Zeitschrift: Ingénieurs et architectes suisses
Band: 124 (1998)
Heft: 6

Artikel: Des voies à explorer pour le traitement des eaux usées
Autor: Kaestli, Françoise
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-79377

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: 20.02.2026

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

Des voies à explorer pour le traitement des eaux usées

Par Françoise Kaestli, rédactrice

Il est aujourd'hui beaucoup fait mention de développement durable et, dans cette optique, force est de constater que l'eau devient un enjeu majeur de notre époque, tant en raison de la lente érosion de nos sources d'approvisionnement en eau claire, qu'à cause de la dégradation de leur qualité. Comment étancher la soif de plus en plus grande de l'homme, que ce soit pour ses besoins propres (la consommation domestique et urbaine représente 10 % de la consommation totale), pour ses industries (25 %) ou son agriculture (65 %), tout en préservant les fonctions écologiques fondamentales de l'eau et en assurant une disponibilité de cette ressource à long terme ? « La grenouille ne boit pas jusqu'au fond la mare dans laquelle elle vit » dit un vieux proverbe Inca[1]. Trouverons-nous des solutions pour ne pas épuiser nos réserves d'eau potable ?

Le problème de l'eau doit être empoigné tant à la source (gestion de la consommation et de la distribution), qu'au niveau des rejets (recyclage des eaux usées, maîtrise des sources de pollution). A défaut d'avoir une emprise sur le premier aspect de la question, la technologie a un rôle important à jouer dans le second, pour autant qu'elle favorise la mise en place de solutions plus écologiques et efficaces. Nous nous efforçons, dans le présent article, de décrire trois des voies actuellement explorées à cette fin.

Eaux traitées, environnement respecté ?

Le traitement des eaux est en pleine évolution. Le problème ne se pose plus en termes purement techniques de capacité des installations et de pureté des eaux traitées. Le rendement s'établit sur la consommation globale de ressources. Aussi, une station d'épuration est-elle considérée sous l'angle d'un bilan global des ressources consommées (énergie brûlée, espace immobilisé) et des ressources produites (eaux propres, boues utilisables dans l'agriculture ou ailleurs, énergie fournie, matériaux récupérables, déchets à éliminer, etc.).

Cette approche encourage le développement de technologies nouvelles, mieux adaptées, qui modifient les procédés de traitement, les rendant plus efficaces et moins gourmands en énergie. Cette approche en est encore à ses balbutiements. En 1991, les stations d'épuration suisses couvraient 18 % de leurs besoins énergétiques grâce à la récupération des gaz produits (données de l'OFEFP). Or le manuel « Mesures d'économie dans les STEP » préconise une couverture minimale de 60 %.

Les défis techniques de tout ordre se multiplient : la composition de nos eaux usées change, leur charge en matière organique et leur température croissent proportionnellement à notre niveau de vie. De nouvelles substances sont également amenées par l'évolution des procédés industriels. En Suisse, l'ordonnance fédérale sur les substances dangereuses pour l'environnement de 1992 (OSUD) gère, en particulier, la composition des boues et fixe des valeurs limites pour les métaux lourds plus faibles qu'auparavant ; elle remplace et élargit l'ordonnance fédérale sur les boues d'épuration de 1981 (OBE). Quant à l'ordonnance de 1995 sur les substances étrangères et les composants dans les denrées alimentaires, elle fixe les teneurs limites en métaux et composants organiques dans les eaux et les aliments.

Grâce aux prétraitements effectués par l'industrie et l'artisanat, ces quinze dernières années, la teneur en métaux lourds (nickel, chrome, cadmium) a diminué dans les eaux usées (fig. 1). Par contre, les quantités de cuivre et de cobalt rejetées dans les boues ont augmenté. Et il est symptomatique de constater que, dans le canton de

[1]Brown Lester R. : « L'Etat de la planète 1996 », Worldwatch Institute, 1996, Ed. Economica, Paris

