

Le traitement des eaux usées

Wastewater treatment

D. BALLAY^{1*} et J.F. BLAIS²

SUMMARY

This paper provides a brief discussion of the state of municipal wastewater treatment in France and Quebec. It then presents some important changes that have developed over the last ten years in the world and their potential influence on the future.

In France, 95% of towns of more than 10 000 residents have a wastewater treatment plant. Construction of new plants reached 730 installations in 1976, but has since declined to less than 300/year. Among 11 310 sites of more of 200 inhabitants, 5% utilize only primary treatment and 50% utilize the activated sludge process which represents 60% of the treatment capacity. In order to satisfy the European directive of May 21st 1991, approximately 36 billion French Francs should be invested between 1994 and 2005. This investment represents new wastewater treatment facilities for 17 million people.

In Quebec, construction of wastewater treatment plants occurred mainly during the 80's and 90's. Today, nearly 80% of the population is served by wastewater treatment plants, which represent approximately 4,9 million residents. This accounts for a flow rate of 5,3 million cubic meters per day. Among 450 municipal treatment plants, those of the urban communities of Montreal and Quebec represent nearly 60% of the total wastewater treatment capacity of Quebec.

Physico-chemical treatment plants are the most significant (6 plants for 2,28 million residents) followed by activated sludge process plants (40 plants for 0,69 million residents) and plants using biofilter technologies (9 plants for 0,75 million residents). A total of approximately 320 small treatment plants, serving an average of 3 500 residents, use the aerated lagoon treatment.

1 École nationale du génie rural, des eaux et des forêts, 19, avenue du Maine, 75732 Paris cedex 15, France.

2 Cominco Research, Case Postale 2000, Trail, Colombie Britannique, V1R 4S4, Canada.

* Correspondance.

Over the past decade technological developments have resulted in an evolution that will modify the design and operation of wastewater treatment plants in the future:

- the more widespread use of techniques developed for the elimination of nitrogen and phosphorus;
- the realization of the importance of polluting charges transported by pluvial waters; the beginning of the resultant wastewater treatment plant adaptations;
- the limited development of anaerobic treatments that have survived the energy crisis;
- the valuable development of biological fixed-culture systems for wastewater treatment and most notably, the biofilters;
- the appearance of promising membrane technology in wastewater treatment systems, which could facilitate the definition of new treatment objectives;
- the consideration of the global reliability of the wastewater treatment systems instead of only peak performance;
- a more integrated vision for the prevention of pollution in industry (clean technologies) as well as in the domestic environment (integrated management of sewerage system and wastewater treatment plant).

Key-words: *wastewater treatment, nutrient removal, biological treatment, activated sludge, aerated lagoon, anaerobic treatment.*

RÉSUMÉ

L'article présente brièvement l'état de l'épuration des effluents des collectivités en France et au Québec. Il souligne ensuite quelques changements importants intervenus depuis dix ans dans le monde grâce aux progrès de la recherche et qui pourraient marquer l'avenir.

En France, 95 % des agglomérations de plus de 10 000 équivalents-habitants disposent d'une station d'épuration. Le rythme de construction a atteint 730 installations nouvelles dans l'année 1976 mais il est redescendu à moins de 300/an. Sur les 11 310 stations de plus de 200 équivalents-habitants recensées, 5 % réalisent seulement un traitement primaire et la moitié en nombre, représentant plus de 60 % de la capacité de traitement utilisent le procédé des boues activées.

Les investissements à réaliser entre 1994 et 2005 pour satisfaire aux exigences de la directive européenne du 21 mai 1991 sont évalués à environ 36 milliards de francs français, correspondant à la création de capacités de traitement supplémentaires de 17 millions d'équivalents-habitants et à des améliorations plus ou moins importantes d'un grand nombre de stations existantes.

Au Québec, la construction des stations d'épuration s'est faite essentiellement dans les années 80 et 90. Aujourd'hui, près de 80 % de la population est desservie par des installations d'épuration, soit environ 4,9 millions d'habitants pour un débit hydraulique de 5,3 millions de m³/j.

Parmi les 450 ouvrages municipaux, ceux des Communautés Urbaines de Montréal et de Québec représentent, à eux seuls, près de 60 % de la capacité installée.

Les stations physico-chimiques, bien que peu nombreuses, sont les plus importantes (6 stations pour 2,28 millions d'habitants) suivies par les boues activées (40 stations pour 0,69 million d'habitants) et la biofiltration (9 stations pour 0,75 million d'habitants). Environ 320 stations, de dimension plus modeste utilisent des étangs aérés, desservant en moyenne une population de 3 500 habitants.

