

**Zeitschrift:** Ingénieurs et architectes suisses  
**Band:** 114 (1988)  
**Heft:** 6

**Artikel:** Les eaux résiduaires industrielles: caractéristiques et traitement  
**Autor:** Hirsbrunner, Werner  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-76793>

### **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

### **Conditions d'utilisation**

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

### **Terms of use**

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

**Download PDF:** 18.02.2026

**ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>**

**Traitement des boues (fig. 6)**

Les boues produites par l'installation de traitement des eaux usées contiennent du gypse et des composés de métaux lourds insolubles dans l'eau (hydroxydes ou sulfures). Les boues de lavage des poussières en suspension contiennent principalement des silicates (environ 30% de  $\text{SiO}_2$ ), des composés de calcium (environ 15% de  $\text{CaSO}_4$ ), et de l'oxyde d'aluminium (environ 30% d' $\text{Al}_2\text{O}_3$ ). Ces boues additionnées de ciment peuvent être mises en décharge, car au contact de l'eau, seules des quantités infimes de métaux lourds peuvent encore être dissoutes. Ces quantités sont assurément inférieures aux valeurs prescrites par l'Ordonnance sur le déversement des eaux usées. Les résidus ainsi solidifiés peuvent être mis en décharge sous forme de briques.

Adresse de l'auteur :

Martin Lemann  
Von Roll SA  
Dpt Environnement  
8037 Zurich

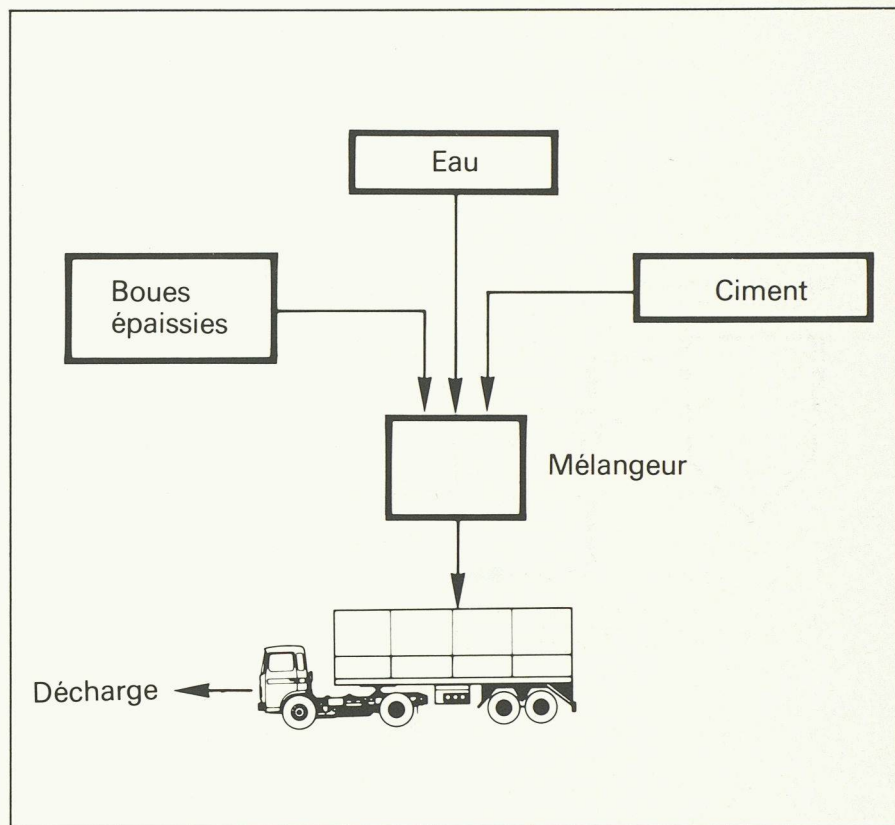


Fig. 6. – Traitement des boues.