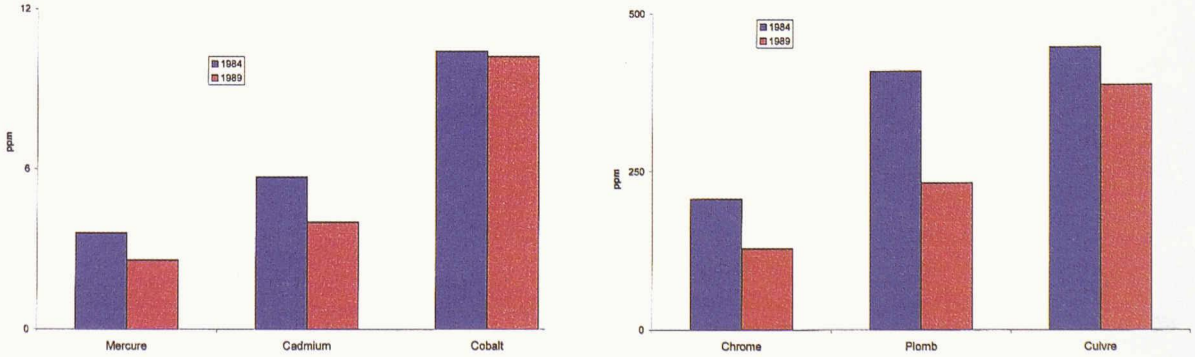

Fig. 1. – Depuis 1980, la présence de métaux lourds dans les boues d'épuration diminue. Reste que, pour le cuivre et le cobalt, les volumes annuels trouvés dans les boues ont augmenté de 1 à 3 %.

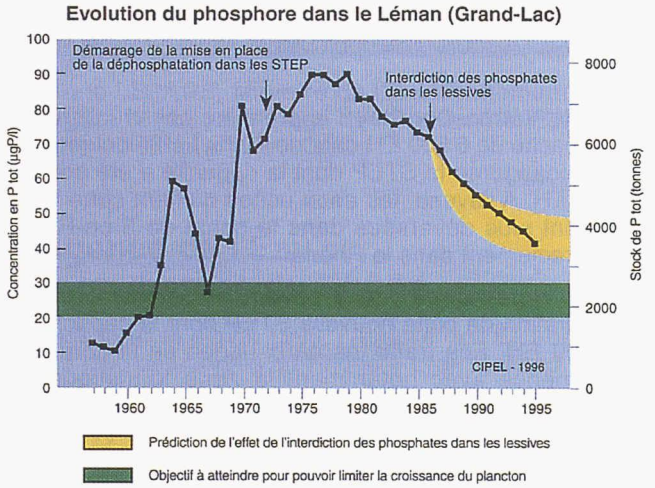

Fig. 2. – La teneur en phosphore du lac Léman a nettement baissé depuis l'interdiction des phosphates dans les lessives; les limites fixées ne sont cependant pas encore atteintes (CIPEL).

Vaud, les valeurs limites de cuivre ont été dépassées par dix-neuf stations d'épuration en 1996[2]. De même, si la diminution du phosphore dans les eaux lacustres, depuis l'interdiction des phosphates dans les lessives, est encourageante (fig. 2), il reste une pollution diffuse, faite de substances variées en continuelle évolution. Alliée à de faibles concentrations, cette variété même complique beaucoup la recherche de solutions, sans parler de la difficulté de rentabiliser les applications envisagées.

Pour simplifier, on peut regrouper les eaux résiduaires industrielles et urbaines en trois catégories : les effluents biodégradables, traités par voie biologique dans des stations d'épuration, les effluents toxiques, non biodégradables, et les effluents récalcitrants. Pour dissocier les molécules qui ne se dégradent pas d'elles-mêmes, les déchets toxiques subissent des traitements physico-chimiques ou une combustion à haute température, qui constituent des opérations coûteuses. Quant aux effluents récalcitrants, ils peuvent être traités par voie biologique, moyennant une sélection et une adaptation de souches bactériennes, spécifique à chaque occurrence. Or, aussi bien dans les rejets toxiques que dans les effluents dits récalcitrants, on trouve des produits chimiques de synthèse, appelés xénobiotiques, dont le nombre ne cesse d'augmenter et la composition de se diversifier. Agents de nettoyage, désinfectants, produits pharmaceutiques, détergents, solvants, pesticides se retrouvent après usage dans les eaux de surface, les eaux domestiques et les effluents industriels. On recense à l'heure actuelle plus de cent mille de ces substances de synthèse, et ce chiffre augmente d'un millier chaque année.

