

## **L'APPROVISIONNEMENT EN EAU ET L'ÉVACUATION DES DÉCHETS DANS LES CENTRES DE TRAITEMENT DU LAIT**

ROBERT NEWTON CLARK, C.E., M.S. \*

---

L'approvisionnement en eau, l'emploi de cette eau dans une usine laitière et l'évacuation des eaux usées peuvent être considérés comme un processus continu. L'eau entre dans l'usine à l'état naturel, est purifiée ou traitée selon les besoins, se charge en déchets liquides ou solides, est ensuite totalement ou partiellement débarrassée de ces déchets et se trouve finalement rejetée dans une masse d'eau naturelle. Certaines phases du processus peuvent avoir lieu hors du centre laitier. L'eau peut, par exemple, arriver directement utilisable d'un réseau public, municipal ou autre; les effluents peuvent être rejetés dans un réseau d'égout public, pour être traités dans une installation d'épuration et finalement être évacués avec les effluents liquides de toute une agglomération. Mais nombre de centres laitiers sont implantés en des points tels que toutes les phases du processus doivent avoir lieu à l'usine même. Dans le présent exposé, le cycle de l'eau sera examiné en 3 parties: (approvisionnement, traitement, rejet) étroitement apparentées et interdépendantes.

### **APPROVISIONNEMENT EN EAU**

Le choix d'une source d'approvisionnement en eau dépend avant tout de la qualité de l'eau. Celle-ci doit pouvoir être soit utilisée sans traitement préalable, soit convenablement traitée à relativement peu de frais. Une eau dure, par exemple, c'est-à-dire chargée de sels de calcium et de magnésium, peut être adoucie par plusieurs procédés assez économiques. Une eau salée, en revanche, c'est-à-dire riche en sels de potassium et de sodium peut exiger un traitement par distillation, ou par double décomposition, ou autre, passablement coûteux. Une eau superficielle polluée de boues ou de matières organiques peut généralement être traitée sans dépenses excessives, alors que le traitement d'une eau superficielle contenant des déchets industriels tels que des composés du chrome ou des substances phénoliques coûte très cher.

\* Conseiller principal en Génie sanitaire, Division de l'Hygiène du Milieu. Organisation mondiale de la Santé, Genève, Suisse.

Lorsque la qualité d'une source est satisfaisante, la seconde et seule autre condition est que son débit soit suffisant en tout temps, en toutes saisons. Il arrive en effet que le rendement d'un cours d'eau ou d'un puits diminue durant certaines périodes de l'année, ou lors de sécheresses prolongées, au point d'entraîner un ralentissement sinon l'arrêt des activités de l'usine. Les études de débit doivent donc prendre en considération le rendement annuel moyen et envisager les conséquences d'une année anormalement sèche.

#### Qualité de l'eau brute

Les Normes internationales applicables à l'eau de boisson (Organisation mondiale de la Santé, 1958) spécifient comme suit la teneur maximale admissible de l'eau potable en substances toxiques:

Plomb (évalué en Pb)	0,1 mg/l
Sélénium (évalué en Se)	0,05 mg/l
Arsenic (évalué en As)	0,2 mg/l
Chrome (évalué en Cr)	0,05 mg/l
Cyanures (évalués en CN)	0,01 mg/l

Or l'eau destinée à un centre laitier doit être potable, elle ne doit donc pas contenir de substances toxiques en proportions supérieures à celles qui sont spécifiées dans lesdites Normes. Les procédés courants de traitement peuvent être impuissants à réduire suffisamment la teneur de l'eau en ces substances toxiques; par conséquent, si l'une d'elles est présente dans une eau à une concentration excessive, à un moment quelconque, cette eau doit être rejetée comme source d'approvisionnement, ou des avis doivent être demandés à un expert qualifié sur les méthodes d'épuration à adopter.

Chlorures et sulfates sont difficiles à éliminer; il faut donc déterminer leur concentration dans l'eau que l'on envisage d'utiliser. Il convient, si possible, de choisir une source ne contenant pas plus de 200 mg/litre des uns et des autres. Si toutes les sources existantes sont très minéralisées, la concentration admissible peut être portée à 400 mg/l pour les sulfates et à 600 mg/l pour les chlorures, mais l'utilisation permanente d'une telle eau risque fort de susciter des difficultés coûteuses à surmonter.

La présence de composés phénoliques dans l'eau destinée à un centre laitier est à éviter car ils nuisent à la saveur et à l'odeur de tout produit laitier avec lequel ils ont été en contact. Ils sont difficiles à éliminer par les procédés de traitement habituels des eaux, aussi leur concentration dans l'eau naturelle (évaluée en phénol) ne doit-elle pas dépasser 0,001 mg/l.

Mais avant de décider d'un approvisionnement en eau, il faut prendre en considération d'autres éléments. Toute eau polluée par des eaux d'égout ou des eaux-vannes doit être considérée avec la plus grande méfiance, même après épuration. Quelle que soit la méthode de traitement adoptée, des défaillances mécaniques ou humaines peuvent se produire à tout instant. Il est donc impossible de se fier uniquement au procédé de traitement; il s'impose de pré-

voir d'autres garanties simultanées de la qualité de l'eau. L'apparition dans une collectivité, d'une épidémie due à la contamination d'un approvisionnement en lait peut ruiner un commerce de lait en 24 heures et, s'il est prouvé qu'il y a eu négligence, susciter des revendications en dommages-intérêts. En dehors de la responsabilité sociale qui lui incombe, le commerçant laitier qui protège ses produits contre toute contamination dangereuse est avisé. L'une des précautions consiste à s'assurer que la source d'eau envisagée est aussi pure que possible avant traitement. Deux mesures sont à prendre : le contrôle sanitaire de la source proposée et l'étude bactériologique des échantillons prélevés.

Le contrôle sanitaire doit, si possible, être confié à un expert de la santé publique et, de préférence, à un ingénieur sanitaire. Il doit porter non seulement sur les conditions existantes au moment de l'enquête, mais aussi sur les possibilités de pollution. Un cours d'eau, par exemple, peut être relativement exempt de bactéries nuisibles pendant les périodes sèches, et fortement contaminé après un orage; un puits peut donner de l'eau pure en temps ordinaire, et être pollué à la suite d'une inondation atteignant la margelle. De tels incidents sont d'autant plus dangereux qu'ils sont imprévus. Il faut donc faire appel à l'expérience et à la conscience professionnelle d'une personne particulièrement avertie de ces problèmes.

Les études bactériologiques ne doivent pas être limitées à l'examen, aussi minutieux soit-il, d'un seul échantillon d'eau. On peut tirer meilleur profit de l'examen élémentaire d'une série d'échantillons prélevés à des instants différents et dans des diverses conditions que de l'examen approfondi et complet d'un seul prélèvement. Aucun échantillon isolé n'est totalement représentatif d'une source donnée. Tel est particulièrement le cas pour les eaux de surface dont la qualité peut varier considérablement en quelques heures. Il est moins justifié de faire des prélèvements fréquents dans un puits profond exploité depuis quelque temps et dont la qualité évolue peu et rarement. Il est difficile d'établir des limites absolues de qualité bactériologique pour l'eau brute, car l'efficacité de l'épuration bactérienne par traitement dépend beaucoup du procédé choisi et de l'ampleur de l'opération. Fair & Geyer (1954, p. 701) basant leurs conclusions sur les résultats obtenus par de grandes usines municipales d'épuration et sur les normes relatives à l'eau potable établies par le Service de la Santé publique des Etats-Unis d'Amérique, indiquent comme concentrations maximales admissibles en organismes coliformes dans l'eau brute, les valeurs suivantes :

<i>Procédé de traitement</i>	<i>Eau de rivière trouble (Indice MPN*)</i>	<i>Eau de lac claire (Indice MPN*)</i>
1. Chloration . . . . .	80	50
2. Flocculation, sédimentation et filtration rapide sur sable . . . . .	80	60
3. Préchloration précédée de 2. . . . .	3500	
4. Postchloration précédée de 2. . . . .	6000	4500

\* MPN = Nombre le plus probable de coliformes dans 100 ml d'eau.

Dans les petites installations, surtout lorsqu'on utilise des filtres à sable sous pression, les valeurs maximales admissibles sont bien moindres.

En résumé, avant de choisir définitivement une source d'approvisionnement en eau pour une usine de traitement du lait, il faut entreprendre les recherches suivantes: une analyse chimique rudimentaire de l'eau, y compris un dosage des substances toxiques mentionnées précédemment (p. 508); un contrôle sanitaire pour déceler les possibilités réelles et éventuelles de pollution; une série d'examen bactériologiques susceptibles de fournir un indice de pollution. Si les résultats globaux de ces recherches sont satisfaisants, l'utilisation de la source étudiée peut être envisagée.

### Quantités nécessaires

La quantité d'eau nécessaire à une usine de traitement du lait dépend de l'importance de l'installation (généralement exprimé en poids maximal de lait manipulé chaque jour) et des traitements réalisés. Les besoins quotidiens en eau peuvent varier considérablement en fonction du mode de distribution de l'eau et du contrôle effectué sur toutes les opérations utilisant de l'eau. Pour les opérations continues, le volume d'eau nécessaire aux rinçages ou aux lavages n'est pas nécessairement proportionnel à la quantité de produit traité. Le refroidissement par circulation en circuit fermé économise l'eau. Il faut établir un tableau détaillé des besoins, selon le schéma suivant:

#### Personnel:

- toilettes
- bains et lavabos
- eau de boisson et de cuisine.

#### Services généraux:

- lavage des locaux
- lavage des véhicules
- laboratoire
- entretien des terrains.

#### Refroidissement:

- réfrigération du produit
- condenseurs
- réfrigérateurs.

#### Traitement du produit:

- lavage (beurre, caillé, etc.)
- incorporation dans le produit.

Nettoyage du matériel (conduites, bidons, bouteilles...).

Production énergétique:  
 alimentation de la chaudière  
 production de vapeur  
 refroidissement de la centrale.

En règle générale, le volume d'eau nécessaire va de la moitié au double de la quantité de lait manipulé; mais il monte parfois à 9 fois celui du lait. On admet souvent que la quantité d'eau nécessaire est égale à celle du lait reçu, mais il est dangereux d'accepter une telle approximation sans procéder à une analyse détaillée des usages auxquels sera soumise cette eau.

Il existe de bons manuels d'hydrologie qui donnent toutes les informations utiles sur les techniques d'estimation du débit des différentes sources d'approvisionnement en eau tant de surface que souterraines. L'exposé de Wagner & Lanoix (1959) sur cette question est particulièrement précieux car il traite de petits approvisionnements tels que ceux qui peuvent convenir aux usines laitières. Parmi les autres sources de renseignements il convient de citer l'Institution of Water Engineers (1961), Fair & Geyer (1954) et Babbitt & Doland (1949).

