traitée séparément après chaque opération		
Turbidité après purification	mg/l	Jusqu'à 2
Chlore actif résiduel après désinfection	mg/l	0,3 - 0,5
Fer après la déferrisation	mg/l	Jusqu'à 0,3
Réaction active après purification et adoucissement	pH	6,5 - 9,5

C'est seulement dans les cas exceptionnels et avec l'assentiment des autorités sanitaires que l'on peut tolérer une turbidité de plus de 3 mg/l, une coloration supérieure à 35°, ou une dureté dépassant 14 meq/l. Si ces limites sont dépassées dans l'eau naturelle destinée à la boisson, cette eau doit subir un traitement adoucissant.

L'eau dans l'équipement d'une installation thermique

Dans une installation thermique qui fait partie intégrante d'un ensemble industriel de transformation des produits alimentaires, l'eau est utilisée pour l'alimentation des chaudières, le refroidissement des condenseurs des turbines à vapeur et le chauffage. La présence d'impuretés dans l'eau non traitées peut provoquer toutes sortes d'inconvénients: formation de tartre sur les surfaces tubulaires et chauffantes, formation de dépôts à l'intérieur des machines à vapeur, des turbines et des appareils de préchauffage corrosion des tôles de la chaudière, des conduits de vapeur, des échangeurs de chaleur, etc.

L'eau dans les chaudières à vapeur

Le tartre est une source de difficultés multiples dans les installations thermiques. Son coefficient de conductibilité calorifique étant inférieur à celui de l'acier, il a pour effet de réduire considérablement la transmission de la chaleur. En devenant de plus

en plus épais, le tartre qui se forme sur les tôles d'acier occasionne une déperdition de chaleur de plus en plus grande dans la chaudière, ce qui oblige à consommer de plus en plus de combustible pour maintenir la vapeur à la température voulue. Le tableau 8 montre que l'augmentation de consommation de combustible est fonction de l'épaisseur de la couche de tartre.

TABLEAU 8. AUGMENTATION MOYENNE DE LA CONSOMMATION DE COMBUSTIBLE EN FONCTION DE L'ÉPAISSEUR DU TARTRE DANS LA CHAUDIÈRE.

<i>Épaisseur de la couche (en mm)</i>	<i>Augmentation de la consommation (en %)</i>
0,5	1,0– 1,5
1,0	2,0– 3,0
2,0	4,0– 5,0
3,0	6,0– 7,0
4,0	7,0– 8,0
5,0	8,0– 9,0
6,0	9,0–10,0

TABLEAU 9. COEFFICIENT DE CONDUCTIVITE THERMIQUE DE CERTAINS TYPES DE DEPOTS.

<i>Type de dépôt</i>	<i>kcal/m h degC</i>	<i>Structure et composition chimique</i>
Dépôt imprégné d'huile	0,1	Contient une grande quantité de substances organiques
Dépôt de silicate	0,07–0,2	Tartre dur qui se dépose sur les surfaces de chaudières soumises à la plus grande contrainte thermique: consiste principalement en dépôts du type $5CaO \cdot 5SiO_2 \cdot H_2O$ et $CaSiO_3$.
Dépôt de gypse	0,2–2,0	Caractérisé par une grande dureté et une grande compacité. Aux basses pressions il se dépose sous la forme de $2CaSO_4 \cdot H_2O$ $CaSO_4 \cdot 2H_2O$ et aux pressions élevées sous la forme de $CaSO_4$.
Carbonate de calcium finement cristallisé	0,2–1,0	Lorsqu'il y a évaporation de l'eau de la chaudière et qu'il contient un excès de Na_2CO_3 , le $CaCO_3$ se forme en une boue qui se fixe partiellement sur les murs.
Carbonate de calcium grossièrement cristallisé	0,5–5,0	Quand il n'y a pas d'évaporation, le $CaCO_3$ se dépose sous la forme d'un tartre cristallisé solide sur les parois de l'économiseur et de la chaudière, ainsi qu'à l'intérieur du condenseur et des conduites d'alimentation.

TABLEAU 10. NORMES DE COMPOSITION DE L'EAU D'ALIMENTATION DE CHAUDIERE (VGB)

Caractéristiques et composition	<i>Eau d'alimentation pour chaudière à circulation naturelle (Durchlaufkessel)</i>	<i>Eau d'alimentation pour chaudière à circulation forcée</i>	
		20 atm. 40 atm.	60 atm. 80 atm. et plus
Caractéristiques générales	pure et incolore		
Oxygène (mg/l)	jusqu'à 0,03		
Dureté (meq/l)	traces	0,02	0,01
Fer (mg/l)	jusqu'à 0,02	si possible jusqu'à 0,05	traces
Cuivre (mg/l)	jusqu'à 0,005	jusqu'à 0,01	jusqu'à 0,03
Total de CO ₂ (mg/l)	jusqu'à 1	si possible jusqu'à 20	jusqu'à 0,005
pH à 20°C	7-9,5	7-9,5	jusqu'à 1
Acide silicique (mg/l)	en circulation constante jusqu'à 0,2	si l'on n'y a pas de détartage, circulation constante	7-9,5
Huile (mg/l)	jusqu'à 0,3	si possible jusqu'à 10,5	jusqu'à 0,3 en circulation constante
			si possible jusqu'à 0,5

TABLEAU 11. NORMES DE COMPOSITION DE L'EAU DE CHAUDIERE (VGB)

Pression (cm atm.)	20	40	64	80	125	160
valeur de P (mcq/l)	jusqu'à 10	jusqu'à 6	jusqu'à 3	jusqu'à 1	jusqu'à 0,3	jusqu'à 0,1
Acide silicique (mg/l)	se calcule à partir de la valeur de P selon la formule (70 + 7.0)					
Phosphates (mg/l)	jusqu'à 25	jusqu'à 10	jusqu'à 10	jusqu'à 4	jusqu'à 1,2	jusqu'à 0,4
Electro-conductivité spécifique ms/cm	jusqu'à 8 000 D = 0,4° B.	jusqu'à 5 000 D = 0,25° B.	jusqu'à 2 500	jusqu'à 1 500	jusqu'à 250	jusqu'à 50

L'une des principales raisons de la formation de sédiment dans les chaudières est l'augmentation de la concentration des substances dissoutes au fur et à mesure que l'eau de la chaudière s'évapore. Les substances qui atteignent les premières l'état de saturation sont aussi les premières à se déposer sous forme de sédiment.

La nature des dépôts qui se forment dans les chaudières dépend des sels contenus dans l'eau non traitée. Si le carbonate domine, ce seront des dépôts de carbonate. Si l'eau contient en solution beaucoup de sels de sulfate, elle dépose du sulfate, et la présence d'une quantité importante de silicates entraînera la formation de dépôts de silicate. Ces tartres ont une dureté, une porosité et une conductibilité calorifique différentes. Les dépôts poreux ou stratifiés et les incrustations imprégnées d'huile ou contenant une forte proportion de silicates sont les moins bons conducteurs de la chaleur.

L'entartrage des chaudières, de leurs conduites, etc., rend irrégulière la transmission de la chaleur à l'eau. La surchauffe des conduites diminue la résistance du matériel, ce qui provoque souvent une explosion. Le tableau 9 indique les coefficients de conductivité thermique des différents types de tartre.

Si on considère que le coefficient applicable à l'acier est de 30 kcal/m h deg C, on verra mieux encore comment se produit la formation de tartre.

Conformément aux recommandations de la Vereinigung der Grosskesselbesitzer im Bund Deutscher Technik (VGB), de la République fédérale d'Allemagne, les caractéristiques de l'eau d'alimentation et de l'eau de chaudière ne doivent pas excéder les valeurs figurant aux tableaux 10 et 11.

Selon les normes en usage en URSS, l'eau d'alimentation de chaudière à vapeur doit permettre le bon fonctionnement de la chaudière sans détériorer aucun élément par entartrage, dépôt de boue ou de corrosion. Pour toute chaudière d'une capacité de 2 t/h ou davantage, il devrait exister des normes pour l'eau et la vapeur. Quant aux chaudières d'une capacité inférieure à 2 t/h qui sont alimentées en eau non traitée ou en eau non traitée mélangée à un condensat ou à de l'eau adoucie, leurs surfaces de chauffe doivent être régulièrement débarrassées du tartre.

Pour l'eau des évaporateurs et des échangeurs de chaleur des usines de traitement de denrées alimentaires, il existe des normes correspondantes.

Eau de refroidissement

Les industries de traitement des denrées alimentaires et d'autres industries emploient des échangeurs de chaleur, des condenseurs et des réacteurs à refroidissement par eau. La température de l'eau dans ce cas est généralement basse et varie de 50 à 60°C.

Le refroidissement s'effectue au moyen d'un courant d'eau qui traverse le dispositif. Cette eau, une fois qu'elle est devenue chaude, peut être soit évacuée soit refroidie et remise en circulation. Dans le premier cas, le système de refroidissement est (à courant traversant) en circuit ouvert et dans le deuxième il est à recirculation en circuit fermé.

Dans le deuxième cas, l'eau est redistribuée dans les tours de réfrigération ou dans les tours de pulvérisation où elle est ramenée à la température initiale puis renvoyée dans le circuit de refroidissement. L'eau utilisée pour le refroidissement ne doit laisser aucun dépôt dans la tuyauterie ni dans les appareils. L'entartrage des parois gêne considérablement le refroidissement en réduisant le taux de transfert de la chaleur. L'eau de refroidissement ne doit contenir aucune substance inorganique

brute (sable) qui puisse rester dans le système. La matière plus tendre en suspension (argile) ne se dépose généralement pas mais les particules qui la composent se fixent au tartre et retombent ensuite sous forme de dépôt amorphe sur les surfaces de chauffe, empêchant ainsi l'échange thermique de se faire normalement.

Des organismes vivants (bactéries, moisissures) peuvent se développer dans l'eau contenant une forte proportion de substances organiques lorsqu'elle est utilisée pour le refroidissement dans des condenseurs à des températures de 30 à 40°C. Des organismes de différentes sortes peuvent se reproduire et se développer dans l'eau de mer utilisée pour le refroidissement. Il se forme rarement des dépôts de tartre et d'autres sédiments solides dans les dispositifs de refroidissement lorsque les parois sont à une température de 30 à 40°C. Dans les systèmes à recirculation, le risque d'entartrage des surfaces de refroidissement augmente avec la déperdition d'acide carbonique résultant de l'échauffement de l'eau et de sa vaporisation dans les tours de refroidissement. Dans ce cas, il se produit un glissement à droite de l'équilibre de l'acide carbonique:



Il se forme également un dépôt de carbonate de calcium peu soluble. Le risque de sédimentation ne dépend pas seulement de la concentration du bicarbonate de calcium. L'intensité calorifique joue également un rôle, de même que la déperdition d'acide carbonique intervenant lors de la vaporisation, la présence de substances organiques et la stabilité de l'eau.

Le tableau 12 indique les normes de composition de l'eau de refroidissement en vigueur en Union Soviétique.

TABLI AU 12. NORMES DE COMPOSITION DE L'EAU DE REFROIDISSEMENT.

<i>Composition</i>	<i>Unité</i>	<i>Système à courant traversant</i>	<i>Système à recirculation</i>
Teneur totale en sels	mg/l	jusqu'à 3 000	jusqu'à 3 000
Teneur en ions de chlore	mg/l	jusqu'à 1 000	jusqu'à 1 000
Teneur en ions de sulfate	mg/l	—	jusqu'à 400
Teneur en acide silicique	mg/l	—	jusqu'à 200
Teneur en gypse	mg/l	jusqu'à 17,8	jusqu'à 25,6
Teneur en carbonate	meq/l	jusqu'à 2,5	jusqu'à 1,45
Alcalinité	meq/l	—	jusqu'à 15
Teneur en carbonate de l'eau additionnée de polyphosphate	meq/l	jusqu'à 5,35	jusqu'à 5,35
pH	-	6,5-7,0	6,5-7,0

Eau pour la lutte contre le feu

Lors de la conception et de la construction des usines de traitement de denrées alimentaires, il faut prévoir une arrivée d'eau utilisable en cas d'incendie. Généralement on emploie à cette fin le dispositif d'alimentation en eau existant. Un certain nombre de pompes à incendie sont installées à la station de pompage même qui alimente l'usine en eau. Il s'agit d'un dispositif de lutte contre l'incendie à eau à haute pression.

Dans les usines les risques d'incendie sont élevés, la réglementation en vigueur prévoit pour les incendies extérieurs (bâtiments), une réserve d'eau par mètre carré de surface de l'usine ou, pour les incendies intérieurs, (installations, machines, matières premières) une réserve en rapport avec le risque d'incendie, selon le genre d'article produit.

METHODES DE PURIFICATION DES EAUX

Les eaux utilisées par l'industrie alimentaire ou comme eaux potables doivent répondre à certaines normes, les eaux non traitées qui n'y satisfont pas doivent subir un traitement approprié de purification.

On élimine une partie des matières en suspension et du plancton en soumettant l'eau à un microfiltrage avec des nattes ou des grilles dont les mailles ont de 20 à 40 microns de large. Une coagulation suivie d'une décantation et d'un filtrage permet de la clarifier. Pour la décolorer, on se sert de chlore ou d'ozone ou on recourt à une coagulation d'un genre spécial associée à un filtrage supplémentaire. La séparation des matières en suspension (clarification) et la décoloration se font généralement ensemble dans la même installation.

Il est possible d'éliminer les odeurs et le goût de l'eau non traitée en traitant celle-ci avec du chlore ou du charbon de bois. L'odeur de phénol peut être éliminée par addition d'ammoniaque et de chlore. Les bactéries peuvent être éliminées par traitement au chlore, aux rayons ultraviolets et à l'ozone.

Pour adoucir les eaux dures, on commence généralement par leur ajouter un réactif (chaux) et au besoin on se sert également de résines échangeuses d'ions pour les traiter.

Les sels de fer bivalents peuvent être éliminés de l'eau par oxydation à l'air. L'hydroxyde de fer précipité doit être enlevé par filtrage.

L'acide silicique peut être éliminé par déminéralisation ou au moyen de composés du magnésium si l'eau traitée doit servir à alimenter des chaudières à moyenne et haute pression.

L'hydrogène sulfuré est éliminé par aération de l'eau ou par chloration suivie de filtrage.

Pour empêcher que l'installation de traitement de l'eau ne se corrode et ne s'entarte, on stabilise l'eau en modifiant son pH ou en ajoutant du métaphosphate de sodium. On javellise l'eau pour empêcher la formation de dépôts biologiques.

Clarification et décoloration de l'eau

Microfiltrage de l'eau

Le microfiltrage de l'eau qui contient du plancton accroît la capacité des installations de traitement des eaux car il faut moins d'eau pure pour rincer le filtre.

La consommation de coagulants est alors diminuée. Pratiquement 100% du plancton animal, 70 à 90% du plancton végétal et 25% des troubles finement dispersés sont éliminés.

Le tableau 13 montre les résultats du microfiltrage d'une eau contenant du plancton animal, des algues vert bleuvert, des chroococales et des anabaena, par quantités pouvant atteindre 3 270 organismes par millilitre.

TABLEAU 13. EFFETS DU MICROFILTRAGE PAR RAPPORT AU NOMBRE TOTAL DE CELLULES.

Microfiltre capacité en m ³ /heure	Effet moyen du microfiltre en pourcentage		
	maximum	minimum	moyen
40 75	86,4	46,5	72,1
60	91	75	83

Un microfiltre est un appareil à conditionnement continu et automatique. Il se compose d'un tambour garni d'éléments filtrants, de canaux collecteurs et d'un système de conduites d'évacuation des eaux filtrées. L'eau entre dans le tambour par la conduite d'admission et elle est envoyée à travers des filtres grossiers dans la chambre de microfiltrage. Les filtres sont constitués par des écrans métalliques dont les mailles carrées ont 40 microns de côté. Pour arrêter les cellules de plancton végétal et les particules les plus fines (les troubles) on utilise des écrans de microfiltrage avec des mailles de 20 microns.

Coagulation de l'eau

Les matières en suspension dans l'eau non traitée peuvent être éliminées par décantation dans des réservoirs et bassins, mais, dans la majorité des cas, cette méthode n'est pas très efficace car les plus fines particules et colloïdes en suspension ne peuvent être éliminés de l'eau que si leur charge électrique est détruite. La décantation naturelle n'est donc utilisée que si les particules les plus grossières sont les seules qu'il faille éliminer. Pour améliorer l'efficacité des opérations de clarification et de décoloration de l'eau, on recourt à la coagulation. Les agents de coagulation utilisés sont le sulfate d'aluminium ($Al_2(SO_4)_3$), le sulfate de fer ($FeSO_4$) ainsi que le chlorure de fer ($FeCl_3$).

Des systèmes colloïdaux se forment quand un carburant est ajouté à l'eau. Au cours de la coagulation, des flocons se forment (particules actives qui absorbent la matière en suspension et se déposent au fond avec elle en constituant des sédiments). Les cations polyvalents du coagulant modifient la charge électrique du colloïde et altèrent sa stabilité.

Quand on introduit du sulfate d'aluminium dans l'eau, une dissociation se produit:



Les ions d'aluminium réagissent chimiquement avec les ions présents dans l'eau et sont partiellement absorbés par les particules colloïdales et les particules en

suspension. Le sulfate d'aluminium excédentaire subit une hydrolyse qui entraîne la formation d'hydroxyde d'aluminium faiblement soluble:



L'hydroxysulfate d'aluminium qui en résulte porte une charge électrique positive qui entraîne la coagulation des particules en suspension à charge négative. Les ions d'hydrogène libérés par l'hydrolyse du sulfate d'aluminium peuvent faire obstacle ou stopper complètement l'hydrolyse du coagulant. De même, lors de la coagulation des eaux naturelles, les ions d'hydrogène se combinent avec les ions de bicarbonate en produisant une molécule d'eau et une molécule de gaz carbonique qui est libérée de la solution sous forme de gaz. Quand la concentration d'ions de bicarbonate dans l'eau est insuffisante pour qu'il y ait réaction avec tous les ions d'hydrogène, il est essentiel de rendre l'eau alcaline en y ajoutant de la chaux éteinte, de l'hydroxyde de sodium ou du carbonate de sodium.

La coagulation devrait se produire alors que le pH est optimal, et le pH optimal dépend de la teneur de l'eau en sels solubles comme le montre le tableau 14.

TABLEAU 14. VALEURS OPTIMALES DU pH POUR QU'IL Y AIT COAGULATION DE L'EAU PAR $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$.

<i>Caractéristiques de l'eau</i>	<i>pH</i>
Traitement d'eau douce dont l'alcalinité ne dépasse pas 1.5 meq/l	5.0 6.0
Traitement d'eau moyennement dure dont l'alcalinité est de 3 4 meq/l	6.0 7.2
Traitement d'eau dure et légèrement trouble dont l'alcalinité dépasse 6 meq/l	6.5 7.5

Si du sulfate ferreux est ajouté à l'eau comme coagulant, il y a hydrolyse. L'hydroxyde ferreux s'oxyde avec l'oxygène dans l'eau pour former de l'hydroxyde ferrique, substance colloïdale.