Qu'ils soient biologiques ou chimiques, les procédés de traitement des effluents génèrent des déchets solides, sous forme de boues ou de résidus minéralisés, dont il faut se débarrasser. La production de boues résultant de l'épuration des eaux a augmenté ces vingt dernières années et leur stockage pose problème. Alors qu'en 1975, l'agriculture en absorbait 70 % par épandage, de nouvelles ordonnances fédérales ont fait descendre cette proportion à 40 %, ce qui représente cinq tonnes de substances sèches par hectare, sur une période de trois ans. Le reste est, soit déshydraté et mis en décharge, solution transitoire qui immobilise du terrain de manière durable, soit incinéré (fig. 3) le coût, du traitement s'en trouvant renchéri d'autant. Depuis peu, la récupération d'une partie de ces boues sèches dans les cimenteries, en remplacement du carbone, offre une alternative intéressante à la combustion, bien que très limitée encore. Ces faits reposent, de façon aiguë, le problème des boues et de leur élimination.

Valoriser les boues plutôt que de les éliminer

A l'Ecole polytechnique fédérale de Lausanne, le professeur Paul Péringer développe de nouveaux procédés de traitement des déchets, qu'ils soient liquides, solides ou gazeux ; il les veut plus efficaces et plus respectueux de l'environnement. Il prône, autant que possible, une séparation des différents effluents sur le lieu de production, un traitement à l'aide de consortia de bactéries, libres ou fixées, ainsi que la création de réacteurs compacts, moins chers et faciles d'emploi.

Préoccupés par le traitement des eaux industrielles et urbaines et l'élimination des boues résiduaires, les collaborateurs du Laboratoire de génie biologique se penchent sur ce problème. Leur objectif est de dégrader les boues de la façon la plus complète possible avant qu'elles ne sortent de la station d'épuration et d'en mieux utiliser les ressources énergétiques. La voie biologique a été explorée, débouchant sur une combinaison de deux types de populations microbiennes distinctes, qui permet d'optimiser la réaction : l'un des types microbiens agit sur les matières solides pour en séparer de petites molécules solubles dans l'eau, ces dernières étant ensuite transformées en biogaz par l'autre type de microbes. Les réactions ont lieu dans un bioréacteur pilote, en l'absence d'air, où les conditions physiques et chimiques idoines sont maintenues. Un procédé technique approprié accélère

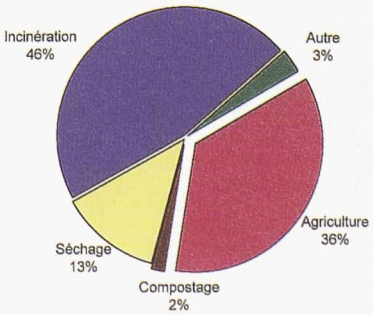

Fig. 3.- Utilisation des boues d'épuration dans le canton de Vaud. Plus de seize tonnes de matières sèches ont été produites en 1996; la moitié environ peut être valorisée.

[2]Etat de Vaud, Service des eaux et de la protection de l'environnment, « Stations d'épuration – Bilans 1996 », mars 1997

le passage de l'eau dans le réacteur, tout en augmentant le temps de résidence des boues, car l'accroissement de ce dernier permet d'obtenir une dégradation plus complète des matières organiques. L'état actuel des recherches montre que 70 % des matières organiques contenues dans les boues primaires peuvent en effet être éliminées à l'aide de cette nouvelle technologie. Autre avantage intéressant : la phase de biométhanisation permet de tirer du biogaz de plus de 70 % des composés organiques des boues (contre 30 à 40 % dans les réacteurs ordinaires) et plus de la moitié de ce gaz est du méthane, vecteur d'énergie très apprécié. La dégradation microbiologique des boues d'épuration offre donc une solution de rechange intéressante à l'incinération, elle est plus respectueuse de l'environnement et elle fournit en outre une source d'énergie supplémentaire.