#### **Captage de l'eau**

Les méthodes de captage et de transport de l'eau jusqu'au point d'utilisation sont si nombreuses qu'il est impossible de les décrire en détail dans ce chapitre. Si l'approvisionnement doit se faire à assez grande échelle, il faut demander conseil à un ingénieur compétent. Tel sera particulièrement le cas lorsqu'il s'agira d'accumuler des eaux de surface, car la défaillance d'un barrage, d'une digue ou de toute autre structure de retenue peut engendrer des dommages notables aux biens et parfois même entraîner des pertes de vies humaines. La bibliographie jointe au présent exposé offre des suggestions utiles et un choix de solutions à prendre en considération avant de décider d'une structure de captage. Il convient de souligner tout spécialement l'ouvrage de Wagner & Lanoix, car il résume l'expérience acquise dans de nombreuses régions du globe. Le lecteur pourra également se reporter, dans la présente monographie, au chapitre de Clark intitulé «L'alimentation en eau d'une ferme laitière» et à la bibliographie qui l'accompagne (voir p. 145).

#### **TRAITEMENT DE L'EAU**

Il peut être nécessaire de traiter l'eau pour la rendre potable, sapide et neutre, c'est-à-dire ni corrosive ni entartrante. La potabilité implique la destruction ou l'élimination des organismes pathogènes qui pourraient infecter le personnel de l'usine ou le produit fabriqué. La sapidité dépend de la présence ou de l'absence de certaines caractéristiques physico-chimiques: odeur, turbidité et teneur en fer ou en manganèse. Quant à la neutralité son obtention exige une correction de l'acidité ou de l'alcalinité naturelle; elle dépend de la concentration en ions hydrogène (pH) et est liée à la dureté.

### Chloration

La chloration ou un traitement équivalent est une étape nécessaire dans le traitement de toute eau de surface ou autre pouvant contenir des bactéries coliformes. Elle peut se faire par action de chlore gazeux ou d'un hypochlorite (de calcium ou de sodium). L'hypochlorite de calcium se trouve dans le commerce sous le nom de chlorure de chaux (à 25-30% de chlore libérable) ou de produit concentré (à 70% environ de chlore libérable). La chloration a pour but de mettre en contact du chlore actif avec toute eau traitée en continu, en assurant une concentration de chlore, un temps de contact et des conditions qui garantissent la destruction de toutes les bactéries pathogènes, mais sans pour autant donner à l'eau traitée un goût ou une odeur désagréables. Pour être satisfaisante, l'eau traitée doit à l'origine être claire et exempte de constituants nuisibles à l'efficacité du traitement. Les solides en suspension (source de turbidité) peuvent protéger les bactéries occluses contre l'action désinfectante. Les matières organiques en solution réagissent chimiquement avec le chlore et peuvent le priver de ses propriétés bactéricides. L'ammoniaque réagit pour donner des chloramines dont le pouvoir désinfectant est inférieur à celui du chlore résiduel libre. L'alcalinité, lorsque le pH dépasse 7,6, réduit le pouvoir bactéricide de ce désinfectant. Les nitrites se combinent à lui, l'inactivent et gênent l'exécution du test à l'orthotolidine, couramment utilisé pour doser le chlore disponible dans l'eau. Le fer et le manganèse à l'état de sels réducteurs réagissent avec le chlore et détruisent ainsi son pouvoir bactéricide; lorsque leur concentration excède 1 mg/l, ils nuisent au test à l'orthotolidine. La température de l'eau influe sur la chloration; l'effet bactéricide augmente avec la température, mais le chlore se trouve alors plus rapidement chassé.

La période minimale de contact après mélange du chlore à l'eau doit être d'environ 10 à 15 minutes, selon les conditions de température et d'alcalinité et les quantités d'ammoniaque présentes. Lorsque l'eau traitée est stockée en réservoir, il est bon de la chlorer avant son arrivée dans le réservoir de manière à ménager plusieurs heures de contact avec le chlore avant qu'elle soit utilisée.

La quantité de chlore à mettre en œuvre est dictée par les résultats de tests, qui doivent être effectués au point d'utilisation par la méthode à l'orthotolidine-arsénite de sodium de manière à éliminer les effets des substances gênantes. On obtient presque toujours de meilleurs résultats, du point de vue de l'efficacité de la désinfection et de la réduction de l'odeur et du goût de chlore, en poussant la chloration suffisamment pour dépasser la zone critique et obtenir la présence de chlore résiduel libre. Les Normes internationales applicables à l'eau de boisson, annexe 4, p. 73 (OMS, 1958), donnent un exposé détaillé des méthodes agréées d'analyse chimique de l'eau.

Cox<sup>1</sup> ayant comparé les effets du chlore résiduel libre à ceux du chlore résiduel combiné, a montré l'intérêt qu'il y a à dépasser la zone critique:

*Tableau comparatif des concentrations minimales de chlore résiduel libre et de chlore résiduel combiné recommandées pour assurer une bonne désinfection*

pH	Concentration minimale (p.p.m.) de chlore résiduel libre pour une durée de contact d'au moins 10 mn	Concentration minimale (p.p.m.) de chlore résiduel combiné pour une durée de contact d'au moins 60 mn
6,0- 7,0	0,2	1,0
7,0- 8,0	0,2	1,5
8,0- 9,0	0,4	1,8
9,0-10,0	0,8	Déconseillée
10,0+	0,8 + (et un contact plus long)	

### Coagulation

L'étude d'une source d'approvisionnement – par exemple, un lac relativement clair mais contenant des algues gênantes – peut montrer que l'eau est filtrable sans traitement par des coagulants chimiques avant l'arrivée sur les filtres, mais la turbidité de la plupart des eaux de surface est occasionnellement ou continuellement telle qu'une coagulation préalable est nécessaire. L'élimination du fer et du manganèse par filtration n'exige pas de coagulation chimique mais peut imposer une aération et une pré-sédimentation. La conception et la construction des usines de filtration des eaux est une entreprise spécialisée qui justifie le recrutement d'un ingénieur qualifié.

Toute eau dont la turbidité atteint 5 unités mérite d'être filtrée. Toute eau dont la turbidité dépasse 10 unités ou qui pourrait contenir des kystes de germes de maladies intestinales tels que *Endamoeba histolytica* ou des œufs d'helminthes doit l'être. Kystes et œufs ne sont pas entièrement détruits par la seule chloration mais sont ensuite éliminés par une bonne filtration.

La coagulation consiste à introduire dans l'eau un produit chimique qui réagit pour former un floculat gélatineux sur lequel viendront adhérer les menues particules d'argile, ou d'autres solides, trop petites pour sédimenter d'elles-mêmes. Si, après addition du produit, brassage du tout et formation du floculat initial, on favorise l'agglutination par agitation douce et lente, on voit apparaître des agglomérats qui sédimenteront rapidement. C'est le procédé dit de floculation. Si, après formation d'un floculat de bonne sédimentabilité, l'eau est acheminée doucement dans une cuve de repos, la presque totalité des matières en suspension sédimente en 1 ou 2 heures et l'eau clarifiée peut être siphonnée, prête à la filtration. Celle-ci consiste à retenir les matériaux qui n'ont pas sédimené (résidus de floculat, kystes et œufs) sur un filtre à pores suffisamment fins. Le traitement des eaux troubles

<sup>1</sup> Cox, C.R. (1964) *Operation and control of water treatment processes*, Genève (Organisation mondiale de la Santé: Série de Monographies N° 49) – (Éditions espagnole et française en préparation).

par coagulation est généralement nécessaire car les particules d'argile sont souvent plus petites que les pores du filtre et, à l'état naturel, traverseraient le sable.

Les produits chimiques les plus utilisés comme coagulants sont l'alun (sulfate double d'aluminium et d'un métal alcalin), la couperose verte (sulfate de fer (II)), le chlorosulfate de fer, le sulfate de fer (III) et le chlorure de fer (III). Le plus courant de tous est l'alun.

Dans une eau naturellement alcaline, l'alun réagit avec les ions hydroxydes pour former de l'hydroxyde d'aluminium. L'alcalinité de l'eau, et son pH, diminuent, ce qui est important. L'alcalinité de l'eau doit être suffisante pour réagir avec la totalité de l'alun ajouté, sinon l'alun en solution traverserait les filtres et serait une source d'ennuis au point d'utilisation. En outre, la nature du floculat formé dépend beaucoup du pH et cela d'une manière complexe. Si le degré d'alcalinité est insuffisant pour assurer la totalité de la réaction avec l'alun, ou si le pH descend au-dessous de 5,5, on est contraint d'augmenter l'alcalinité de l'eau, généralement par addition de chaux ou de carbonate de sodium.

Les réactions entre l'alun et les alcalis naturels dépendent de facteurs si nombreux qu'il est pratiquement impossible de parvenir à une détermination théorique. A titre d'indication générale, 1 p.p.m. d'alun réagit avec

0,45 p.p.m. d'alcali naturel, évalué en  $\text{CaCO}_3$

0,30 p.p.m. de chaux vive à 85%, évaluée en  $\text{CaO}$

0,35 p.p.m. de chaux hydratée à 95%, évaluée en  $\text{Ca(OH)}_2$

0,48 p.p.m. de carbonate de sodium, évalué en  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ .

Pour obtenir un floculat par addition d'alun sans modifier l'alcalinité de l'eau, il faut donc ajouter des quantités d'alcali correspondant à ces concentrations.

De plus, l'effet de l'alun sur le pH des eaux naturelles n'est pas négligeable. Le pH des eaux troubles à traiter par coagulation va d'environ 5,7 à 8; les eaux très colorées coagulent mieux entre 4,4 et 6,0. Les quantités de chaux ou de carbonate de sodium à ajouter doivent donc être calculées en fonction de leur action sur le pH; dans certains cas, d'autres adjuvants de coagulation tels que l'aluminate de soude ou la silice activée peuvent rendre service.

La détermination théorique des doses optimales d'alun et d'alcalis étant délicate, on peut recourir à une série de tests en laboratoire: dans un certain nombre de flacons on ajoute les produits chimiques et on agite en conditions contrôlées de vitesse, de durée et de température. Ces tests ne reflètent pas rigoureusement les conditions pratiques, mais avec un peu d'expérience, ils donnent de précieuses indications.

L'addition de coagulants et d'adjuvants de coagulation doit se faire au point de turbulence maximale, de manière à assurer une diffusion très rapide sinon «instantanée» dans toute la masse d'eau à traiter. On peut créer cette

turbulence par un dispositif mécanique ou hydraulique (par exemple, extrémité d'un ajutage ou sortie d'un barrage). Après ce mélange initial rapide, on doit assurer pendant 15 à 30 minutes une agitation lente qui permette aux flocons d'atteindre leur taille optimale. Cette agitation ne doit pas produire trop de cisaillements qui risqueraient de briser les particules au fur et à mesure de leur formation, mais elle doit être assez importante pour empêcher le floculat de sédimenter. Si l'on utilise des pales, leur vitesse périphérique ne doit pas dépasser 60 cm/s environ; si l'on opte pour des jets ou des courants, leur vitesse ne doit pas excéder 36 cm/s (60% de la valeur précédente). Les diffuseurs à air comprimé sont également très efficaces dans les cuves à floculation. Les chiffres précités représentent des vitesses maximales; il est souvent nécessaire d'utiliser des vitesses moindres pour préserver certains floculats fragiles. La limite inférieure de vitesse pour la floculation est de l'ordre de 9 cm/s, c'est-à-dire juste suffisante pour empêcher la sédimentation. Il est souhaitable de prévoir une vitesse d'agitation variable entre ces limites. En fait, les meilleurs résultats sont obtenus avec des vitesses d'environ 30 à 42 cm/s. Les vitesses supérieures sont préférables pour les eaux troubles et les vitesses inférieures pour les eaux très colorées. La floculation doit durer 10 à 30 minutes. En général, un contact prolongé permet de diminuer la dose de coagulant et d'agiter moins vigoureusement.