## Les eaux résiduaires industrielles : caractéristiques et traitement

### 1. Caractéristiques

#### 1.1. Généralités

D'une manière générale, les eaux usées traitées dans une station d'épuration sont de trois origines différentes :

- eaux usées domestiques
- eaux usées industrielles
- eaux pluviales.

Si les caractéristiques des premières sont relativement bien connues et

PAR WERNER HIRSBRUNNER,  
LA CONVERSION

constantes, il n'en est pas de même des secondes, qui sont fonction d'un grand nombre de paramètres :

- type d'entreprise
- genre de fabrication
- modes de travail
- produits utilisés
- nature des procédés industriels
- degré de modernisation de l'entreprise
- taille de l'entreprise.

La connaissance des charges polluantes en provenance des industries est

évidemment primordiale pour le bon fonctionnement d'une station d'épuration communale ou intercommunale, en particulier les points suivants :

- la charge polluante biodégradable d'une industrie doit pouvoir être acceptée par la STEP (capacité de celle-ci) ;
- la charge polluante non biodégradable d'une entreprise ne doit pas être déversée dans le réseau de canalisations, mais traitée ou évacuée séparément ;
- les substances toxiques ou inhibitrices pour les processus biologiques ne doivent pas être déversées dans le réseau de canalisations ;
- les eaux non chargées (par exemple eaux de refroidissement) doivent être évacuées avec les eaux pluviales ;
- les caractéristiques des eaux résiduaires d'une entreprise doivent être conformes à l'Ordonnance sur le déversement des eaux.

#### 1.2. Influences possibles des eaux usées industrielles sur une station d'épuration mécano-biologique

La nature des eaux résiduaires indus-

trielles étant très différente d'une entreprise à l'autre, il est important de connaître les constituants de ces eaux qui peuvent perturber le fonctionnement d'une station d'épuration mécano-biologique.

D'une manière générale, les eaux résiduaires industrielles qui ne sont pas compatibles avec un traitement mécano-biologique sont celles qui

- a) perturbent le processus biologique
- b) endommagent les équipements
- c) présentent une toxicité élevée
- d) contiennent des substances qui ne sont pas correctement traitées par le processus biologique.

A titre d'exemple, ce genre d'eaux résiduaires peut contenir des métaux lourds ou des résidus chimiques, présenter des pH extrêmes, être très coloré ou contenir de grandes quantités d'huiles ou de graisses.

#### Effets toxiques

On peut classer les composés toxiques ou inhibiteurs en trois catégories :

- a) Les composés organiques toxiques à forte dose, mais biodégradables à faible concentration. A titre d'exemple, le phénol jusqu'à une concentration de 140 mg/l est oxydable biologiquement.
- b) La majorité des métaux lourds sont toxiques pour les systèmes biologiques, tant aérobies qu'anaérobies. Les concentrations suivantes ne devraient pas être dépassées dans un bassin d'aération :



cuivre	1,0 mg/l
chrome (hexavalent)	2,0 mg/l
chrome (trivalent)	2,0 mg/l
nickel	1,0 mg/l
plomb	0,1 mg/l
zinc	5,0 mg/l
argent	0,03 mg/l

Cependant ces concentrations sont très rarement observées à l'entrée d'une station d'épuration compte tenu de la dilution des eaux usées industrielles par les autres eaux.

La principale difficulté due aux métaux lourds est leur accumulation dans les boues d'épuration. En effet, leur taux de rétention dans la STEP varie de 10% pour le nickel à 50% pour le zinc.

c) De fortes teneurs en sel dissous peuvent également inhiber l'activité microbienne, par exemple des teneurs en chlorures supérieures à 16 g/l ou en ammoniac plus grandes que 1600 mg/l.

#### *Influence du pH*

Le pH d'une solution est un facteur primordial pour le développement des micro-organismes. La plupart des organismes ne peuvent tolérer des pH supérieurs à 9,5 ou inférieurs à 4,0. D'une manière générale, le domaine optimal de pH se situe entre 6,5 et 8,5 pour les procédés biologiques.

