Traitement des eaux résiduaires de sucrerie

par M. SCLAVONS (1), D. VANDEN BOSSCHE (2),
D. JACQMAIN (3), G. PETERS (4)

66 | 21050

1. INTRODUCTION

Un des plus importants devoirs pour l'homme est de sauvegarder l'eau, élément indispensable à la survie de notre civilisation.

De nombreux pays l'ont compris et ont édicté une législation de plus en plus sévère. Les industriels doivent ou devront, à bref délai, épurer leurs eaux résiduaires, ou payer des redevances pour tout déversement d'eaux usées dans un égout public ou dans une eau de surface et ce, en fonction de la charge polluante.

En outre, dans la plupart des pays, tout prélèvement d'eau fraîche dans un cours d'eau ou dans la nappe aquifère est taxé. L'industrie sucrière n'échappe pas à ces contraintes.

Actuellement, une sucrerie ne paraît rentable que si elle traite pendant 2 ou 3 mois (d'octobre à décembre) une moyenne d'au moins 3 à 4.000 tonnes de betteraves par jour. Il en résulte que la charge polluante à évacuer se trouve concentrée dans l'espace et dans le temps, ce qui rend son rejet dans le milieu naturel impossible sans traitement préalable.

Pour fixer les idées, précisons que travailler une tonne de betteraves par jour, dans les conditions normales actuelles, représente :

— *qualitativement:* une pollution équivalente à celle produite par 50 habitants. Soit, pour une sucrerie moyenne de 4.000 tonnes par jour: 200.000 équivalent - habitants.

— *quantitativement:* un déversement de 0,5 à 2,0 m^3 par tonne de betteraves travaillées. Soit, pour une sucrerie moyenne de 4.000 tonnes par jour: 2.000 à 8.000 m^3 d'eau polluée.

Cette situation est déjà le résultat d'un effort considérable de réduction des besoins en eau par des recyclages intensifs. Toutefois, même si à la limite, une sucrerie n'effectue aucun prélèvement sur le milieu naturel, elle restera productrice d'eau (eau provenant des betteraves).

Pour réduire la pollution de ses rejets, l'industrie sucrière dispose de trois classes de procédés:

— le stockage avec autoépuration en bassins ou lagunage;
— l'épandage;
— le traitement en station d'épuration.

Nous nous efforcerons ci-dessous

1. de déterminer (localiser) et d'évaluer les différentes sources de pollution des eaux de sucrerie.

2. d'étudier les possibilités d'épuration de ces eaux par:
— stockage avec autoépuration, suivi d'un traitement de finition par aération forcée.
— épandage.
— le fermenteur R.T. Lefrançois.

Il nous semble cependant utile de débuter par un rappel succinct du processus d'extraction du sucre, suivi d'un bilan des entrées et des sorties des eaux en sucrerie.

2. RAPPEL SUCCINCT DU PROCESSUS D'EXTRACTION DU SUCRE (voir fig. 1)

3. BILAN DES EAUX D'UNE SUCRERIE

3.1. Bilan des eaux d'une sucrerie (en kg pour 100 kg de betteraves propres, voir fig. 2)

3.2. Circuit de refroidissement des machines

On travaille en circuit fermé. Il n'y a donc aucune entrée et sortie d'eau.

3.3. Circuit de transport et de lavage des betteraves

Pour 100 kg de betteraves lavées, on suppose une tare de 25 kg, constituée de 17 kg de terre et de 8 kg d'eau.

L'eau de transport est de 5 kg par kg de betteraves.
L'eau de lavage est de 1,3 kg par kg de betteraves.

---

(1) Institut des Industries de Fermentation - Institut Meurice Chimie (CERIA). Travail de fin d'études d'Ingénieur Industriel (option Biochimie). Septembre 1978.
(2) A.B.R. - Engineering; Département Process Sucrerie.
(3) I.I.F. - I.M.C. (CERIA): Chef du Service de Technologie Alimentaire.
(4) Bureau d'Etudes Hydrocontrol S.A. - Ingénieur.

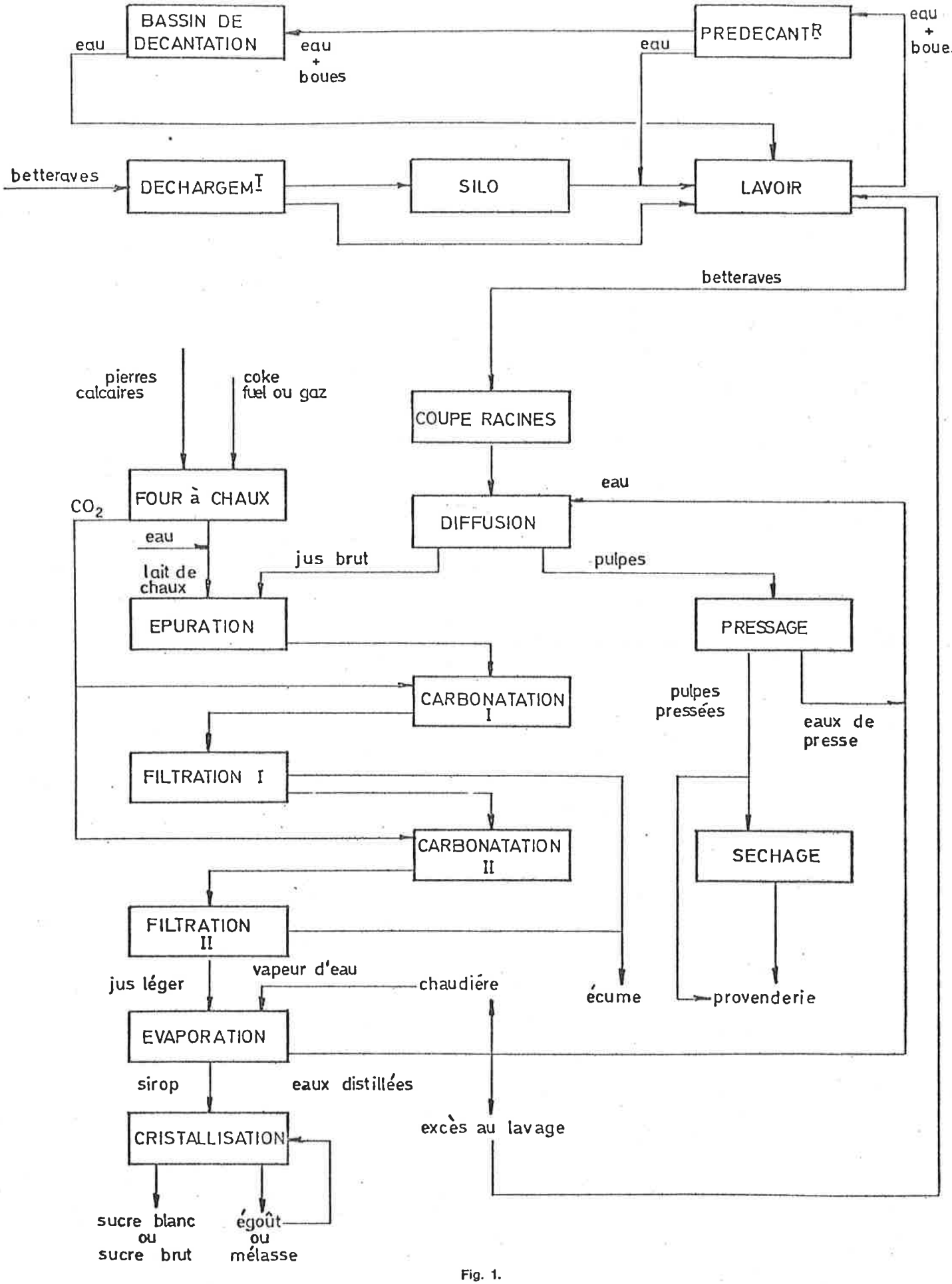
BASSIN DE DECANTATION
eau
eau + boues
PREDECANTR
eau
eau + boues
betteraves
DECHARGEMT
SILO
LAVOIR
betteraves
pierres calcaires
coke fuel ou gaz
COUPE RACINES
FOUR à CHAUX
CO2
eau
DIFFUSION
eau
jus brut
pulpes
lait de chaux
EPURATION
PRESSAGE
CARBONATATION I
pulpes pressées
eaux de presse
FILTRATION I
CARBONATATION II
SECHAGE
FILTRATION II
vapeur d'eau
jus léger
chaudière
écume
provenderie
EVAPORATION
sirop
eaux distillées
excès au lavage
CRISTALLISATION
sucre blanc ou sucre brut
égoût ou mélasse

Fig. 1.