### Sédimentation

Elle dépend de 6 facteurs:

- a) les caractéristiques du floculat
- b) la température de l'eau
- c) la durée de sédimentation
- d) la profondeur du bassin de sédimentation
- e) l'aire superficielle du bassin de sédimentation
- f) la vitesse d'écoulement en surface.

Le floculat est caractérisé par sa masse volumique. La floculation doit viser à la formation d'un floculat dense et ferme, évitant celle d'une masse légère d'apparence duveteuse. On adopte souvent pour la vitesse de sédimentation, dans les calculs d'une installation, une valeur prudente: 75 cm/h. Un bon floculat sédimente vite; il n'est pas rare que la vitesse atteigne 3 m/h.

La température influe beaucoup sur la viscosité de l'eau et par conséquent sur la vitesse de sédimentation. Celle-ci est 2,3 fois plus grande à 30°C qu'à 0°C. Il faut en tenir compte, surtout dans les pays froids.

La durée de sédimentation s'exprime de différentes façons. Le «temps de rétention» est égal au quotient de la capacité du réservoir par son débit. C'est un chiffre théorique car l'eau ne s'écoule sans doute jamais d'un bassin d'une manière parfaitement uniforme, ni en un flot homogène. Quant au «temps de passage» il peut être déterminé dans des conditions données par

l'addition d'un colorant ou d'un sel concentré au courant d'entrée dans le bassin, et enregistrement de son apparition dans l'effluent. L'efficacité d'un bassin, dans certaines conditions d'écoulement, est obtenue en divisant le «temps de passage» par le «temps de rétention». Ce coefficient ou «efficacité de déplacement» ne doit pas être inférieur à 0,30 dans les conditions normales d'exploitation. En principe, dans un bassin à écoulement horizontal, le «temps de rétention» prévu est de 4 heures. Le temps de sédimentation du floculat dans un bassin à écoulement horizontal dépend de la profondeur du bassin. Celle-ci ne constitue pas un facteur très critique. On la calcule fréquemment en multipliant la vitesse de sédimentation du floculat par le temps de rétention et en ajoutant au résultat l'épaisseur maximale prévue du sédiment, généralement 60 cm environ. Dans le calcul du réservoir il faut prévoir une zone profonde où le sédiment ne sera pas perturbé. La profondeur d'une cuve à écoulement vertical est liée à d'autres facteurs de calcul; elle doit être décidée en fonction des boues et des moyens dont on dispose pour les concentrer et les évacuer.

L'aire superficielle d'un bassin de sédimentation est prise en considération dans la «vitesse d'écoulement en surface» qui est égale au quotient du débit de calcul par cette aire. On détermine ainsi une vitesse linéaire qui s'exprime en diverses unités, par exemple en millimètres par seconde (ou en pieds par heure); aux Etats-Unis, elle est souvent donnée en gallons par pied carré et par jour. Pour les bassins à écoulement horizontal, la vitesse d'écoulement en surface ne doit pas dépasser 1,50 m/h, à condition de pouvoir assurer en tout temps une sédimentation rapide du floculat. Mais il vaut mieux adopter une valeur deux fois moindre. Dans les cuves de sédimentation à écoulement vertical, en particulier dans celles qui fonctionnent par contact solides-solides (c'est-à-dire lorsque l'eau chargée de floculat monte à travers un voile de boues) la vitesse d'écoulement en surface est normalement plus élevée, de l'ordre de 3,0 à 3,6 m/h.

Degrémont (1960) et Nordell (1961) ont exposé la théorie des bassins de sédimentation par contact solides-solides. Le principe est le suivant: après une période de floculation de 10 à 15 minutes, l'eau traitée est introduite au fond d'un réservoir et monte à vitesse continuellement décroissante à travers un voile de floculat précipité. Le niveau auquel la vitesse ascendante de l'eau devient égale à la vitesse de sédimentation du précipité constitue la surface supérieure du voile de boues. Au-dessus de ce niveau, toutes les particules de floculat tendent à sédimenter. Il faut prévoir une hauteur suffisante au-dessus de ce niveau pour que les fluctuations de débit, ou du volume (ou de la densité) des boues, ne risquent pas d'entraîner des particules solides dans l'effluent. La zone du bassin occupée par le voile de boues est dite active. La zone de boue calme, exempte de mouvements ascendants, est dite «de concentration». On en extrait la boue soit continuellement soit périodiquement, de façon à maintenir le volume du voile dans des limites raisonnables. Plusieurs variantes de mise en application de ce principe ont

été mises au point. Elles jouissent d'une grande faveur auprès des entrepreneurs qui peuvent les adapter à des unités autonomes préfabriquées. Mais les prétentions extravagantes d'efficacité doivent être considérées avec suspicion. Le volume minimal du bassin de sédimentation, abstraction faite de la zone de floculation, doit assurer un «temps de rétention» d'au moins 1 heure lorsque le débit est maximal.

Le but principal de la sédimentation est d'éliminer une forte proportion des solides en suspension avant l'arrivée de l'eau sur les filtres, les soulageant ainsi d'une charge excessive et augmentant leur durée d'utilisation entre deux lavages à contre-courant. Une bonne sédimentation réduit considérablement le coût et les difficultés de la filtration. Il importe qu'à tout moment l'eau chargée de coagulant soit traitée avec ménagement pour éviter de rompre les agrégats. Les goulots, canaux, déversoirs et autres structures ne doivent provoquer aucun mouvement dont la vitesse pourrait suffire à détériorer les floculats formés. L'effluent des bassins de sédimentation doit de préférence être prélevé en surface par un large déversoir ou par une série de déversoirs. Il doit contenir un minimum de floculat visible; la turbidité de l'eau exempte de floculat doit rester inférieure à 10 unités et, si possible, ne pas dépasser 5 unités.

### Filtration

La filtration est le passage de l'eau à travers un lit de matériau granulaire, généralement du sable. Le but est d'éliminer tout le floculat et toutes les particules solides, les bactéries, les kystes et les œufs d'helminthes. La théorie de la filtration et la conception des filtres sont complexes. L'étude qui en a été faite par Fair & Geyer (1954, chapitre 24) est très détaillée. On distingue trois catégories générales de filtres selon qu'ils sont à sable rapides, à sable lents ou à diatomées. Pour les usines laitières, les premiers sont les plus couramment utilisés, mais les filtres à diatomées sont utiles dans bien des cas. Les filtres à sable rapides peuvent fonctionner par gravité ou par pression, mais les seconds présentent des inconvénients majeurs: la difficulté de surveillance de leur fonctionnement, l'inaccessibilité de nombreux éléments en cas d'avarie et leur encombrement.

De la taille et de l'uniformité des particules constitutives dépendent en grande partie le fonctionnement et l'efficacité d'un filtre à sable rapide. Un sable filtrant est souvent caractérisé par sa taille effective et son coefficient d'uniformité. La taille effective s'entend du diamètre, exprimé en millimètres, des ouvertures du tamis théorique qui laisserait passer 10% p/p du sable examiné. Quant au coefficient d'uniformité, il est égal au rapport du diamètre des ouvertures du tamis théorique qui laisserait passer 60% p/p de ce sable, à la taille effective du sable. Il est souvent exigé d'un sable filtrant que sa taille effective soit supérieure à 0,45 mm et son coefficient d'uniformité inférieur à 1,5. En Grande-Bretagne, l'usage est d'exprimer la taille des particules et leur uniformité en indiquant la dimension de maille de

deux tamis dont l'un laisse passer et l'autre retient juste la totalité du sable. Selon une norme fréquemment utilisée, un sable filtrant doit traverser un tamis de *numéro mesh*\* 16 et être retenu par un tamis de *numéro mesh* 30, les mailles de ces tamis étant conformes aux British Standards 410 de 1943 (Institution of Water Engineers (1961), p. 517). En admettant pour la taille des particules une distribution statistiquement probable, cette norme correspondrait à une taille effective d'environ 0,6 mm et à un coefficient d'uniformité de l'ordre de 1,2.

Les filtres à sable rapides sont normalement exploités à vitesse uniforme. Lorsque le filtre commence à se colmater, on augmente la charge de manière à maintenir le débit constant. En pratique, les filtres sont généralement conçus pour que la perte de charge ne soit que d'environ 0,3 m immédiatement après un nettoyage et qu'elle puisse atteindre 3,6 m. Mais on les lave généralement dès qu'elle dépasse 2,75 m. Le régime de filtration s'exprime en vitesse linéaire, fréquemment exprimée (aux Etats-Unis d'Amérique) en volume par unité de surface et par unité de temps. En Amérique, on adopte souvent un régime de 2 US gal par pied carré et par minute, c'est-à-dire de 16 pieds/h soit 4,8 m/h ou 4/3 mm/s.

On nettoie périodiquement les filtres à sable rapides par lavage à contre-courant (avec de l'eau filtrée) souvent en association avec une agitation mécanique ou à air comprimé; l'eau de lavage est rejetée. L'agitation produite doit être suffisante pour séparer les grains de sable et pour les nettoyer par frottement les uns contre les autres. Mais la vitesse du contre-courant ne doit pas être suffisante pour les entraîner; elle dépend surtout de la taille et de la densité du matériau granulaire et de la température (c'est-à-dire de la viscosité) de l'eau. L'idéal est que les grains de sable soient soulevés de façon à dilater l'épaisseur du lit sableux à 120%-165% de sa valeur en exploitation. Le régime de lavage s'exprime en vitesse linéaire; on adopte souvent 10 mm/s sans agitation. Si l'on agit au moyen de râtaux, de jets hydrauliques ou d'air comprimé, on réduit cette vitesse de 25-50%. Le lavage par l'air se fait généralement au débit de 15 à 25 litres d'air par mètre carré et par seconde.

Pour que leur exploitation soit satisfaisante, les filtres à sable rapides fonctionnant sous pression ou par gravité doivent être munis d'appareils indicateurs de la vitesse de filtration, de la perte de charge et de la vitesse du contre-courant de lavage.

#### Adoucissement

L'exploitation d'une usine laitière est considérablement simplifiée quand on dispose d'une eau douce, c'est-à-dire relativement exempte de composés calciques ou magnésiens, en particulier de carbonates et hydrogencarbonates. Il suffit d'adoucir l'eau réservée à certains usages, mais il importe que toute

\* Le *numéro mesh* représente le nombre de mailles par pouce.

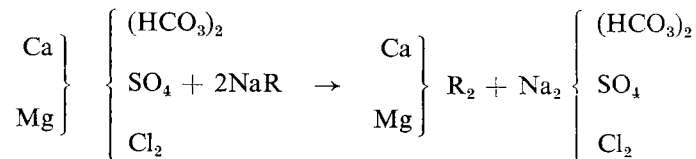
l'eau utilisée soit potable (à ce sujet, voir les Normes internationales applicables à l'eau de boisson).