#### *Biodégradabilité*

##### *des composés organiques*

La vitesse de biodégradation d'un composé organique dépend de sa structure moléculaire. Parmi les composés généralement peu ou non biodégradables figurent les éthers, les polymères, certains hydrocarbures aliphatiques ou aromatiques ou les alcools tertiaires aliphatiques.

Un critère global pour l'appréciation de la biodégradabilité d'une eau résiduaire est donné par le rapport DCO/DBO.

Pour un composé totalement biodégradable, la DBO ultime représente environ 90% de la demande théorique en oxygène, car 10% de la matière organique initiale sera transformée en résidu non dégradé.

La DCO mesure la demande théorique en oxygène, alors que la DBO à 5 jours correspond généralement à une valeur entre 60 et 70% de la DBO ultime (fonction de la vitesse de dégradation). Le rapport DCO/DBO sera donc de l'ordre de 1,6 à 1,9 pour une substance facilement biodégradable. Plus la valeur du rapport DCO/DBO est élevée, plus faible est la biodégradabilité.

## 2. Procédés de traitement

### 2.1. Définitions

Par définition, un *procédé de traitement* appliqué aux eaux résiduaires industrielles est un procédé qui permet le

### Mesures internes d'assainissement

#### 1. Diminution des charges polluantes

- récupération ou évacuation séparée des déchets et des sous-produits de fabrication
- modes de nettoyage plus rationnels (CIP, etc.)
- entretien préventif des installations
- modes de régulation plus précis et plus efficaces
- contrôles améliorés des procédés de fabrication
- sensibilisation du personnel aux questions des charges polluantes
- modes de fabrication moins polluants

#### 2. Diminution du volume des eaux résiduaires

- méthodes de nettoyage à sec ou avec des machines à haute pression, mais faible débit d'eau
- pose de vannes à fermeture automatique lorsque l'eau n'est pas utilisée
- détection et réparation rapide des fuites d'eau
- séparation complète des eaux non polluées
- recyclage de certaines eaux résiduaires dans les processus de fabrication
- pose de compteurs d'eau dans les différents départements

rejet de ces eaux traitées directement dans un exutoire naturel (cours d'eau, lac, nappe). Les caractéristiques de ces effluents traités doivent donc correspondre aux exigences définies par la colonne II de l'Ordonnance sur le déversement des eaux usées, du 8 décembre 1975 (exigences sur le déversement dans les eaux).

Un *procédé de prétraitement* n'est en revanche destiné qu'à corriger certaines caractéristiques des eaux résiduaires industrielles et non à assurer une épuration complète de ces effluents. Ces derniers seront alors déversés dans une canalisation publique, afin de leur appliquer ensuite un traitement mécano-biologique à la station d'épuration communale ou intercommunale. Dans ce cas, les caractéristiques des effluents prétraités seront celles définies par la colonne III de l'ordonnance précédemment citée.

De manière générale, les types de prétraitement le plus souvent mis en œuvre sont ceux destinés à corriger le pH des effluents rejetés (neutralisation) ou à diminuer leur teneur en métaux lourds ou autres substances toxiques (cyanures, nitrites, sulfites). Dans ce dernier cas, l'installation de prétraitement aura une fonction de détoxification.

### 2.2. Données de base

Toute installation de prétraitement ou de traitement des eaux résiduaires industrielles est définie à partir de données de base qui doivent refléter entièrement la situation réelle.

L'établissement des données de base comprend en premier lieu la détermination de toutes les charges polluantes partielles ainsi que de la charge polluante globale. Cette détermination implique la mesure des débits d'eaux usées et les analyses chimiques des échantillons correspondants. Ces analyses portent sur les substances ou éléments pouvant être présents dans les eaux résiduaires étudiées.