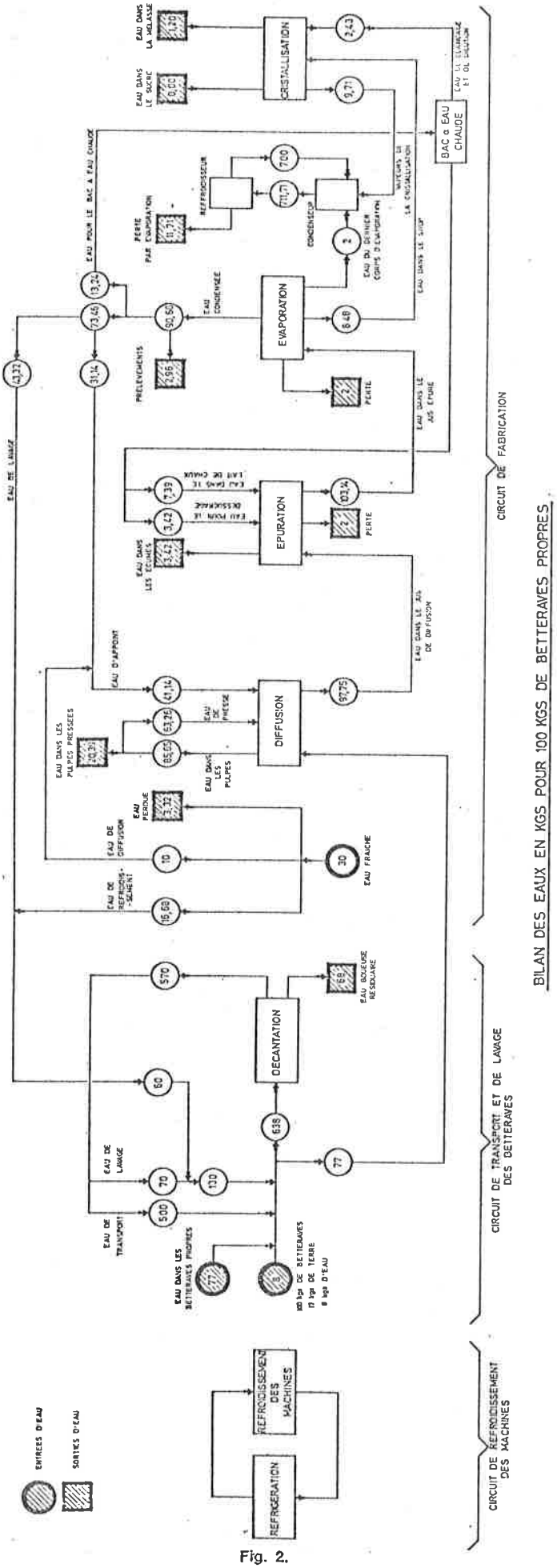

Fig. 2.

Les boues sortant du décanteur ont une concentration de 200 kg par m³.

On en déduit:

— l'eau de transport pour 100 kg de betteraves: 500 kg.

— l'eau de lavage pour 100 kg de betteraves: 130 kg.

— le poids des boues sortant du décanteur: 85 kg.

— l'eau contenue dans les boues: 68 kg.

— ces 68 kg d'eau doivent être remplacés par:

  — 8 kg d'eau contenue dans les terres amenées par les betteraves.

  — 43,32 kg d'eau provenant de l'évaporation.

  — 16,68 kg d'eau récupérée dans le processus de fabrication.

3.4. Circuit de fabrication

3.4.1. *Diffusion et pressage des pulpes*

On suppose une entrée de 100 kg de betteraves lavées en diffusion et on admet les valeurs suivantes:

— composition de ces betteraves: 23 % de matières sèches, 77 % d'eau.

— soutirage à la diffusion: 115 kg de jus.

— brix du jus de diffusion: 15.

— pulpes humides à la sortie de la diffusion: 89,4 kg.

— pressage des pulpes à 22 % de matières sèches.

On en déduit:

L'eau contenue dans les betteraves: 77 kg.

La matière sèche à l'entrée: 23,00 kg.

La matière sèche à la sortie du jus: 17,25 kg.

La matière sèche des pulpes: 5,57 kg.

Le poids des pulpes pressées: 26,14 kg.

L'eau recyclée à la diffusion: 63,26 kg.

L'eau dans le jus de la diffusion: 97,75 kg.

L'eau contenue dans les pulpes: 83,65 kg.

Bilan: l'eau d'appoint pour la diffusion (l'eau dans le jus de diffusion + l'eau dans les pulpes) — (l'eau dans les betteraves + l'eau recyclée) = 41,14 kg.

3.4.2. *Epuration*

Le jus de diffusion est chaulé jusqu'à une teneur de 18 kg de CaO/m³, par addition d'un lait de chaux à 206 g de CaO/l.

Les écumes sont désucrées à raison de 1 kg d'eau par kg d'écume, elles sont ensuite évacuées à 50 % de matières sèches.

On évalue en outre à 2 kg les pertes par évaporation, lors de l'épuration.

La masse volumique du jus de diffusion est de 1.080 kg/m³.

On en déduit:

Le volume du jus de diffusion: 106,48 l.

Le poids du lait de chaux nécessaire pour effectuer le chaulage du jus de diffusion: 9,30 kg.

L'eau contenue dans le lait de chaux: 7,39 kg.

Le poids du carbonate formé: 3,42 kg.

Le poids des écumes à 50 % de matières sèches: 6,84 kg.

Le poids d'eau de désucrage: 3,42 kg.

Le poids du jus sortant de l'épuration:
(poids du jus de diffusion + poids du lait de chaux + poids de l'eau de désucrage) — (perte en vapeur à l'épuration + poids des écumes): 118,88 kg.

Bilan: l'eau contenue dans le jus après épuration (l'eau dans le jus de diffusion + l'eau contenue dans le lait de chaux + l'eau de désucrage) — (perte en vapeur + l'eau dans les écumes): 103,14 kg.

3.4.3. *Evaporation*

Le brix du jus après évaporation est de 65.

La vapeur extraite du dernier corps vers le condenseur est de 2 kg.

La vapeur extraite avec les incondensables à l'évaporation est aussi de 2 kg.

On en déduit:

— le poids des matières sèches à l'entrée: 15,74 kg.

— le poids du sirop à la sortie: 24,22 kg.

— l'eau contenue dans le sirop: 8,48 kg.

Bilan:

l'eau évaporée disponible.
(l'eau dans le jus après épuration) — (l'eau dans le sirop + la vapeur du dernier corps vers le condenseur + l'eau perdue): 90,66 kg.

Ces 90,66 kg sont recyclés:

— à des prélèvements divers: 3 kg.

— à la diffusion: 31,1 kg.

— au lavage: 43,32 kg.

— au bac à eau chaude: 13,24 kg.

3.4.4. *Cristallisation*

L'eau de clairçage et de dilution est de 2,43 kg et provient du bac à eau chaude.

L'eau contenue dans le sucre est de 0 kg.

L'eau contenue dans la mélasse est de 1,2 kg.

On considère que la vapeur condensée au condenseur barométrique compense exactement l'eau évaporée dans le réfrigérant atmosphérique.

Bilan:

— les vapeurs émises à la cristallisation (eau dans le sirop + eau de clairçage et de dilution) — (eau dans les mélasses): 9,71 kg.

— la perte d'eau au réfrigérant du condenseur barométrique (l'eau condensée + la vapeur du dernier corps vers le condenseur): 11,71 kg.