Nordell (1961, p. 179) énumère les inconvénients de l'utilisation d'une eau dure dans une usine laitière. Outre l'entartrage des chaudières, des chauffe-eau, des conduites et des installations fixes, les composés auxquels est due la dureté réagissent avec les substances caustiques utilisées dans les laveuses à bouteilles pour former un tartre qui obture le réseau de recirculation — pompes, canalisations, buses — et des dépôts déplaisants dans les bouteilles. Ils sont extrêmement gênants dans les pasteurisateurs, tout particulièrement dans ceux qui fonctionnent à haute température, et sont une source d'ennuis dans les laveuses à bidons car ils provoquent la formation de tartre ou pierre de lait.

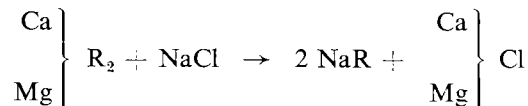
L'adoucissement des eaux destinées au refroidissement, aux lavabos et aux usages généraux (entretien des sols, des véhicules, des terrains) n'est pas absolument nécessaire.

On dispose, pour adoucir une eau, de plusieurs procédés, dont les deux principaux sont l'échange cationique (zéolite) et la précipitation par la chaux ou la chaux sodée. Cette précipitation est rarement utilisée dans les usines laitières; Fair & Geyer (1954), Nordell (1961) et Degremont (1960) donnent des renseignements détaillés à son sujet, et Hoover (1946) a publié une description très complète de l'adoucissement par la chaux.

Le procédé à la zéolite consiste à remplacer les ions Ca ou Mg par des ions Na. En pratique, on fait passer l'eau dure à travers un lit de zéolite granulée qui retient le calcium et le magnésium en les remplaçant par des quantités équivalentes de sodium. En représentant par *R* le radical échangeur de cations, le traitement peut se traduire par le schéma suivant:



La réaction est réversible et le lit de zéolite peut être régénéré par passage d'une solution de NaCl, suivant la réaction:



Les échangeurs d'ion sodium sont généralement constitués d'une cuve métallique garnie d'un lit de zéolite de 0,60 à 2,40 m d'épaisseur et dotée des dispositifs de contrôle nécessaires. On envoie de l'eau dure dans l'échangeur jusqu'à épuisement de la capacité adoucissante. On lave alors la zéolite à contre-courant, on restitue au lit ses caractéristiques dimensionnelles et on

le régénère chimiquement par introduction d'une solution de NaCl. Puis on rince pour évacuer les sous-produits solubles et l'excès de sel, avant la remise en service.

Dans certaines limites, la capacité adoucissante d'un lit de zéolite dépend du volume de zéolite plutôt que de la vitesse d'écoulement. Nordell (1961, p. 412) énumère 7 zéolites naturelles, légèrement différentes les unes des autres par leurs caractéristiques. Il existe en outre des échangeurs de cations que l'on peut ranger en deux catégories générales, les résines et les charbons, et dont la capacité d'échange dépasse de 9 à 10 fois celle des zéolites naturelles. A chaque lit de zéolite correspond un poids sensiblement constant d'éléments de dureté éliminables entre deux régénérations. Le volume d'eau qui peut être adouci en un cycle est donc inversement proportionnel à sa dureté. En pratique, on obtient un rendement meilleur en n'épuisant pas toute la capacité théorique du lit; autrement dit, le lit doit être régénéré alors que sa capacité d'échange est encore notable. De même, le rendement de la régénération est meilleur si celle-ci est interrompue avant qu'elle soit complète.

Le débit d'un adoucisseur dépend en principe du volume de matériau échangeur. Degrémont (1960, p. 256) déclare que le débit horaire moyen doit être compris entre 15 et 20 fois le volume de zéolite et que le débit horaire maximal ne doit pas excéder 25 à 40 fois ce volume. Le temps de contact moyen est alors de 3-4 minutes et la durée de contact minimale de 1,5-2,4 minutes. Il faut avoir soin d'assurer une répartition uniforme horizontale de l'eau afférente et éviter tout courant vif qui pourrait provoquer la formation de trous à la surface du sable.

C'est au sel ordinaire ou chlorure de sodium que l'on recourt généralement pour régénérer le matériau échangeur. Il ne faut jamais utiliser de sel contenant ne fût-ce que des traces de fer. La plupart des zéolites peuvent être régénérées à l'eau de mer, sous réserve qu'elle ait été préalablement traitée par coagulation, filtration et chloration. On peut employer aussi d'autres sels, lorsqu'ils sont peu coûteux sur place: le nitrate de sodium ou de potassium et le chlorure de potassium, par exemple. Quant au sulfate de sodium, il n'est utilisable qu'en solution très diluée, car il faut éviter la précipitation de sulfate de calcium. Le poids théorique de sel nécessaire à la régénération est d'environ les 6/7 du «poids de dureté» à éliminer. En fait on utilise de 2,5 à 3 fois cette quantité théorique, c'est-à-dire de 2,14 à 2,55 fois le «poids de dureté» à éliminer.

Le volume de solution régénératrice doit être au moins égal au volume de zéolite. La concentration des solutions salines envoyées dans le lit, y compris l'eau d'injection, est habituellement de 10% à 12% pour les zéolites naturelles ou synthétiques, de 5% à 15% pour les charbons et de 15% à 18% pour les résines à grande capacité. Le temps nécessaire à la régénération varie selon le type de matériau échangeur. Degrémont indique 30 à 60 minutes.

Après application de la saumure, le lit échangeur doit être débarrassé, par rinçage, du chlorure de sodium résiduel et des chlorures de calcium et de magnésium formés. Ce rinçage se fait généralement trois fois moins vite que le lavage et ne dure que 10 minutes environ. Il faut en effet éviter tout excès de rinçage qui diminuerait la capacité d'échange du lit.

#### Déferrisation et démanganisation

Le composé du fer le plus fréquent dans les approvisionnements en eau est l'hydrogéo-carbonate de fer (II),  $\text{Fe}(\text{HCO}_3)_2$ . Sa solubilité croît avec la teneur de l'eau en dioxyde de carbone libre. On le trouve souvent dans l'eau des puits profonds demeurée à l'abri de l'air. On peut aussi trouver du sulfate de fer (II) ou, dans les eaux de surface, des composés organiques (fer chélaté). L'hydrogéo-carbonate de fer (II) s'élimine facilement par aération, sédimentation et filtration. L'aération chasse des quantités considérables de  $\text{CO}_2$  et apporte de l'oxygène qui transforme le sel ferreux en hydroxyde ferrique, floculat insoluble qui de lui-même sédimente rapidement et peut être éliminé par filtration. Nordell (1961) a montré que par aération, l'oxydation optimale se fait à pH égal ou supérieur à 7,0. On peut également oxyder l'hydrogéo-carbonate de fer (II) par addition de chlore, à pH faible, descendant jusqu'à 5,0 dans certains cas. Il convient de souligner qu'en aérant l'eau à faible pH, on chasse le  $\text{CO}_2$ , augmentant ainsi le pH sans addition d'alcali. Si l'alcalinité de l'eau en hydrogéo-carbonate est égale ou supérieure à 50, la réduction de sa teneur en  $\text{CO}_2$  à 10 p.p.m. ou moins fait monter le pH à plus de 7,0.

On peut aussi utiliser l'échangeur de cations pour éliminer le fer. Dans le cas des eaux claires venant de puits profonds et contenant de l'hydrogéo-carbonate de fer (II), cette élimination peut se faire en même temps que celle de la dureté par le procédé à la zéolite. Il est d'usage de limiter cette application aux eaux dont la teneur en fer (évaluée en Fe) ne dépasse pas la moitié de la dureté ou n'excède par 50 p.p.m. (évaluée en Fe). Dans ce traitement, il importe que l'eau n'entre pas en contact avec l'air avant de traverser l'adoucisseur d'eau, afin d'éviter la précipitation d'hydroxyde de fer (III) sur et dans le lit de zéolite.

Le banc de coke constitue un type d'aérateur bon marché et assez efficace. On superpose trois ou quatre plateaux à fond perforé garnis de coke et on les surmonte d'un distributeur. L'eau percole à travers les couches et, ainsi aérée, tombe dans un bassin. Le débit basé sur la surface d'un plateau est d'environ 6,8 litres par mètre carré et par seconde. La capacité du bassin de sédimentation qui succède au bassin d'aération doit assurer une rétention d'au moins 15 minutes mais, de préférence, de 30 minutes. Si l'élimination du fer par aération est associée à un échange de cations adoucissant, il faut d'abord précipiter le fer et filtrer avant d'envoyer l'eau à l'échangeur.

La démanganisation se fait suivant un schéma analogue mais, alors que dans de nombreux cas le fer peut être précipité par simple aération, toutes

les eaux manganifères doivent être additionnées d'un alcali immédiatement après l'aération et avant la sédimentation. Le pH doit être porté à 10,0 pour que les résultats soient bons. De plus, la précipitation du manganèse demande un temps de contact plus grand que celle du fer et dans le bassin de sédimentation le temps de rétention doit être d'au moins 30 minutes. L'installation servant à la démanganisation étant la même que celle de déferrisation, les deux traitements peuvent se faire simultanément.

### Neutralisation

La tendance de l'eau à corroder les métaux ou à entartrer les appareils est particulièrement importante dans les usines laitières car elle affecte trois types d'installations: 1) les chaudières, 2) les canalisations et cuves à eau chaude, 3) les systèmes de refroidissement. En principe, les usines laitières n'utilisent que des chaudières à basse pression; l'installation de chaudières à haute pression exige les services d'un expert pour mettre au point un traitement satisfaisant de l'eau.

Le principal constituant des tartres dus à l'eau est le carbonate de calcium qui se forme, à la surface du métal chauffé, par décomposition de l'hydrogéné-carbonate de calcium suivant la réaction:



La réaction est réversible tant qu'il y a du dioxyde de carbone en solution, mais le chauffage chasse ce gaz et si l'eau est très chargée d'hydrogéné-carbonate, les dépôts s'accumulent très rapidement.