Procédés doux pour effluents toxiques

Un autre axe de recherche du laboratoire porte sur l'élimination des déchets toxiques, avec comme priorité le développement de procédés simples et peu coûteux, respectueux de l'environnement et dont la technologie puisse être transférée aisément à des pays en voie de développement. Conscient des problèmes que rencontrent ces pays, César Pulgarin, qui est responsable de ce projet, recherche également une solution qui permette d'éviter l'incinération des déchets, coûteuse et génératrice de fumées nocives ou de résidus qu'il faut encore éliminer. Il a choisi une méthode « douce » et largement disponible : le soleil. Par couplage d'un réacteur photo-chimique, pour casser les molécules toxiques, et d'un réacteur biologique, pour terminer la dégradation, il espère résoudre le problème posé par les effluents chimiques. La tâche est cependant complexe : en effet, bien des composants chimiques de synthèse ont le gros désavantage de persister dans les milieux naturels. De fait, ils sont précisément produits pour leur résistance aux ultraviolets, par exemple, car nous n'acceptons pas qu'un vêtement se décolore à la lumière du soleil. Alors, il faut ruser. Dans un premier temps, M. Pulgarin a sélectionné avec d'autres chercheurs quelques-uns des produits les plus universellement utilisés, des substances aromatiques diversement substituées notamment. Dans un réacteur équipé de lampes à rayonnement variable, disponibles sur le marché, il a simulé la lumière du soleil et des catalyseurs ont été ajoutés aux effluents afin de permettre l'absorption d'un spectre de rayonnement plus large (de l'ultraviolet aux couleurs visibles), pour stimuler la décomposition des molécules toxiques. Le polluant à traiter est d'abord soumis au soleil artificiel en petite quantité, et dans des conditions d'expérimentation très variées, proches de la situation réelle. Cette opération est suivie attentivement car il faut éviter deux écueils : un rendement insuffisant, lié à un processus trop lent, et une métamorphose des substances toxiques induisant la prolifération de substances plus nocives encore. La biodégradabilité et la toxicité des effluents sont soigneusement analysées. On identifie, on quantifie les substances modifiées afin de fournir des données utilisables dans des modélisations. Avec les données chimiques, biologiques et cinétiques obtenues lors de ces séries de tests, on dispose des informations nécessaires pour dimensionner et faire fonctionner un système couplé solaire-biologique en continu, à l'échelle du laboratoire (fig. 4). Le second réacteur est un réacteur biologique, à biomasse fixée. Ce type de réacteur présente une meilleure résistance aux chocs toxiques et aux variations des paramètres tant physico-chimiques (acidité, salinité, température), qu'hydrodynamiques (vitesse du flux). La fixation des bactéries sur un support accroît en outre leur activité de trois à cinq fois, ce qui permet de réduire le volume des réacteurs. Peu d'installations utilisent ce procédé à l'heure actuelle en Suisse.

Les premiers résultats sont encourageants. Depuis quelques semaines, la dégradation totale, et en continu, d'un polluant non biodégradable d'origine industrielle a été obtenue grâce à ce procédé. Le couplage des réacteurs est en phase d'optimisation ; la réalisation d'un prototype industriel est envisagée.

L'étape ultérieure de ce projet d'envergure internationale, consistera à étudier et adapter au traitement des polluants, des réacteurs solaires initialement construits pour la production d'énergie, ce que M. Pulgarin fait, en association avec des chercheurs français et espagnols. Ces travaux seront menés sur le site de la plate-forme solaire européenne d'Almeria, au sud de l'Espagne, comme module d'un projet d'encouragement de la communauté européenne (TMR : *Training and Mobility of Researchers Programme*). Deux types de systèmes y seront étudiés : les uns, semi-plats et fixes, à faible pouvoir de concentration, les autres paraboliques, mobiles, à fort pouvoir de concentration, avec comme objectif l'analyse de la faisabilité d'un tel système à l'échelle réelle et son transfert dans des pays à fort ensoleillement.