3.5. Bilan final

Entrées d'eau:

— l'eau contenue dans les betteraves	77 kg
— l'eau de la terre collée aux betteraves	8 kg
— l'eau fraîche dans l'usine	30 kg
Sorties d'eau:	115 kg
— l'eau d'évacuation des boues	68 kg
— l'eau sortant avec les pulpes pressées et évaporée à la sécherie de pulpes	20,39 kg
— l'eau des écumes	3,42 kg
— l'eau évaporée au réfrigérant	11,71 kg
— l'eau dans la mélasse	1,20 kg
— la vapeur ou l'eau perdue par évaporation	
- à l'épuration	2 kg
- à l'évaporation	2 kg
- aux autres postes	6,28 kg
	115 kg

4. LES PRINCIPALES EAUX RESIDUAIRES DE SUCRERIE ET LEUR DEGRE DE POLLUTION [1]

4.1. Transport et lavage des betteraves

Ce poste représente environ 50 % de la pollution en matières organiques, et 100 % de la pollution en matières en suspension rejetée par l'usine.

De la terre, des pierres et de l'herbe sont livrées à la sucrerie, en même temps que les betteraves. Ces déchets constituent la tare, définie comme le pourcentage en déchets du poids brut.

$$\text{Usine de 4.000 t/j : la tare} = \frac{1.000}{(4.000 + 1.000)} \times 100 = 20\ \%$$

Déchets	t/j	Tare	t/Campagne de 100 j
Quantité d'herbe	50	5 %	5.000
Quantité de cailloux	75	7,5 %	7.500
Quantité de terre	875	87,5 %	87.500
	1.000		100.000

Une tare de 20 %, signifie que pour 1.000 kg de betteraves livrés à l'usine, il y a 200 kg de terre et 800 kg de betteraves.

La tare est constituée:

a) de cailloux et d'objets divers retenus dans la terre. Ils sont évacués, par la sucrerie, en décharge ou peuvent être utilisés pour empierrer certains chemins ou aires de stationnement de l'usine etc...

b) de restes de feuilles cédés aux agriculteurs, qui les utilisent comme engrais vert.

c) de terre. Elle est:

— épandue sur les champs sous forme d'eaux boueuses.

— stockée dans des bassins à boue. Pour fixer les idées, notons que les 87.500 tonnes de boues liquides occupent en fin de campagne un volume de plus ou moins 75.000 m³.

Les opérations de transport et de lavage nécessitent des volumes importants d'eau. On ne peut pas individualiser ces deux circuits car les eaux de lavage sont réutilisées pour le transport hydraulique.

Il arrive que lors de ces opérations, des betteraves soient blessées. Il y a ainsi diffusion de sucre dans ces eaux.

Les eaux de lavage et de transport contiennent donc, outre des matières en suspension, des matières organiques en solution.

Caractéristiques moyennes des eaux de lavage et de transport

Matières en suspension	en mg/l	60.000 à 250.000
DBO_5	en mg/l	2.500 à 5.000
DCO	en mg/l	4.000 à 10.000

4.2. Diffusion du sucre de la betterave

Afin d'éviter leur rejet dans le milieu naturel, les eaux de presse très polluantes (2.500 mg/l de DBO_5, 6.000 mg/l de DCO) sont recyclées en queue de diffusion. On améliore ainsi l'extraction du sucre.

4.3. Epuration du jus sucré

Les écumes de carbonatation devraient être filtrées sous pression et, évacuées avec une teneur de 50 % en matière séche pour être utiliseés par les fermiers comme améliorant de la structure du sol. Ainsi disparaîtrait l'origine d'une pollution intense créée actuellement par le stockage en bassin des écumes diluées.

Caractéristiques moyennes des eaux de dilution des écumes

DBO_5	en mg/l	5.000
DCO	en mg/l	10.000
Volume en m³ par t de bett. traitées		0,2

4.4. Evaporation des jus sucrés

Ce sont les eaux du condenseur barométrique qui proviennent du mélange des vapeurs sortant du dernier corps d'évaporation et des vapeurs des cuites avec l'eau alimentant le condenseur barométrique.

Il existe des risques de pollution accidentelle grave par entraînement du jus sucré.

Caractéristiques moyennes des eaux d'évaporation du condenseur

Matières en suspension		faible
DBO_5	en mg/l	40
DCO	en mg/l	100
Teneur en ammoniac	en mg/l	20 à 50
Volume en m³ par t de bett. traitées		4,5

4.5. Normes belges (*) de rejet des eaux résiduaires

Les effluents des sucreries sont définis comme suit:

— effluents de classe I:

ils sont constitués par les eaux usées provenant des condenseurs barométriques.

— effluents de classe II:

ils sont constitués par les eaux de lavage et de transport de betteraves.

Le déversement, dans les égouts publics, d'eaux usées provenant des sucreries est interdit.

Les conditions sectorielles de déversement des eaux usées dans les eaux de surface ordinaires sont fixées comme suit:

Effluents de classe I:

Caractéristiques		Rejet
Débit	l/t de betteraves traitées	400
MES	mg/l	50
DBO_5	mg/l	50
DCO	mg/l	125
Teneur en ammoniac	mg/l	100

Effluents de classe II:

Du point de vue des déversements, l'année a été subdivisée, en trois périodes:

(*) Arrêté Royal du 3 août 1976.

Première: du 1er octobre au 31 janvier.
Deuxième: du 1er février au 30 avril.
Troisième: du 1er mai au 30 septembre.

Caractéristiques		Période I	Période II	Période III
Débit	l/t de betteraves traitées	80	220	pas de limite
MES	mg/l	200	100	30
DBO_5	mg/l	250	180	30
DCO	mg/l	650	450	100
Teneur en ammoniac	mg/l	20	20	5

5. TRAITEMENT DES EAUX RESIDUAIRES

5.1. Traitements locaux - Réduction des volumes et des charges polluantes rejetées

5.1.1. *Supression des eaux de diffusion:*

Les diffusions continues qui se généralisent dans tous les pays ne sont pas seulement un progrès technologique pour l'extraction de sucre mais apportent également une suppression totale des petites eaux; il n'est pas nécessaire en effet, d'ajouter de l'eau pour extraire les pulpes de ces appareils.

5.1.2. *Evacuation à sec des écumes de carbonatation:*

Les propriétés thixotropiques des écumes, lorsqu'elles ont une concentration en matière sèche de 50 %, leur donnent l'aspect et les propriétés des fluides, permettant ainsi une évacuation sans dilution.

5.1.3. *Recyclage partiel des eaux boueuses:*

L'eau recyclée doit être débarrassée de ses matières en suspension et essentiellement de la terre, dans une proportion variable, suivant l'usage auquel est destiné l'eau, d'où différents types de recyclage.

— Le recyclage a lieu à l'usine même au travers de dispositifs mécaniques tels que les décanteurs et hydrocyclones.

L'efficacité de ces appareils diminue avec le tonnage traité; leurs dimensions devenant rapidement insuffisantes. L'eau traitée contient encore 50 à 80 kg/m³ de matière en suspension et sa réutilisation est réservée au transport.

— Le recyclage est réalisé à l'extérieur de l'usine au travers de bassins en terre de plusieurs hectares de surface. Cette solution donne une eau beaucoup mieux décantée avec toutefois le risque d'une fermentation anaérobie et d'une production d'odeurs.

— La solution le plus souvent utilisée consiste à effectuer une décantation rapide à l'usine dans un décanteur mécanique, les eaux grossièrement traitées sont utilisées au transport, les boues sont envoyées dans des bassins où elles subissent une décantation secondaire. Ces eaux sont ensuite traitées par un antiseptique, le chlore, juste avant de réintégrer les circuits de lavage et de refroidissement.

Dans la plupart des cas le recyclage n'est pas complet, une partie des eaux est souvent rejetée dans le milieu naturel (épandage, rejet en rivière, infiltration,...) ou encore dans un bassin de traitement. Une certaine quantité d'eau propre est alors généralement apportée au lavoir.

Divers auteurs ont étudié l'évolution de la pollution dans un tel circuit et il a été montré qu'au bout d'un certain temps, généralement court, la valeur de la D.C.O. se stabilise. (600 mg/l en 2 jours à volume constant, 1.900 mg/l atteint en 15 jours à volume variable - Edeline - 1960).