Sur le plan de l'évolution des techniques, la décennie écoulée a vu apparaître ou se confirmer des évolutions qui marqueront sans doute profondément la conception et l'exploitation des stations d'épuration dans les années à venir :

- l'objectif maintenant presque généralisé d'éliminer les nutriments azote et phosphore et le développement rapide des techniques correspondantes ;

- la prise de conscience de l'importance des flux polluants véhiculés par les eaux pluviales et un début d'adaptation des stations d'épuration ;
- le développement limité mais réel des traitements anaérobies qui ont survécu à la démobilitisation des surlendemain de la crise énergétique ;
- le fort développement des systèmes d'épuration biologique à culture fixée et notamment des biofiltres ;
- l'apparition prometteuse des membranes dans les systèmes d'épuration biologique permettant d'envisager de nouveaux objectifs de traitement ;
- la prise en compte de la fiabilité des systèmes d'épuration avec un poids de plus en plus important par rapport aux performances de pointe ;
- une vision plus intégrée de la prévention des pollutions tant dans l'industrie (technologies propres) que dans les agglomérations (gestion intégrée de l'ensemble réseau-station d'épuration).

Mots clés : traitement des eaux usées, enlèvement des nutriments, traitement biologique, boues activées, étangs aérés, traitement anaérobie.

Le présent article n'a pas la prétention de donner un état des connaissances en matière de traitement des eaux usées, ni même de recenser les progrès réalisés dans ce domaine au cours des dix dernières années. Plus modestement, les auteurs se proposent, en s'appuyant sur leur expérience, de souligner quelques changements importants intervenus depuis dix ans grâce aux progrès de la recherche et qui pourraient marquer l'avenir. Avant cela, ils présenteront brièvement l'état de l'épuration des effluents des collectivités en France et au Québec.

1 - ÉTAT ACTUEL ET ÉVOLUTION DE L'ÉPURATION

Les dernières années ont été marquées par un développement important de l'épuration des eaux usées et ce, tant au niveau des traitements utilisés que de l'implantation de nombreux ouvrages d'assainissement. À l'heure actuelle, on peut estimer qu'un tiers de la population mondiale, soit environ 1.8 milliards d'individus, est desservie par une installation de traitement des eaux usées (DIRKZWAGER et L'HERMITE, 1989 ; L'HERMITE, 1991 ; US EPA, 1990). Les sections qui suivent tracent un profil spécifique de la situation du parc de stations d'épuration en France et au Québec, ainsi qu'un aperçu de son évolution.

1.1 La situation française

Les recensements de la population permettent de retracer un historique du raccordement des logements aux réseaux d'égouts jusqu'en 1982 (BREAS, 1996). Le taux de raccordement est ainsi passé d'environ 40 % en 1962 (sur les 16,3 millions de logements recensés, 36,6 % étaient raccordés pour leurs eaux vannes et 45,0 % pour leurs eaux ménagères) à environ 70 % en 1982 (sur les 21,9 millions de logements recensés, 68,9 % étaient raccordés pour leurs eaux vannes et 73,2 % pour leurs eaux ménagères).

On estime (BREAS, 1996) que 10 % des logements français relèvent durablement de l'assainissement autonome ; 90 % relèvent donc de l'assainissement

collectif et, parmi ceux-ci, en 1995, 90 % sont desservis par un réseau d'assainissement (c'est-à-dire sont situés à proximité d'un réseau), 88 % sont effectivement raccordés à l'égout et 85 % ont leurs eaux usées traitées dans une station d'épuration avant rejet au milieu naturel.

L'équipement des communes en stations d'épuration a connu une forte accélération à partir du milieu des années 60 après la publication de la Loi sur l'Eau du 16 décembre 1964 et la mise en place en 1966 des six Agences Financières de Bassin, maintenant appelées « Agences de l'Eau » (BERLAND, 1994).

Pendant une dizaine d'années, le rythme de construction n'a cessé de croître, le nombre de stations d'épuration mises en service dans l'année passant de 153 en 1966 à 730 en 1976. À partir de 1977 le rythme des mises en service s'abaisse, passant de 543 en 1977 à environ 300 à la fin des années 80.

Aujourd'hui, 95 % des agglomérations de plus de 10 000 équivalents-habitants disposent d'une station d'épuration (RNDE 1995), et la construction de stations d'épuration entièrement nouvelles ne représente plus qu'une partie des travaux qui concernent de plus en plus souvent l'extension, la modernisation et l'adaptation des installations existantes pour répondre à des exigences plus sévères.

Le nombre total des stations d'épuration de plus de 200 équivalents-habitants traitant des effluents domestiques, seuls ou mélangés à des effluents industriels, a été évalué en 1992 à 11 310. (« COURANTS », 1994), représentant au total une capacité de 71,4 millions d'équivalents-habitants.