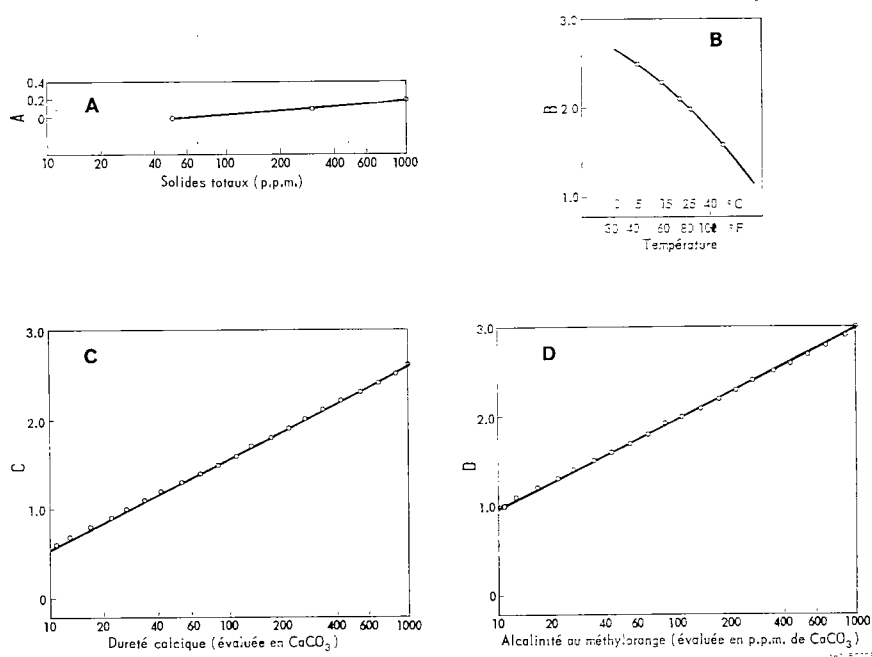
Le sulfate de calcium est également entartrant lorsque sa concentration dans l'eau est élevée. Si l'on utilise pour le refroidissement en circuit fermé de l'eau chargée de sulfate de calcium, il faut veiller à maintenir la concentration en sulfate de calcium à l'équivalent de moins de 1000 p.p.m. de  $\text{CaCO}_3$ . On évite ainsi généralement la formation de tartre sulfaté.

L'eau adoucie par échange de cations ou par précipitation à la chaux n'est pas entartrante, mais il faut s'assurer qu'elle n'est pas corrosive dans certaines conditions d'exploitation.

Pour juger si une eau est entartrante ou corrosive, on recourt utilement à l'indice de saturation (indice de stabilité ou indice de Langelier) qui est égal à la différence entre le pH observé et le pH de stabilité calculé (pHs). Si cet indice est nul, l'eau est en équilibre chimique; s'il est positif, elle est entartrante; s'il est négatif, elle est corrosive. Le pHs repose sur la détermination de quatre facteurs: les solides totaux (A), la température à laquelle l'eau sera portée (B), la dureté calcique évaluée en carbonate neutre de calcium (C) et l'alcalinité de l'eau au méthylorange (D). Les graphiques de la figure 1 permettent de déterminer ces 4 facteurs et de calculer ensuite l'indice de Langelier par la formule:

$$\text{pHs} = (9,3 + A + B) - (C + D)$$

FIG. 1  
GRAPHIQUES PERMETTANT DE DÉTERMINER LE pHs \*



\* D'après Nordell (1961, p. 287).

Les valeurs relevées sur les graphiques doivent être arrondies au dixième d'unité le plus proche, une précision extrême étant inutile. En pratique, il faut faire preuve de bon sens et simplement se servir de l'indice obtenu comme d'un guide général. Habituellement, une fois le traitement institué, on insère dans le réseau de canalisations des tronçons d'essai sur lesquels on observe la tendance à l'entartrage. S'il se forme du tartre, il faut viser à une diminution de l'indice de Langelier. Il est généralement souhaitable de régler le traitement de telle façon qu'un très léger dépôt subsiste sur les surfaces métalliques.

Dans la mise en application de l'indice de Langelier, il convient de remarquer que l'on peut :

*a)* corriger une eau à tendance corrosive (c'est-à-dire abaisser le pHs) en diminuant les solides totaux ou en augmentant la température, la dureté et l'alcalinité au méthylorange;

*b)* corriger une eau à tendance entartrante (c'est-à-dire élever le pHs) en augmentant les solides totaux ou en diminuant la température, la dureté et l'alcalinité au méthylorange.

Les solides totaux n'ont pas grand effet sur le pHs. Quant à la température de l'eau, elle est habituellement fixée à quelques degrés près par les conditions d'emploi. Les deux seuls facteurs sur lesquels on puisse agir suffisam-

ment dans la pratique, sont donc la dureté et l'alcalinité. Le dioxyde de carbone accélère la corrosion dans les eaux à faible pH et peu alcalines et cette tendance augmente avec la température. Les eaux chargées de soufre peuvent donner naissance à des sulfures métalliques qui rongent les surfaces. Aussi est-il bon de chlorer les eaux sulfureuses après aération, pour en oxyder ou en précipiter le soufre.

On peut faire des économies considérables en renvoyant l'eau de refroidissement traitée dans des tours ou dans des échangeurs thermiques, ou encore en l'utilisant à d'autres fins. Légèrement chauffée, elle peut servir, après un appoint de chauffage s'il y a lieu, au lavage des bidons, des bouteilles et ustensiles divers ou à d'autres opérations. Les économies portent non seulement sur les frais de production et de traitement de l'eau, mais aussi sur le traitement des eaux résiduaires de l'usine, puisque, de toute évidence, toute réduction du volume des effluents tend à abaisser le coût de leur traitement.

Dans le cas d'une eau de dureté relativement faible, on peut ajouter des polyphosphates et certains composés organiques à l'eau d'alimentation des chaudières pour empêcher la formation de tartre. Ces additifs précipitent le calcium et le magnésium sous forme d'un produit qui, n'adhérant pas aux parois métalliques, reste en suspension. Nordell (1961, p. 268) indique sept phosphates utilisables ainsi et donne des tables qui permettent de calculer les doses à appliquer. Parmi les composés organiques de ce genre, figurent les tanins, l'amidon et divers produits naturels ou synthétiques. Bien préparés et rationnellement utilisés, ils sont précieux pour lutter contre l'entartrage des chaudières.

#### TRAITEMENT DES EAUX RÉSIDUAIRES

«Le contrôle et le rejet des eaux résiduaires sont d'une extrême importance dans bien des usines laitières. Qu'il s'agisse d'installations grandes ou petites, l'économie de l'exploitation exige une réduction maximale et une utilisation optimale de ces eaux; les déchets définitifs inévitables doivent être rejetés d'une manière satisfaisante.

» Les ressources hydriques de la Nation sont sérieusement limitées dans certaines régions. Les conserver et les protéger toutes pour en faire le meilleur usage possible est de l'intérêt tant des citoyens que des industries dont le développement ne cesse de croître, c'est-à-dire de la Nation tout entière» (United States Department of Health, Education and Welfare, Dairy Industry Committee, 1959).

La question des eaux résiduaires de laiterie doit être examinée sous deux angles: d'une part, du point de vue des mesures à prendre pour éviter la formation de déchets antiéconomiques ou pour récupérer des produits utiles et, d'autre part, du point de vue du traitement de ceux des déchets qui sont économiquement inévitables. Ce traitement coûte cher, et les éco-

nomies que permet la réduction du volume des déchets peuvent influencer grandement sur le choix des méthodes à adopter pour conserver ou récupérer les produits utiles. La principale mesure de la concentration des eaux résiduaires de laiterie est la DBO à 5 jours ( $DBO_5$ ). C'est la quantité d'oxygène absorbée par les déchets en 5 jours dans des conditions types à 20°C. Wheatland (1960) rapporte que dans une usine traitant environ 120 000 litres de lait par jour, des mesures de conservation et de récupération ont permis de réduire de 1420 à 730 p.p.m. la  $DBO_5$  des eaux résiduaires et la décharge quotidienne, évaluée en DBO, de 370 à 200 kg, soit une économie équivalant à 1600 litres de lait. De leur côté, Morgan & Baumann (1957) ont observé dans deux usines américaines que le contrôle rigoureux des déchets réduisait la  $DBO_5$  moyenne des rejets, pour 1000 kg de lait reçu, de 3,40 à 1,83 kg dans un cas et de 1,53 à 0,95 kg dans l'autre, soit des réductions de 46% et de 38% respectivement. Dans ces cas comme dans d'autres les conséquences économiques sont loin d'être négligeables.

### Prévention des déchets

Dans l'industrie laitière, les opérations qui peuvent contribuer au rejet de solides putrescibles dans le système de drainage sont multiples :

- 1) réception, refroidissement et stockage;
- 2) traitement thermique et mise en bouteilles du lait liquide;
- 3) écrémage et manipulation de la crème;
- 4) fabrication du fromage;
- 5) fabrication du beurre;
- 6) concentration;
- 7) dessiccation du lait;
- 8) fabrication de crèmes glacées.

Les méthodes courantes de nettoyage et de lavage, dont chacun de ces traitements exige l'application, donnent des effluents liquides chargés de solides laitiers et de détergents, mais diverses possibilités se présentent de réduire ces déchets. Pour bien gérer et pour exploiter rationnellement une entreprise laitière, il faut faire une analyse détaillée du potentiel résiduaire de chaque traitement.

#### *Réception*

Le lait est reçu en bidons ou en citernes, pesé, refroidi et envoyé par pompage dans des cuves de réception avant traitement. Deux sources principales de déchets sont à considérer à ce stade — le lait répandu et celui qui reste dans les bidons après leur vidange. Des projections peuvent avoir lieu faute de précautions quand on vide les bidons dans la trémie réceptrice ou dans le bac-bascule. Contre ces pertes, il est utile de prévoir des pare-gouttes, de donner des directives précises aux manutentionnaires et d'organiser une surveillance efficace des opérations. Il arrive aussi que l'on gaspille du lait

en faisant déborder la cuve réceptrice. On pare à ces incidents en installant un avertisseur de trop-plein et en prévoyant des conduites et des pompes d'une capacité suffisante pour répondre au rythme d'arrivée maximal. Pour réduire les pertes représentées par le lait laissé au fond des bidons, il convient de faire égoutter ceux-ci assez longtemps. De plus, comme le lait continue à s'écouler des bidons après que ceux-ci ont quitté la trémie réceptrice, on peut, à l'entrée des laveuses de bidons disposer un bac de récupération. On peut aussi rincer chaque bidon par pulvérisation d'environ 100 ml d'eau sous pression. Les eaux de rinçage rassemblées sont utilisables pour l'alimentation de certains animaux; on réduit ainsi dans des proportions non négligeables le volume des déchets à traiter. En associant judicieusement toutes ces méthodes on réussit à diminuer de plus de 50% la quantité d'effluents.

Pendant la manipulation, le refroidissement et le stockage des arrivages, des pertes se produisent occasionnellement par fuite des tuyaux et des pompes, par débordement, renversement et insuffisance d'égouttage du matériel avant lavage, etc. Les fuites proviennent de raccords mal assemblés ou endommagés; l'emploi d'installations à nettoyage *in situ* tend à réduire ces pertes. Il est impossible de démonter et de réassembler un appareil en fonctionnement, aussi est-il conseillé d'aménager toutes les conduites et raccords de telle façon que la mise en place de bacs de récupération en cas de fuite soit facile. Le lait ainsi récupéré peut servir à l'alimentation d'animaux; on diminue ainsi d'autant les déchets.

Pour éviter le débordement des réservoirs, ceux-ci doivent être soigneusement surveillés et, si possible, munis de dispositifs de contrôle automatiques, par exemple de vannes commandées par flotteur. S'il y a lieu, on installera des indicateurs et jauges permettant aux opérateurs de vérifier le degré de remplissage. Le lait répandu l'est presque toujours par manque de soin; on peut réduire les pertes en formant le personnel et en le soumettant à une étroite surveillance.