D'autres font état de valeurs oscillant entre 2.000 et 5.000 mg/l, valeurs qui, de notre expérience, nous paraissent davantage proches de la réalité.

5.2. Traitements des eaux résiduaires

Les eaux résiduaires de sucrerie, par la nature de de leurs composants organiques, sont susceptibles d'une épuration biologique.

5.2.1. *Le stockage avec autoépuration en bassins ou lagunage*

5.2.1.a. *Principe général de fonctionnement:*

Les eaux résiduaires doivent subir un traitement physique de décantation et un traitement biologique de dégradation des matières organiques par des bactéries.

5.2.1.b. *Description d'une installation de lagunage pour une sucrerie de 4.000 t/jour*

Les eaux boueuses de la sucrerie, après passage par un décanteur, sont dirigées vers des bassins étanches, dits « à boues », de 3 à 4 m de hauteur. Les eaux boueuses y subissent un traitement physique de décantation d'une durée de 12 à 24 heures au maximum. Cela dans le but d'éviter une fermentation anaérobie et une solubilisation de la pollution non dissoute avec un accroissement correspondant de la pollution de surverse. Les eaux de surverse des lagunes à boues sont stockées dans des lagunes étanches, de faible profondeur (1,5 m), où elles subissent une dégradation biologique naturelle.

Ce stockage doit s'étaler sur toute la durée de l'inter-campagne. A partir du premier mai et jusqu'à

la fin d'août (c'est-à-dire la fin de l'inter-campagne), on effectue un traitement à faible charge par des boues activées, de manière à assurer une DBO_5 moyenne de l'eau rejetée de 25 mg/l et se conformer ainsi à la législation belge.

Ce traitement, s'accompagnant d'une aération forcée, se fait sans adjonction de nutriments (N et P).

On répartit le débit pendant ces 4 mois de manière à pouvoir fonctionner avec une charge en DBO_5 constante. Le débit d'eau étant inversément proportionnel à la concentration en DBO_5, on travaillera en mai à faible débit, tandis qu'en août on pourra travailler à débit plus élevé.

Le débit du mois d'août étant le plus important, c'est sur celui-ci qu'on se base pour dimensionner toute l'installation de finition. Tous les rejets seront effectués pendant cette période de 4 mois, après une décantation secondaire. On élimine ainsi les boues biologiques produites lors de ce traitement de finition. Ces boues sont fortement minéralisées et donc stables. Leur rejet dans les bassins à boues n'entraîne pas de difficultés.

5.2.1.c. *Principes de dimensionnement*

Lagunage des eaux résiduaires décantées.

Le modèle mathématique de Marais-Shaw traduisant le mieux les processus biologiques d'épuration naturelle des eaux est:

$$\frac{P}{P_0} = \frac{1}{1 + KR}$$

avec,

P : concentration actuelle
P_0: concentration initiale
K : constante de vitesse de dégradation
R : durée de réaction

Cette équation $P = f(R)$ de forme hyperbolique si R est la variable, est applicable aux bassins de lagunage naturel, ainsi qu'aux bassins aérés artificiellement; elle permet de calculer le temps de séjour — ou de transit — dans l'installation, et de là les dimensions à lui donner: il suffit de connaître ou d'estimer la concentration P_0 de l'effluent à traiter et de fixer le degré final d'épuration à obtenir.

Il existe diverses catégories de constantes K selon le facteur test considéré: s'il s'agit de dégradation de matières organiques, K sera la vitesse de réduction de la D.B.O. ou celle de la D.C.O., exprimée en concentration.

En matière de lagunage naturel l'intensité des processus biochimiques est assez variable selon l'énergie solaire reçue et les constantes de vitesse peuvent être déterminées soit de façon théorique en fonction de la latitude du lieu, soit sur des bases expérimentales et en fonction d'un facteur résultant facile à mesurer, tel que la température du milieu liquide en traitement.

Les expériences que nous relatons ci-dessous ont été menées à GRAU-DU-ROI et diffusées par la S.R.A.E. du Languedoc-Roussillon. Il y est fait mention d'une approche des lois de variation de K avec la température de l'eau: paramètre lié de façon étroite à l'énergie reçue, comme l'on montré dès 1960 divers chercheurs étrangers. Ceci permet dans une certaine mesure — et sous réserve de consolidation des conclusions par des travaux ultérieurs — d'étendre la prévision des performances du lagunage à des conditions climatiques — notamment: luminosité, durée d'ensoleillement — caractéristiques d'autres régions que le Languedoc.

Nous indiquons ci-dessous, sous forme de graphique et de tableaux, l'essentiel des données acquises.

Tableau I

Période	Entrée D.B.O.$_5$ kg/j	Sortie D.B.O.$_5$ kg/j	Rendement %
Eté	247	36	86
Hiver	110	30	72

A partir des données recueillies en testant les différentes stations, les vitesses de réaction ont été calculées en D.B.O.$_5$ et en D.C.O., à l'aide du modèle de Marais-Shaw précédemment cité.

Les limites des fourchettes de valeurs indiquées ci-après correspondent à des températures d'eau encadrant toutes celles qui ont été relevées dans les expériences réalisées depuis 1969, donc caractéristiques de la latitude du Languedoc. Sur le graphique qui suit, et dont les courbes ont été légèrement prolongées, on pourra obtenir par interpolation ou extrapolation des vitesses correspondant à une température quelconque (fig. 3).

Valeurs des constantes de vitesse de dégradation organique (lagunage complet).

Tableau II

Critère	Constante K1 (bassin laire)	Constante K (ensemble des bassins d'une série)	Rendement d'épuration (%)
D.B.O.$_5$	0,07 à 0,03	0,02 à 0,15	70 à 85
D.C.O.	0,01 à 0,05	0,01 à 0,05	45 à 75

Le coefficient K1 de la première colonne obtenu sur le bassin primaire des installations étudiées, correspond selon la théorie à un bassin non compartimenté et placé sous conditions idéales.

Toutefois, dans la pratique, le modèle cinétique peut être appliqué à une série de bassins, bien que d'après le modèle développé, la vitesse globale doive