A partir de la connaissance des charges polluantes partielles, la seconde phase consiste ensuite à diminuer le plus possible ces charges par des mesures internes d'assainissement telles que celles reportées dans le tableau ci-dessus.

Lorsque toutes les mesures internes d'assainissement ont été mises en place, il est alors possible de procéder à l'établissement des données de base définitives pour l'étude de l'installation de prétraitement.

Ces données de base comprennent :

- débits horaires, journaliers, hebdomadaires des effluents à traiter
- charges polluantes globales et partielles
- paramètres, éléments ou substances dont la teneur doit être corrigée
- charges acceptables au rejet des effluents prétraités.

### 2.3. Procédés de prétraitement

D'une manière générale, les procédés de prétraitement peuvent être classés en trois catégories : les procédés physiques, chimiques et biologiques.

Les *procédés physiques* le plus souvent utilisés pour le prétraitement des eaux résiduaires industrielles ont pour fonction d'homogénéiser ces effluents ou de séparer certains constituants. L'homogénéisation a pour but d'assurer une relative constance des caractéristiques des eaux usées, ce qui facilite leur traitement ultérieur, ou de permettre une autoneutralisation par exemple. La séparation de certains constituants peut se faire simplement par aération, dégrillage, décantation ou flottation, ou par des techniques plus sophistiquées comme la filtration, l'adsorption ou l'extraction par solvant approprié. Les deux principaux *procédés chimiques* de prétraitement des eaux usées industrielles sont la neutralisation et l'oxydation. Cette dernière opération est généralement effectuée avec de l'oxygène (air), du chlore, du peroxyde d'hydrogène ou de l'ozone. Elle a pour but d'éliminer certains composés toxiques.



ques comme le cyanure, de diminuer la demande en oxygène des effluents ou d'empêcher la formation de gaz malodorants dus à des bactéries anaérobiques.

Les *procédés biologiques* ont pour fonction primaire la réduction des charges polluantes organiques. Ces procédés sont des systèmes d'épuration aérobies nécessitant des bactéries et de l'oxygène, ou des systèmes anaérobies en absence d'oxygène.

Les systèmes aérobies sont semblables à ceux mis en œuvre dans les stations d'épuration communales (filtres bactériens, lagunage, boues activées). Cependant, les installations ne traitant que des eaux usées industrielles sont difficiles à exploiter et nécessitent selon les cas un important prétraitement à cause de la grande sensibilité des processus biologiques à divers toxiques et inhibiteurs.

### 3. Application pratique : eaux résiduaires industrielles de l'entreprise FEBEX SA

#### 3.1. Données de base

La Fonte Electrique SA à Bex (FEBEX) est une industrie concentrée sur la chimie du phosphore.

Elle possède deux gammes de produits :

- les acides phosphoriques obtenus par combustion du phosphore
- les sels hypophosphites obtenus par dismutation du phosphore métallique en milieu alcalin.

Les deux chaînes de production conduisent à des rejets en phosphore sous forme de phosphates ( $\text{PO}_4^{3-}$ , degré d'oxydation du phosphore +5), de phosphites ( $\text{HPO}_3^{2-}$ , degré d'oxydation +3) et d'hypophosphites ( $\text{H}_2\text{PO}_2^-$ , degré d'oxydation +1).

Plusieurs séries de mesures effectuées en 1985 avec la collaboration de l'Office cantonal de la protection des eaux (OCPE) permettent de situer les pertes dans les eaux résiduaires industrielles entre 12 et 30 kg de phosphore par jour. Ces mesures ont mis en évidence que ces pertes sont principalement dues à des opérations ponctuelles en fabrication, spécialement des lavages. La charge polluante est donc très irrégulière et devrait aussi pouvoir être diminuée à la source. Le volume des eaux résiduaires industrielles varie entre 30 et 50  $\text{m}^3$  par jour.