#### *Traitement thermique et mise en bouteilles*

Le matériel de traitement thermique du lait, notamment de pasteurisation, présente généralement une surface considérable qui, après emploi, retient une quantité de lait non négligeable. L'égouttage de ce matériel pendant un temps suffisant doit être prévu; une canalisation de drainage permettra de recueillir les résidus d'égouttage en vue de leur incorporation dans un produit laitier ou dans un aliment pour animaux. Il est bon de rincer par pulvérisation d'une petite quantité d'eau et de rassembler les eaux de rinçage pour l'alimentation du bétail. Cette récupération et la concentration de toutes ces eaux permettent de diminuer la charge de l'installation de traitement des résidus.

Lorsqu'on refroidit le lait à la suite d'un traitement thermique ou en vue de son stockage, il n'est pas rare qu'il se congèle en passant sur les sur-

faces réfrigérantes; les pertes peuvent être appréciables et la charge supplémentaire pour l'installation d'épuration, notable. Mais ces pertes peuvent être réduites par une bonne conception et un contrôle soigneux. Il est conseillé d'utiliser un réfrigérant dont la température ne soit pas inférieure au point de congélation de l'eau.

#### *Ecrémage*

Tout ce qui a été dit sur les installations de pasteurisation est applicable aux écrémeuses et à leurs accessoires. Il faut veiller tout particulièrement au drainage et au rinçage du matériel à crème; il convient de le passer à la vapeur pour en éliminer les matières grasses résiduelles.

#### *Fabrication du fromage*

Cette fabrication peut être une source importante de DBO dans les déchets d'une usine laitière. Le sérum du lait et les eaux de lavage des fromages ont une DBO élevée; leur conservation diminue sensiblement le coût du traitement des résidus. Tout rejet de ces matériaux dans les eaux résiduaires est coûteux. Il faut veiller à ne pas trop remplir les cuves et moules à sérum; quant aux pompes elles doivent avoir une capacité suffisante et être montées de façon à éviter la formation de bouchons d'air. Les moules à fromage doivent être remplis dans les cuves, et des récipients convenables doivent être disposés sous les presses pour empêcher le liquide exprimé de gagner les caniveaux. Le caillé répandu sur le sol doit être recueilli et conservé pour les animaux; il ne doit pas être entraîné dans le réseau d'évacuation.

#### *Méthodes recommandées pour éviter les déchets*

Le Dairy Industry Committee (1959), du Department of Health, Education and Welfare des Etats-Unis d'Amérique formule 38 règles applicables à tous les types de traitement du lait pour éviter le gaspillage et les déchets:

- 1) Adopter et mettre en œuvre un programme défini de prévention des déchets. L'organisation de comités et de discussions de groupe à ce sujet éveille l'intérêt du personnel.
- 2) Former le personnel de l'usine à l'exploitation et à la manipulation du matériel.
- 3) Procéder à une étude minutieuse de l'exploitation pour localiser les pertes.
- 4) Prévoir un matériel abondant, surtout pour la réception, le refroidissement et le stockage afin d'éviter le gaspillage dû aux délais de manipulation.
- 5) Marquer nettement toutes les vannes, surtout lorsqu'elles sont à voies multiples, de telle façon qu'il soit pratiquement impossible aux opérateurs même les plus inexpérimentés de les actionner à contre-sens.
- 6) Manipuler avec un soin extrême tous les accessoires, valves, joints des systèmes rotatifs et pièces de pompe, au cours de toutes les opérations, afin d'éviter leur dégradation d'où résultent toujours des fuites.
- 7) Prévoir une alimentation en énergie de secours qui assure la continuité du traitement en cas de défaillance de la source normale.
- 8) Doter de dispositifs de contrôle thermique précis les réfrigérants à ruissellement, à plaques ou à tubes pour éviter la congélation du lait sur les surfaces.

9) Supprimer les valves de sortie des réchauffeurs et des réfrigérants à plaques ou à tubes pour éviter les pertes dues à la détérioration des joints.

10) Installer des jauges commandant automatiquement l'arrêt des pompes, ou déclenchant un signal avertisseur, sur toutes les cuves qui risqueraient de déborder.

11) N'utiliser que des cuves et réservoirs sans arêtes vives convenablement implantés et suffisamment élevés pour faciliter leur vidange et la collecte des eaux de rinçage dans des seaux ordinaires.

12) Aménager les cuves, réservoirs et installations de traitement de façon à réduire au minimum les pertes dues aux fuites des joints, presse-étoupe, commandes rotatives, etc.

13) Installer toutes les canalisations de telle façon qu'elles puissent être vidangées entièrement et prérincées avec une petite quantité d'eau dans des seaux ordinaires. Les liquides résiduels sont utilisables pour l'alimentation des animaux.

14) Marquer distinctement les divers branchements des échangeurs thermiques à plaques pour éviter que le lait ne soit envoyé par inadvertance dans le circuit d'eau de l'échangeur.

15) Doter les réfrigérants à ruissellement de pare-gouttes efficaces et veiller à leur utilisation.

16) Ne jamais remplir les cuves à fromage, à crème glacée, les pasteuriseurs et les bacs de refroidissement à tel point qu'ils risquent de déborder par agitation du produit.

17) Réparer ou remplacer les installations et les pièces (valves, raccords, pompes, etc.) usées ou désuètes. Lorsqu'une fuite se produit au cours d'un traitement, disposer des bacs pour éviter que le produit ne se déverse dans les rigoles de drainage.

18) Ne pas laisser les mousses riches en solides laitiers gagner les canalisations d'évacuation. Les excès de mousses proviennent le plus souvent des écrémeuses ouvertes, des opérations de remplissage des bacs, d'une aspiration d'air par les fuites des canalisations sous vide partiel, du manque d'étanchéité des presse-étoupe, des pompes et des joints des dispositifs rotatifs.

19) Réparer ou remplacer les bidons qui fuient.

20) Prévoir d'excellentes chaînes convoyeuses et des dispositifs de déchargement soignés et les entretenir de manière à éviter que les bidons ne basculent.

21) Utiliser autant que possible, pour entreposer les bidons renversés, des grilles (type occidental). Dans toute la mesure du possible supprimer les bidons en restaurant la collecte par camions-citernes à la ferme et le transport par camions-citernes inter-centres.

22) Lors du déchargement des camions-citernes, éviter les fuites des tuyaux et des joints. S'assurer que le camion-citerne est vide avant de débrancher le tube de réception.

23) Prévoir un égouttoir adéquat entre les points de vidange et de lavage des bidons. Faire un prérinçage récupérateur à raison de 2 à 4 onces (environ 50 à 100 ml) d'eau par bidon à l'entrée de la laveuse à bidons et recueillir les eaux de rinçage; elles peuvent servir à l'alimentation d'animaux.

24) N'utiliser nulle part un tube qui fuit en permanence. Éliminer les causes de déchets, ne pas se contenter de laver les produits répandus.

25) Éviter l'emploi de préchauffeurs qui risquent d'être excessivement remplis ou de déborder par ébullition. Adopter des réchauffeurs à plaques, tubulaires ou à surfaces classiques. Si l'on est contraint d'utiliser des préchauffeurs, les munir de jauges déclenchant un signal avertisseur, ou d'interrupteurs automatiques des pompes avec thermostat.

26) Ne jamais trop remplir les évaporateurs, de façon à éviter les débordements par ébullition.

27) Concevoir tous les nouveaux évaporateurs à chaudière tubulaire externe avec une arrivée tangentielle dans l'espace d'évaporation. Equiper tous les évaporateurs à serpentin ou à calandre, de séparateurs d'entraînement de bon rendement. Les pare-gouttes situés au sommet des évaporateurs ne sont efficaces que dans les conditions de fonctionnement prévues, lorsque la couche de liquide est peu épaisse et la circulation de la vapeur relativement lente.

28) Munir si possible les condenseurs des évaporateurs d'un tube barométrique complet, de façon à éliminer les risques de contamination par aspiration d'eau dans l'évaporateur à travers le condenseur en cas de défaillance de la pompe ou de panne de courant. Ce tube barométrique, en facilitant le maintien d'un vide stable, favorise la réduction des pertes par entraînement.

29) Veiller soigneusement à éviter les projections de liquide au moment du remplissage ou de la manutention des bidons ou des fûts de lait.

30) En cas d'utilisation de sucre dans la fabrication des produits laitiers, veiller à ne pas en renverser sur le plancher et à ne pas en évacuer dans le système de drainage. Le sucre charge les eaux résiduaires comme le font les produits solides du lait.

31) Lorsque des produits concentrés ont été transférés des cuves sous vide aux cuves de refroidissement ou de stockage, veiller à ce que la solution détergente ne puisse pas pénétrer dans les cuves où elle polluerait le produit.

32) Tous les débris et poussières provenant des opérations de dessiccation du lait doivent être recueillis à l'aide d'un aspirateur. Ils serviront à l'alimentation des animaux. Ne jamais laisser l'eau des canalisations s'écouler en permanence sur les sols des salles servant à la préparation de poudre de lait.

33) Prévoir un système indé réglable de collecte du sérum et éviter les fuites des valves et raccords qui finalement entraîneraient des pertes de sérum et une corrosion du plancher.

34) Prévoir des pompes de secours pour envoyer le sérum des cuves à fromage dans les cuves de stockage en cas de défaillance des pompes ou de panne de courant.

35) Dans toutes les fromageries et usines à caséine, prévoir des bacs de stockage du sérum d'une capacité double du volume quotidien maximal.

36) Balayer et recueillir toutes les particules de caillé tombées sur le plancher. Ne pas les rejeter dans les caniveaux.

37) Au cours du traitement de la caséine, rassembler toute la poudre de caséine et toutes les particules fines à l'aide d'une installation de sédimentation convenable ou de filtres-presses. Ces résidus sont utilisables pour l'alimentation d'animaux.

38) Dans les fabriques de lactose, évaporer les eaux-mères et les eaux de rinçage; elles serviront à l'alimentation des animaux. Prévoir des bassins de stockage et de retenue. Éliminer soigneusement l'albumine et autres agglomérats du filtre-presse de manière à ne rien laisser partir dans le réseau de drainage.

### Choix des méthodes de traitement des déchets

Les eaux-vannes, c'est-à-dire celles qui contiennent des excréments humains, doivent être séparées des déchets de fabrication et traitées ou évacuées dans un réseau distinct. Le traitement des déchets laitiers nécessite une étude technique et scientifique minutieuse et il est de bonne politique de faire appel aux services d'un expert qualifié car les immobilisations en capital peuvent être considérables. Comme base de calcul on utilise des données sûres concernant le volume, la concentration et la composition des déchets, les variations saisonnières ou de traitement et la qualité admissible de l'effluent des installations. On peut choisir entre plusieurs méthodes: aération, irrigation, filtration biologique (y compris la double filtration alternée), utilisation de boues activées. Le lecteur trouvera la description d'autres méthodes dans une publication de l'American Chemical Society (1953), dans un ouvrage de Eldridge (1942) et dans d'autres documents techniques indiqués en références bibliographiques à la fin du présent chapitre.