Pour que l'oxydation de l'hydroxyde ferreux se produise normalement, il faut que le pH de l'eau soit inférieur à 8. Pour atteindre ce pH, on fait coïncider des apports de chaux éteinte dans l'eau avec le processus d'oxydation de l'hydroxyde ferreux. Un autre moyen d'accélérer la transformation par oxydation du fer bivalent (ferreux) en trivalent (ferrique) consiste à ajouter simultanément du chlore à raison de 150 grammes environ par kilo de FeSO_4 commercial.



Une caractéristique importante de la coagulation de l'eau est la suivante: un abaissement de la température de l'eau coagulée fait diminuer la vitesse de

l'hydrolyse par le coagulant. La quantité optimale coagulant pour une eau de composition donnée est déterminée expérimentalement dans chaque cas particulier.

Le tableau 15 montre quelles doses approximatives du sulfate d'aluminium anhydre, $Al_2(SO_4)_3$, sont utilisées pour clarifier l'eau. Les doses les plus faibles sont appliquées aux eaux qui contiennent des substances en suspension grossièrement dispersées (troubles). Si la coagulation de l'eau résulte de la solution du sulfate de fer et du chlore, la dose indiquée dans le tableau peut être réduite de 15 à 20%. Pour détruire préalablement les impuretés organiques qui ralentissent le processus de coagulation, 3 à 5 mg/l de chlore sous forme de Cl_2 doivent être ajoutés à l'eau non traitée.

TABLEAU 15. DOSAGE DE $Al_2(SO_4)_3$ ANHYDRE POUR LA CLARIFICATION DE L'EAU.

<i>Troubles de l'eau (mg/l)</i>	<i>Dose (mg/l)</i>	<i>Troubles de l'eau (mg/l)</i>	<i>Dose (mg/l)</i>
100	25 35	1 000	60 90
200	30 40	1 400	65 105
400	40 60	1 800	75 115
600	45 70	2 200	80 125

S'il est nécessaire de désodoriser l'eau non traitée avant qu'elle ne pénètre dans l'installation de coagulation on ajoute du carbone activé à raison de 20 mg l'environ. Si l'eau est désodorisée après coagulation, c'est-à-dire avant l'envoi de l'eau dans l'installation où elle subit d'autres traitements (décarbonisation, échange d'ions) cette dose ne doit pas dépasser 5 mg/l environ.

Clarification et décoloration de l'eau

On procède à une clarification complète ou partielle selon les exigences à satisfaire en ce qui concerne la qualité de l'eau. On procède à une clarification totale de l'eau dans les systèmes d'approvisionnement en eau industrielle où une concentration de matières en suspension inférieure à 2 mg/l (limite supérieure pour l'eau potable) est requise. Seule une telle eau peut être utilisée dans l'industrie alimentaire. Pour obtenir une clarification et une décoloration complètes de l'eau, il est essentiel de faire suivre la coagulation d'une séparation et d'un filtrage.

L'eau qui n'a pas à satisfaire à des normes de qualité c'est-à-dire pour laquelle la limite supérieure de la concentration de matières en suspension peut être de 50 à 100 mg/l, est utilisée pour l'équipement industriel, par exemple pour le refroidissement et les transferts de chaleur. Dans ces cas même la coloration de l'eau n'a pas à être abaissée en-dessous de 4° de l'échelle platine-cobalt.

L'équipement servant à la clarification et la décoloration simultanées de l'eau peut être du type ouvert ou à pression.

L'installation de type ouvert se compose d'une succession d'éléments divers et le niveau de l'eau s'y abaisse d'un élément à l'autre. La pompe dite de "premier niveau"

fait monter l'eau au niveau requis dans le premier réservoir et c'est par gravité que l'eau passe ensuite d'un dispositif de clarification à l'autre jusqu'à son entrée dans le réservoir d'eau clarifiée et décolorée. Là, une pompe de "deuxième niveau" la fait monter dans un autre réservoir d'où elle s'écoule par gravité dans la seconde partie de l'installation.

La figure 1 est le diagramme d'une importante station d'épuration où l'eau est entièrement clarifiée et décolorée. Les points d'introduction du réactif, du coagulant et du chlore sont indiqués.

La figure 2 montre comment l'eau est entièrement clarifiée et décolorée au moyen de coagulants. La clarification s'opère dans les réacteurs de sédimentation où l'eau entre en traversant un dépôt de boue puis dans des filtres. Le contact de l'eau coagulée avec le sédiment composé de coagulants et de boue qui s'est déjà formé dans le réacteur de sédimentation accélère considérablement le processus de coagulation et provoque une meilleure clarification. Les installations d'épuration de ce type sont beaucoup plus petites que celle représentée dans la figure 1. Elles présentent également l'avantage de ne pas exiger de chambre pour la formation des flocons de coagulants hydrolysés.

Dans le processus de clarification par coagulant (figure 2) la vitesse d'écoulement ne doit pas varier de plus de 15% par heure ni la température de l'eau à l'arrivée de plus de 1°C par heure.

Il existe aussi un dispositif de clarification de l'eau appelé "réacteur de sédimentation par contact". Sa principale caractéristique est de pouvoir clarifier l'eau n'ayant qu'un faible taux de turbidité (maximum à 150 mg/l). Tous les réacteurs de clarification de l'eau dont il vient d'être question fonctionnent suivant le principe du réglage de la vitesse d'écoulement de l'eau, c'est-à-dire qu'ils rendent cette vitesse inférieure à la vitesse de sédimentation des flocons de coagulant et des particules de troubles.

La boue est évacuée périodiquement ou continuellement lorsque sa densité atteint 50 000 à 100 000 mg/l, c'est-à-dire lorsque le volume d'eau nécessaire pour l'évacuer ne dépasse pas 1,5 à 3,5% de la capacité totale du réacteur.

Certains réacteurs de sédimentation (épaisseurs) ont un mécanisme rotatif à pales. Les pales, tournant lentement, recueillent le sédiment qui s'accumule en boue très dense au fond de l'épaisseur. De cette façon la quantité d'eau évacuée avec la boue est très réduite. Mais ces réacteurs exigent aussi des dispositifs spéciaux d'entraînement et d'entretien des éléments rotatifs qui compliquent beaucoup leur fabrication et élèvent leur coût.

Dans les systèmes de type ouvert le niveau des différents éléments doit être calculé de façon à compenser la chute de pression à l'intérieur de chacun d'eux et dans les canalisations qui les relient. Ainsi, pour le bassin de clarification, la chute de pression est de 0,2 à 0,3 m de la colonne d'eau pour le réacteur de sédimentation à dépôt de boue de 0,8 à 0,9 m de la colonne d'eau; pour le réacteur de sédimentation par contact, d'environ 2,2 m de la colonne d'eau; pour le filtre à sable de 2,5 à 3 m de la colonne d'eau, etc.

S'il n'est pas possible de réaliser la dénivellation nécessaire entre les différents éléments dans les installations de clarification de type ouvert il faut utiliser un système fonctionnant sous pression (figure 3). Si au lieu d'un filtre-réacteur (élément 5 de la figure 3) on utilise un réacteur-bassin de sédimentation classique de type ouvert, il faut dans ce cas aussi que l'installation comporte un réservoir ainsi que des pompes de deuxième niveau.

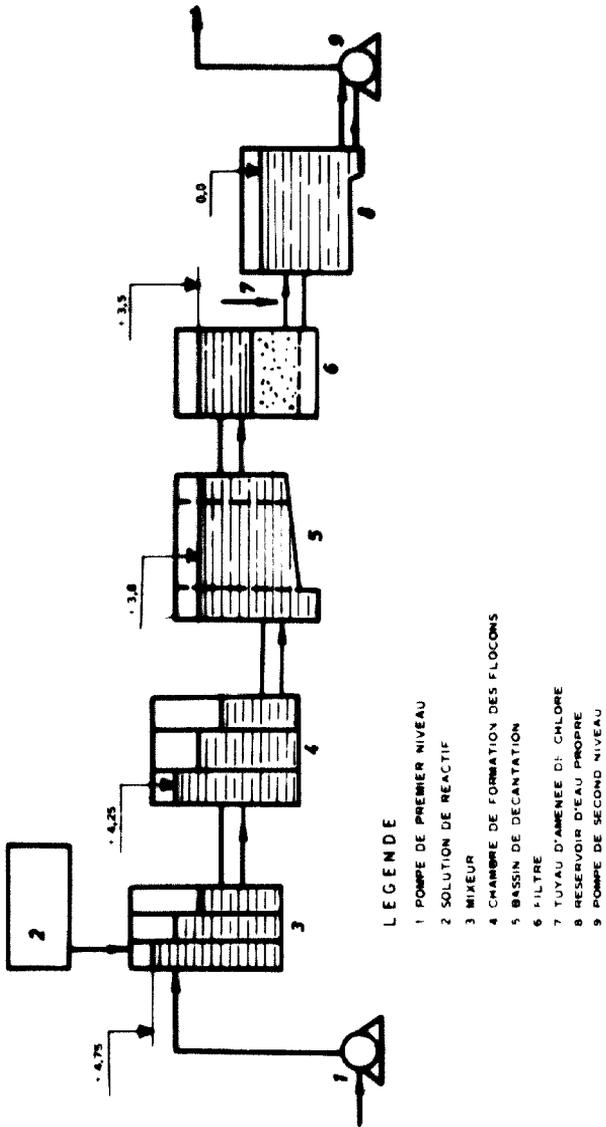
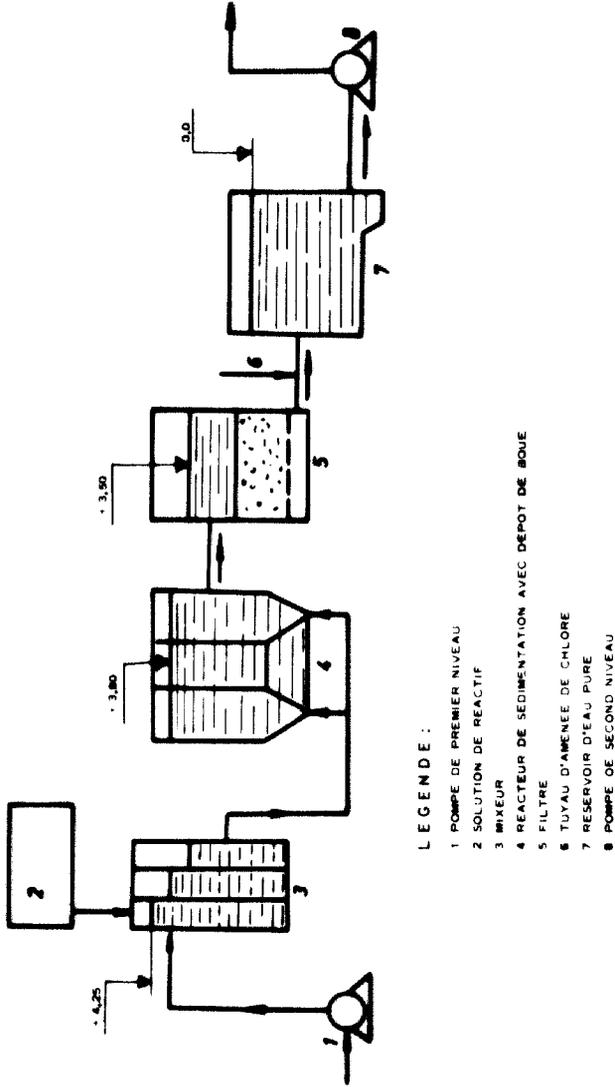


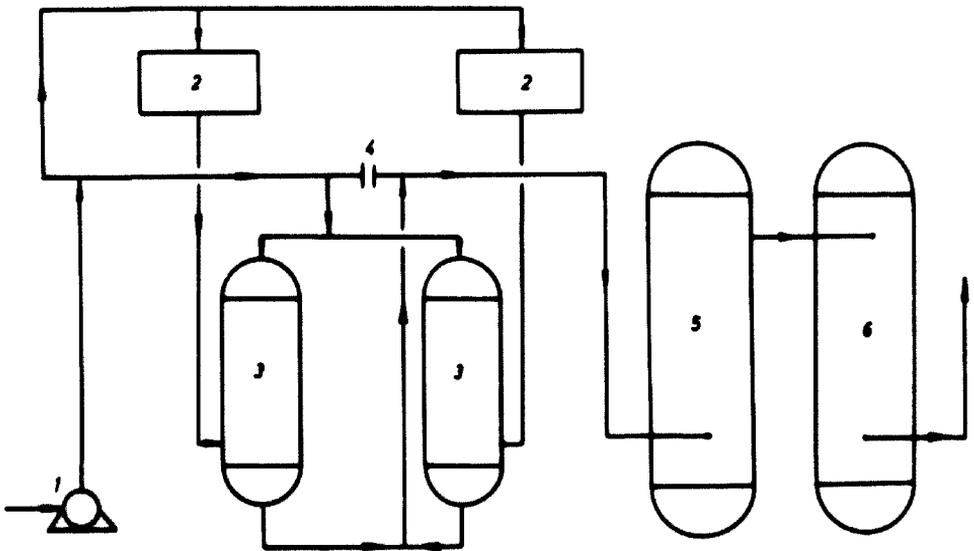
Figure 1. Installation de clarification et de décoloration de l'eau, avec bassin de décantation et chambre de formation des flocons.



LEGENDE :

- 1 POMPE DE PREMIER NIVEAU
- 2 SOLUTION DE REACTIF
- 3 MIXEUR
- 4 REACTEUR DE SEDIMENTATION AVEC DEPOT DE BOUE
- 5 FILTRE
- 6 TUYAU D'AMENEE DE CHLORE
- 7 RESERVOIR D'EAU PURE
- 8 POMPE DE SECOND NIVEAU

Figure 2. Installation de clarification et de déchloration de l'eau, avec réacteur de sédimentation (type ouvert).



LEGENDE :

- | | |
|--|--------------------------|
| 1 POMPE | 4 ORIFICE DE RESTRICTION |
| 2 RESERVOIR DE COAGULANT ET DE CHAUX | 5 FILTRE-REACTEUR |
| 3 RECIPIENTS SOUS PRESSION POUR DOSSAGE
DU COAGULANT ET DE LA CHAUX | 6 FILTRE |

Figure 3. Installation de clarification et de décoloration d'eau sous pression.

Lorsqu'on détermine la capacité théorique du système sous pression ou de type ouvert des usines de clarification de l'eau, il faut prévoir 5 à 10% de capacité supplémentaire pour l'eau qui servira à évacuer la boue du réacteur de sédimentation, à rincer le filtre, à dissoudre le réactif, etc.

Le tableau 17 (p. 39) évalue approximativement les principales caractéristiques des appareils de clarification et de décoloration de l'eau.

Toutes les canalisations et tous les appareils servant à la solution coagulante doivent être faits de matériaux résistant aux acides: chlorure de polyvinyle, polyisobutylène, etc. Les canalisations qui alimentent les réacteurs de sédimentation en lait de chaux pour réaliser le pH requis doivent avoir un diamètre supérieur à 25 mm et une vitesse d'écoulement de plus de 0,8 m/s pour ne pas risquer de s'engorger.

Les solutions de réactifs sont introduites aux endroits suivants: le coagulant dans les tuyaux allant aux réacteurs de sédimentation ou directement dans le réacteur; le lait de chaux servant de stabilisateur du pH directement dans le réacteur de sédimentation; le chlore pour tuer les bactéries dans les tuyaux d'aspiration situés derrière les pompes de premier niveau et le chlore servant à la javellisation secondaire, après le filtre, c'est-à-dire dans l'eau déjà clarifiée.

Lorsque la solution de polyacrylamide est introduite en même temps dans l'eau coagulée, le processus de coagulation est notablement accéléré. Le polyacrylamide forme des particules avec certains des corps étrangers présents dans l'eau et avec les produits de l'hydrolyse des coagulants. Ces particules ont un poids spécifique élevé et se déposent donc très rapidement.

Bassin de clarification et reacteurs de sédimentation à dépôt de boue

Les bassins de clarification et les réacteurs de sédimentation à dépôt de boue servent à débarrasser l'eau brute de la majeure partie des matières en suspension (troubles). L'eau s'écoule ensuite dans des filtres ouverts ou fermés qui éliminent le reste des matières en suspension. La turbidité de l'eau qui sort des bassins de clarification ne doit pas dépasser 30 à 40 mg/l.

Les deux types de bassins de clarification le plus communément utilisés sont l'horizontal et le vertical. Le type horizontal peut fonctionner avec ou sans coagulation, le vertical ne fonctionne qu'avec une charge de coagulant. Du fait que les réacteurs de sédimentation se sont révélés plus efficaces que les bassins de clarification, ces derniers ne sont utilisés que lorsque la température de l'eau à traiter est susceptible de varier.

La figure 4 représente schématiquement un bassin de clarification horizontal et un bassin vertical. La différence essentielle entre les bassins de clarification et les réacteurs de sédimentation à dépôt de boue réside dans le fait que dans les seconds l'eau passe à travers une couche de boue déjà déposée. Les nouveaux flocons rejoignent ceux déjà formés, grâce à quoi la coagulation s'achève rapidement et l'eau est bien clarifiée. Pour le bon fonctionnement du réacteur de sédimentation il importe que le sédiment soit toujours en vibration de façon que les particules nouvellement formées puissent traverser facilement la couche de boue déjà constituée. Ce faisant, elles grossissent et y demeurent prises. Etant donné ce mode de sédimentation il ne faut pas qu'il y ait de variations brusques du débit de l'installation et de la température. De plus, l'eau ne doit contenir aucune bulle d'air. Pour faire disparaître les bulles d'air, le réacteur de sédimentation comporte ce qu'on appelle une "chambre de séparation de l'air" dans laquelle la vitesse d'écoulement de l'eau est de 0,05 m/s alors qu'elle est de 0,75 à 1 m/s dans la conduite d'admission.

La figure 5 montre un réacteur de sédimentation de "type corridor". Ce réacteur se compose de deux compartiments latéraux et d'un compartiment central qui est la zone de concentration de la boue. L'eau en cours de traitement entre dans les compartiments de sédimentation (à gauche et à droite) par des tubes perforés (1) situés au fond du réacteur. Des conduits (2) collectent l'eau clarifiée qui est alors envoyée au filtre par des tuyaux (4). La couche supérieure d'eau clarifiée quitte la zone centrale de concentration de la boue, traverse les tuyaux perforés munis d'un clapet de contrôle et entre dans le collecteur. Le déversement de l'eau clarifiée dans le collecteur (3) permet à la boue de s'écouler des compartiments de sédimentation dans le compartiment central par l'orifice (7). La boue épaissie est continuellement ou périodiquement évacuée par les tuyaux perforés (8).

Le tableau 16 évalue les vitesses d'écoulement de l'eau qui se déverse de la zone de clarification située au-dessus de la couche de boue. Ces chiffres sont calculés pour des réacteurs utilisant le sulfate d'aluminium. Si le réactif est du perchlorure de fer on peut prévoir des vitesses d'écoulement de 10 à 15% plus élevées.