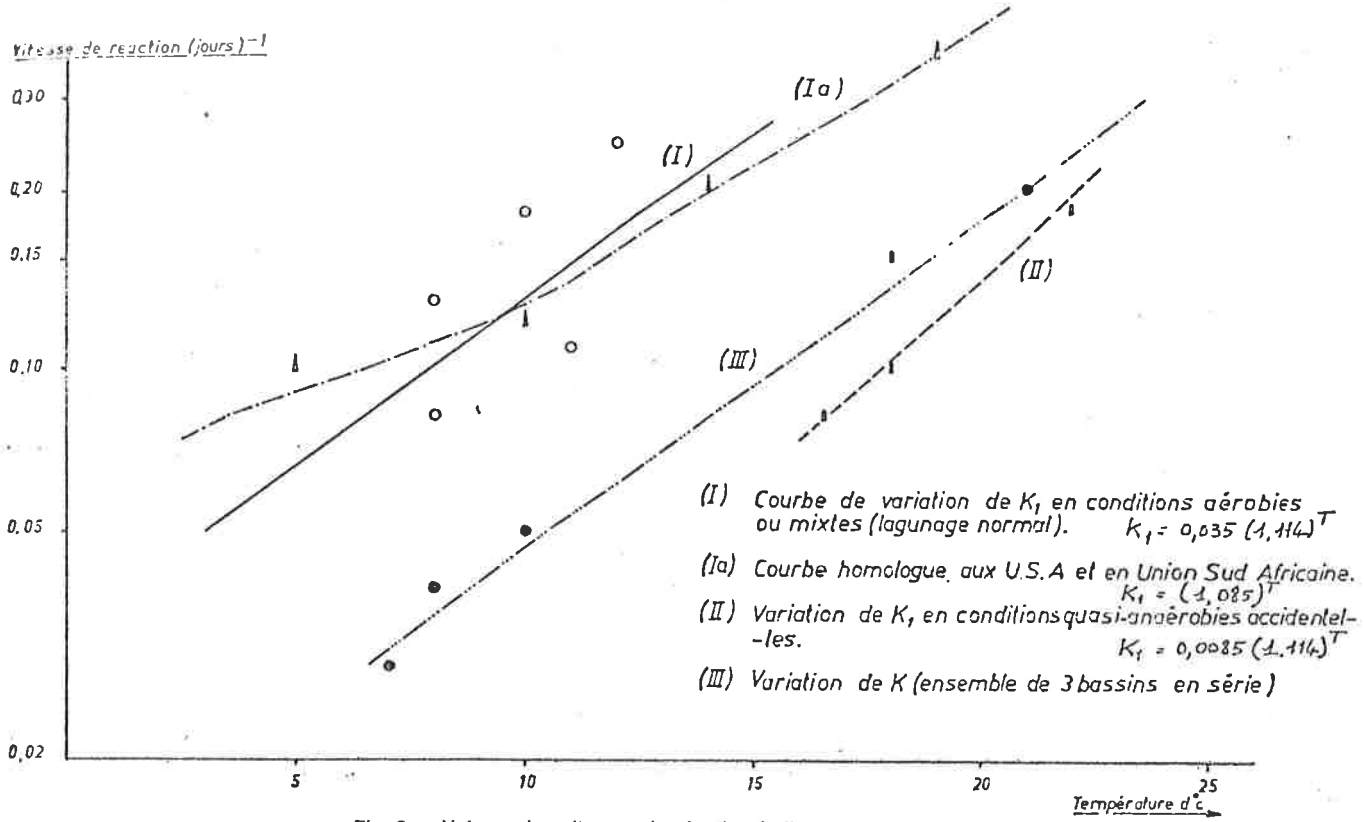

Fig. 3 — Valeurs des vitesses de réaction à diverses températures.

être calculée comme la résultante des vitesses partielles K1, K2, etc... en faisant le produit des expressions de forme (1 + KR).

Les spécialistes étrangers du lagunage, en particulier ceux des U.S.A., d'Union Sud Africaine et d'Israel ne sont pas tous d'accord à ce sujet. Certains ont appliqué l'équation aux concentrations d'entrée et de sortie d'une série, et établi ainsi une constante K globale; ceci contrairement à la théorie de Marais et Shaw selon laquelle l'équation du premier ordre où K est indépendante de R n'est valable que dans l'hypothèse d'un milieu parfaitement homogène, donc séjournant dans un bassin unique où l'effluent serait instantanément homogénéisé. En fait, K reste pratiquement assez peu variable avec la durée de séjour R, si R et n (nombre de compartiments d'une série) s'écartent peu des valeurs courantes.

Toutefois, rappelons que le premier bassin offre une incidence particulière sur le fonctionnement dans les stations de lagunage complet. Son milieu se trouvant dans la phase initiale de l'épuration (phase bactérienne) et d'une turbidité élevée du fait de la charge importante reçue, les algues et l'oxygène dissous y sont peu abondants et ne commencent à s'accroître qu'à partir de second bassin. La connaissance du coefficient K1 est donc utile pour déterminer avec plus de sécurité la dimension du premier bassin, qui assure une part importante de l'épuration. Le reste de la série peut être dimensionné à l'aide de la constante générale K par différence et éventuellement divisé en quelques bassins à peu près égaux. Selon les auteurs de la théorie, l'erreur à éviter est seulement de dimensionner le premier bassin à partir de ce calcul global. Les valeurs de K d'une série se sont montrées inférieures à celles des bassins primaires, ce qui est conforme à la théorie. De même, la dégradation exprimée en D.C.O. est moins rapide qu'en $D.B.O._5$, ce qui se trouve confirmé par la différence des rendements d'épuration, toujours plus faible en D.C.O.

5.2.1.d. *Efficacité du lagunage*

L'essentiel des considérations ci-après est tiré d'une communication faite par F. Edeline (1970) au 12ème Symposium International de Budapest.

Les résultats repris à la fig. 4 ci-après concernent un bassin de 6.000 m² dont la profondeur moyenne est de 0,5 m; les eaux usées y sont stockées pendant toute la campagne sucrière et leur rejet contrôlé de janvier à mai.

A ce moment, on constate que la chute de D.B.O. est plus rapide et affecte une allure exponentielle avec une demi-vie de 23 jours (chute moyenne 20 g $D.B.O._\infty$ m² · j).

Pendant la deuxième période, celle où les eaux s'épurent, on remarque que:

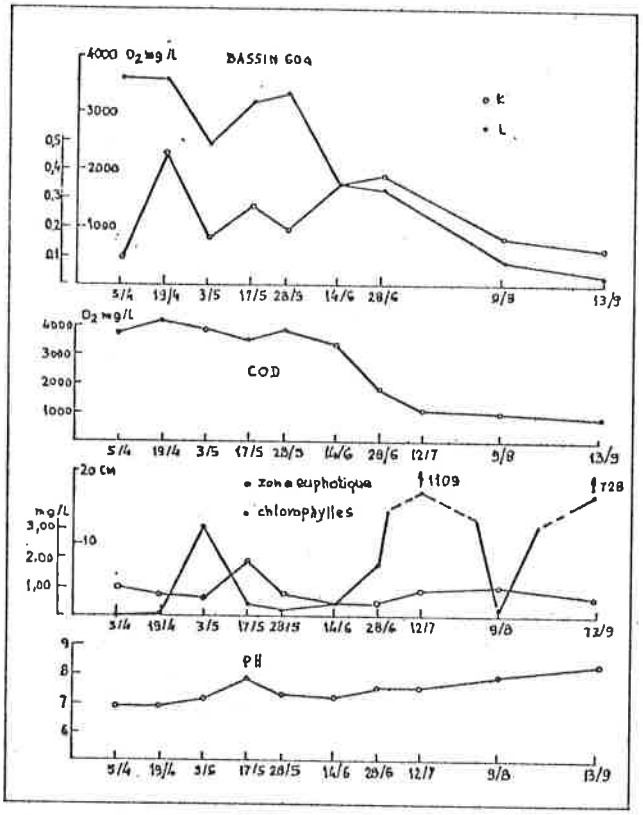

Fig. 4.

1. la température dépasse 15° C et se stabilise vers 18° C;

2. le pH acide (± 6) croît et se stabilise vers 7,5 - 8, avec des cycles diurnes dûs à la photosynthèse;

3. la chlorophylle apparaît par périodes, entremêlées d'arrêts brusques (espèce d'algue pratiquement unique: Chlorella).

Dans ce même bassin il a été procédé à des essais spéciaux pour comparer la production d'O_2 photosynthétique aux besoins respiratoires de la communauté algues-bactéries. La production est de l'ordre de 50 mg O_2/l · j et l'emporte sur la consommation qui atteint seulement 40 mg O_2/l · j. Dans ce bassin la teneur en chlorophylle atteint 7,30 mg/l.

Les boues de fond, très ténues, ont des besoins respiratoires fort élevés. Ils ont été mesurés grâce à une cloche spéciale et on a enregistré des valeurs d'environ 4 g O_2/m² · j. En d'autres endroits, où la boue était plus ferme, on a pu utiliser la technique habituelle de carottage et mesurer en respiromètre une consommation de 1,7 g O_2/m² · j. Après calcul, les différentes composantes du bilan en O_2 ont été portées dans le tableau III résumé ci-après.

Devant ces résultats il est clair que les processus anaérobies doivent l'emporter dans le bassin. Jusqu'au mois de juin, aucune épuration appréciable ne se produit. Après cette date entrent en jeu des processus d'épuration qui ne peuvent être qu'anaérobies, étant donné la disproportion entre le besoin en O_2 et les disponibilités de ce dernier. Une preuve indirecte de ceci nous est donnée par l'existence d'une phase de latence dans les courbes de D.B.O.: les microorganismes aquatiques sont également aérobies facultatifs; tirés d'un milieu anaérobie et portés en incubation dans un milieu de dilution riche en O_2, ils manifestent un délai d'adaptation. Ce phénomène est surtout observé, rappelons-le, avant la mi-juin. Il disparaît au même moment que démarre l'auto-épuration des bassins.