Le traitement membranaire, technique en devenir pour traiter l'eau

L'ultrafiltration se profile comme un nouveau procédé de filtration des eaux usées et potables. Elle peut être également combinée à des procédés biologiques, ce qui permet d'augmenter les concentrations traitées et de diminuer les tailles d'installation. Jusqu'ici, ce procédé apprécié pour sa résistance aux produits chimiques et sa stabilité à la température, était réservé au domaine industriel. Pour

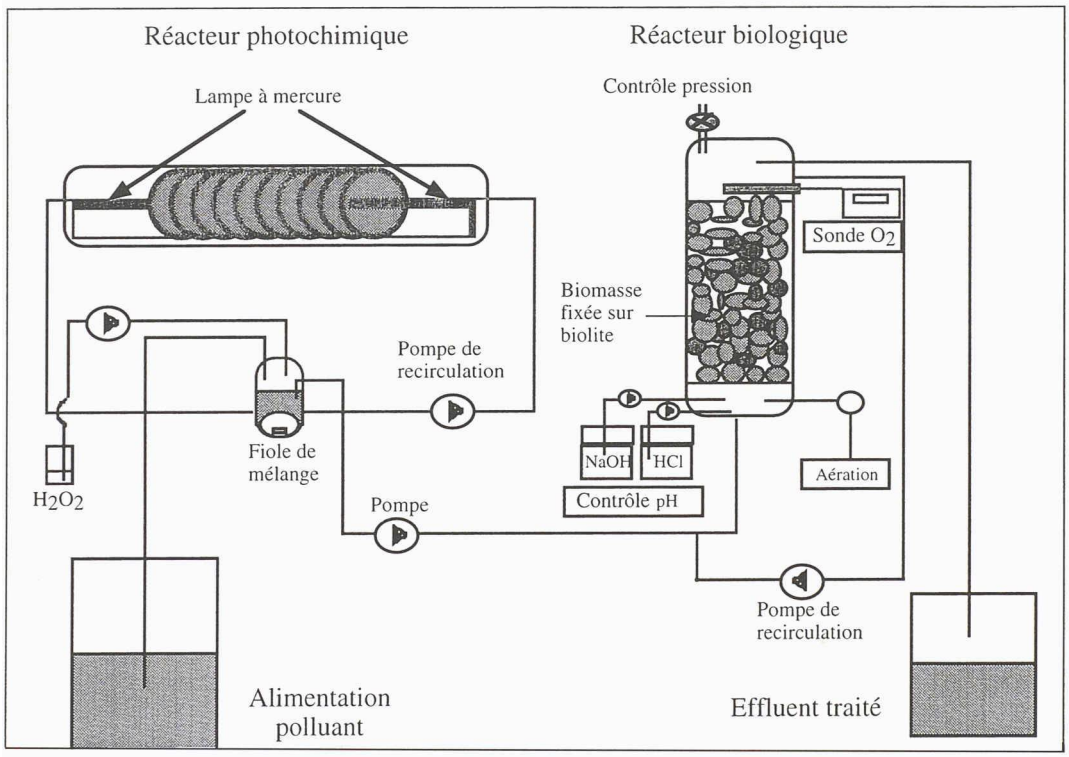

Fig. 4. – Diagramme du réacteur couplé solaire-biologique, pour le traitement des effluents toxiques (LGB)

assurer la qualité de l'eau ou sa pureté, en amont d'un procédé industriel (lavage de composants électroniques par exemple), ou pour éliminer des métaux et des solvants, en aval de l'activité industrielle. L'utilisation des membranes était surtout réservée à des produits à haute valeur ajoutée et à de petits volumes de traitement. En effet, la filtration membranaire n'est pas une technique nouvelle. Ce qui change, c'est la dimension des membranes réalisables, qui sont maintenant adaptées pour traiter des volumes importants, et le coût du traitement, qui a suffisamment baissé pour être envisagé pour la filtration d'eau potable et le traitement des eaux usées.

La filtration conventionnelle, permet de retenir des particules mesurant au moins quelques micromètres: matières en suspension telles que sable fin ou grosses bactéries. A l'autre extrême, l'osmose inverse, utilisée surtout pour la désalination de l'eau de mer, retient les éléments les plus fins: sels dissous, ions métalliques, sucres. Entre filtration conventionnelle et osmose inverse restait un domaine de filtration dont le coût d'exploitation était trop élevé pour une application généralisée. Or de nouvelles membranes (plus performantes, plus grandes et plus économiques) mettent aujourd'hui la micro- et l'ultrafiltration à la portée des villes et des communes. La microfiltration permet l'élimination de bactéries, de poussières d'amiante, de corps solides colloïdaux ou de métaux lourds d'une dimension supérieure à 0,1-0,2 micromètre. Quant à l'ultrafiltration, elle va plus loin et retient par exemple les virus et les protéines (entre 5 et 100 nanomètres); la nanofiltration descend à des tailles de particules entre 1 et 5 nanomètres. En supprimant les micropolluants et la matière organique, l'ultrafiltration diminue les goûts et odeurs de l'eau.