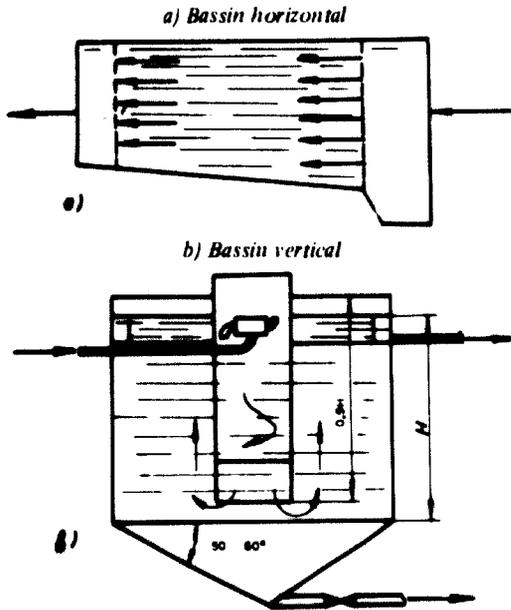


Figure 4. Schéma d'un bassin de décantation.

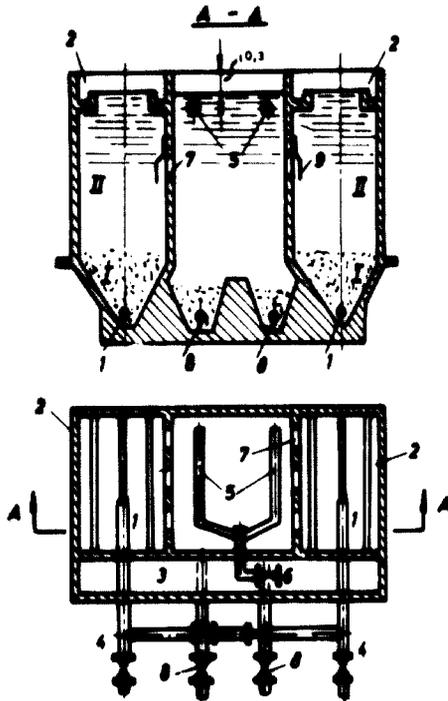


Figure 5. Bassin de sédimentation (type "corridor").

TABLEAU 16. VITESSE DE L'EAU QUI SE DEVERSE DU REACTEUR DE SEDIMENTATION.

<i>Teneur de l'eau brute en matières en suspension (mg/l)</i>	<i>Vitesse de déversement (en mm/sec)</i>	
	<i>en hiver</i>	<i>en été</i>
Au-dessous de 100	0,7 à 0,8	0,9 à 1,0
100 à 400	0,8 à 1,0	1,0 à 1,1
400 à 1 000	1,0 à 1,1	1,1 à 1,2
1 000 à 2 500	1,1 à 1,2	1,1 à 1,2

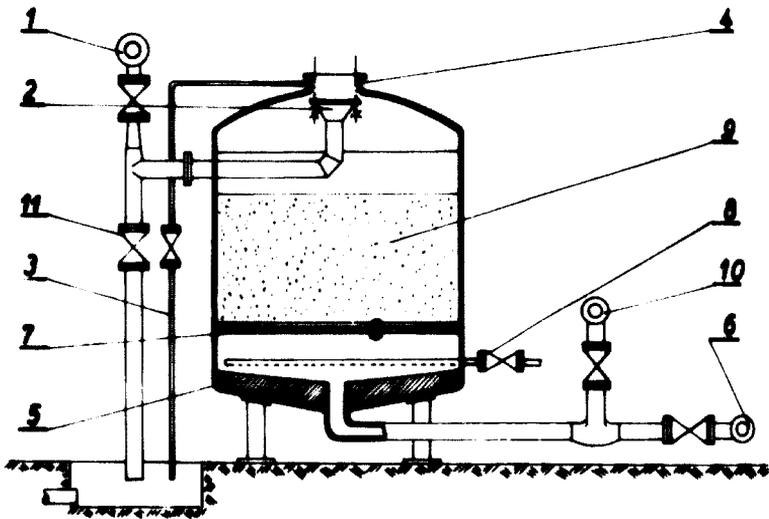
La surface de la zone de concentration de la boue est fixée en fonction des maxima de volume d'eau et de turbidité à prévoir. La surface de l'ensemble du réacteur ne doit pas dépasser 1 500 m² avec une hauteur de 2 m à 2,50 m pour la zone de concentration de la boue. La hauteur de la zone de clarification de l'eau varie, elle entre 1,50 m et 1,75 m.

Certains réacteurs de sédimentation sont de conception différente. Ainsi, les réacteurs de forme cylindrique dont le fond conique fait office d'épaississeur de la boue et dans lesquels il n'est pas nécessaire de prévoir de compartiment séparé pour la sédimentation de la boue ou pour la clarification de l'eau. Comparés aux réacteurs de "type corridor" les réacteurs de forme cylindrique ont une surface plus petite pour la même vitesse d'écoulement, ce qui signifie que le mouvement ascensionnel de l'eau y est plus rapide. Dans les deux types de réacteur l'eau est introduite par le bas et monte à une vitesse donnée tandis que les particules de boue descendent se déposer au fond. Les réacteurs de "type corridor" ne sont employés que dans les usines où la clarification et la décoloration de l'eau s'effectuent par coagulation alors que les réacteurs de type cylindrique servent à la fois à la clarification et à la décarbonisation, comme on le verra en détail plus loin. Le sédiment obtenu par la méthode de coagulation et de décarbonisation simultanée a un poids spécifique plus élevé parce que le dépôt de CaCO₃ et de Mg(OH)₂ est le résultat de la décarbonisation. Étant donné que la boue ainsi formée dans les réacteurs de type cylindrique est plus dense, on peut tolérer dans ces réacteurs une plus grande agitation de l'eau.

Filtration de l'eau

L'eau qui sort du bassin de clarification ou des réacteurs de sédimentation contient encore 8 à 15 mg/l de matières en suspension. Elle doit ensuite être filtrée pour pouvoir être utilisée comme eau potable, dans les processus technologiques ou pour alimenter les chaudières.

Les filtres peuvent aussi être employés pour clarifier partiellement les eaux dont la turbidité est inférieure à 300 mg/l. Ils peuvent être rapides ou lents. Dans les filtres rapides l'eau peut être filtrée à la vitesse de 5 à 15 m/h, dans les filtres lents cette vitesse est de 3 à 5 m/h seulement. Les filtres rapides sont en général de type fermé, fonctionnant sous pression, alors que les lents sont de type ouvert. Les filtres se composent d'un récipient cylindrique où la filtration est opérée par des couches de sable quartzeux et d'un système de drainage au fond. L'eau entre par le haut, se répand, tombe régulièrement sur la couche de sable et la traverse en y laissant les



LEGENDE :

- | | | |
|-----------------------------|--|----------------------------|
| 1 ENTREE D'EAU BRUTE | 5 FOND BETONNE | 8 DISTRIBUTEUR D'AIR |
| 2 ENTONNOIR | 6 SYSTEME DE DRAINAGE AVEC DEVERSOIR D'EAU FILTRÉE | 9 SUBSTANCES FILTRANTES |
| 3 TUYAU D'ECHAPPEMENT D'AIR | 7 PLAQUE EN ACIER FORE | 10 ARRIVEE D'EAU DE LAVAGE |
| 4 REGARD DE VISITE | | 11 SORTIE D'EAU DE LAVAGE |

Figure 6. Filtre à sable pour clarification de l'eau sous pression.

matières en suspension qu'elle contenait. Elle est alors déversée par le système de drainage dans le réservoir d'eau filtrée.

Une couche de boue se forme inévitablement, elle obstrue peu à peu les pores de la couche filtrante et oppose une résistance de plus en plus grande au passage de l'eau. Lorsque les manomètres d'entrée et de sortie indiquent une trop grande différence de pression, il faut nettoyer la couche filtrante. Si la filtration doit être continue il faut utiliser un filtre de recharge pendant qu'on nettoie le filtre sale. On nettoie d'abord la couche filtrante au moyen d'un jet d'air puis on la fait traverser de bas en haut par de l'eau propre. L'eau de rinçage peut être fournie par un réservoir d'eau surélevé ou par un réservoir au niveau du sol muni d'un groupe ou encore, pour une batterie de quatre filtres ou plus, par la canalisation qui alimente les filtres sous pression.

La taille des grains de sable varie de 0,7 à 1,5 mm. La hauteur totale de la couche filtrante varie de 0,7 à 2 m suivant les conditions d'exploitation. Le système de drainage supporte une couche de gravier dont les grains ont de 2 à 4 mm de diamètre; c'est sur ce gravier que repose la couche de matières filtrantes. L'emploi des filtres dits "à double couche" se répand depuis quelque temps. La couche supérieure haute de 0,4 à 0,5 m est faite de grains d'antracite broyé de 0,5 à 1,2 mm et la couche inférieure de même hauteur de sable. Les impuretés de l'eau sont arrêtées au cours de la traversée de la première couche, ce qui n'est pas le cas dans les filtres à une seule couche. Les résultats de la filtration opérée par les filtres à deux couches sont de 2 à 2,5 fois supérieurs à ceux de la filtration opérée par les filtres à une couche. On utilise aussi des filtres à gros grains dans lesquels la couche filtrante, composée de

grains de sable de 1 à 2,5 mm de diamètre, peut atteindre 3 m de hauteur. Les titres à pression ne sont employés que dans les conditions suivantes: eau ayant 25 à 50 mg/l de turbidité, rinçage automatique de la couche de sable, vitesse de filtration de 50 à 100 m/h. Ces filtres ne sont pas fabriqués en série et on ne les utilise que dans les usines de traitement de l'eau possédant des systèmes de contrôle automatique spéciaux.

La figure 6 représente la structure d'un filtre vertical à une couche opérant sous pression de 6 atmosphères. Le cylindre d'acier est soudé au fond de forme sphérique. Le tuyau d'admission (1) muni d'une embouchure qui distribue l'eau sur toute la surface du filtre et le tuyau d'échappement de l'air se trouvent dans la partie supérieure. Un orifice (4) dans le couvercle du cylindre permet de vérifier, de remettre en état et de niveler la couche de matières filtrantes (9) qui repose sur la plaque d'acier perforé (7). Un épais revêtement de béton (5) au fond du filtre supporte le système de drainage (6) avec l'orifice de sortie de l'eau filtrée. Un dispositif de distribution d'air sous pression (8) désagglomère les particules de sable avant le rinçage qui s'opère de bas en haut (10), c'est-à-dire en sens inverse du filtrage. L'eau qui a servi au rinçage sort par un orifice spécial (11).

Le diamètre des filtres à sable fonctionnant sous pression peut atteindre 3 000 mm et leur débit 70 m³/h environ.

Le tableau 17 évalue approximativement les principales caractéristiques des appareils de filtration de l'eau.

TABLEAU 17. EVALUATION APPROXIMATIVE DES CARACTERISTIQUES DES APPAREILS DE CLARIFICATION ET DE FILTRATION DE L'EAU.

Principaux appareils	Conditions d'emploi suivant les indicateurs de qualité de l'eau		
	Matières en suspension (en mg/l)	Coloration (en degrés)	Débit de l'usine (en m ³ /h)
Réacteurs par contact	jusqu'à 150	jusqu'à 150	Au choix
Filtres de sédimentation fonctionnant sous pression	jusqu'à 50	jusqu'à 70	jusqu'à 125
Réacteurs de sédimentation à dépôt de boue et filtres	100 à 2 500	jusqu'à 150	85 à 2 100
Traitement de l'eau sans coagulation			
Filtres lents	jusqu'à 50	jusqu'à 50	jusqu'à 45
Préfiltres et filtres lents	50 à 250	jusqu'à 50	jusqu'à 45
Bassin de décantation et filtres lents	250 à 500	jusqu'à 50	jusqu'à 45

Le tableau 18 indique la composition granulométrique et la hauteur de la charge filtrante.

TABLEAU 18. COMPOSITION GRANULOMETRIQUE DE LA CHARGE FILTRANTE

Type de filtre	Diamètre des grains en (mm)			Hauteur de la couche de sable (en mm)
	min.	max.	moyen	
Filtres à couche	0,5	1,2	0,7 à 0,8	700
unique avec	0,7	1,5	0,9 à 1,0	1 200 à 1 300
sable quartzeux	0,9	1,8	1,1 à 1,2	1 800 à 2 000
Sable quartzeux				
Filtres à deux couches	0,5	1,2	0,8	400 à 500
Anthracite				
	0,8	1,8	1,1	400 à 500

La durée du cycle d'opération du filtre entre deux rinçages ne doit pas être inférieure à huit heures. Cependant, en période de fortes pluies ou de fonte des neiges, lorsque l'eau est très trouble, elle peut être ramenée à six heures.

Désinfection de l'eau

Pour détruire les microbes et les bactéries, on traite l'eau avec des oxydants (chlore, ozone), des bactéricides, des rayons ultraviolets ou des ultrasons. La méthode la plus communément employée de nos jours dans l'industrie est la javellisation.

Pour la javellisation, on peut employer deux sortes de résidus de chlore. Le premier, la chloramine ou résidu de chlore combiné, est le chlore présent dans l'eau en combinaison chimique avec des composés ammoniacés ou avec des composés azotés organiques. Le second, résidu de chlore libre, est le résidu de chlore présent dans l'eau sous forme d'acide hypochloreux et d'ion d'hypochlorite. La dose approximative de chlore nécessaire pour détruire les bactéries dans l'eau filtrée varie entre 0,75 et 2 mg/l. Dans la javellisation normale de l'eau de boisson la teneur en résidu de chlore 30 minutes après administration de la première dose ne doit pas altérer le goût de l'eau mais ne doit pas être inférieure à 0,1 mg/l. La dose de chlore à utiliser pour le traitement préliminaire de l'eau à forte teneur en matières organiques est de 3 à 5 mg/l ou plus. L'opération dite "javellisation secondaire de l'eau" qui nécessite une dose initiale pouvant atteindre 20 mg/l, supprime le goût et l'odeur de l'eau polluée et la purifie. La dose résiduelle de chlore dans ce cas doit être de 1 à 10 mg/l. Pour déjavelliser l'eau ensuite, on la traite avec du sulfite de sodium (Na_2SO_3) ou de l'anhydride sulfureux (SO_2).

Pour javelliser l'eau, on peut employer non seulement du chlore gazeux, mais aussi du chlorure de chaux (CaOCl_2). Le dosage est plus facile dans ce cas, il s'effectue suivant le même principe que le dosage de la solution du lait de chaux ou de coagulant.

La figure 7 indique comment s'effectue la javellisation dans les installations d'un débit inférieur ou égal à 125 m^3 par heure. L'installation de javellisation se compose d'un réservoir de dissolution (A), de deux réservoirs de solutions (B) et d'un récipient de dosage (C). Ces appareils sont en bois dans les installations de petite capacité, en béton dans les installations plus importantes.

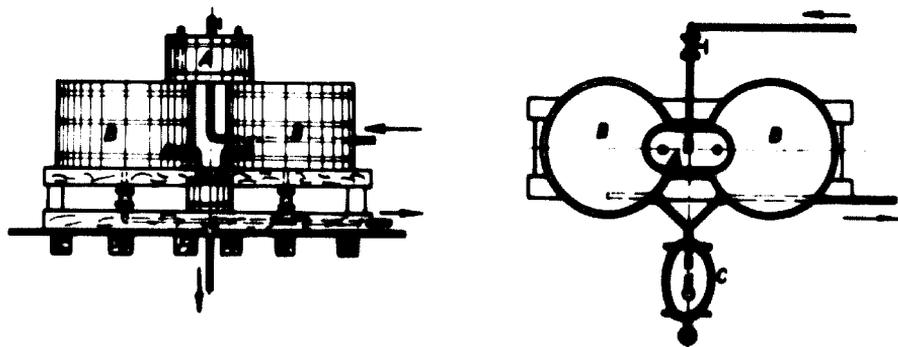


Figure 7. Installation type de désinfection de l'eau à la chaux chlorée.

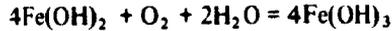
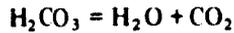
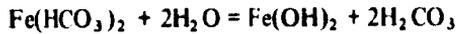
La solution de chlorure de chaux est préparée dans le récipient (A); de là, elle s'écoule par gravité dans le récipient (B) où elle est diluée jusqu'à la concentration voulue. Elle est ensuite amenée dans le récipient de dosage (C) dont la capacité ne doit pas être inférieure au dixième de celle du récipient (B); puis elle est déversée dans l'eau brute soit par des pompes soit sous pression à travers une membrane.

Élimination du fer de l'eau

Les normes de qualité en ce qui concerne la teneur de l'eau en fer sont aujourd'hui très strictes et ce, quelle que soit l'utilisation prévue de celle-ci. Le fer peut être éliminé par aération, coagulation, traitement à la chaux ou échange d'ions. L'aération et le traitement à la chaux visent essentiellement à transformer le fer bivalent en fer trivalent et en hydroxyde ferrique qui se dépose. On recourt le plus souvent à l'aération quand il s'agit des eaux souterraines et à la coagulation quand il s'agit des eaux de surface. Un traitement à la chaux associé à un échange d'ions est à envisager quand il est essentiel non seulement d'éliminer le fer mais aussi d'adoucir l'eau.

L'élimination des sels de fer bivalent par aération se fait en deux temps. Il y a tout d'abord formation d'hydroxyde ferreux par hydrolyse du sel bivalent puis l'oxydation à l'air provoque la formation d'un dépôt d'hydroxyde ferrique.

Quand l'eau contient du bicarbonate ferreux instable, les réactions qui aboutissent à son élimination sont les suivantes:

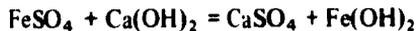


L'aération n'a pas seulement pour effet de saturer l'eau d'oxygène, elle libère également le CO_2 . L'abaissement du pH tend à ralentir les effets de l'aération de l'eau.

L'installation qui sert à éliminer par aération le bicarbonate ferreux se compose:

- a) D'un appareil spécialement conçu pour assurer l'oxydation du fer et la libération du CO_2 .
- b) De bassins de contact où le processus d'oxydation est mené à son terme.
- c) De filtres à sable qui servent à éliminer les boues résultant de l'oxydation du fer.

Si l'eau contient du fer sous forme de sulfate, on recourt au traitement à la chaux. La chaux réagit dans l'eau avec le fer bivalent:



Par oxydation, l'oxygène de l'eau le transforme ensuite en fer trivalent.

Si le fer est présent dans l'eau sous forme colloïdale, l'eau contient aussi des quantités considérables de troubles finement dispersés et de composés organiques complexes et le traitement consiste alors en une coagulation qui se fait de la même manière que la coagulation aux fins de clarification et de décoloration.

Le sulfate d'alumine, le chlorure de fer ou peut-être et surtout un mélange des deux sont utilisés comme coagulants. Pour que la coagulation se fasse dans les meilleures conditions le pH doit se situer entre 5,7 et 7,5.

Elimination de l'huile de l'eau

A l'heure actuelle, on recourt généralement à des procédés mécaniques pour éliminer l'huile des eaux. Des méthodes d'absorption fondées sur l'emploi du carbone actif sont parfois utilisées, surtout quand la teneur de l'eau en huile est très faible (5 à 10 mg/l). Quand la concentration d'huile est plus forte (supérieure à 10 mg/l), on se sert de bassins de séparation (méthode mécanique): l'eau y séjourne un certain temps et l'huile étant plus légère monte à la surface; elle est alors enlevée de la couche supérieure et l'eau s'évacue par le fond du bassin. La prise d'air prévue dans les séparateurs de ce type accélère la séparation.

On a utilisé récemment dans des cas spéciaux des centrifugeuses pour séparer l'huile de l'eau mais cette méthode est très onéreuse.