#### 3.2. Principes de traitement

Compte tenu du fait que la seule substance polluante contenue dans les effluents de FEBEX est le phosphore, le but du traitement est l'élimination de cet élément jusqu'à une valeur résiduelle permettant le rejet des eaux traitées directement dans les eaux. En effet, à cause de l'absence de charge

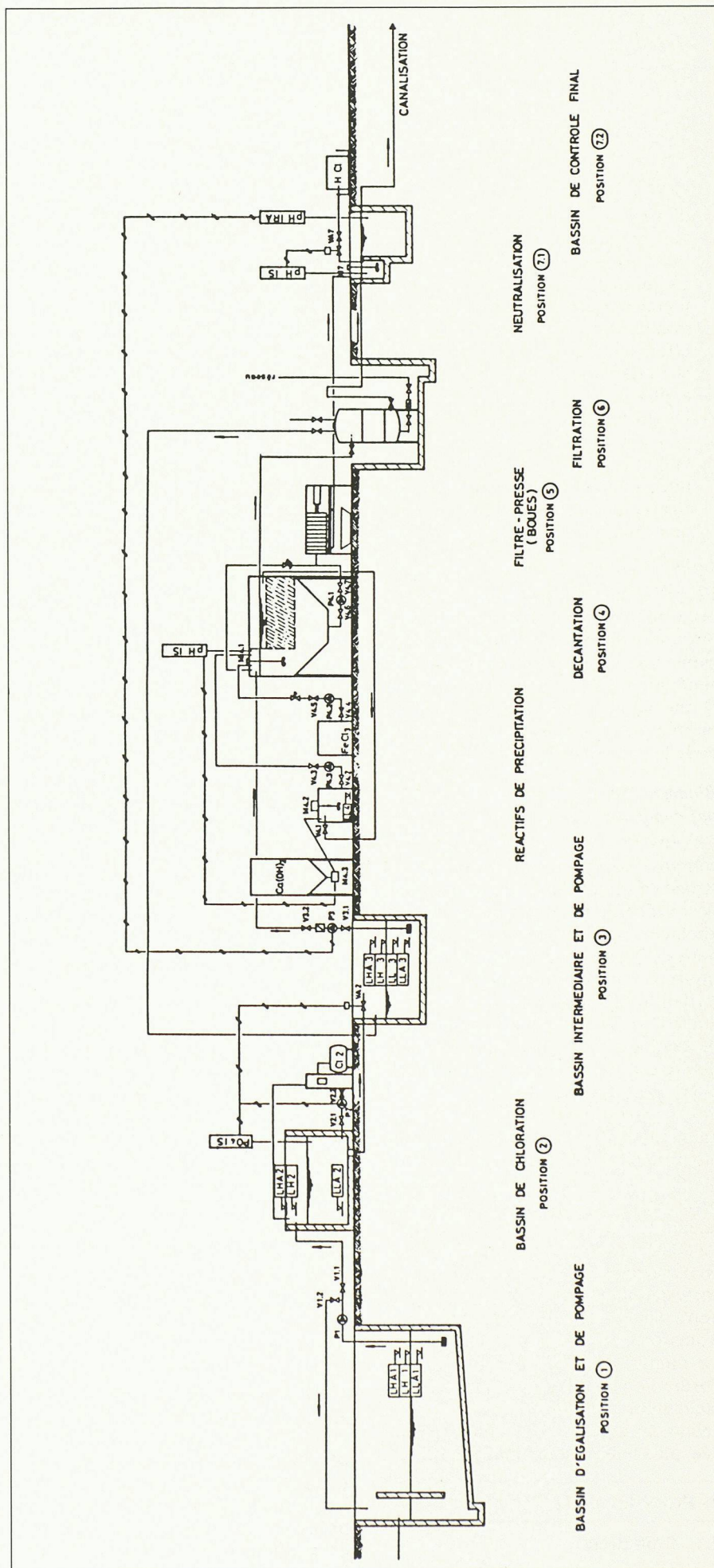
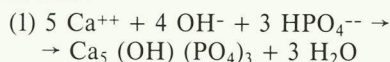


Schéma de principe du traitement des eaux chimiques chez FEBEX SA.