Tableau III

Composantes du bilan O_2 en g O_2/m² . j	Printemps	
Passif		
Biodégradation	− 1.450	− 69,0
Boues de fond	− 4,1	− 4,1
Total	− 1.454	− 73,1
Actif		
Réaération	+ 1,8	0
Photosynthèse	0	+ 25
Total	+ 1,8	+ 25
Charge épurée pendant la saison favorable		
Par unité de surface kg D.B.O./Ha . j	195	
Par unité de volume g D.B.O./m³ . j	38,9	
Profondeur moyenne m	0,5	

C'est à ce moment également que la température qui s'est élevée progressivement depuis 8° C, se stabilise aux environs de 18° C. Il est connu que l'activité microbienne des étangs augmente fortement au-dessus de 15° C. Une seconde preuve est l'évolution du pH: celui-ci reste franchement acide (6) jusqu'au mois de juin, pour atteindre finalement des valeurs correspondant à un milieu aérobiquement actif (7,5 - 8). Cette évolution correspond au passage progressif de la voie anaérobie à la voie aérobie.

5.2.1.e. *Traitement de finition par boues activées*

Pour parfaire le lagunage il est couramment pratiqué un traitement par boues activées à faible charge dont les caractéristiques hydrauliques ont été rappelées ci-dessus (5.2.1.b.).

Les principes de dimensionnement de cette étape sont similaires au traitement classique par boues activées, nous les rappelons succinctement ci-après:

Bassin d'aération:

Charge massique:

$$0{,}1 \; \frac{\text{kg D.B.O.}_5\text{/j}}{\text{kg boue biologique dans le bassin d'aération}}$$

SCHEMA DE PRINCIPE D'UNE INSTALLATION D'EPURATION

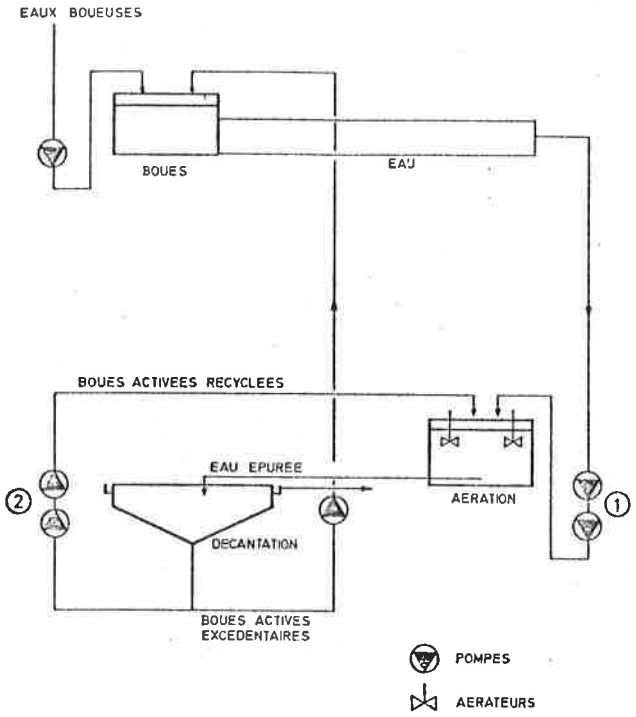

Fig. 5.

Concentration des boues biologiques dans le bassin d'aération: ± 2 g/l.

Apports éventuels d'éléments nutritifs:

il a été constaté que si les eaux à traiter n'en contiennent pas en suffisance il fallait ajouter 5 mg/l de N et 1 mg/l de P pour une D.B.O.$_5$ de 100 mg/l.

Besoins en oxygène:

1 kg O_2 par kg D.B.O.$_5$ éliminée.

La capacité d'oxygénation standard à mettre en œuvre pour transférer un poids donné d'O_2 est calculé d'après la formule suivante:

$$No = N \frac{Cs}{Csw - Cr} \frac{1}{1{,}024^{T-20}} \times \frac{1}{\alpha}$$

avec,

N : quantité d'O_2 théorique,

No : quantité d'O_2 à fournir réellement,

Cs : concentration de saturation en oxygène à 20° C,

Csw : concentration de saturation en oxygène de la liqueur à traiter corrigée d'un facteur 0,9 (solubilité).

Décantation secondaire:

Vitesse ascensionnelle:

< 1 m/h.

Débit spécifique au déversoir:

$\leqslant 5$ m^3/h/m linéaire de déversoir.

Recyclage des boues:

$$2 \text{ g/l} = 7 \text{ g/l} \frac{R}{R + Q}$$

avec,

2 g/l : concentration des boues biologiques dans le bassin d'aération,

7 g/l : concentration des boues biologiques dans le décanteur,

Q : débit de l'installation en m^3/j,

R : débit à recycler dans ce cas $R = \frac{2Q}{5}$.

5.2.2. *L'épandage*

5.2.2.a. *Principe général de fonctionnement* [2]

On utilise le sol comme système épurateur, le sol jouant un rôle de filtre. Il retient à sa surface les matières grossières en suspension, dont les dimensions sont supérieures à celles de ses pores. Les matières en suspension plus fines sont retenues, en partie, dans la masse poreuse.

L'eau y circule d'autant plus facilement que les pores sont plus larges. Dans les pores fins, cette circulation devient tellement lente qu'on peut parler de rétention. Le temps de contact est ainsi assez long pour permettre un contact suffisant de l'effluent, non seulement avec les micro-organismes dégradant sa matière organique, mais aussi avec les colloïdes du sol (argile, hydroxydes, humus) pouvant fixer certains éléments.

Cette rétention de matières dissoutes permettra, outre l'action de la microflore du sol, l'assimilation et l'exportation de minéraux par les végétaux.

5.2.2.b. *Composition moyenne des eaux envoyées à l'épandage et estimation des quantités reçues à l'hectare, pour un apport de 500 mm d'eau* [3] (voir tableau IV)

5.2.2.c. *Enrichissement en azote*

L'N est apporté sous forme organique et ammoniacale. Il est partiellement bloqué dans les tissus microbiens et progressivement oxydé en NO_2^- et NO_3^-. Il est facilement lessivé par les pluies, sous forme nitreuse et nitrique.

L'épandage lui-même en lessive une certaine quantité contenue dans le sol. L'entraînement d'N vers les nappes souterraines est nuisible (toxicité des nitrates). Cet entraînement peut être évité et diminué par l'implantation de cultures dérobées ou d'engrais verts. La grande quantité d'N bloquée dans le sol doit être exportée par les cultures. Toutefois, tout l'apport n'est pas mis à la disposition des cultures la première année. Malgré tout, l'apport d'N reste souvent un élément limitant l'épandage.

Une surfertilisation en N doit être évitée, car elle provoquerait la verse des céréales.

Tableau IV

	Analyse des eaux d'épandage	Quantités/hectare pour un apport de 500 mm d'eau	Quantités réellement retenues
Matières en suspension	200 g/l	1.000 t/hectare	1.000 t/hectare
Eléments solubles			
N total	95 mg/l	475 kg/hectare	200 kg/hectare (42 %)
P total	10 mg/l	50 kg/hectare	47 kg/hectare (94 %)
K	323 mg/l	1.615 kg/hectare	1.530 kg/hectare (95 %)
Na	308 mg/l	1.540 kg/hectare	1.155 kg/hectare (75 %)
Ca	45 mg/l	25 kg/hectare	22 kg/hectare (90 %)
Mg	52 mg/l	260 kg/hectare	256 kg/hectare (98 %)
DCO	3.700 mg/l	18.500 kg/hectare	16.650 kg/hectare (90 %)

5.2.2.d. *Enrichissement en phosphore dans la couche superficielle*

On dispose d'assez peu de données pour le phosphore. Il semble que celui-ci doit être très bien retenu. Toutefois, l'apport étant relativement faible, il ne devrait pas y avoir de problème.

Une surfertilisation phosphatique n'est pas préjudiciable aux cultures.

5.2.2.e. *Enrichissement en magnésium et en potassium dans la couche superficielle*

Les cations K et Mg sont bien retenus, alors que le Na et Ca le sont beaucoup moins.

Une surfertilisation potassique n'est pas préjudiciable aux cultures.