Des filtres au carbone actif de 1 000 à 2 000 mm d'épaisseur peuvent absorber l'huile à concurrence de 10% de leur propre poids. Le débit de l'eau à travers ces filtres est de 5 à 6 m³/heure.

Adoucissement de l'eau

Par adoucissement de l'eau, on entend l'élimination des ions calcium et magnésium qui donnent sa dureté à l'eau. Plusieurs méthodes existent, celle qui est le plus fréquemment utilisée étant fondée sur un échange d'ions, souvent précédé par un traitement de l'eau par des réactifs. On pallie l'entartrage des chaudières à vapeur à moyenne et à faible pression en faisant subir à l'eau d'alimentation un traitement électromagnétique. La structure cristalline des sels qui forment le tartre est alors détruite et ces sels passent à l'état amorphe.

Adoucissement de l'eau par échange d'ions

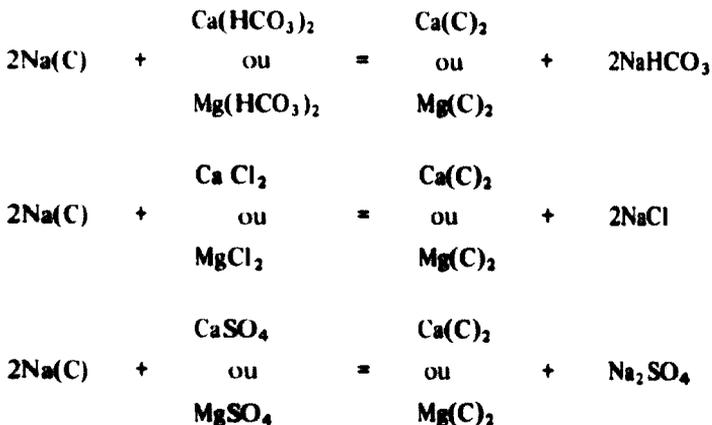
Les résines échangeuses d'ions sont des polymères de synthèse qui réagissent avec les ions dans des solutions diluées. Suivant que les échanges entre la résine et l'eau portent sur des anions ou des cations, on les appelle résines échangeuses anioniques ou cationiques.

La nature des ions échangeables associés à la résine échangeuse d'ions est généralement déterminée par l'utilisateur. Si, par exemple, on souhaite avoir une résine qui échangera des ions sodium contre un autre cation, on commence par traiter l'échangeur à l'aide d'une solution suffisamment concentrée qui contient des ions sodium, généralement des ions chlorure de sodium. C'est ce qu'on appelle la régénération.

Les impuretés de l'eau qui sont les plus courantes et les moins tolérables sont peut-être les ions durcisseurs, à savoir les ions calcium et magnésium. Ils sont responsables de l'entartrage des chaudières, conduites, manchons de condenseurs, circuit de circulation, ustensiles de cuisine et autres équipements en contact avec l'eau chaude. La présence de sels de calcium et de magnésium altère aussi le goût de nombreux produits alimentaires.

Si l'eau dure passe par le filtre échangeur d'ions à lit unique, Ca^{2+} et Mg^{2+} sont remplacés par les cations Na^+ ou H^+ provenant de la résine échangeuse d'ions et la dureté de l'eau peut ainsi être réduite de 0,01 à 0,02 meq/l. L'échangeur de cations perd progressivement sa capacité d'adoucissement mais on peut la lui rendre en le faisant traverser par du sel ordinaire ou de l'acide chlorhydrique.

Quand l'eau passe à travers le lit unique de l'échangeur de cations sodium, les réactions suivantes se produisent :



Le symbole (C) indique la résine échangeuse de cations. Les échanges de cations sodium donnent naissance à des quantités équivalentes de sels de sodium et l'eau devient plus alcaline. Quand on chauffe une telle eau, il s'ensuit une décomposition partielle des bicarbonates en carbonates et ensuite en hydroxides correspondants.

A supposer qu'on filtre l'eau en la faisant passer à travers un échangeur de cations hydrogène (H), au lieu de sels de bicarbonate, chlorure et sulfate de sodium, il y aura dans les équations précédentes des acides libres correspondants (carbonique, chlorhydrique, sulfurique). La présence de ces acides dans l'eau adoucie après échange des cations H entraîne une diminution du pH de l'eau adoucie.

On peut obtenir de l'eau totalement adoucie et présentant le degré d'alcalinité souhaité en faisant passer une partie de l'eau non traitée dans l'échangeur de cations sodium et en mélangeant l'effluent avec celui de la partie passée à travers l'échangeur de cations hydrogène. Cette méthode est particulièrement indiquée quand on a affaire à des eaux non traitées qui présentent une grande dureté et contiennent des sulfates et des chlorures. Il y a dans le monde plusieurs producteurs de résines synthétiques échangeuses d'ions, par exemple Levatit et Permutit en République fédérale d'Allemagne, Warion en Hongrie, Ionac & Amberlite aux Etats-Unis, etc. Toutes ces résines sont efficaces quand la température de l'eau ne dépasse pas 80° C. Elles se présentent sous forme de petites boules de 0.5 à 1 mm de diamètre d'un poids spécifique de 0.8 à 0.95 g/cm³. L'eau à adoucir doit contenir moins de 5 à 8 mg/l de troubles et elle doit être exempte de colloïdes.

La capacité d'échange d'une résine échangeuse d'ions s'exprime en gramme-équivalent des cations retenus par m³ de l'échangeur de cations à l'état dispersé.

L'installation d'adoucissement se compose généralement d'un ou plusieurs filtres remplis de la résine échangeuse d'ions correspondante (échangeurs d'ions).

En plus des échangeurs d'ions, ces installations devraient comprendre un système de régénération, d'entreposage et de dissolution, et une unité de dosage. S'il s'agit d'un échangeur de cations Na, la solution NaCl est préparée dans un récipient distinct relié au filtre par des conduites. La solution est envoyée sous pression dans le filtre. Si HCl ou H₂SO₄ sont utilisés comme régénérants, il faudra pour le transfert de la préparation prévoir des pompes ou éjecteurs résistant aux acides, et des réservoirs isolés et des conduites de caoutchouc. L'échangeur de cation H lui-même devra être isolé au moyen de caoutchouc et à l'épreuve des acides.

La résine est régénérée quand les premières traces de dureté apparaissent dans l'effluent provenant de l'échangeur d'ions. La résine échangeuse d'ions est tout d'abord répandue par brassage. Puis on la fait traverser par une solution de 8 à 10% de NaCl ou HCl (suivant qu'il s'agit d'un échange de cations Na ou H). Enfin la masse est débarrassée des sels et acides par un rinçage qui se fait de haut en bas.

Les échangeurs d'ions et de cations peuvent être du type ouvert ou clos, les seconds fonctionnant sous pression. Tout comme les filtres à sable, ils sont munis de divers raccords et, notamment pour les conduites d'arrivée et de sortie de l'eau, d'un dispositif d'introduction du régénérant et d'une conduite de purge. On y a également prévu un trou d'homme et une ouverture de visite.

Le tableau 19 donne les dimensions caractéristiques d'une série d'échangeurs de cations.

La figure 8 représente un filtre à cations fonctionnant sous une pression maximale de 6 atmosphères. Lors de la mise au point du filtre, il faut veiller à ce que des taux de filtrage obtenus soient corrects (de 10 à 35 m/h). Si le débit est inférieur

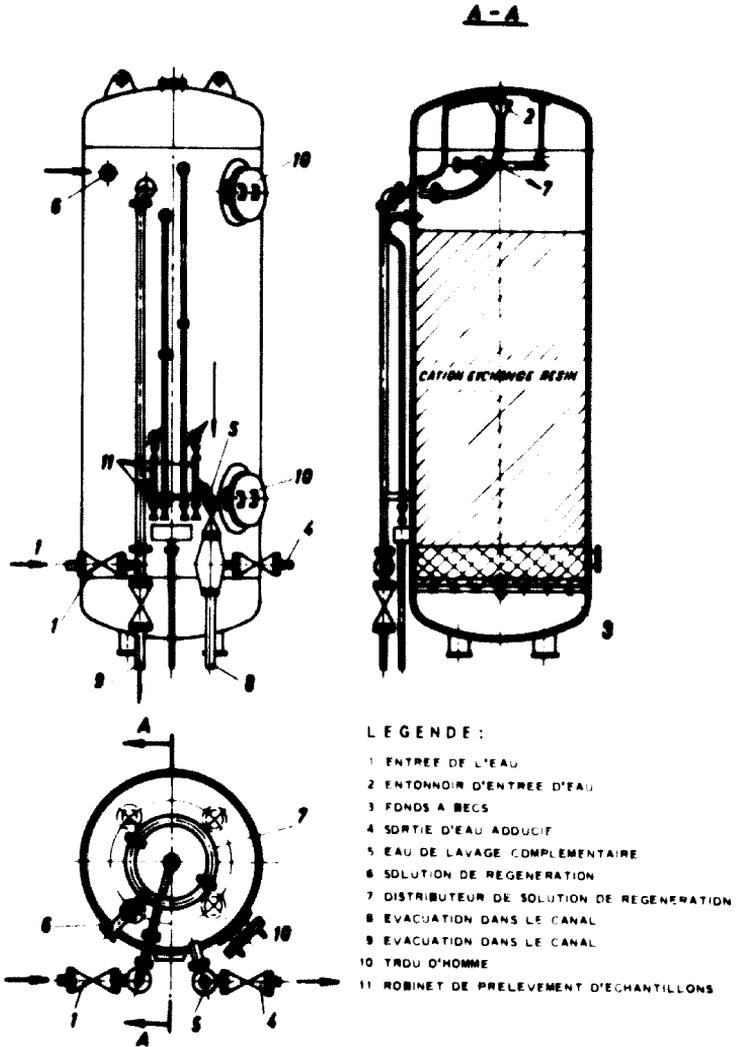


Figure 8. Echangeur de cations fonctionnant sous pression.

TABLEAU 19. DIMENSIONS CARACTERISTIQUES DE FILTRES ECHANGEURS DE CATION Na.

<i>Diamètre extérieur (mm)</i>	<i>Hauteur de colonne (mm)</i>	<i>Section du filtre (m²)</i>	<i>Poids de l'eau et de la résine (t)</i>
1 000	2 200	0,78	4,4
1 000	3 400	0,78	6,2
1 500	2 200	1,77	9,4
1 500	3 400	1,77	13,2
2 000	2 800	3,14	19,2
2 000	4 000	3,14	25,5

à 5 m/h, l'eau n'est pas en contact avec l'ensemble de la masse de la résine, mais seulement avec les parties qui forment des canaux et des passages autonomes et le lit de résine est alors insuffisamment utilisé. Les débits supérieurs à 40 m³/h causent une surcharge excessive de la résine et l'ont également obstacle à sa bonne utilisation.

La figure 9 montre une installation d'adoucissement d'eau utilisant une méthode parallèle à celle de l'échange de cations Na-H.

Les installations où l'on ne procède pas seulement à l'adoucissement de l'eau mais aussi à l'élimination de tous les sels (installations de déminéralisation) ont des unités équipées de filtrages échangeurs d'anions qui peuvent échanger CO₂, SiO₃ et tous les anions de l'eau. Ces installations alimentent uniquement des chaudières qui fonctionnent à très haute pression, comme par exemple dans les centrales thermiques.

Méthodes fondées sur l'emploi de réactifs pour l'adoucissement de l'eau

Les eaux dures peuvent être adoucies par des agents actifs dont les anions forment avec les cations calcium et magnésium des composés peu solubles comme CaCO₃, Mg(OH)₂, Ca₃(PO₄)₂ et Mg(PO₄)₂. Ces substances sont ensuite enlevées sous forme de dépôt par des installations spéciales.

Les particules fines qui ne sont pas déposées dans l'installation en question, sont éliminées de l'eau par un filtre à sable. L'enlèvement de ions calcium et magnésium de l'eau se fait au moyen d'hydroxyde de calcium et de soude caustique (Na₂CO₃); c'est ce qu'on appelle l'adoucissement à la soude et à la chaux.

Les installations d'adoucissement de l'eau dont le fonctionnement est fondé sur ce principe, peuvent fonctionner à la température ambiante; (on les désigne sous le nom d'"installations de traitement à froid"), ou à des températures voisines de 100°C (installations de traitement à chaud).

Le procédé à la soude et à la chaux qui consiste à transformer les sels de calcium et de magnésium des eaux non traitées en solides insolubles, exigent:

- a) Un bon dosage des réactifs chimiques et de l'eau non traitée;
- b) Des mesures visant à activer les réactions chimiques qui précipitent les sels il faut pour cela une combinaison appropriée de coagulation, de sédimentation, de chauffage ou de contact des boues;
- c) Un filtrage de l'eau chimiquement adoucie pour éliminer toutes traces de troubles.

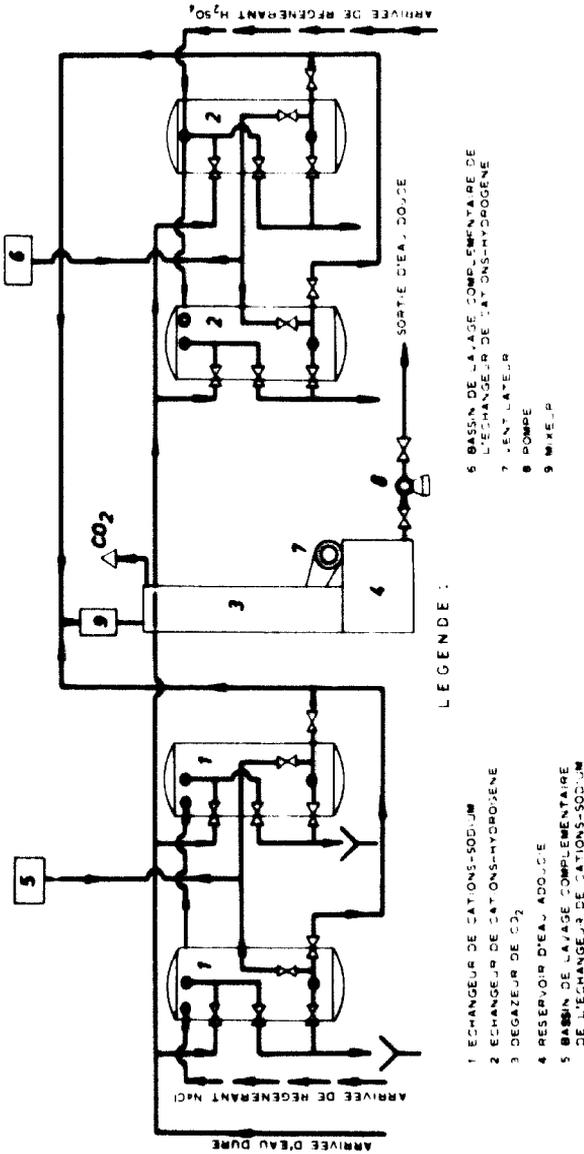


Figure 9. Adoucisseur d'eau, utilisant l'échange de cations, deux cycles sodium et hydrogène.

TRAITEMENT PAR LA CHAUX

	<i>Impureté</i>	<i>Réactif</i>	<i>Précipité</i>
1) Enlèvement du bicarbonate de calcium	$\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ Bicarbonate de calcium	+ $\text{Ca}(\text{OH})_2$ Chaux hydratée	= $2\text{CaCO}_3 + 2\text{H}_2\text{O}$ Carbonate de calcium
2) Elimination du bicarbonate de magnésium ^a	$\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$ Bicarbonate de magnésium	+ $2\text{Ca}(\text{OH})_2$ Chaux hydratée	= $\text{Mg}(\text{OH})_2 + 2\text{CaCO}_3 + 2\text{H}_2\text{O}$ Hydroxyde de magnésium carbonate de calcium
3) Elimination du gaz carbonique libre de l'eau non traitée	CO_2 Gaz carbonique dissout	+ $\text{Ca}(\text{OH})_2$ Chaux hydratée	= $\text{CaCO}_3 + \text{H}_2\text{O}$ Carbonate de calcium
4) Elimination de la dureté permanente due à des sels de magnésium ^b	MgSO_4 MgCl_2 $\text{Mg}(\text{NO}_3)_2$ Sulfate de magnésium Chlorure de magnésium Nitrate de magnésium	+ $\text{Ca}(\text{OH})_2$ Chaux hydratée	= CaSO_4 $\text{CaCl}_2 + \text{Mg}(\text{OH})_2$ $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ Hydroxyde de magnésium

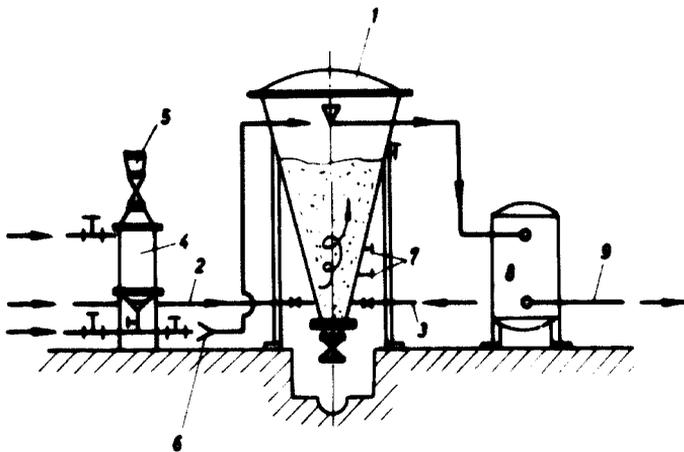
a) L'élimination du bicarbonate de magnésium demande deux fois plus de chaux que l'enlèvement du bicarbonate de calcium.

b) Les sels de calcium ainsi formés sont éliminés par réaction avec la soude caustique.

TRAITEMENT A LA SOUDE CAUSTIQUE

	<i>Impureté</i>	<i>Réactif</i>	<i>Sous-produit</i>	<i>Précipité</i>
Élimination de la dureté permanente due à des sels de calcium	CaSO ₄	+ Na ₂ CO ₃	Na ₂ SO ₄	+ CaCO ₃
	CaCl ₂		= 2NaCl	
	Ca(NO ₃) ₂		2NaNO ₃	
	Sulfate de calcium	Soude caustique	Sulfate de sodium	Carbonate de calcium
	Chlorure de calcium		Chlorure de sodium	
	Nitrate de calcium		Nitrate de sodium	

NOTE: Les sous-produits de cette réaction sont les sels de sodium soluble qui ne forment pas de tartre.



LEGENDE :

- | | |
|--------------------------------------|---------------------|
| 1 REACTEUR RAPIDE | 6 EJECTEUR |
| 2 EAU BRUTE | 7 SORTIE POUR SABLE |
| 3 APPORT EN REACTIFS | 8 FILTRE |
| 4 CELLULE DE DOSAGE DU SABLE | 9 EAU ADOUCIE |
| 5 ENTONNOIR POUR EMPLISSAGE DE SABLE | |

Figure 10. Adoucisseur d'eau à réacteur rapide.

Comme la méthode des réactifs ne permet pas à elle seule un adoucissement de l'eau, on la combine avec la méthode des échanges d'ions. On commence par adoucir l'eau avec de la chaux pour éliminer la dureté due au bicarbonate, puis la dureté permanente est éliminée par les résines échangeuses d'ions.