C'est à la qualité requise de l'effluent final qu'est principalement subordonné le choix de la méthode de traitement. En général, la quantité rejetable de déchets, évaluée en DBO, dépend des caractéristiques du cours d'eau récepteur; la décharge ne doit pas nuire à la qualité des eaux réceptrices au-delà d'une limite définie. En Grande-Bretagne, les River Boards imposent généralement le rejet d'un «effluent normalisé», celui des usines laitières ne doit usuellement pas excéder 20 p.p.m. de DBO<sub>5</sub>. Lorsque le cours d'eau récepteur a un faible pouvoir de dilution, les règles peuvent être plus strictes. Les exigences finales peuvent être exprimées de l'une des deux façons suivantes: un poids maximal de DBO<sub>5</sub> rejetable en un seul jour ou une concentration maximale en p.p.m. de DBO<sub>5</sub> dans l'effluent de l'installation. A partir d'une estimation basée sur la mesure des déchets et sur la charge maximale de déchets à traiter, on peut calculer dans quelle mesure il faut réduire la DBO<sub>5</sub>. Le résultat élimine éventuellement tout de suite certaines méthodes de traitement qui ne permettraient pas d'obtenir la réduction nécessaire. On compare alors les autres possibilités du point de vue de leur mise en application pratique et de leur coût et on peut faire un choix final. L'analyse du coût doit porter à la fois sur les frais d'exploitation et sur l'amortissement des immobilisations en capital. Il ne faut pas négliger les possibilités de décharge des déchets laitiers dans un réseau d'égouts public. Même lorsqu'une municipalité perçoit des taxes spéciales, celles-ci peuvent être moins coûteuses que la construction et l'exploitation d'une installation de traitement distincte. Si les taxes sont calculées d'après la concentration des effluents rejetés dans le réseau d'égouts, l'intérêt d'un traitement partiel préalable au rejet est à envisager.

Le débit et la teneur des effluents d'une usine varient considérablement au cours d'une journée d'exploitation. Selon le type de traitement, il peut se révéler économique de prévoir un réservoir régulateur du courant dirigé vers l'installation de traitement. L'avantage est double: outre qu'on étale les pics de débit, on mélange des effluents de caractéristiques et concentrations variables, ce qui étale la charge et facilite le traitement ultérieur.

#### *Aération*

Les principes de l'aération des effluents laitiers ont été décrits par Trebler & Harding (1955) qui énumèrent cinq «faits fondamentaux»:

- 1) Les effluents laitiers sont particulièrement faciles à traiter par fermentation aérobie.
- 2) Lorsque les effluents contiennent une proportion relativement élevée de sérum, l'adjonction d'azote assimilable est utile.
- 3) En aérant longuement les solides laitiers, on provoque une digestion aérobie considérable.
- 4) La température d'aération est importante; la valeur optimale paraît être de l'ordre de 30°C. A 10°C la fermentation est pratiquement nulle.

5) Il semble douteux que les bacs d'aération des effluents laitiers puissent fonctionner régulièrement si l'on n'élimine pas une partie de leurs boues.

Le traitement par aération est sensiblement analogue au traitement par boues activées — procédé classique décrit dans tous les manuels de génie sanitaire. Il en diffère en ce qu'il est poursuivi jusqu'à stabilisation des boues, tandis que dans le procédé aux boues activées, une partie des boues est extraite, continuellement ou périodiquement, et envoyée vers des digesteurs indépendants ou éliminée d'autre façon. Dans le traitement par aération, les cellules sont détruites par leur propre métabolisme (oxydation endogène) ce qui réduit considérablement le volume des boues. Après une vigoureuse oxydation, généralement grâce à de l'air introduit par des diffuseurs, le liquide aéré est envoyé dans un bassin de décantation; les solides qui s'y déposent sont renvoyés au bac d'aération et le surnageant clair est acheminé vers le cours d'eau récepteur.

La capacité du bac d'aération est fonction du poids de  $DBO_5$  et du débit total quotidien d'effluents. Les eaux résiduaires de laiterie contiennent très peu de matériaux en suspension; on n'y trouve guère que des fragments de caillé et des débris entraînés lors du lavage des sols (un peu de sable, des capsules de bouteilles, etc.). Il est de pratique courante de prévoir 36 heures d'aération. Trebler & Harding (1955) déclarent avoir obtenu des résultats satisfaisants par oxydation uniforme pendant 24 heures, même lorsque les eaux résiduaires sont très hétérogènes au moment de leur introduction. La conception des groupes d'aération ne paraît pas particulièrement délicate; les bacs peuvent être carrés ou rectangulaires ou encore cylindriques (horizontaux ou verticaux; ils peuvent être peu ou très profonds et utilisés à niveau constant ou variable ou être alternativement vidés et remplis. Mais il importe que l'alimentation en oxygène soit assurée continuellement dans toute la masse du liquide et que celui-ci soit maintenu à une température aussi voisine que possible de la valeur optimale:  $30^\circ\text{C}$ . Le Department of Health, Education and Welfare des Etats-Unis d'Amérique ajoute que la teneur en solides du liquide aéré doit être maintenue à moins de 9%.

La capacité d'un bac d'aération s'exprime parfois en charge de  $DBO_5$ ; elle peut s'élever à 1,25-1,85  $\text{m}^3/\text{kg}$  par jour. La quantité d'air requise dans le traitement varie suivant le degré d'oxydation souhaité. L'assimilation initiale exige un poids d'oxygène égal à la moitié de celui des solides laitiers, tandis que l'oxydation complète en nécessite 1,25 fois ce même poids. Exprimée en volume d'air et en  $DBO_5$ , cela représente théoriquement 1,5  $\text{m}^3$  d'air par kilogramme de  $DBO_5$  pour l'oxydation initiale et 2,5 fois plus pour l'oxydation complète. En fait, 3% à 5% seulement de l'oxygène mis en contact avec le liquide sont utilisés dans la réaction biochimique. Si l'on diffuse de l'air comprimé, il faut, pour obtenir une oxydation complète, envoyer une quantité d'air de l'ordre de 120  $\text{m}^3/\text{kg}$  de  $DBO_5$ . La conception du système, c'est-à-dire la taille des bulles d'air produites par les diffuseurs joue un rôle important et des cas ont été signalés (Dairy Industry Committee

(1959), Department of Health, Education and Welfare, des Etats-Unis d'Amérique) dans lesquels il fallait 300 m<sup>3</sup>/kg de DBO<sub>5</sub>. Wheatland (1960) remarque que le traitement peut alors devenir coûteux.

L'efficacité du traitement par aération est habituellement exprimée en pourcentage de DBO<sub>5</sub> éliminée. Elle peut atteindre 95% et plus. Mais le traitement est également adaptable à l'obtention d'une purification moins poussée lorsque les conditions le permettent.

#### *Filtration biologique*

L'action des filtres biologiques dépend de phénomènes de contact plutôt que d'un effet de filtration ou de colature. Pour le traitement des eaux résiduaires de laiterie ces filtres peuvent être construits avec des matériaux extrêmement divers: pierre, bois, brique, coke et autres substances relativement durables. Leur efficacité dépend essentiellement de deux facteurs: leur surface, qui doit être assez vaste pour que puisse s'y former une couche (ou limon) biologique, et une ample alimentation superficielle en air. Le filtre le plus courant est formé d'une structure contenant des pierres soigneusement calibrées à éléments de diamètre nominal compris entre 6 et 9 cm. Mais ces dimensions peuvent ne pas être rigoureusement observées; on peut utiliser un matériau plus fin. Wheatland (1960) signale l'emploi de coke métallurgique à éléments de diamètre compris entre 2 et 4 cm. L'épaisseur du filtre est variable; on adopte souvent 2 m, mais des filtres de 1,2 m et de 2,7 m ont donné de bons résultats. Les dimensions du filtre sont fonction de la charge en DBO. Le débit s'exprime en poids de DBO par unité de volume du filtre et par jour. Il varie normalement de 0,18 à 0,30 kg de DBO<sub>5</sub> par mètre cube de milieu filtrant et par jour, mais on a réalisé des débits supérieurs. Dans la conception des filtres biologiques, il importe de distribuer le liquide très uniformément à la surface du filtre, et par intermittence. Le liquide peut être pulvérisé par des buses fixes (on utilise alors un siphon automatique pour obtenir l'intermittence) ou par des bras tournants dotés de buses (voir fig. 2). La ventilation est également importante; on la réalise généralement en fixant le massif filtrant sur une base perforée sous laquelle l'air peut circuler librement. Pour assurer une bonne ventilation naturelle, il est jugé souhaitable de construire le filtre et ses dispositifs de drainage inférieurs entièrement au-dessus du niveau du sol.

Dans la conception d'un filtre, il faut prendre en considération, outre la charge en DBO, le courant d'alimentation. Il ne doit pas excéder 0,83 m<sup>3</sup> par mètre cube de milieu filtrant et par jour, la valeur normale étant limitée aux 2/3 de ce débit. La concentration des effluents épurables par un filtre biologique ne doit pas dépasser environ 400 p.p.m. de DBO<sub>5</sub>. Pour les filtres biologiques à débit classique et à un seul étage, il peut être souhaitable de diluer les effluents à traiter de façon à maintenir la concentration en DBO au-dessous de cette valeur; sinon le lit s'engorge par une surproduction de masse biologique. Les filtres biologiques peuvent réduire la DBO de 75%-90%.

*Sédimentation post-filtration*

La filtration biologique doit être suivie d'une sédimentation. Les filtres se «déchargent» périodiquement, c'est-à-dire que des masses biologiques se détachent du milieu filtrant; ces masses dites d'«humus» apparaissent en quantités considérables dans l'effluent. En général cet humus sédimente facilement; il suffit usuellement d'une heure de rétention pour obtenir une clarification satisfaisante du surnageant que l'on peut alors écouler par un déversoir de surface (voir fig. 3).

*Filtration biologique de grand rendement*

L'efficacité de la filtration biologique peut être améliorée, et la dimension des filtres réduite en conséquence, par remise en circulation continue de l'effluent (après filtration et décantation) avec les eaux résiduaires brutes. Eldridge déclare que la charge en DBO d'un filtre biologique de grand rendement peut être 4 fois plus élevée que celle d'un filtre simple ou classique, qui est de l'ordre de 0,8-1,2 kg de DBO<sub>5</sub> par mètre cube de milieu filtrant et par jour. Le courant remis en circulation peut être bien supérieur à celui des eaux non traitées; le rapport du débit d'arrivée au débit de retour peut aller de 1:1 à 1:10. Il est conseillé, surtout lorsque ce rapport est faible, de faire fonctionner les pompes de recirculation de façon à assurer une alimentation sensiblement uniforme du filtre. Cette alimentation doit, de préférence, être supérieure à 1,3 m<sup>3</sup> par mètre cube de milieu filtrant bien que de bons résultats soient obtenus dans certains cas avec un débit moindre.