5.2.2.f. *Enrichissement en sodium*

Le sol joue très mal son rôle d'épurateur vis-à-vis du Na.

L'ion Na aura tendance à être entraîné, surtout si l'effluent contient en plus du Na, un autre cation divalent (Ca, Mg) en grande quantité. En effet, le Na forme les sels les plus solubles. C'est donc lui qui est le plus susceptible d'être entraîné en profondeur s'il n'est pas adsorbé par les colloïdes, ce qui peut entraîner des conséquences néfastes au niveau de la nappe aquifère.

En ce qui concerne l'élimination du Na adsorbé par les colloïdes, on a constaté que l'exportation par les plantes est faible, ce qui peut entrainer un danger de déstabilisation de la structure physique du sol.

Pour éviter ces difficultés, il importe donc, non seulement de connaître les caractéristiques de l'effluent mais également celles du sol. Par exemple, si en terrain calcaire, il n'y a pas, ou peu d'adsorption de Na, en terrain acide, le phénomène d'adsorption présente un danger plus important.

5.2.2.g. *Enrichissement en calcium dans la couche superficielle*

Le Ca est peu retenu.

5.2.2.h. *Utilisation pratique du sol comme système épurateur* [5]

L'épandage d'eaux décantées

Cet épandage peut être effectué sur une culture en cours et notamment sur les prairies, par arrosage ou ruissellement. Cette méthode a l'inconvénient de nécessiter des bassins pour éliminer la terre.

Mais dans une sucrerie disposant de bassins de capacité suffisante, on peut envisager un stockage de l'eau jusqu'aux périodes chaudes où l'agriculture demandera un appoint d'eau. Il faudra néanmoins tenir compte de la concentration des sels, par évaporation, au cours du stockage.

L'épandage d'eaux non décantées

On distingue l'épandage par aspersion et l'épandage par ruissellement en champ billonné. Ce dernier est le plus utilisé actuellement.

— L'épandage par aspersion: distribue l'eau sur les terrains par des tuyaux déplacés régulièrement. On doit procéder au tamisage des eaux afin d'éliminer les corps susceptibles de boucher les buses.

— L'épandage par ruissellement en champ billonné: demande une préparation soignée du terrain. Afin que le ruissellement soit efficace, il faut disposer d'un terrain en légère pente. Le tracé des courbes de niveau est exécuté avec précision. Les sillons sont tracés à la charrue sur ces courbes de niveau.

Un réseau de canalisations permet de quadriller les terrains. L'épandage s'effectue en commençant par la partie basse du terrain, en remontant au fur et à mesure de l'engorgement des sillons. Cette technique permet de mieux contrôler les quantités d'eau et de terre apportées localement.

La remise en culture des terrains d'épandage s'effectue pour le printemps suivant. On laboure le plus rapidement possible après l'épandage, lorsque le sol s'est ressuyé ou à l'occasion des premiers gels. Ce labour aura pour but d'aérer le mélange, en supprimant l'évolution anaérobie et d'intégrer au sol les nouveaux éléments. Le mélange des sols est réalisé par un labour perpendiculaire aux courbes de niveau.

Dans le souci d'éviter une surfertilisation, un intervalle de 2 ans est observé entre chaque épandage sur un même terrain.

L'épandage des eaux boueuses se fait d'octobre à décembre. La sucrerie doit disposer de terrains libres à cette époque.

A titre d'exemple, disons qu'une sucrerie traitant 4.000 tonnes de betteraves par jour, pendant une campagne de 100 jours, a un rejet de 300.000 m³ d'eaux boueuses. Il lui faut donc une surface de 300 hectares permetant, pour être conforme à la législation française, un rejet par épandage de 0,1 m d'eau sur les terrains.

En pratique, l'usine possède un circuit primaire de canalisation fixe, en acier (facilités de réparation). A chaque campagne, et en fonction du choix du terrain, un réseau secondaire en aluminium vient se fixer sur le réseau primaire. Des terminaux également en aluminium, viennent se greffer sur les précédents. Ils sont rapidement démontables et disposés suivant les différentes lignes de niveau.

Il faut disposer de canalisations de secours permettant de passer instantanément:

— d'un terrain à un autre en cas d'incident (avarie de pompes, bris de tuyauterie ou bouchage);

— dans un bassin de secours pouvant stocker les eaux boueuses pendant 8 jours, en cas de gel prolongé. Le pompage s'effectue au moyen d'un groupe centrifuge. Il se fait directement à partir des boues épaissies, grâce à l'utilisation d'un décanteur. L'eau décantée peut être ainsi immédiatement réutilisée par l'usine.

Pour éviter tout bouchage des canalisations, il faut:

— que la concentration en matière sèche ne dépasse pas 0,2 à 0,3 kg/m³,

— maintenir une vitesse suffisante d'au moins 1,50 m/s à 2,20 m/s dans la tuyauterie.

— éliminer les herbes et les radicelles;

— purger les tuyauteries en fin de campagne, en faisant une chasse à gros débit, pour éliminer la terre ou les cailloux déposés.

5.2.3. *Le procédé R.T. Lefrancois* [5]

5.2.3.a. *Introduction*

Dans le bilan des eaux que l'on a considéré jusqu'à présent, la purge du circuit fermé des eaux de lavage et de transport est constituée par l'eau contenue dans les boues extraites du décanteur, à une concentration en matières solides de 0,2 kg/m³. Comme nous l'avons vu pour une tare de 20 %, cette purge représente 68 kg d'eau pour 100 kg de betteraves.

Si l'on supprime le décanteur et, que l'on laisse sédimenter les eaux boueuses dans des bassins de décantation plus vastes, on peut espérer que les boues se déposeront dans ceux-ci, à une concentration plus élevée (de l'ordre de 0,4 kg/m³).

Si on recircule les eaux de surverse de ces bassins de décantation, on constate que la purge du circuit fermé n'est plus maintenant que de 34 kg d'eau. Elle est donc réduite de moitié.

La consommation d'eau dans ce circuit sera ainsi plus faible et la sucrerie pourra rejeter des eaux autres que celles du circuit de transport et de lavage.

Cependant un problème supplémentaire se pose: en réduisant de moitié la purge du circuit, la concentration en pollution du circuit va s'établir à un niveau supérieur et dans notre cas, va pratiquement doubler. Pour fixer les idées, la DBO_5 passera de 4.500 à 9.000 mg/l. Cette dernière valeur est incompatible avec un fonctionnement normal du circuit des eaux de transport (émulsion, perte de la flottabilité des betteraves).

Pour maintenir dans le circuit une DBO_5 inférieure aux valeurs qui engendrent les difficultés, on peut épurer une fraction de l'eau de recirculation. On doit alors disposer d'un processus d'épuration susceptible d'épurer des eaux très chargées en un laps de temps court.

On utilise un véritable fermenteur, le R.T. Lefrançois.

5.2.3.b. *Description du procédé* (voir schéma fig. 6)

Une partie des eaux polluées, venant des bassins de décantation est introduite en continu dans le fermenteur ou aérateur après:

— un tamisage des impuretés en suspension;

— un passage de 3 à 4 jours dans une bassin de stabilisation assurant:
  — des caractéristiques plus ou moins constantes à l'eau à épurer;
  — une transformation des sucres en acides organiques par fermentation anaérobie. On évite ainsi tout développement des bactéries filamenteuses incompatibles avec une bonne décantation secondaire;

— un réchauffage à 20° C. Cette température est l'optimum assurant à la fois une vitesse de réaction élevée et une bonne dissolution de l'oxygène dans l'eau.