L'élimination du bicarbonate s'appelle *décarbonisation*. Quand l'eau non traitée est trouble, la décarbonisation peut se faire en même temps que la coagulation; mais s'il s'agit d'une eau claire, elle se fait dans une installation spéciale. Quand la décarbonisation est associée à la coagulation, 30 à 40% de l'acide silicique sont éliminés. La décarbonisation peut être considérablement accélérée par chauffage de l'eau à 30-40°C. Sans chauffage, l'eau adoucie par un réactif est généralement instable et risque de déposer dans les conduites les produits des réactions incomplètes. Comme les impuretés organiques et les troubles de l'eau non traitée ralentissent l'adoucissement, on recourt à une coagulation ou une chloruration préliminaire. Les quantités de chaux à utiliser pour l'adoucissement de l'eau dépendent du rapport entre ions magnésium et calcium et ions du bicarbonate.

Quand les eaux souterraines ou les eaux propres de surface (ne contenant pas plus de 10 mg/l de matières en suspension) doivent être adoucies à la chaux, c'est le réacteur "rapide" qui est choisi, l'eau adoucie étant ensuite filtrée dans les filtres à sable. Les réacteurs rapides peuvent être utilisés quand la dureté imputable au calcium est nettement supérieure à celle qui est due au magnésium ou au carbone. Les réacteurs rapides sont ouverts ou, plus fréquemment, ont la forme de réservoirs coniques fermés munis des dispositifs pour l'amenée de l'eau non traitée et de la chaux dans leur partie basse qui est aussi la plus étroite. L'angle d'ouverture du cône du réacteur est compris entre 15 et 20° (voir schéma d'un réacteur rapide à la figure 10).

Les apports de chaux sont ininterrompus et proportionnels au débit d'eau non traitée et à la dureté imputable au bicarbonate. La chaux utilisée l'est sous forme de lait de chaux d'une densité de 5 à 6° B ou d'eau de chaux saturée.

Les précipités du carbonate de calcium et de l'hydroxyde de magnésium sont happés par les particules de sable qui tombent au fond du réacteur quand elles atteignent une certaine taille d'où on les évacue à intervalles réguliers. La taille des granules de sable qui est de 0,3-0,4 mm à leur introduction dans le réacteur rapide atteint 1,5 à 2 mm au moment de leur évacuation.

Le processus d'adoucissement de l'eau dans les réacteurs rapides prend de 5 à 10 minutes. Le débit d'entrée à la partie inférieure est de 0,8 à 1 m/s, l'allure à laquelle le niveau de l'eau monte dans les déversoirs l'eau décarbonisée est de l'ordre de 4 à 6 mm/s.

Pour que la décarbonisation s'opère bien, il faut que l'installation soit équipée de récipients pour atteindre la chaux, de mélangeurs pour la préparation de lait de chaux, de pompes servant au dosage du lait de chaux et d'instruments de mesure du débit, de la pression et de la concentration de la solution.

Le choix de la méthode de traitement de l'eau

Le plus important est de bien vouloir choisir la méthode de traitement de l'eau quand on étudie une installation pour la préparation des eaux. Ce choix sera fonction de la composition des impuretés des eaux non traitées et de la qualité d'eau requise.

Des analyses physiques et chimiques des eaux de surface non traitées doivent nécessairement être faites tout au long de l'année et si nécessaire plusieurs années de suite. Suivant la turbidité et la coloration de l'eau, on pratique une clarification et une décoloration en un ou en deux temps. Dans le cas du traitement en deux temps, la grande masse des matières en suspension est laissée dans les bassins de sédimentation, les filtres servant à parachever le processus. La capacité maximale des diverses sections d'une installation doit toujours être prise en considération; c'est ainsi que les cuves de sédimentation à couche de boues fonctionnent avec des eaux non traitées dont la teneur en troubles est comprise entre 100 et 2 500 mg/l. Pour les périodes de grande turbidité, il faut prévoir une purification et une clarification de l'eau dans de grandes cuves horizontales de décantation fonctionnant sans coagulation et où les troubles les plus grossiers se déposent. Cette façon d'opérer permet de réaliser des économies considérables de réactifs. Les filtres à sable ne peuvent être utilisés que si la turbidité de l'eau non traitée est inférieure à 50 mg/l.

Quand l'eau a une grande dureté imputable au carbonate, on recourt à une méthode de traitement combinée: décarbonisation suivie d'un adoucissement par l'échangeur de cations Na.

On peut procéder à un échange de cations Na-H au lieu de procéder à la décarbonisation. Quand il suffit d'adoucir partiellement l'eau, l'adoucissement peut se faire au moyen d'un échangeur de cations Na, l'eau adoucie étant mélangée à de l'eau non adoucie dans les proportions voulues.

La méthode utilisée pour enlever le fer des eaux non traitées dépend de la forme sous laquelle se présente le fer dissous.

LA POLLUTION DES EAUX DANS LES DIVERSES BRANCHES DE L'INDUSTRIE ALIMENTAIRE

Dans les régions du monde fortement industrialisées et très peuplées, les cours d'eau deviennent le réceptacle des impuretés industrielles et autres, ce qui a un effet nuisible sur la santé des hommes, sur la flore et la faune des voies fluviales et sur l'industrie elle-même. Par suite de la demande toujours croissante en eau et de la pollution continuelle des sources d'approvisionnement, les réserves d'eau pure s'amenuisent progressivement. Il est donc essentiel de purifier les eaux usées avant de les déverser dans les rivières.

La concentration des substances polluantes est fonction des méthodes de production, des matières premières utilisées et des réactifs entrant dans le processus technologique. C'est pourquoi les impuretés contenues dans les eaux usées varient beaucoup d'une industrie à l'autre.

On peut classer en trois groupes principaux le degré de concentration des eaux usées industrielles:

- a) L'eau propre provenant du refroidissement des surfaces chaudes des installations techniques etc., qui contient souvent des quantités minimales d'agents de pollution. Au point de vue de la qualité, cette eau se rapproche beaucoup de l'eau d'alimentation initiale.
- b) L'eau légèrement polluée qui provient principalement du rinçage des produits finaux et qui contient surtout des corps étrangers ou des substances minérales et organiques et des bactéries. On classe dans cette catégorie une grande partie de l'eau servant au transport et au lavage dans les usines de traitement du sucre, de l'amidon et de l'alcool.
- c) L'eau polluée dont le degré de pollution dépend de nombreux facteurs, tels que consommation spécifique d'eau, qualité du produit, stabilité du processus technique, etc. Dans la même usine, le degré de pollution de l'eau peut varier plusieurs fois au cours d'une même opération. L'eau qui entre dans cette catégorie est contaminée par les corps étrangers et les matières organiques qui fermentent rapidement. Elle comprend l'eau provenant des filtres-presses, du rinçage du matériel utilisé dans les industries sucrières et laitières, etc.

Les eaux usées des deux premières catégories sont remises en circulation ou servent à diluer des eaux fortement polluées. On trouve toutes les formes d'eaux usées mentionnées plus haut dans la plupart des usines.

Indicateurs de qualité des eaux usées

Il faut en premier lieu procéder à l'examen des renseignements sur la qualité des eaux usées lorsque l'on traite de leur épuration, de leur réemploi et de leur évacuation ainsi que de la récupération des impuretés utilisables. Egalement importants sont les renseignements quantitatifs qui comprennent des renseignements sur les quantités quotidiennes d'eaux usées et les irrégularités dans la formation des eaux usées.

Les indicateurs généraux suivants caractérisent habituellement la qualité des eaux usées:

- a) Couleur;
- b) Odeur;
- c) Température (en °C);
- d) Limpidité (obtenue par transparence d'une couche de liquide versé dans un tube gradué, exprimée en cm);
- e) Matières en suspension (mg/l);
- f) Sédiment par volume (mg/l) déterminé après une période de repos des eaux usées de deux heures dans un cylindre gradué;
- g) Sédiment par poids (mg/l) obtenu par dessiccation du sédiment et des matières en suspension à une température de 105°C;
- h) Perte à l'ignition à 600°C;
- i) Consommation de KMnO_4 (mg O_2 par litre). Cet indicateur désigne la quantité d'oxygène nécessaire à l'oxydation des composés facilement oxydables présents dans l'eau résiduelle. Il indique seulement une partie de l'oxygène nécessaire à la minéralisation des eaux usées polluées;
- j) Demande chimique d'oxygène (COD). Cet indicateur désigne la quantité d'oxygène (mg/l) nécessaire à l'oxydation complète de l'eau usée polluée. Grâce à cette oxydation effectuée à l'aide de KIO_3 et d'acide sulfurique concentré, l'azote provenant des matières organiques est transformé en ammoniac, qui réagit avec l'acide sulfurique pour former du sulfate d'ammonium. L'hydrogène des matières organiques est transformé en eau, le carbone en gaz carbonique et le soufre organique en gaz sulfureux;
- k) Demande d'oxygène biochimique (BOD). Cet indicateur désigne la quantité d'oxygène en mg/l nécessaire à l'oxydation des matières organiques dans les eaux usées par les bactéries aérobies. Cette quantité est mesurée à 20°C en diluant l'échantillon avec de l'eau distillée contenant une quantité importante d'oxygène et de substances nutritives;
- l) Stabilité relative. Cet indicateur caractérise la résistance des eaux usées à la putréfaction. Il s'exprime en pourcentage et indique le rapport entre l'oxygène dissous dans le liquide et de l'oxygène provenant des nitrates et des nitrites et la quantité d'oxygène nécessaire à l'oxydation totale des eaux usées polluées;
- m) Oxygène dissous (mg/l);
- n) Réaction active de l'eau (pH);
- o) Acidité ou alcalinité. Elle s'exprime en ml, N ou N/10 de la solution acide ou basique utilisée pour la neutralisation d'un litre d'eau résiduelle;

- p) Quantité (mg/l) de:
- chlorures (Cl^-)
 - phosphates (PO_4^-)
 - sulfates (SO_4^-)
 - nitrates (NO_3^-)
 - nitrites (NO_2^-)
 - calcium (Ca^{2+})
 - magnésium (Mg^{2+})
 - gaz carbonique (CO_2)
 - bicarbonates (HCO_3^-)
- q) Nombre de germes par ml;
- r) Le nombre le plus probable de *B. coli* par litre (pollution fécale)

La pollution des eaux usées peut être d'origine minérale, organique ou bactérienne. Parmi les polluants minéraux, le sable, les particules d'argile, les sels minéraux, et les acides et les bases en solution sont les plus actifs.

La pollution organique peut être d'origine végétale ou animale. La pollution d'origine végétale est celle que l'on rencontre le plus fréquemment dans les eaux usées provenant des usines de traitement des produits alimentaires (résidus de plantes, de fruits, de légumes et d'herbes, de papier et d'huiles végétales). Le carbone est l'élément chimique de base de ces agents de pollution. La pollution d'origine animale comprend les excréments, les tissus animaux, les acides organiques, etc. L'acide est l'élément constitutif fondamental de ces composés.

La pollution bactérienne est principalement due aux micro-organismes vivants, tels que levures et moisissures, petites algues et bactéries diverses.

La dispersion des eaux usées se présente sous forme de matières en suspension, de solution colloïdale et de solution réelle.

Matières en suspension

Les matières en suspension, qui constituent l'élément de composition des eaux usées le plus fréquemment rencontré, comprennent les corps étrangers, les matières non dissoutes, etc. Les matières en suspension peuvent avoir tendance à surnager ou à se déposer.

Les matières en suspension (turbidité) non seulement donnent à l'eau des cours d'eau une apparence déplaisante, mais empêchent aussi la pénétration de la lumière solaire et ont une influence néfaste sur la vie aquatique. De ce fait, elle retarde beaucoup le développement de la microflore et de la faune, surtout dans les courants inférieurs. Une certaine quantité des matières en suspension se fixe dans le lit des rivières où le courant est faible. Les dépôts formés de cette façon sont principalement constitués par des matières organiques décomposées selon les processus métaboliques du monde vivant. Dans les parties du cours d'eau où l'eau coule lentement, est trouble, et ne reçoit pas d'oxygène de la surface, la teneur élevée des matières en suspension provoque la formation de conditions anaérobiques qui se traduisent par un aspect caractéristique déplaisant de l'eau, des odeurs et des gaz nauséabonds, etc.

Substances colloïdales et dissoutes

Les eaux usées sont également contaminées par des colloïdes et des matières dissoutes. Les colloïdes (particules qui ont de 10^{-5} à 10^{-7} cm de diamètre) sont en

général d'origine organique (protéines, graisses et hydrates de carbone). Puisque ces substances ne peuvent pas être séparées de l'eau de la façon normale en se déposant, il faut leur ajouter un coagulant.

Les matières dissoutes dans les eaux usées comprennent des sels non organiques, des acides, des bases, certaines matières organiques, et des gaz. On les élimine à l'aide de réactifs ou d'échangeurs d'ions si ce dernier procédé est plus économique.

Matière organique et demande biochimique d'oxygène

Les eaux résiduelles provenant de diverses industries alimentaires et autres, contiennent différentes espèces de matières organiques. Comme il est souvent difficile voire impossible de déterminer directement la concentration de ces substances, il faut avoir en général recours à des méthodes d'analyse indirecte. Ceci est vrai en particulier pour celles qui déterminent l'oxygène nécessaire à l'oxydation des substances organiques contenues dans l'eau.

On détermine la quantité de matière organique à l'aide de la demande biochimique d'oxygène (DBO) ou de la demande chimique d'oxygène (DCO).

La plupart des substances organiques servent de nourriture à divers micro-organismes. Par suite des activités métaboliques des micro-organismes, les substances organiques sont minéralisées, le carbone se transformant en gaz carbonique, l'hydrogène en eau, l'azote en nitrates, le soufre en sulfates et le phosphore en phosphates.

On appelle demande biochimique d'oxygène totale (DBO) la quantité d'oxygène que consomment les micro-organismes au cours de l'oxydation totale du carbone et de l'hydrogène en gaz carbonique et en eau. En général, l'importance de DBO est proportionnelle à celle de carbone et d'hydrogène contenus dans les substances organiques.

Caractéristiques des eaux usées évacuées pour certaines branches de l'industrie alimentaire

L'eau utilisée dans l'industrie alimentaire sert surtout au lavage (betteraves, pommes de terre, fruits, appareils techniques), au transport des matières premières (betteraves, céréales) et au refroidissement. Une grande partie de cette eau est polluée au cours de ces opérations. Pour évacuer les eaux usées dans les voies d'eau, il est essentiel de se conformer aux recommandations et aux règlements en vigueur pour la branche d'industrie intéressée. L'eau évacuée par l'industrie sucrière, par exemple, peut être dangereuse pour le poisson si, au moment de son évacuation, son taux de dilution est inférieur à 1 : 25. Ce genre d'eau contient de nombreuses substances facilement oxydables, qui consomment en grandes quantités l'oxygène de l'eau.

On trouve le plus souvent des corps étrangers, surtout du sable, de la terre, des feuilles et des racines dans les eaux de rinçage et de transport des fabriques d'alcool, de sucre et dans l'industrie des produits de la pêche.

Les eaux usées dans l'industrie laitière

Les différentes unités de production de l'industrie laitière évacuent des eaux usées porteuses, en quantités variables, d'agents de pollution de types divers. La méthode de traitement des eaux usées est donc déterminée dans chaque cas.

Une fabrique de produits laitiers peut se composer d'unités de préparation, de pasteurisation et d'emballage du lait liquide et d'unités de production de lait en poudre, fromage, beurre et crème, etc.

La pasteurisation du lait évacue des déchets qui contiennent une certaine quantité de lait et des eaux de rinçage. La transformation du lait en beurre ou en fromage laissant un résidu de petit lait, les eaux usées contiennent de la caséine, de la lactose, des albumines et des graisses. La lactose est l'un des ingrédients particulièrement indésirables des eaux usées de l'industrie laitière. Si les eaux usées ne contiennent pas de l'oxygène en quantités suffisantes pour la destruction aérobie, la lactose se transforme en acide lactique, les eaux usées s'acidifient fortement et les sédiments de caséine commencent à pourrir et à dégager des odeurs fortes et nauséabondes.

L'eau de rinçage contient aussi des alcalis et autres détergents.

Le tableau 20 donne la composition de base des eaux usées propres aux installations de laiterie.

Les eaux usées dans les conserveries de fruits et de légumes

De grandes quantités d'eaux sont consommées dans les usines de conserve et de déshydratation des fruits et légumes frais. Les eaux usées contiennent d'importantes quantités de jus de fruits et de légumes, auxquelles s'ajoute l'eau consommée pour préserver l'hygiène des installations. Il en résulte que les eaux usées sont fortement polluées par des matières en suspension et des substances organiques dissoutes et qu'il n'est pas facile de se débarrasser de ces eaux sans polluer le cours d'eau receveur. On peut classer en gros des eaux usées comme suit:

- a) L'eau de pasteurisation et de refroidissement.
- b) L'eau de rinçage de décoloration des produits et de nettoyage du matériel.
- c) Les déchets solides.
- d) Les déchets dus à des produits spécifiques ou à des méthodes spécifiques de mise en conserve.

L'eau usée des conserveries contient également du sable et de la boue (provenant du lavage du produit) et des rebuts (pelures de fruits et de légumes, cosses, fibres végétales).

Comme les conserveries de fruits et de légumes travaillent au moment du mûrissement des denrées, le problème des eaux usées ne se pose qu'à ce moment-là. La plupart des installations sont capables de traiter et de mettre en boîte plusieurs espèces de légumes et de fruits et donc de travailler sans interruption pendant toute la saison. Dans ce cas, elles travaillent souvent 24 heures sur 24, afin d'éviter des pertes; il en résulte une production énorme d'eaux usées, qu'il faut épurer et évacuer sans délai.

La quantité et les caractéristiques des eaux usées en conserverie varient considérablement suivant le produit. Les études sur la demande biochimique en oxygène (DBO) pour les eaux usées des branches d'industries particulières ont donné des résultats très différents. Pour la mise en conserve des asperges, le DBO n'excède pas 100 mg/l; dans la production de jus de fruits, il atteint 4 000 mg/l et, s'il s'agit de jus de fruits très concentrés, 75 mg/l. Par comparaison, le DBO est d'environ 200 mg/l pour l'eau de ville usée.

Les quantités d'eau nécessaires dans le traitement de diverses catégories de fruits et légumes et certaines de leurs propriétés sont énumérées dans le tableau 21.

TABLEAU 20. COMPOSITION APPROXIMATIVE DES EAUX USEES DE LAITERIE.

	Categorie d'installation						
	Pasteurisation	Mise en bouteilles	Fromage	Beurre	Lait aigre	Lait en poudre	Crème glacée
Nombre de m ³ d'eaux usées par tonne de lait traité	1,5	2,10	1,67	0,92	1,25	1,25	—
Eléments des eaux usées							
Quantité de déchets solides (mg/l)	1 141	1 483	1 582	2 422	2 793	2 407	—
Matière en suspension (mg/l)	—	536	751	664	754	—	—
DBO (mg/l)	509	567	998	1 246	1 291	485	—
Agents de pollution des eaux usées	Lait, eau de rinçage	Lait, eau de rinçage	Petit lait, caséine, eau de rinçage	Résidus du traitement du lait, eau de rinçage	Lait avarié, eau de rinçage	Lait avarié, eau de rinçage	Caséine, eau de rinçage

TABLEAU 21. QUANTITE D'EAU NECESSAIRE, CHIFFRES DU DBO ET QUANTITE DE MATIERE EN SUSPENSION POUR CERTAINS PRODUITS.