Le principe de ces membranes est simple: une couche passive, très fine, généralement fixée sur un support poreux, définit la finesse de filtration. Ces éléments sont souvent réalisés avec des matériaux organiques (polymères) ou anorganiques (métaux ou céramiques), mis sous forme de couche plane ou de fibres, qui sont ensuite assemblés pour constituer l'entier de la membrane. Le flux d'eau à traiter, circule, soit tangentiellement à cette surface, soit perpendiculairement suivant le procédé utilisé (*Cross-Flow ou Dead-End*).

Si plusieurs grandes villes, en Europe ou aux Etats-Unis, exploitent actuellement ce type d'installations, la Suisse se montre encore très prudente. La Ville de Lausanne a toutefois décidé d'utiliser l'ultrafiltration dans sa nouvelle usine de traitement de l'eau potable, actuellement en construction à Lutry. Pour M. Favrod, responsable du traitement des eaux, cette installation garantira une meilleure qualité de l'eau potable, grâce à un procédé plus sûr et fiable. De plus, l'installation sera moins volumineuse qu'une station traditionnelle, ce qui diminue considérablement les investissements. Dans une première phase de fonctionnement, 0,8 m^3 d'eau du lac sera filtré par seconde. Dans une phase ultérieure, on devrait pouvoir traiter 1,5 m^3 par seconde. « Nous avons visité plusieurs installations en fonctionnement, testé des modules pendant plusieurs semaines, comparé les fournisseurs; nous sommes convaincus que cette solution est intéressante pour la Ville de Lausanne. Avec les membranes choisies, les bactéries et certains virus seront filtrés, ce qui nous permettra de diminuer la chloration de l'eau ». Quant à la longévité des installations, elle ne pose pas de problèmes particulier; dans un contexte d'exploitation normal, les membranes ont une durée de vie de cinq à huit ans et peuvent facilement être remplacées.

Références

SIEGRIST, HANSRUEDI: « Schlamm: Ein wertvolles, aber problematisches Produkt », *Technik Aktuell*, 1/98, pp. 42-43

« Dossier Gewässerschutz: Alles im Griff? », *Technik Aktuell* (*Schweizerische Technische Zeitschrift*), 1/98, pp. 26-45

BROWN, LESTER R. AND AL.: « L'état de la planète 1996 », éd. Economica, Paris, 1996

SACHS, IGNACY: « L'écodéveloppement, stratégies pour le XXIe siècle », éd. La Découverte & Syros, 1997

« Problèmes d'environnement, Dires d'experts », éd. Entreprises pour l'environnement, Lavoisier, Paris, 1996

HENZE, MOGENS: « Trends in advanced wastewater treatment », *Water Science and Technology*, 1997, vol. 35, N° 10, pp.1-4

La lettre du Léman, Bulletin d'information de la commission internationale pour la protection des eaux du Léman (CIPEL), N°14, février 1997

Documents Environnement N°22 « Protection des eaux », Office fédéral de l'environnement, des forêts et du paysage, Berne, 1995

EAWAG news 42D, novembre 1996

KIONKA, TOM, « Quantensprung im Klärwerk?, Neue Perspektiven durch Mikro- und Ultrafiltration », *Umwelt Magazin*, Oktober 1997, pp.28-29

Remerciements

A MM. Péringer et Pulgarin du Laboratoire de génie biologique de l'EPFL, à M. Bonvin de la société *Membratec* et à MM. Favrod et Thonney, des Services des eaux de la ville de Lausanne, nous présentons nos chaleureux remerciements pour leur appui lors de l'élaboration de ce texte.