On introduit en continu dans le fermenteur des solutions d'urée et de polyphosphate ammonique

LE FERMENTEUR R.T. LEFRANÇOIS

1. Réchauffeur
2. Fermenteur
3. Surpresseur
4. Décanteur
Ø Pompes

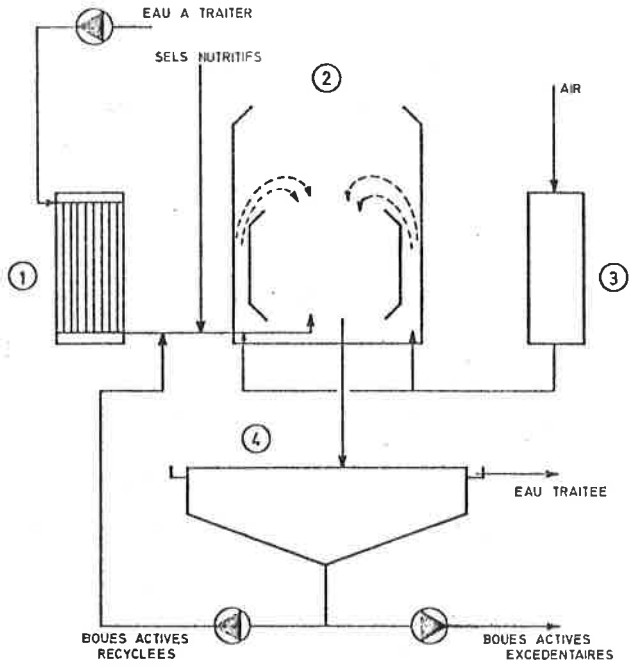

Fig. 6.

pour compenser la carence en azote et en phosphore des eaux à traiter. On maintient ainsi une activité bactérienne optimale.

Le fermenteur est un cylindre vertical divisé en 2 parties inégales.

On envoie par la partie inférieure:

— l'eau à épurer;
— les éléments nutritifs complémentaires: N et P;
— les boues activées recyclées;
— l'air d'oxydation et de brassage. Cet air est fourni par un surpresseur qui le débite par deux tubulures diamétralement opposées et assure:
  — la dispersion et la circulation du liquide dans la cuve. En effet, l'air entraîne la masse fluide en un mouvement ascendant dans l'espace compris entre les parois du fermenteur et les parois du cylindre central. Le fluide descend ensuite dans le cylindre central à une vitesse réduite;
  — l'apport d'oxygène nécessaire à l'oxydation des matières biodégradables.

Le fermenteur R.T. Lefrançois possède un taux d'épuration de 90 % sur la DBO_5.

Lorsque le milieu contenu dans le fermenteur est suffisamment épuré, on le soutire en continu dans le décanteur secondaire, afin de réaliser la séparation de l'eau épurée et des boues activées. Celles-ci sont en partie recirculées, tandis que le surplus est évacué et mélangé à une grande quantité de terre.

L'eau épurée est recyclée dans le circuit de transport et de lavage.

La surface occupée par cette installation est de l'ordre de 500 m².

6. CONCLUSIONS

Il serait intéressant de comparer entre-elles, ces différentes techniques d'épuration des eaux résiduaires de sucrerie. Pour faciliter la comparaison, les principales caractéristiques propres à chaque système d'épuration ont été reportées dans le tableau V ci-après.

L'épandage des eaux résiduaires de sucrerie à l'avantage d'être une solution globale (plus aucun problème de lagunes à boue ou à eau à vider pendant l'inter-campagne. Plus de digues à rehausser). Pour pratiquer l'épandage, la sucrerie devra disposer de terres agricoles proches. Ces terres devront répondre aux différents impératifs d'une bonne épuration biologique.

L'épandage est probablement un système d'épuration très intéressant s'il permet, en plus, de valoriser certaines terres pauvres par l'apport d'une couche de terre arable, d'irriguer celles-ci et de diminuer les doses d'engrais.

Ce procédé est d'un fonctionnement assez économique. En outre, il ne présente pratiquement aucun risque de pollution accidentelle massive, comme cela peut se produire lors du lagunage, par suite d'une rupture de digue ou d'un manque d'étanchéité du bassin.

Son principal inconvénient est de nécessiter une main-d'œuvre importante, effectuant un travail assez pénible.

* * *

Le stockage avec auto-épuration en bassin (lagunage), avec ou sans traitement de finition, est certainement la solution la plus utilisée actuellement, bien que les risques soient sensiblement plus importants qu'avec les autres procédés. Les risques de pollution des nappes sont réels sans être systématiques. Ils peuvent être supprimés en étanchéifiant les bassins, ce qui est une opération coûteuse si l'on recherche une étanchéité correcte. Un traitement de finition s'effectuant au moyen d'aérateurs de surface, permet d'obtenir une eau suffisamment épurée pour être soit évacuée, soit recyclée dans le processus de fabrication ou encore, utilisée en irrigation par l'agriculture.

* * *

En ce qui concerne la technique du fermenteur R.T. Lefrançois, bien qu'il nécessite également, en fin de campagne, un stockage avec auto-épuration

Tableau V — Caractéristiques principales des 3 systèmes d'épuration

	Stockage et auto-épuration suivi d'un traitement de finition (I)	Epandage (II)	R.T. Lefrançois (III)
Risques de pollution	— infiltration dans les nappes aquifères — ruptures de digues	— infiltration dans les nappes aquifères — ruptures de tuyauteries	idem I
Superficie nécesaire	— bassins à boues 33.000 m² — bassin de stockage 200.000 m² — installation de finition 1.500 m²	— bassin de secours — terrain d'épandage 300 ha mais surface cultivable	— terrain pour l'installation 500 m² — bassin à boues 40.000 m² — bassin de stabilisation
Matériels	— décanteur primaire — bassin d'aération 1.000 m² avec aérateurs — décanteur secondaire 500 m² — pompes — tuyauteries de liaison	— décanteur primaire — pompes — tuyauteries	— fermenteur — surpresseur d'air — réchauffeur — décanteur — pompes — tuyauterie de liaison
Coût relatif du matériel	100	125	70
Consommation relative d'énergie	100	75	160
Main-d'œuvre	— 1 homme par jour pendant 8 mois	— 20 hommes répartis en 3 équipes pendant la campagne	— 1 homme par jour pendant la campagne
Frais divers			— addition de nutriments

en bassin, il se révèle un outil précieux qui permet l'épuration rapide et à faible coût, d'une eau à très forte charge polluante. Cette méthode d'épuration maintient la charge polluante des eaux de transport et de lavage à une teneur permettant un recyclage intensif. On peut réaliser ainsi une économie d'eau propre.

Un inconvénient commun au fermenteur et à l'installation de boues activées, est la durée de mise en régime, nécessaire à l'obtention de leur population bactérienne optimum.

* * *

Nous voyons qu'en plus des exigences légales, le choix d'une de ces solutions dépend:

— des conditions dans lesquelles le rejet, une fois épuré, peut retourner à la rivière ou à la nappe souterraine;

— des conditions d'environnement (mauvaises odeurs...);

— des servitudes géographiques (surface des terrains disponibles, perméabilité du sol...).

En outre, chacun de ces procédés est grand consommateur d'énergie.

On peut se poser la question de savoir si l'on parviendra, dans le futur, à mettre au point un traitement anaérobie, producteur d'énergie, capable d'épurer les eaux en un temps de séjour suffisamment bref, pour que ses dimensions et son coût puissent le rendre compétitif.

7. BIBLIOGRAPHIE

[1] J.C. NOEL. La production du sucre et ses conséquences sur la qualité des eaux. Exposé fait lors de la journée d'étude sur le sucre du jeudi 30 octobre 1975, par J.C. NOEL, Chef de la division « Epuration Agence de Bassin Artois-Picardie ».

[2] G. CATROUX, J.C. GERMON, Ph. GRAFFIN. L'utilisation du sol comme système épurateur. *Annales agronomiques 1974, 25* (2-3) 179-193.

[3] A. MORISOT, R. GRAS. Répercussions agronomiques des épandages d'effluents des industries agricoles et alimentaires. *Annales agronomiques 1974, 25* (2-3) 243-266.

[4] G. CATROUX, J.C. GERMON, F. HEITZ, P. BIDAN. L'épandage des eaux résiduaires de sucreries. *Annales agronomiques 1974, 25* (2-3) 307-337.

[5] R. PIECK, J.P. DUBOIS. Le problème de la pollution des eaux en sucrerie de betteraves et les solutions adoptées aujourd'hui en Belgique. Département « Recherches & Développement », Service Chimique, Raffinerie Tirlemontoise s.a., B - 3300 Tienen (Belgique).