	<i>Quantité d'eaux usées (en gallons)</i>		<i>DOB (mg/l)</i>		<i>Matière en suspension (mg/l)</i>
Abricots	57	80	200	1 000	260
Asperges	70		100		30
Betteraves	27	65	1 600	5 500	750 2 200
Blé	25	70	1 150	6 000	300 4 000
Carottes	23		520	3 000	1 850
Cerises (aigres)	12	40	700	2 100	20 600
Champignons	6 600		75	400	50 250
Choucroute	20	43	6 300		630
Epinards	160		280	730	90 580
Haricots.	26	44	160	600	60 85
Melons	20	42	2 850	6 900	790 2 500
Pamplemousse	5	56	310	2 000	170 290
Pêches	45	60	1 350		600
Pois	14	56	380	4 700	272 400
Tomates	38	100	180	3 400	170 1 200

Bien que leurs eaux résiduelles provoquent une pollution importante, un grand nombre de conserveries ne procèdent toujours pas, pour plusieurs raisons, à une épuration intensive de leurs eaux usées. La plupart ont en effet une activité saisonnière; de sorte que l'installation d'épuration représenterait pour elles une dépense trop lourde. D'autre part, le caractère des eaux usées varie beaucoup même au cours d'une seule journée. La betterave potagère, notamment, donne des eaux usées colorées; les eaux usées de la choucroute ont une odeur âcre; le traitement des racines donne à l'eau une teneur élevée de matière en suspension; le traitement du blé donne une eau usée blanche, dite: lait de blé; le traitement du citron produit une eau très acide, etc. Il est difficile de monter une installation traitant de façon satisfaisante des eaux usées aussi différentes.

Les eaux usées dans l'industrie de la viande

Les eaux usées de l'industrie de la viande ont une très forte concentration de substances organiques putrescibles. La quantité d'eau nécessaire est normalement calculée d'après le nombre de bêtes à traiter, mais l'importance et le degré de pollution peuvent varier considérablement.

Le tableau 22 donne les chiffres moyens de pollution causée par les eaux usées des abattoirs.

TABLEAU 22. CHIFFRES MOYENS DE LA POLLUTION CAUSEE PAR LES EAUX USEES DES ABATTOIRS.

<i>Bétail</i>	<i>Quantité d'eau nécessaire (m³/t)</i>	<i>DBO (mg/l)</i>	<i>Matière en suspension (kg/t)</i>	<i>Azote (kg/t)</i>	<i>Graisses (kg/t)</i>
Boeuf	12,3	12,5	11,4	1,45	0,98
Porc	16,3	14,2	9,2	1,43	1,50

Cette catégorie d'eaux usées contient des sécrétions d'origine gastrique intestinale, du sang, des graisses et d'autres substances organiques. Ici également, comme dans les autres installations de traitement des aliments, les quantités d'eau varient non seulement d'un jour à l'autre, mais d'une heure à l'autre.

Les eaux usées dans l'industrie du sucre

Les eaux usées de l'industrie du sucre contiennent une grande quantité de déchets toxiques putrescibles. Les eaux usées de lavage et de transport des betteraves sucrières ont un DBO peu élevé et une forte concentration de substances en suspension; celles qui proviennent des diffuseurs et des presses ont un DBO très élevé et contiennent des matières en fine suspension. L'eau de traitement du sucre lui-même ne représentera que 15% de la quantité totale des eaux usées de l'industrie du sucre.

Les quantités et qualités relatives de ces eaux usées sont énumérées au tableau 23.

On épure le mieux les eaux usées de l'industrie du sucre en les faisant passer par des filtres, des bacs de première décantation et des cuves de deuxième décantation.

TABLEAU 23. QUANTITES RELATIVES ET TENEUR DES EAUX USEES DE L'INDUSTRIE DU SUCRE.

<i>Caractéristiques</i>	<i>Eau servant au transport des betteraves</i>		<i>Précipité de chaux</i>	<i>Eaux usées</i>
	<i>Cas A</i>	<i>Cas B</i>		
Quantité d'eau (m ³ /t de betteraves)	7,5	7,5	11	0,3
Matières en suspension (mg/l)	800	400	450	1 300
Matières volatiles %		35		75
Quantité totale de matières (mg/l)	1 200	1 200	3 310	
DBO (mg/l)	200	200	1 420	1 600
DCO (mg/l)	110	175	500	1 500

Eaux usées laissées par les processus de fermentation

Dans les industries utilisant le procédé de fermentation (alcool, bière, vin, levure, etc.), l'eau est utilisée pour le lavage et la clarification des matières premières, pour le refroidissement et à d'autres opérations techniques telles que rinçage des bouteilles, du matériel, etc. Les eaux usées contiennent des produits de fermentation particulièrement nocifs qui ne doivent jamais être évacués dans les voies d'eau.

Les teneurs des résidus de fermentation et des eaux usées pour l'industrie des spiritueux sont précisées dans le tableau 24.

TABLEAU 24. RESIDUS DE FERMENTATION ET CONCENTRATION D'EAUX USEES DE L'INDUSTRIE DES SPIRITUEUX.

	<i>Eaux</i>		
	<i>Résidus de fermentation</i>	<i>Lavage et transport des matières premières</i>	<i>Lavage des tonneaux</i>
Résidus secs (mg/l)	25 510	540	2 450
Résidus de calcination (mg/l)	6 218	320	956
Oxydabilité (O ₂ mg/l)	28 258	45	280
Demande biochimique d'oxygène (DBO)	41 340	—	1 210
pH	6,4	7,05	7,21
Alcalinité (mg/l)	4,8	4,5	10,6

TABLEAU 25. CARACTERISTIQUES DES EAUX USEES DES FABRIQUES DE BIERE ET DE MALT.

<i>Indicateur de qualité</i>	<i>Unité</i>	<i>Fabrique de bière</i>	<i>Fabrique de malt</i>
Troubles	cm	6,5	16
Couleur		Jaune grisâtre	Jaune clair
pH		5,6	6,52
Oxydabilité	mg/l	608	625
Oxygène libre	mg/l	—	—
DBO	mg/l	1 800	1 600
Résidus sec	mg/l	481	1 526
Résidus de calcination	mg/l	237	414
Pertes par calcination	mg/l	244	1 112
Matières en suspension séchée à 105°C	mg/l	88	62

On obtient pour 100 kg de pommes de terre entrant dans le processus de fabrication de spiritueux, 10 kg de sédiment humide, soit d'un poids spécifique d'environ 1 800 kg par mètre cube. Cependant, conformément aux prescriptions sanitaires, les eaux usées qu'on décharge dans les cours d'eau ne doivent pas contenir plus de 30 mg de substances minérales et 10 mg de substances organiques par litre.

Les compositions des eaux usées des fabriques de bière ou de malt sont données dans le tableau 25.

Les eaux usées des installations de fermentation du vin se composent des eaux résiduares des pressoirs de boue, et des eaux de rebut provenant du nettoyage de l'installation. Il est interdit de les évacuer dans les cours d'eau car elles sont fortement colorées.

Les eaux usées des fabriques de levure posent de grands problèmes, à cause de leur forte teneur en protéines, qui se décomposent rapidement et dégagent des gaz nauséabonds.

La composition des eaux usées des fabriques de levure fait l'objet du tableau 26.

TABLEAU 26. CARACTERISTIQUES DES EAUX USEES DES FABRIQUES DE LEVURE.

<i>Indicateur de qualité</i>	<i>Unité</i>	<i>Après la première extraction de levure</i>	<i>Après la deuxième extraction de levure</i>	<i>En production</i>
Couleur		Jaune foncé	Jaune foncé	Jaune foncé
pH		6,0	6,5	4,1
Teneur totale en en azote (N ₂)	mg/l	271	56	42
Oxydabilité	mg/l	2 430	40	450
DBO	mg/l	8 300	1 100	1 100
Résidu sec	mg/l	9 178	1 746	1 696
Résidus de calcination	mg/l	3 086	578	1 012
Perte par calcination	mg/l	6 092	1 168	684
Sulfates (SO ₄ ²⁻)	mg/l	938	113	—

EPURATION DES EAUX USEES A L'USAGE DE L'INDUSTRIE ALIMENTAIRE

L'épuration des eaux usées est une science relativement récente, on ne s'y intéresse que depuis peu de temps. Ceci dit, une série de principes ont été élaborés qu'il convient de respecter en toutes circonstances.

Lorsque apparaissent des réactions chimiques entre les éléments entrant dans la composition des eaux usées industrielles qui produisent divers gaz toxiques ou entraînent l'accumulation de grandes quantités de matières insolubles dans le collecteur, il faut empêcher l'écoulement de ces eaux dans les collecteurs. Il convient de décider, pour chaque cas, du mode d'évacuation des solutions basiques concentrées, étant donné qu'il est interdit de les faire passer directement dans le système d'égout.

Si le degré d'acidité des eaux usées industrielles est très élevé, les conduites d'égouts doivent être protégées par des matériaux résistant aux acides, par exemple par du ciment ou des matières plastiques. Les matériaux de protection en asphalte ou à base de bitume ne présentent pas toujours une résistance suffisante aux solutions organiques (gazoline, benzol) et aux hautes températures.

Certaines usines procèdent, soit régulièrement soit lorsqu'elles s'arrêtent de fonctionner, à l'évacuation de leurs eaux usées "par fournée". Il leur faut donc avoir des réservoirs d'une capacité suffisante pour contrôler l'écoulement des eaux dans le système d'égout et les installations d'épuration. Les réservoirs, où l'on obtient l'uniformité requise dans la composition des eaux usées par mixage mécanique et interréactions chimiques, sont également indispensables.

Lorsque plusieurs usines sont situées dans une même localité, il est dans leur intérêt d'envisager un système commun d'épuration des eaux usées. En effet, quelquefois les eaux usées d'une usine peuvent jouer le rôle de réacteur très efficace pour le traitement des eaux d'une autre usine, d'où l'intérêt que présente un système collectif pour l'évacuation des effluents.

Utilisation des cours d'eau pour l'évacuation des eaux usées

La façon la plus simple et la plus économique d'écouler les eaux usées est de les déverser dans le cours d'eau le plus proche.

Toutefois, si les effluents des installations industrielles et des collectivités locales ne sont pas au préalable traités ou sont insuffisamment épurés, on note que la qualité de ces derniers subit les modifications suivantes:

- a) Modification des propriétés physiques de l'eau (troubles, couleur, odeur);
- b) Apparition de substances flottantes à la surface et de boues au fond;
- c) Modification des propriétés chimiques du cours d'eau (pH, teneur en impuretés organiques et inorganiques, formation de substances toxiques;
- d) Diminution de la quantité d'oxygène dissoute dans l'eau;
- e) Changement dans le nombre et le type des bactéries;
- f) Disparition de la vie aquatique.

Ce type d'évacuation comprend aussi, sur le plan physique, une dilution des eaux usées par celles du cours d'eau récepteur, ce qui peut conduire à un abaissement substantiel de la concentration d'agents de pollution. Quant au processus chimique, il consiste en une neutralisation des acides ou des bases par les bicarbonates et le gaz carbonique contenus dans le cours d'eau. Le processus biochimique se traduit par la minéralisation des éléments organiques de pollution par l'action métabolique des organismes vivants dans le cours d'eau.

Ces diverses réactions entraînent une diminution de la concentration des éléments de pollution et quelquefois même leur disparition. On peut donc dire que les cours d'eau possèdent des propriétés auto-épuratrices et qu'ils peuvent être considérés comme des installations naturelles d'épuration. Cependant, la capacité d'auto-épuration des cours d'eau est limitée. Elle dépend principalement de l'importance du cours d'eau, de la quantité et de la composition des eaux usées qui y sont déversées ainsi que du laps de temps nécessaire à cette épuration. Ce pouvoir d'épuration des cours d'eau revêt une grande importance dans les domaines sanitaire et économique.

La quantité d'eaux usées d'une composition donnée qu'un cours d'eau peut recevoir sans dommages, doit être calculée en fonction du pouvoir d'épuration du cours d'eau. Lorsque celui-ci est insuffisant, il faut procéder à l'épuration des eaux usées ou prévoir un autre mode d'évacuation.

La pollution des eaux usées est due, pour 60% environ, à des matières organiques mortes, dont la plus grande partie est dissoute (environ 55%) mais dont certaines flottent encore à la surface (environ 18%). Ces matières sont constamment soumises de façon permanente à un processus de minéralisation dû à l'action des aérobies si le volume d'oxygène disponible est supérieur à celui qui est nécessaire au processus d'oxydation. Dans le cas contraire, la quantité d'oxygène dissoute dans l'eau diminue et peut même complètement disparaître, et l'on se trouve alors en présence d'une vie anaérobie.

La température a une grande influence sur la teneur en oxygène et la capacité d'auto-épuration du cours d'eau. Si la température augmente, le taux d'oxydation des matières organiques augmente tandis que la solubilité de l'oxygène diminue. C'est pendant les mois d'été que la concentration en éléments de pollution est la plus forte.

Aux températures élevées il peut facilement se produire une rupture d'équilibre dans la composition d'oxygène du cours d'eau, notamment lorsque l'aération est insuffisante. Pendant les mois d'hiver, la solubilité de l'oxygène s'élève, tandis que l'action biochimique des micro-organismes diminue d'intensité. Ce phénomène ralentit la décomposition des matières organiques et diminue donc la capacité d'auto-épuration du cours d'eau.

Le pH d'un cours d'eau tend à demeurer à un niveau de quasi-neutralité, s'il comprend des quantités suffisantes de bicarbonates $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ et $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$, ces substances étant capables de neutraliser des quantités correspondantes d'acides ou de bases.

Conditions régissant l'écoulement des eaux usées dans les cours d'eau

Les eaux usées déversées dans les cours d'eau peuvent présenter un degré de pureté suffisant pour ne pas nuire à la vie aquatique et être utilisées à des fins industrielles et même comme eau de boisson dans certains cas. Chaque pays fixe, en fonction de ses conditions particulières, la concentration maximum autorisée.

On peut répartir les cours d'eau en deux groupes.

- a) Ceux utilisés à des fins sanitaires et pour la consommation humaine
- b) Ceux servant à la pisciculture.

La composition et les propriétés de l'eau, prélevée à un poste de contrôle situé au moins à un kilomètre en amont du point de prise d'eau de l'usine doivent répondre aux normes figurant dans le tableau 27.

TABLEAU 27. CONCENTRATION MAXIMALE DE SUBSTANCES NOCIVES AUTORISEES DANS UN COURS D'EAU (mg/l)

<i>Élément ou composé</i>	<i>Usage sanitaire et consommation humaine</i>	<i>Pisciculture</i>
Plomb	0,1	0,1
Arsenic	0,05	0,05
Fluor	1,5	Pas de réglementation
Cyanures	0,1	0,05
Cuivre	0,1	0,01
Zinc	5,0	0,01
Nickel	0,1	0,01
Cobalt	1,0	Pas de réglementation
Chlore (suite)	Exempt	Exempt
Hydrogène sulfuré	1,0	1,0
Térébenthine	0,2	Pas de réglementation
Styrène	0,1	Pas de réglementation
Chrome	0,1	Pas de réglementation
Fer	0,1	Pas de réglementation
Manganèse	Pas de réglementation	Pas de réglementation
Ammoniaque	Pas de réglementation	50,0
Sels d'ammoniaque	Pas de réglementation	0,1
Tanin	Pas de réglementation	10,0

L'augmentation initiale de la concentration des matières en suspension ne doit pas dépasser 0,25 mg/l pour les cours d'eau de la première catégorie et 0,75 mg/l pour ceux de la seconde catégorie. Quels que soient la saison et le cours d'eau la teneur en oxygène dissout ne doit pas être inférieure à 4 mg/l ni à moins de 6 mg/l dans les cours d'eau utilisés pour la pisciculture.

Épuration des eaux usées: méthodes et matériel

Il existe divers moyens et matériel pour éliminer en partie ou en totalité les substances toxiques contenues dans les eaux usées. Le tableau 28 illustre les résultats que donnent les méthodes les plus simples d'épuration des eaux usées, exprimés en abaissement du pourcentage de DBO (demande biochimique d'oxygène), de matières en suspension et de bactéries.

Ce tableau permet de choisir la méthode qui convient le mieux dans les cas les plus simples. La composition exacte des eaux usées est déterminée au moyen d'analyses chimiques et sur la base de tableaux types indiquant approximativement la composition moyenne des eaux usées d'une agglomération ou des eaux industrielles, compte tenu du degré de dilution donné (consommation d'eau).

TABLEAU 28. EFFICACITE DES METHODES D'EPURATION EN FONCTION DU POURCENTAGE DE MATIERES ELIMINEES DES EAUX USEES.

<i>Méthode d'épuration</i>	<i>DBO</i>	<i>Matières en suspension</i>	<i>Bactéries</i>
Tamis	2-20	15-20	10-20
Chloration des eaux usées décantées	15-30	-	90-95
Décantation normale (2h)	25-40	40-70	25-75
Précipitation par un agent chimique (coagulation et sédimentation)	50-85	70-90	40-80
Sédimentation normale avec filtration rapide	50-90	80-95	-
Décantation normale, filtre biologique, décantation secondaire	80-95	70-92	90-95
Décantation normale, carbone actif et décantation secondaire	85-95	85-95	90-98
Traitement biologique et chloration	-	-	98-99

Parmi les méthodes élémentaires d'épuration des eaux usées figurent les procédés mécaniques, chimiques, physicochimiques et biologiques.

L'épuration mécanique permet d'éliminer les agents de pollution qui se présentent généralement sous forme d'éléments non solubles ou de colloïdes. Les particules plus grosses et les déchets industriels (bourre, papier) sont retenus par un tamis. Les déchets fins en suspension dans l'eau sont éliminés à l'aide d'un crible ou d'une couche de sable. La plupart des agents de pollution sont d'origine minérale et leur poids spécifique est considérablement plus élevé que celui de l'eau (sable, déchets, etc.); on utilise dans ce cas des filtres à sable. Quant aux éléments de

pollution d'origine organique en suspension, ils sont séparés principalement par décantation. Les substances plus légères que l'eau (graisses, naphtes, goudron) flottent à la surface et peuvent être recueillies. On utilise le plus souvent pour éliminer ces substances des eaux industrielles usées, un système de filtres de graisse et d'huile.

Les procédés chimiques et physiques (neutralisation, flottation, adsorption, extraction, etc.) permettent principalement d'éliminer les matières insolubles et solubles qui constituent des éléments de pollution partiellement colloïdaux.

L'épuration biologique est l'aboutissement de l'activité métabolique des micro-organismes qui désagrègent les matières organiques pour leur donner une dispersion colloïdale. C'est par cette méthode que l'on peut éliminer la quasi-totalité des matières organiques qui subsistent après l'épuration mécanique. Une installation d'épuration biologique peut fonctionner: *a)* dans des conditions proches de celles que l'on trouve dans la nature (champs d'irrigation, lacs) ou *b)* dans des conditions créées artificiellement (filtres biologiques, filtres à air, cuves à air).