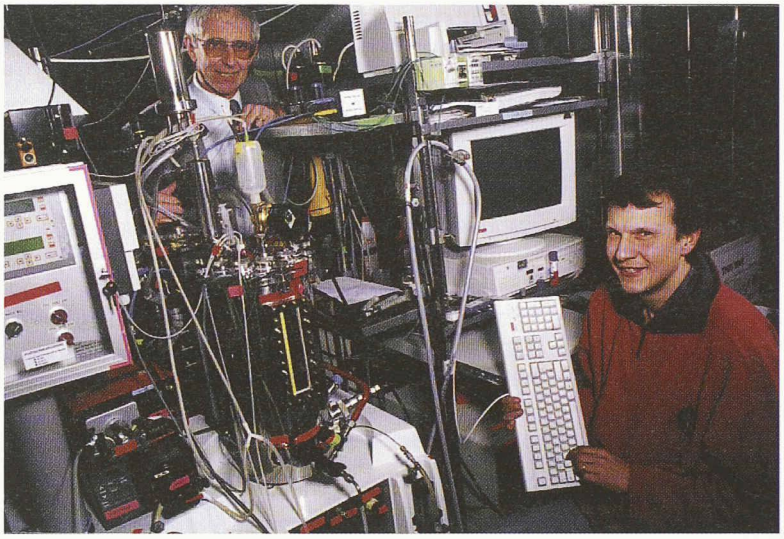

Fig. 5. – Le professeur Péringer et ses collaborateurs développent de nouveaux types de bioréacteurs; la photo montre un réacteur pour la bio-filtration des gaz, qui a été développé pour une entreprise chimique (Photo Herzog)

Le Laboratoire de génie biologique de l'EPFL

Depuis quelques années, le professeur Péringer oriente les activités de son laboratoire vers la biotechnologie environnementale. Il s'intéresse surtout à l'affectation de micro-organismes au traitement, à la valorisation et à l'élimination des déchets organiques urbains et industriels. Dans le cadre des projets de recherche en cours il développe des procédés novateurs et écologiques (fig. 5).

Pour le traitement d'effluents industriels, il expérimente des réacteurs biologiques, avec une biomasse soit libre, soit fixée. Il s'agit de sélectionner, adapter et stabiliser des populations microbiennes mixtes aptes à dégrader certains composés xénobiotiques récalcitrants ou toxiques, contenus dans les rejets industriels. Il faut étudier le comportement métabolique et cinétique de ces populations, en particulier à l'état immobilisé, dans des bioréacteurs contrôlés, en vue de leur exploitation rationnelle. Le couplage de processus physico-chimiques (électrochimiques, photochimiques) et biologiques pour la dégradation de polluants organiques récalcitrants est également analysé.

Un autre axe de recherche consiste à mettre au point des procédés microbiologiques intégrés pour le traitement des déchets organiques. Il vise la bioconversion des boues de stations d'épuration provenant des eaux usées urbaines, en intégrant trois étapes microbiologiques et/ou enzymatiques, suivies de la biométhanisation des matières ainsi solubilisées. Ce procédé devrait conduire à une réduction de près de 70 % du volume des boues produites.

La dégradation effective des déchets est contrôlée par des essais de biodégradabilité, dernier volet de la recherche. Ces essais sont destinés à tester, dans des bioréacteurs contrôlés, la faisabilité technique d'un traitement biologique pour l'élimination ou la valorisation d'un effluent industriel. Les essais de biodégradabilité constituent, par les informations quantitatives qu'ils fournissent, un outil décisionnel important dans la planification, le dimensionnement et la mise en œuvre de procédés de traitement ou d'installations pilotes industrielles.

Au laboratoire de génie biologique, les collaborateurs se passionnent pour les populations microbiennes chargées de dégrader nos déchets polluants. Ces tâcherons aux missions impossibles subissent de nombreux traitements qui, loin de les perturber, les rendent plus efficaces: ils sont sélectionnés en fonction du polluant à traiter, stabilisés, souvent fixés sur un support, combinés. Des consortia sont créés, afin de s'attaquer à des effluents toxiques ou récalcitrants. De nouveaux bioréacteurs sont développés pour accueillir ces micro-organismes et leur fournir un cadre de travail adéquat.