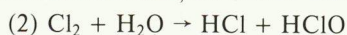


polluante organique, le raccordement de ces eaux à la station d'épuration de Bex ne se justifierait pas de ce point de vue.

Cependant, le rejet dans les eaux impose une teneur finale en phosphore de 1 mg/l au maximum, ce qui implique un rendement d'épuration extrêmement élevé, supérieur à 99,6%. L'étude des diverses méthodes d'élimination des phosphates, c'est-à-dire précipitation par des sels de fer ou d'aluminium ou par la chaux, a montré que cette dernière était celle le mieux appropriée dans le cas particulier. Elle est fondée sur la réaction chimique suivante :



Le produit insoluble de la réaction (1), l'hydroxylapatite  $\text{Ca}_5 (\text{OH}) (\text{PO}_4)_3$ , se forme à un pH supérieur à 9,5. Le degré d'élimination du phosphore est en effet proportionnel au pH et non au taux de dosage de chaux, qui est, lui, fonction de l'alcalinité des eaux à traiter. Le rapport molaire calcium : phosphore est de 5:3 en théorie et varie dans la pratique entre 1,3:1 et 2,0:1. Si la chaux permet la précipitation du phosphore sous forme de phosphate, tel n'est par contre pas le cas avec les autres formes, phosphites et hypophosphites. Il est donc indispensable d'oxyder ces substances en phosphates avant de pouvoir les éliminer. Ce traitement d'oxydation est effectué par le chlore, oxydant puissant, selon les réactions suivantes, en milieu acide :



Les équations (3) et (4) indiquent des rapports molaires  $\text{Cl}_2$  : hypophosphite de 2:1 et  $\text{Cl}_2$  : phosphite de 1:1. En d'autres termes, l'oxydation de 1 g

d'acide hypophosphoreux en acide phosphorique nécessite 2,15 g de chlore gazeux, et celle de 1 g d'acide phosphoreux 0,87 g de chlore.

### 3.3. Schéma de principe de l'installation

Le schéma de principe de l'installation (voir fig.) illustre divers procédés de traitement physiques (homogénéisation, décantation) et chimiques (oxydation, neutralisation) qui ont été décrits précédemment (voir 2.3).

Les eaux résiduaires industrielles arrivent dans un bassin d'égalisation (position 1 du schéma) assurant un temps de séjour supérieur à 24 h pour amortir les pointes polluantes. Elles sont ensuite pompées dans un bassin de chloration (position 2) où s'effectue l'oxydation des phosphites et des hypophosphites en phosphates par le chlore.

Ce traitement, par charge, se déroule en circuit fermé selon le schéma suivant :

- analyse automatique de la concentration des substances à oxyder dans la charge à traiter
- chloration à débit de chlore constant (20 kg/h) durant un temps proportionnel à la teneur analysée
- observation d'une durée de réaction
- analyse automatique de contrôle de l'absence de substances à oxyder (sinon, deuxième cycle de chloration)
- vidange du contenu du bassin de chloration dans le bassin intermédiaire (position 3).

La durée totale d'un cycle de chloration est de 3 h, ce qui permet le traitement de huit charges par jour au maximum.

La suite du traitement des eaux résiduaires est un traitement en continu, qui comprend les étapes suivantes :

- pompage des eaux à traiter avec un débit de 3 m<sup>3</sup>/h
- dosage automatique de lait de chaux afin d'assurer un pH minimal de 11,5
- dosage automatique de chlorure ferrique pour améliorer la décantation
- décantation de l'hydroxylapatite formée dans un ouvrage cylindro-conique comprenant une partie lamellaire (position 4)
- neutralisation des eaux décantées par dosage d'acide chlorhydrique jusqu'à un pH de 8,5 (position 7.1)
- contrôle final et enregistrement du pH des eaux évacuées à la canalisation des eaux claires (position 7.2).