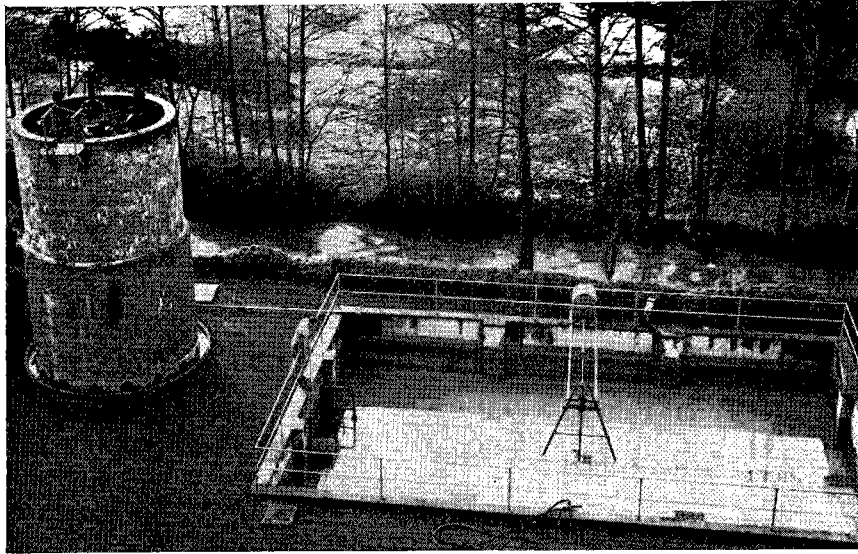
Il est important de faire suivre la filtration à grand rendement d'une décantation finale. L'une des caractéristiques de ce genre de filtre est la continuité de sa décharge. La prolifération biologique qui a lieu sur le milieu filtrant n'est pas de même nature que celle qui se produit sur un filtre biologique classique. Elle est plus mince et beaucoup plus active et se renouvelle continuellement, rejetant par une sorte de mue les vieilles formations. Il en résulte la présence d'une quantité considérable de matières solides organiques dans l'effluent du filtre. Le temps de rétention dans le dernier bassin de sédimentation est normalement d'une heure (en admettant que toutes les eaux ont circulé deux fois).

Un filtre biologique monophasé à haut rendement avec sédimentation ultérieure élimine de 90% à 99% de la DBO<sub>5</sub>.

*Filtration double*

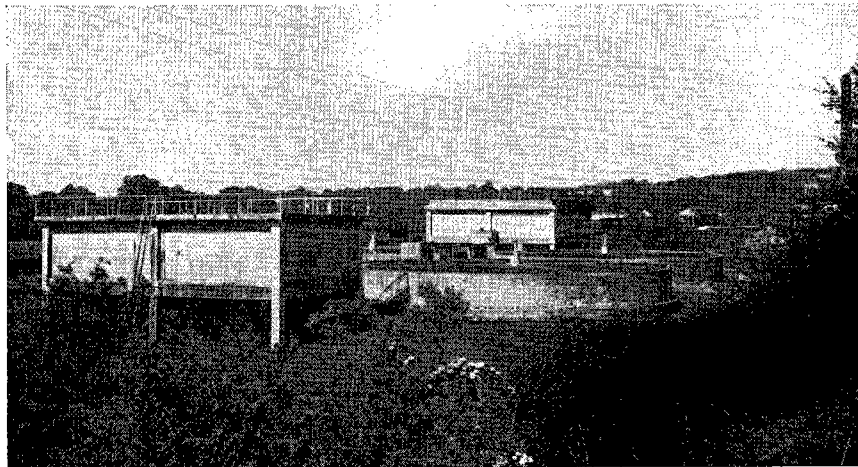
La filtration double — ou plus précisément la filtration double alternée — a gagné en faveur surtout en Grande-Bretagne. Dans ce procédé, l'effluent purifié d'un premier filtre est décanté puis envoyé dans un second filtre. Au sujet de ce procédé, Wheatland (1960) signale que l'on peut nettoyer un filtre (biologique) percolant partiellement colmaté en y faisant passer l'effluent d'un autre filtre. En construisant deux filtres et en alternant leurs rôles (pri-

FIG. 2  
 TRAITEMENT DES EAUX RÉSIDUAIRES D'UNE LAITERIE  
 PAR COAGULATION CHIMIQUE (À DROITE) SUIVIE D'UNE PERCOLATION  
 DANS UN FILTRE PROFOND (À GAUCHE)



British Crown Copyright. Reproduction obligeamment autorisée par le Controller of Her Britannic Majesty's Stationery Office

FIG. 3  
 INSTALLATION POUR LE TRAITEMENT DES EAUX RÉSIDUAIRES D'UNE LAITERIE.  
 VUE D'ENSEMBLE



Les eaux sont recueillies dans les bassins du fond, traitées dans les filtres du centre et décan-tées dans les bassins à humus du premier plan.

British Crown Copyright. Reproduction obligeamment autorisée par le Controller of Her Britannic Majesty's Stationery Office

maire et secondaire) tous les 15 jours, on peut enrayer le colmatage et obtenir un très haut rendement. En présence de charges de l'ordre de 0,3 kg de  $\text{DBO}_5$  par mètre cube de milieu filtrant (sur la base du volume total des deux filtres), Wheatland indique l'obtention dans l'effluent final de concentrations en DBO constamment inférieures à 10 p.p.m., et une efficacité d'épuration atteignant fréquemment 99%.

#### *Digestion et évacuation des solides*

Bien que par traitement aérobic les solides des eaux résiduaires de laiterie soient en grande partie détruits, il est rare qu'il en subsiste assez peu pour qu'il soit inutile de les évacuer. On dispose de trois méthodes pour s'en débarrasser: le rejet en bassin d'épandage, la dessiccation et la digestion suivie d'une dessiccation. Les boues des bassins de sédimentation des eaux résiduaires brutes de laiterie sont nauséabondes, difficiles à dessécher et à évacuer. Celles des bacs de sédimentation des effluents traités par aération ou par filtration biologique sont mieux stabilisées; après dessiccation elles ressemblent à l'humus. Elles peuvent être directement mises à sécher sur des lits de sable. Mais dans les grandes installations, il peut être économique de prévoir un bac de digestion dans lequel les solides sont stabilisés par décomposition anaérobie; ils sont ensuite plus faciles à dessécher et bien moins difficiles à rejeter. Les données sur les dimensions des bacs de digestion à utiliser pour les effluents laitiers sont assez rares. Morgan & Baumann (1957) mentionnent un digesteur de 56,5 m<sup>3</sup> dans une usine traitant un effluent à 410 kg de  $\text{DBO}_5$  par jour, ce qui représente une capacité de digestion d'environ 143 litres par kilogramme de DBO et par jour.

#### *Irrigation*

Le Dairy Industry Committee (1959) du Department of Health, Education and Welfare des Etats-Unis d'Amérique souligne que, si l'on dispose de terres convenables, et si l'on choisit soigneusement les cultures, l'épandage des effluents laitiers par irrigation en aspersion est généralement la méthode de traitement la plus économique et la plus commode. Les sols poreux sont ceux qui conviennent le mieux: limon léger, sable et formations graveleuses. Les sols argileux sont défavorables en raison de leur imperméabilité et de l'action toxique du sodium des effluents sur l'argile. Les terrains vallonnés ou inclinés sont les plus propices, mais la pente ne doit pas excéder 6%. Comme culture les herbes à racines fasciculées sont à recommander; elles doivent être déjà bien développées avant le début des aspersion. Le dispositif d'irrigation peut être permanent ou composé d'éléments mobiles. Les épandeurs à buses sont satisfaisants, à condition que les effluents soient débarrassés par filtration préalable des débris qui pourraient boucher les buses. Les pompes et leurs cuvettes doivent être conçues de telle façon qu'elles ne deviennent pas septiques; le programme d'application doit être tel que le sol ne soit jamais saturé. L'épandage se

fait généralement à raison de 3,8 à 9,4 m<sup>3</sup> par hectare et par jour, mais en prévoyant des pauses de 3 à 4 jours entre deux applications successives on peut aller jusqu'à 38 m<sup>3</sup>/ha/jour. Il est permis d'évacuer une certaine quantité de sérum dans les effluents laitiers normaux, mais un excès de produit risque de nuire aux cultures. Dans certains cas il est souhaitable de prévoir un drainage sub-superficiel. D'autres types d'irrigation peuvent se révéler plus pratiques ou plus économiques. Lorsque les effluents sont très chargés, l'irrigation dans les enrayures des terres en billons peut être préférable.

#### Dossiers

Le traitement des eaux résiduaires de laiterie est relativement coûteux. Pour protéger les mises de fonds, il faut s'efforcer d'exploiter continuellement les installations à leur maximum d'efficacité. A cette fin, il est indispensable de tenir à jour un jeu de dossiers qui permettra d'apprécier les résultats obtenus. Il faut au minimum enregistrer le débit d'arrivée à chaque unité d'épuration et faire des déterminations connexes de la DBO<sub>5</sub>. Les enregistrements permettent de calculer la charge quotidienne moyenne et révèlent les pointes de charge. Les mesures de débit des effluents sont également précieuses, car elles permettent de repérer les points de gaspillage d'eau dans l'usine et favorisent ainsi l'économie de l'exploitation. Les enregistrements de la DBO indiquent les charges en déchets organiques et sont indispensables aux calculs de rendement. Quant aux dossiers rétrospectifs ils sont nécessaires à la conception technique des nouvelles installations et apportent, par conséquent, une contribution scientifique précieuse. Les dossiers peuvent être très complexes mais, convenablement analysées, les mesures même les plus simples peuvent être extrêmement utiles. La constitution de dossiers, avec conservation des enregistrements, est la première condition d'une bonne gestion et de l'économie dans l'exploitation.

#### BIBLIOGRAPHIE

- American Chemical Society (1953) *Industrial wastes* (Rudolfs, W., ed.), New York, Reinhold
- Babbitt, H. E. & Doland, J. J. (1949) *Water supply engineering*, New York, McGraw-Hill
- Degrémont, A. S. A. (1960) *Mémento technique de l'eau*, Suresnes, France (Etablissements Emile Degrémont)
- Eldridge, E. F. (1942) *Industrial waste treatment practice*, New York, McGraw-Hill
- Fair, G. M. & Geyer, J. C. (1954) *Water supply and waste-water disposal*, New York, Wiley
- Hoover, C. P. (1946) *Water supply and treatment*, Washington, D. C., National Lime Association
- Institution of Water Engineers (1961) *Manual of British water engineering practice*, 3rd ed., Cambridge, Heffer
- Morgan, P. E. & Baumann, E. R. (1957) *J. Sanit. Engng Div.*, **83**, No. SA4, Paper No. 1336 (Proceedings of the American Society of Civil Engineers)

- Nordell, E. (1961) *Water treatment for industrial and other uses*, New York, Reinhold
- Organisation mondiale de la Santé (1958) *Normes internationales applicables à l'eau de boisson*, Genève
- Trebler, H. A. & Harding, H. G. (1955) *Sewage industr. Wastes*, **27**, 1369
- United States Department of Health, Education and Welfare, Dairy Industry Committee (1959) *An industrial waste guide to the milk processing industry*, Washington, US Government Printing Office (US Public Health Service Publication No. 298)
- Wagner, E. G. & Lanoix, J. N. (1961) *Approvisionnement en eau des zones rurales et des petites agglomérations*, Genève (*Organisation mondiale de la Santé: Série de monographies*, No. 42)
- Wheatland, A. B. (1960) *Treatment of wastes from milk-products factories*. In: Isaac, P. C. G., ed., *Waste treatment: Proceedings of the Second Symposium on the Treatment of Waste Waters*, University of Durham, September 1959, Oxford, Pergamon Press.
-