L'épuration mécanique et biologique produit de grandes quantités de boues, qui ont tendance à se putréfier. Il faut donc avoir un matériel spécial permettant de les traiter (fosses septiques, cuves à méthane, champs d'épandage).

Équipement pour l'épuration mécanique des eaux usées

Cet équipement comprend des tamis, des broyeurs, des bacs de sable, des séparateurs de graisses et d'huiles, des bassins de décantation et le réservoir où l'on procède au mélange et à l'homogénéisation des eaux usées.

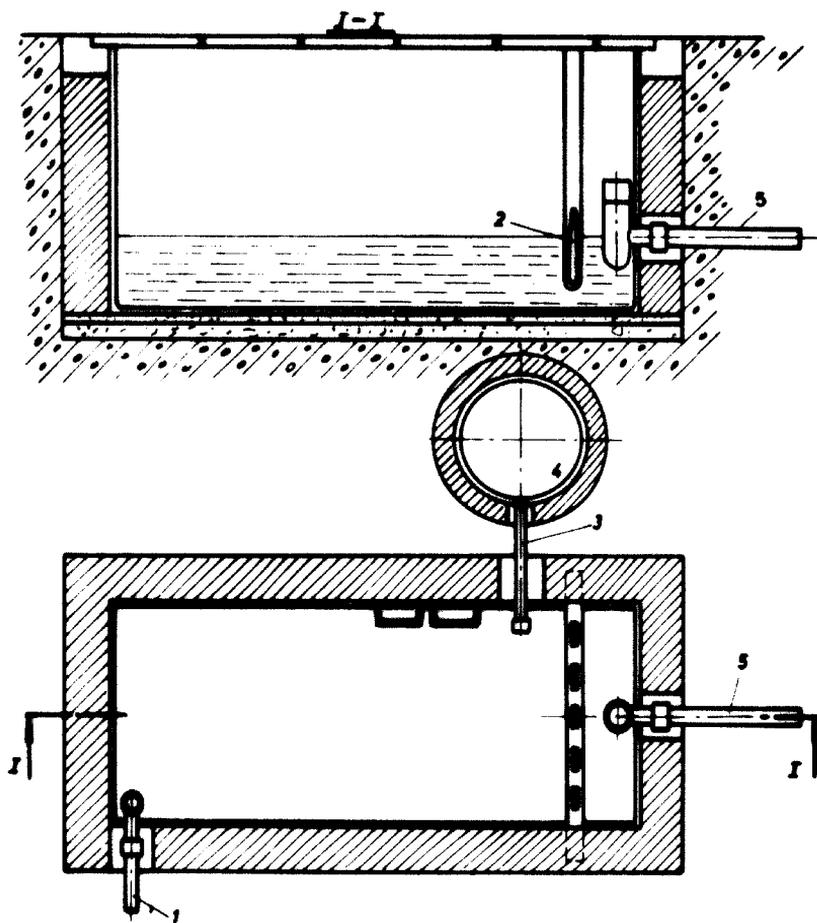
On trouve des quantités considérables de déchets de graisses et d'huiles dans l'effluent des usines assurant le traitement de l'huile à usage alimentaire ou technique telles que les abattoirs ou les usines de traitement de la viande. Ces déchets sont enlevés des eaux usées au moyen de dispositifs spéciaux appelés séparateurs de graisses. Il est nécessaire d'employer cet équipement si l'on veut éviter l'engorgement des tuyaux, l'utilisation excessive d'équipements biologiques pour le traitement des éléments de pollution organiques restants et permettre, enfin, la réutilisation des huiles et graisses récupérées.

Un séparateur de graisses (voir figure 11) se présente sous la forme d'un réservoir rectangulaire d'une profondeur moyenne de 2 m. On garde habituellement les eaux usées dans ces réservoirs pendant 5 à 7 minutes. Ceux-ci sont munis d'une cloison spéciale située sous l'eau à quelque 30 à 40 cm du fond. Dans certains types particuliers de séparateurs, on introduit de l'air pour améliorer la séparation des graisses.

Les bassins de décantation sont utilisés pour séparer les matières en suspension et les colloïdes, lorsque les règlements sanitaires exigent uniquement que les eaux usées soient débarrassées d'impuretés mécaniques. On peut également les utiliser pour l'épuration préliminaire si les eaux usées sont recueillies ensuite afin d'être envoyées à un laboratoire pour un traitement biologique.

Les bassins de décantation se rangent en deux catégories, suivant qu'ils sont placés avant l'équipement biologique d'épuration (bassins primaires) ou après (bassins secondaires).

Ces bassins peuvent être horizontaux, radiaux ou verticaux. On utilise les bassins horizontaux, dans lesquels l'enlèvement des eaux usées se fait horizontalement, lorsqu'il faut épurer des quantités relativement importantes d'eaux usées (jusqu'à 20 000 m³ par jour). Les bassins radiaux fonctionnent selon le même principe, mais



LEGENDE :

- 1 APPORT D'EAUX USEES
- 2 CLOISON IMMERGEE
- 3 TUYAU DE SORTIE DES GRAISSES
- 4 RESERVOIR DE GRAISSES
- 5 TUYAU D'EVACUATION DE L'EAU

Figure 11. Schéma d'un séparateur de graisses.

le courant horizontal d'eau est dirigé du centre du bassin vers les bords. On les utilise également pour traiter de larges quantités d'eaux usées (plus de 20 000 m³ par jour). Les bassins verticaux sont conçus de telle façon que l'eau s'écoule par ressauts (de bas en haut). Ils servent au traitement de quantités relativement faibles d'eaux usées (moins de 10 000 m³ par jour).

Le type de bassin de décantation à choisir dépend de plusieurs facteurs: volume des eaux usées, quantité de boue et ses caractéristiques (faculté de condensation, putrescibilité), enlèvement de la boue du bassin et son traitement ultérieur, conditions locales telles que profil du terrain, niveau des eaux souterraines, matériaux de construction utilisés et toute une série de paramètres technicoéconomiques.

On installe à côté des bassins de décantation l'équipement qui permet de clarifier les eaux usées industrielles de toute nature, en particulier si on commence par les coaguler. A l'inverse des bassins de décantation, qui sont relativement peu sensibles aux changements de volume et de température des eaux usées qu'ils reçoivent, l'équipement qui sert à clarifier les eaux peut être endommagé s'il se produit des modifications relativement faibles de la température de l'effluent.

Les données de base nécessaires aux calculs d'ordre hydraulique et technologique pour les bassins de décantation de toutes catégories portent notamment sur la qualité des eaux usées, la densité de l'eau et des boues et la cinétique de sédimentation des impuretés insolubles.

La composition et le volume des eaux usées industrielles présentent généralement des variations considérables à cause de l'emploi inégal de l'eau dans le processus de production. Ces variations compliquent considérablement la mise au point d'un système d'égouts industriel et notamment l'exploitation de stations d'épuration.

Des variations importantes dans l'alimentation en eaux usées font obstacle au bon fonctionnement des bassins de décantation et des filtres et les modifications qui interviennent dans la composition des eaux usées entravent l'exploitation normale de l'équipement de neutralisation et d'oxydation. Il est donc nécessaire, dans la plupart des cas, d'équilibrer la composition des eaux usées. Ceci s'effectue soit en mélangeant des eaux usées de composition différente soit en introduisant divers réactifs. Dans le premier cas, on utilise un équipement d'homogénéisation et dans le second un appareil de mixage.

On utilise des lacs naturels ou de petits lacs artificiels et des réservoirs spéciaux d'homogénéisation pour homogénéiser la concentration d'eaux usées. En dépit du volume relativement important des eaux, l'effet d'homogénéisation qui est obtenu n'est généralement pas très fort car il dépend de l'écoulement de l'eau, des variations de température, du vent, etc.

Le plus souvent, l'équipement de mixage comprend des bassins étroits munis de cloisons perforées ou de mixeurs mécaniques. Ces derniers sont considérablement plus efficaces du fait que la baisse de la pression du courant principal des eaux usées est beaucoup moins grande. Ils sont également efficaces lorsque l'alimentation des eaux est inégale. Leur emploi présente en outre certains avantages dans les cas où l'on introduit par la suite un réactif dans les eaux usées.

Méthodes chimiques d'épuration des eaux usées

Les méthodes chimiques les plus importantes d'épuration des eaux usées sont la coagulation, la neutralisation et la chloruration (qui peut être également considérée comme une méthode biologique).

La coagulation provoque le dépôt des substances en suspension et des substances colloïdales qui n'ont pas été séparées par sédimentation normale. A cette fin, certains réactifs (sulfate d'aluminium, sulfate ferreux, chlorure ferrique et quelquefois même un mélange de ces substances) sont ajoutées aux eaux usées avant leur déversement dans le bassin de décantation.

La neutralisation est indispensable pour le traitement des eaux usées contenant d'importantes quantités d'acides et de bases lorsqu'il est interdit de les déverser dans le système d'égouts ou dans des cours d'eau. Certaines des méthodes de neutralisation utilisées comportent les opérations suivantes:

- a) Mixage direct des eaux usées acides et basiques avant déversement dans le système d'égouts;
- b) Mixage des eaux usées acides avec l'eau basique des égouts;
- c) Addition d'un réactif neutralisant (chaux).

Les eaux usées sont plus souvent acides qu'alcalines. Les eaux usées très acides sont nocives pour la vie aquatique et l'équipement d'épuration. Les eaux usées industrielles contiennent des acides forts (acide chlorhydrique et acide nitrique) dont les sels calciques se dissolvent bien dans l'eau, des acides forts (acide sulfurique) dont les sels calciques sont peu solubles dans l'eau et des acides faibles (acide acétique).

La neutralisation des acides forts dont les sels calciques se dissolvent mal dans l'eau est extrêmement complexe en raison de la formation d'une quantité considérable de boue à laquelle elle donne lieu. La présence de cette boue ne nécessite pas seulement la création d'une installation de décantation mais ralentit également le processus de neutralisation car elle se forme sur la surface de la substance à neutraliser. Par contre, il est relativement simple de neutraliser des acides dont les sels calciques se dissolvent facilement dans l'eau.

Méthodes physicochimiques d'épuration des eaux usées

Les méthodes physicochimiques d'épuration des eaux usées comprennent l'extraction, l'adsorption et la flottation.

L'extraction est basée sur la différence de solubilité de l'agent de pollution dans deux liquides non miscibles mis intimement en contact. Les solvants organiques qui ne se mêlent pas à l'eau (benzine, huile minérale, tétrachlorure de carbone, etc.) sont habituellement utilisés comme agents d'extraction. L'extraction s'effectue dans des réservoirs métalliques cylindriques. Un solvant dont le poids spécifique est inférieur à celui de l'eau est ajouté par le bas et s'élève vers la partie supérieure. L'eau usée est introduite par le haut et tombe au fond où elle est évacuée. Dans sa chute, l'eau entre en contact avec le solvant et se libère graduellement de l'agent de pollution. On applique aujourd'hui, notamment en République fédérale d'Allemagne, la méthode d'extraction surtout pour éliminer le phénol.

De nombreux déchets industriels contiennent des substances organiques en faible concentration qu'il est difficile ou impossible d'éliminer au moyen d'un traitement biochimique classique. C'est le cas des détergents et de certains composés organiques et hétérocycliques. On élimine fréquemment ces matières par adsorption sur une surface active solide. Les adsorbants les plus courants sont le carbone activé et le gel de silice. Il existe deux méthodes principales d'adsorption: le mélange des eaux usées et d'une certaine quantité d'adsorbants, avec sédimentation supplémentaire (adsorption statique) et le filtrage des eaux usées à travers une couche d'adsorbant (adsorption dynamique).

La flottation sert à éliminer des eaux usées les déchets solides. Les eaux usées sont saturées d'air sous pression. Ce mélange de liquide et d'air pressurisé, qui a été versé dans la cellule de flottation sous pression atmosphérique, dégage de petites bulles d'air. Ces bulles d'air s'attachent aux particules des flocons et les portent à la surface, où elles sont écumées. On enlève le liquide clarifié par la partie inférieure de la cellule de flottation et on peut à nouveau verser une partie de l'effluent dans la chambre à pression.

Méthodes biologiques d'épuration des eaux usées

Il est possible d'épurer biologiquement l'eau par aérobie ou par anaérobie. Au cours de la décomposition anaérobie (qui se produit en l'absence d'oxygène), les anaérobies facultatifs provoquent la décomposition des déchets organiques en acides organiques, lesquels se décomposent ensuite en gaz carbonique et en méthane. Les organismes de méthane sont des anaérobies au sens strict du terme. Toute série entière de micro et de macroorganismes est provoquée par la décomposition aérobie (se produisant en présence d'oxygène) tandis qu'en pratique, seules des bactéries interviennent dans le processus d'auto-épuration anaérobie. Les eaux usées de nombreuses installations industrielles contiennent de grandes quantités de substances organiques, dont la concentration peut être 10 fois plus forte que celle qui se trouve dans les eaux usées ménagères. Seule l'épuration biologique permet l'élimination complète de ces substances organiques. Les processus biochimiques sont les mêmes dans l'épuration des eaux usées industrielles et dans l'épuration des eaux usées ménagères. Dans le premier cas, cependant, les taux sont habituellement moins élevés, surtout si les eaux usées industrielles contiennent des substances biologiquement toxiques.

Les facteurs fondamentaux qui exercent une influence sur l'épuration biologique sont:

- a) L'aptitude de la matière organique à se décomposer sous l'action de micro-organismes.
- b) La concentration de l'agent de pollution.
- c) La présence de substances concentrées susceptibles d'avoir un effet toxique sur les micro-organismes.
- d) La présence de la matière nutritive nécessaire (azote, phosphore, potasse).
- e) La réaction active (pH) des eaux usées

Les micro-organismes dissolvent biochimiquement la plupart des composés organiques, à quelques exceptions près, dont certains composés organiques de chlore. L'activité biologique des micro-organismes en fonction du degré de concentration de matières organiques dans les eaux usées. Pour chaque composé, il existe une concentration optimale, au-delà de laquelle l'activité biologique des micro-organismes décroît et cesse. Les eaux usées industrielles contiennent souvent des composés, qui exercent des effets toxiques sur les micro-organismes. Par exemple, à une concentration de cuivre de 0,1 mg/l, le processus biochimique n'est pas arrêté; à une concentration de 0,5 mg/l le processus de décomposition est considérablement ralenti et à 10 mg/l, il s'arrête. Les cyanures affectent l'oxydation de l'ammoniac en nitrates à une concentration aussi peu élevée que 0,5 mg/l.

Les deux principaux procédés d'épuration biologiques des eaux usées qu'on a parfois intérêt à combiner sont l'utilisation de filtres à percolation et l'utilisation de boue activée. Tous deux nécessitent un apport en oxygène.

Dans les filtres à percolation, l'air jaillit librement de la base à travers le filtre, vu l'écart entre les températures naturelles internes et externes. Cet écart est augmenté par l'activité bactériologique elle-même. L'eau à traiter est répandue également sur la surface du filtre par des distributeurs rotatifs. Pendant le passage de l'eau à travers le filtre se forme une pellicule biologique dans laquelle les organismes essentiels au traitement prolifèrent. Cette pellicule est également propice au développement de vers, larves et autres formes de vie, qui s'en nourrissent et l'empêchent donc de boucher les interstices du filtre. Grâce à cette activité, une partie de la pellicule se détache habituellement et est évacuée avec l'effluent comme humus ou matière fine en suspension.

Le traitement par boue activée est basé sur l'aération mécanique de l'effluent dans un bassin adéquat. Ou bien, l'air comprimé est soufflé dans l'eau par des diffuseurs poreux, ou bien la surface de l'eau est violemment agitée par un courant électrique pour qu'elle absorbe l'oxygène atmosphérique. Lorsqu'un effluent organique est aéré, une boue biologiquement active se forme. Le mélange de boue et d'effluent est recueilli et réintroduit dans le réservoir d'aération. Ce mélange de boue active et d'effluent en présence d'oxygène oxyde la matière organique. Certains effluents ne forment pas facilement une boue active et nécessitent parfois un ensemencement en bactéries appropriées. Les eaux d'égouts ménagères sont très propices à la formation de boue, mais leur quantité est souvent insuffisante.

L'humus des filtres à percolation doit être séparé avant déversement de l'effluent dans une voie d'eau. Cette opération s'effectue dans des bassins de décantation analogues à ceux qui servent à la décantation primaire. Ensuite, l'humus est généralement versé à nouveau dans les bassins de sédimentation primaire dans lesquels il se dépose avec la boue primaire beaucoup plus grossière.

Les bassins de décantation ou des installations de boue active doivent permettre une élimination permanente de la boue; cette boue se décompose en effet rapidement et doit donc être enlevée rapidement du bassin de décantation. On l'élimine au moyen de racloirs à boue mécaniques, qui doivent être spécialement conçus en vue d'assurer un parfait nettoyage du fond. Comme il faut éliminer les excédents de boue activée qui se forment pendant le traitement, on les renvoie habituellement dans le bassin primaire.

Quel que soit le procédé d'élimination des excédents, il importe tout d'abord de réduire la masse de matières en enlevant autant d'eau que possible. La méthode la plus simple consiste à verser la boue humide sur deux séchoirs, qui sont de minces lits de cendres où la boue se débarrasse de son eau. La boue séchée peut ensuite être enlevée. Comme cette méthode nécessite très souvent beaucoup d'espace, il peut être plus économique de séparer l'eau de la boue par un procédé mécanique dans les filtres à pression ou à vide continu.

On fait également conjuguer ces méthodes avec la digestion anaérobie et laisser la boue dans un réservoir adéquat pendant un certain nombre de jours, où elle fermentera si les conditions s'y prêtent. Ceci réduit considérablement la masse de boue, qui devient beaucoup plus facile à manipuler.

Le processus de digestion libère un gaz contenant une grande proportion de méthane. Si la taille de l'entreprise permet les investissements nécessaires, ce gaz peut être recueilli et utilisé comme source d'énergie.

Les figures 12 et 13 sont des diagrammes des méthodes, décrites ci-dessus, d'épuration biologique des eaux usées.