Les boues déposées dans le fond du décanteur sont périodiquement déshydratées dans un filtre-pressé (position 5). Elles peuvent ensuite être prises en charge par une unité de production d'engrais ou de phosphore.

Le schéma de principe comprend également une unité de filtration sur sable de quartz (position 6). Celle-ci ne sera cependant mise en place que si la décantation ne permettait pas d'obtenir une concentration finale en phosphore conforme aux normes de rejet. Le fonctionnement de l'installation est entièrement automatique et est commandé par des mesures de niveau et de concentrations. Seule la filtration des boues est commandée manuellement. Les différents paramètres de fonctionnement (marche des pompes, durée de chloration, pH de précipitation, pH final, etc.) sont enregistrés en continu, permettant ainsi le suivi des opérations de traitement.

Adresse de l'auteur :  
Werner Hirsbrunner  
Dr ès sciences, ing. EPF/SIA  
Bureau Hydrostep SA  
1093 La Conversion

## Bibliographie

### Le dépérissement des forêts

Une brochure A5, 32 pages avec de nombreuses illustrations. Editée par le Service cantonal vaudois des forêts et de la faune, Lausanne, 1987.

Même si d'autres sujets touchant à l'environnement ont quelque peu relégué à l'arrière-plan la « mort des forêts », le phénomène n'en a pas pour autant disparu, loin de là. Cette discrétion est peut-être préférable, car elle délivre les spécialistes du fardeau d'une information - sommaire, parce que ponctuelle - sollicitée par la presse. Un certain recul est indispensable en la matière pour

permettre d'appréhender une situation trop complexe pour se plier à des simplifications irréfléchies. On pense à ce que nous ont dit, il y deux ou trois ans, de hauts fonctionnaires : si leurs prédictions avaient été exactes, nous n'aurions aujourd'hui plus de forêts dans notre pays. Nous n'en sommes heureusement pas encore arrivés là, mais le crédit des spécialistes en est resté fort amoindri. C'est avec cet indispensable recul que le Service vaudois des forêts et de la faune présente les *Moyens mis en œuvre pour en saisir l'importance et synthèse des observations effectuées dans le canton de Vaud* sous la forme d'un opuscule où la clarté n'exclut pas la précision scientifique.

Les conclusions en sont intéressantes ; nous en extrayons ici

un passage : « Le risque majeur qu'encourt la forêt tient d'abord de la dégradation persistante du marché du bois, spécialement sur le plan international - rendant aléatoires toutes exploitations rentables dans notre pays et provoquant l'abandon progressif de forêts trop coûteuses à entretenir - que des menaces que fait peser sur elle le dépérissement des forêts. C'est pourquoi la création de chemins d'accès dans les forêts les moins bien desservies doit à tout prix être encouragée, faute de quoi l'on verra apparaître une raison supplémentaire de négliger l'entretien des peuplements. » Si l'on peut souscrire à cette constatation, elle appelle toutefois deux remarques :

- les spécialistes de la construction en bois déplorent

que les bois suisses ne supportent pas la comparaison avec les bois étrangers quant à la qualité, faute d'un tri rigoureux ;

- on souhaiterait que le service qui a édité la brochure se souvienne qu'il s'occupe également de la faune et renonce à bétonner (comme cela a été le cas lors des améliorations foncières) ou à goudronner les chemins d'accès dont on reconnaît sans contester la nécessité. Des rubans de béton ou de bitume ne conviennent pas à la faune, pour de multiples raisons.

A tous ceux qui douteraient du dépérissement des forêts comme à ceux qui s'en inquiètent, on ne peut que recommander instamment la lecture de cette brochure.

Jean-Pierre Weibel