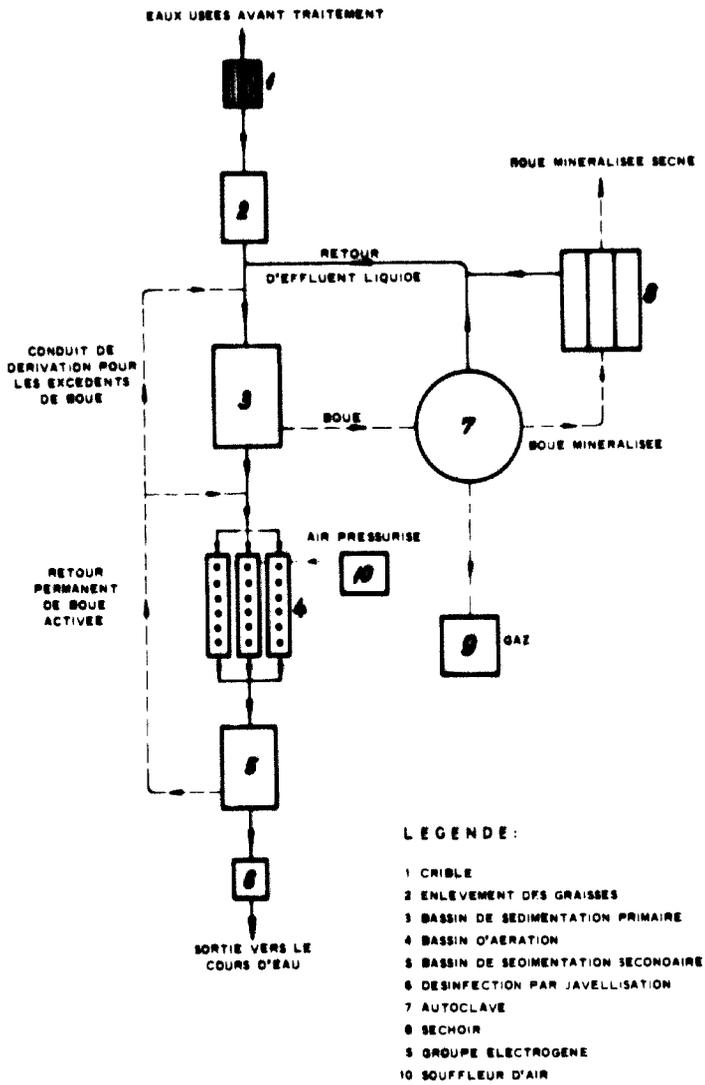
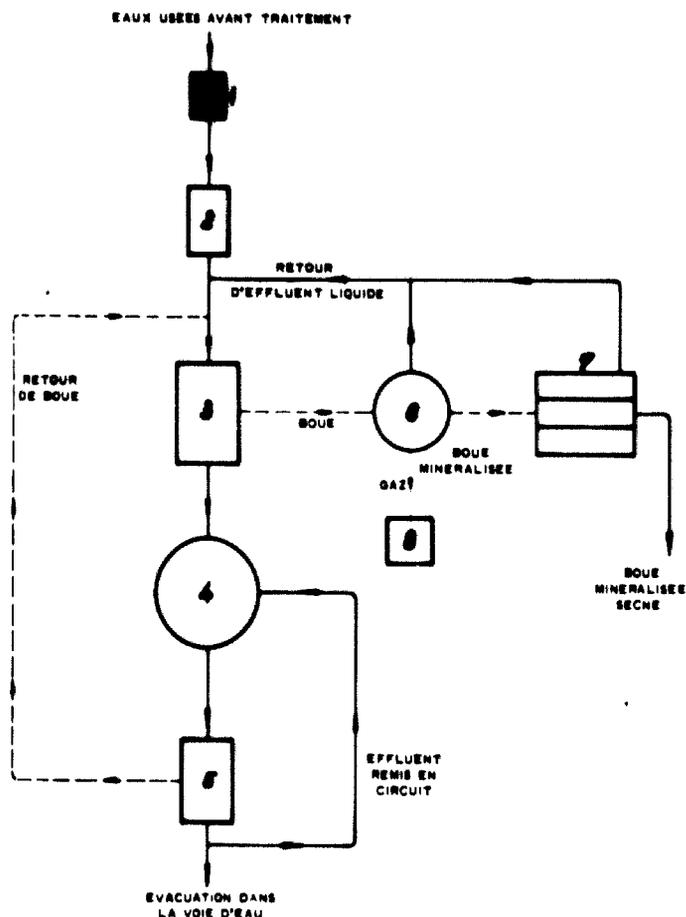


Figure 12. Installation et traitement à boue activée des eaux usées de l'industrie de la viande.



LEGENDE :

- | | |
|------------------------------------|--------------------------------------|
| 1 CRIBLE | 5 BASSIN DE SEDIMENTATION SECONDAIRE |
| 2 ENLEVEMENT DU SABLE | 6 AUTOCLAVE |
| 3 BASSIN DE SEDIMENTATION PRIMAIRE | 7 SECHOIRS |
| 4 FILTRE A PERCOLATION | 8 GROUPE ELECTROGENE |

Figure 13. Schéma d'une installation de filtration pour l'épuration des eaux usées de l'industrie du sucre.

Désinfection des eaux usées par chlorination

Bien qu'environ 95% des bactéries des eaux usées soient détruites grâce à l'épuration biologique, leur destruction totale ne peut être accomplie que par la désinfection. Le procédé le plus courant de désinfection est la chlorination, mais d'autres procédés sont également appliqués, tels que l'électrolyse, les rayons ultraviolets, etc.

Les doses de chlore, exprimées en grammes de chlore au m^3 d'eaux usées, dépendent des conditions locales, de la méthode d'épuration des eaux usées et de la voie d'eau. On peut classer les doses comme suit: pour les eaux usées épurées par des procédés mécaniques, 25 g/m^3 ; pour les eaux usées non complètement épurées dans les réservoirs d'aération et dans les filtres à percolation, de 10 à 15 g/m^3 ; et pour les eaux usées complètement épurées dans les réservoirs d'aération et les filtres, 5 à 10 g/m^3 .

Une installation de chlorination à la chaux chlorée comprend une unité pour la préparation de la solution de chaux chlorée, des accessoires, un mélangeur et un réservoir de contact. La solution dont la concentration atteint de 10 à 15% est versée dans le réservoir de dosage où elle subit une dilution de 2 à 3% . Elle est ensuite envoyée dans le réacteur à sédimentation où elle n'agit pas simplement comme désinfectant mais favorise la coagulation et une sédimentation complémentaire.

L'ECONOMIE D'EAU DANS L'INDUSTRIE

Une bonne illustration de la conservation de l'eau industrielle est le système de refroidissement en circuit fermé (recyclage) déjà examiné (p.24). Ce système devient le seul économique dans les régions industrielles où les sources d'eau sont limitées. La construction, le fonctionnement et l'entretien de ce type de système reviennent moins cher que ceux de la prospection de nouvelles sources d'eau naturelle.

Utilisation échelonnée de l'eau

Si l'eau est rare ou si les procédés de traitement de l'eau sont très onéreux, la même eau peut être utilisée à des fins techniques diverses, à condition que le degré de pollution qu'elle a atteint au cours d'une opération donnée soit moins élevé que celui qu'elle atteindra au cours de la suivante (utilisation échelonnée de l'eau). Ainsi, l'eau pure ou épurée est utilisée tout d'abord pour les applications qui ne la polluent pas ou très légèrement, ensuite pour les applications qui la polluent un peu et ainsi de suite jusqu'au degré maximum de pollution acceptable au cours de la production.

La figure 14 est un schéma général d'utilisation échelonnée de l'eau dans l'industrie alimentaire.

Réemploi de l'eau

En raison de la réglementation plus stricte sur la pollution des eaux et de la consommation croissante d'eau douce, l'utilisation des eaux polluées prend de plus en plus d'importance. Les spécialistes de l'eau étudient depuis peu le problème posé par le recyclage intégral des eaux polluées, objectif qui peut paraître de prime abord chimérique ou même inutile.

Dès qu'il est évident que remettre en service une eau déjà utilisée est moins onéreux que transporter l'eau d'une source d'eau naturelle, l'industrie exploitera nécessairement les possibilités offertes par les opérations en circuit fermé. Certaines aciéries, raffineries, stations électriques et certaines installations alimentaires qui fonctionnent toute l'année ont en fait réalisé des cycles fermés parfaits.

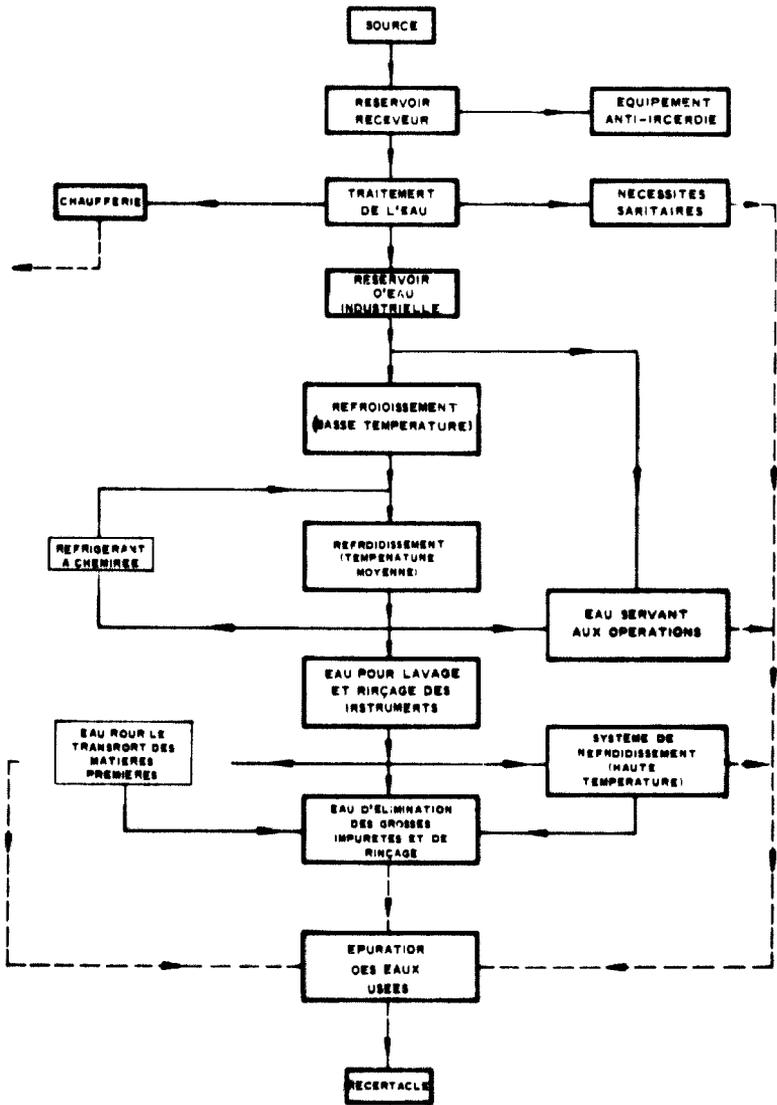


Figure 14. Schéma de l'utilisation échelonnée de l'eau dans l'industrie alimentaire.

On réemploie de plus en plus l'eau une fois qu'elle a été épurée pour satisfaire aux exigences de qualité d'un traitement particulier. Avant d'adapter ce système, on doit considérer les facteurs suivants:

- a) Le coût de l'eau à partir de la source disponible, y compris les coûts de transports et d'épuration.
- b) Les coûts résultant par ailleurs de la pollution de la voie d'eau, dans laquelle les eaux usées sont déversées; cette voie d'eau devra en effet être ensuite épurée par les autres utilisateurs.
- c) Les pertes de matières de valeur qui sont dues aux processus de production, et qui sont évacuées avec les eaux usées.
- d) Les règlements de qualité des eaux usées imposés par les autorités locales, souvent plus stricts que ceux qui régissent l'utilisation industrielle des eaux.

Considérations de coût dans le fonctionnement des installations d'épuration des eaux

Parmi les facteurs importants dont dépend le choix du meilleur emplacement pour une usine, figurent à la fois la possibilité la plus économique d'obtenir une eau de la meilleure qualité et les moyens les moins onéreux d'évacuer les eaux usées dans des réceptacles adéquats. Il importe de savoir quelles sont les concentrations de déchets dont les autorités autorisent l'évacuation dans les cours d'eau.

Les coûts de traitement des eaux sont extrêmement variables et dépendent de la qualité de la source d'eau et de la qualité d'eau requise pour tel ou tel type de production. De même, les frais de traitement des eaux usées dépendent du degré de pollution et des normes de pureté imposées pour le déversement des eaux usées dans les voies d'eau. Ces frais varient suivant l'industrie, et même pour le même type de production si les conditions locales varient. Il faut choisir le système d'épuration le plus économique, sans pour autant négliger les possibilités d'expansion future, en prévoyant une plus grande consommation d'eau ainsi que de plus grandes quantités d'eaux usées polluées.

Lorsque l'industrie s'implante dans des régions riches en eau, les normes de qualité imposées pour l'évacuation des eaux usées dans les voies d'eau sont des normes minima. A mesure que l'industrialisation se développe, les approvisionnements en eau, autrefois abondants, se raréfient et la qualité de l'eau puisée dans les voies d'eau se dégrade. Il est indispensable de ne pas perdre de vue cette situation quand on étudie l'économie de l'utilisation de l'eau.

En raison des investissements relativement importants qui nécessitent des installations d'épuration des eaux, il faut d'abord voir s'il est plus avantageux d'utiliser une source d'eau proche de moins bonne qualité et d'installer une usine d'épuration des eaux ou d'aller chercher une eau de meilleure qualité d'une source plus éloignée. Des considérations du même ordre s'imposent par l'épuration des eaux usées et leur déversement dans les voies d'eau.

SELECTION BIBLIOGRAPHIQUE

GURNHAM, C.F. (1965) *Industrial Waste Water Control*, New York.

KOLOSKOV, P. et F. KOMAROV (1967) *Podgotovka Vody dlia pichtchevoi promichlennosti* (Traitement de l'eau pour l'industrie alimentaire), Moscou.

KUISKI, L.A. (1963) *Osnovy tekhnologii konditsionovania Vody* (Principes du traitement de l'eau, technologie), Kiev.

RANDOLF, R. (1965) *Kanalisation und Abwasserbehandlung (Egouts et traitement des eaux usées)*, Berlin.

SCHMIDT, O. (1952) *Eignung von Speisewasser-Aufbereitungsanlagen im Dampfkesselbetrieb* (Propriétés requises de l'eau utilisée dans l'alimentation – installation préparatoire pour le fonctionnement des chaudières à vapeur), Düsseldorf.

SKROB, P.A. et M. VIHEREV (1966) *Vodopodgotovka* (Traitement de l'eau), Moscou.

ETUDES SUR LES INDUSTRIES ALIMENTAIRES

*publiées par l'Organisation des Nations Unies pour le
développement industriel*

- ID/SER.1/1** L'emploi des évaporateurs Centri-Therm à expansion ou à circulation sous pression dans les industries alimentaires et l'industrie biochimique
par Bengt Halström, Alfa-Laval AB (Suède)
- ID/SER.1/2** Traitement industriel des agrumes
par Zeki Berk, Technion (Israël)
- ID/SER.1/3** Méthodes utilisées pour économiser l'eau dans les industries alimentaires
par Lavoslav Richter, Institut des méthodes de traitement, Zagreb (Yougoslavie)
- ID/SER.1/4** Méthodes modernes de stérilisation pour le traitement du lait
par Sune Holm, Alfa-Laval AB (Suède)
- ID/SER.1/5** Le conditionnement des denrées alimentaires et ses matériaux
par Anton Petričić, Institut des méthodes de traitement, Zagreb (Yougoslavie)

HOW TO OBTAIN UNITED NATIONS PUBLICATIONS

United Nations publications may be obtained from bookstores and distributors throughout the world. Consult your bookstore or write to: United Nations, Sales Section, New York or Geneva.

COMMENT SE PROCURER LES PUBLICATIONS DES NATIONS UNIES

Les publications des Nations Unies sont en vente dans les librairies et les agences dépositaires du monde entier. Informez-vous auprès de votre librairie ou adressez-vous à: Nations Unies, Section des ventes, New York ou Genève.

COMO CONSEGUIR PUBLICACIONES DE LAS NACIONES UNIDAS

Las publicaciones de las Naciones Unidas están en venta en librerías y casas distribuidoras en todas partes del mundo. Consulte a su librero o diríjese a: Naciones Unidas, Sección de Ventas, Nueva York o Ginebra.

Printed in Austria

Price: \$U.S. 1.00
(or equivalent in other currencies)

United Nations publication

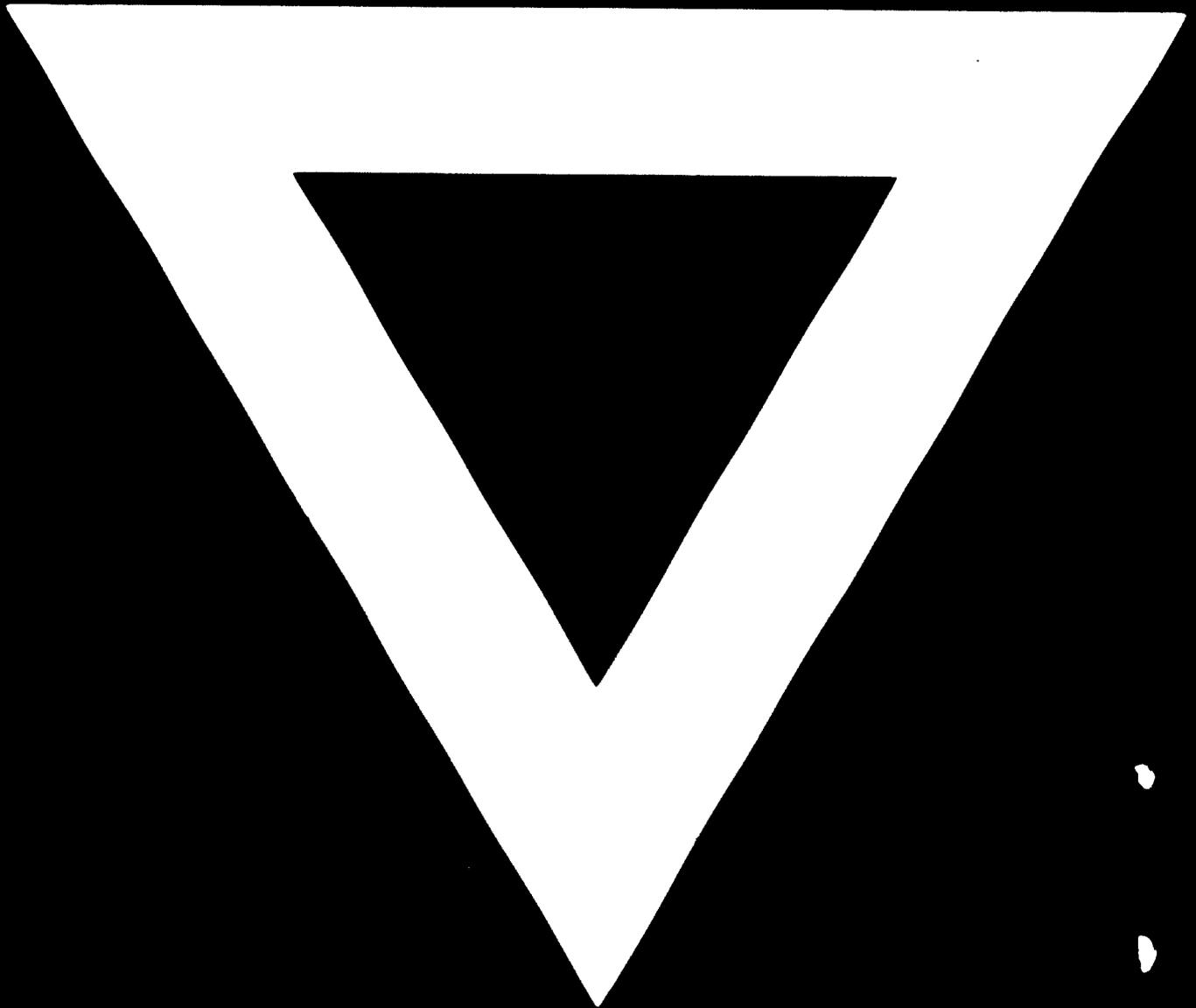
69-472--November 1970-1,300

Sales No.: F.69.II.B.16

ID/SER. 1/3

G

T059



92

12

02

AD

94

05

CAL

840