Parmi ces stations :

- 556, représentant une capacité de 2,5 millions d'équivalents-habitants, réalisent seulement un traitement primaire ;
- 2 383, représentant une capacité de 1,9 million d'équivalents-habitants, traitent les eaux usées par lagunage ;
- 5 636, représentant une capacité de 43,3 millions d'équivalents-habitants, utilisent le procédé des boues activées, de loin le plus représenté avec la moitié des stations d'épuration et plus de 60 % de la capacité de traitement installée ;
- 1 523, représentant une capacité de 3,7 millions d'équivalents-habitants, mettent en œuvre des lits bactériens ;
- 93, représentant une capacité de 4,6 millions d'équivalents-habitants, utilisent des traitements physico-chimiques (autres que la simple décantation recensée dans les traitements primaires) ;
- 1 119 enfin, représentant une capacité de 4,2 millions d'équivalents-habitants, mettent en œuvre d'autres traitements biologiques ou une combinaison de divers traitements. Les biofiltres recensés dans cette catégorie étaient encore relativement peu nombreux en 1992 mais ils ont pris, au cours des dernières années, une place de plus en plus importante.

Les perspectives d'avenir sont fortement influencées, en France comme dans les autres pays de l'Union Européenne, par les engagements pris dans le cadre de la directive européenne 91-271 du 21 mai 1991. Celle-ci prévoit en effet que toutes les eaux usées des agglomérations de plus de 15 000 habitants seront collectées et épurées avant le 31 décembre 2000 et celles des agglomérations de 2 000 à 15 000 habitants avant le 31 décembre 2005. L'échéance est même avancée au 31 décembre 1998 pour les agglomérations de plus de 10 000 habitants situées en « zones sensibles » en raison, par exemple, d'un risque d'eutrophisation appelant un effort particulier d'élimination de l'azote ou du phosphore.

Les investissements à réaliser entre 1994 et 2005 pour satisfaire aux exigences de la directive ont été évalués par une enquête auprès des organisations professionnelles des dix pays européens (ENROPEAN WASTEWATER GROUP, 1997). D'après cette enquête la capacité de traitement des stations d'épuration françaises doit être augmentée de 17 millions d'équivalents-habitants tandis que 80 % des installations existantes appellent des améliorations plus ou moins importantes. Ces améliorations devraient porter principalement sur un renforcement de la fiabilité du fonctionnement et sur le traitement de l'azote et du phosphore. Les investissements correspondants (création de capacités supplémentaires d'épuration et amélioration des installations existantes y compris le traitement des boues) sont évalués dans la même enquête à 5,5 milliards d'Ecu (environ 36 milliards de francs français).

1.2 La situation québécoise

La dernière décennie s'est faite témoin de l'essor véritable de l'épuration des eaux usées au Québec avec l'implantation de nombreux ouvrages d'assainissement réalisée dans le cadre du Programme d'Assainissement des Eaux du Québec (PAEQ). Ainsi, alors qu'en 1980 moins de 5 % des eaux usées domestiques étaient traitées, en 1991, environ 37 % de la population du Québec était desservie par des ouvrages d'assainissement collectifs. Ce pourcentage atteignait un peu plus de 65 % en 1993 suite à l'entrée en fonction de stations d'épuration importantes, telles que celles de la Communauté Urbaine de Québec (CUQ) et de Longueuil. Au cours de l'année 1994, la population desservie s'éleva à environ 75 % avec le parachèvement des ouvrages d'assainissement de la Communauté Urbaine de Montréal (CUM-versant sud). À l'heure actuelle, près de 80 % de la population québécoise est desservie par des installations d'épuration, soit environ 4,9 millions d'équivalents-habitants pour un débit pouvant être estimé à 5,3 millions de mètres cubes par jour.

Près de 450 ouvrages municipaux d'assainissement des eaux sont dénombrés actuellement et comprennent, en autres, les ouvrages de la CUM et de la CUQ qui, à eux seuls, représentent presque 60 % de la capacité de traitement installée au Québec.

Pour l'épuration des eaux usées, divers types de traitement ont été installés dans les municipalités. Le choix du type de traitement à privilégier est fonction de la taille de la municipalité, du type d'eau à traiter, des contraintes physiques de localisation, des objectifs environnementaux, etc. En ce début de l'année 1998, on recense approximativement :

- 40 stations d'épuration utilisant un traitement par boues activées, ce qui comprend des procédés de type classique, à aération prolongée, par fossés d'oxydation, ou à réacteurs biologiques séquentiels ;
- 14 stations d'épuration utilisant un traitement par disques biologiques ou équivalents ;
- 320 stations d'épuration utilisant un traitement par étangs aérés ou étangs aérés facultatifs ;
- 9 stations d'épuration comprenant un traitement par biofiltration dont les installations de la CUQ (Est et Ouest) ;
- 6 stations d'épuration employant un traitement physico-chimique dont celle de la CUM ;
- 22 stations d'épuration utilisant un traitement par étangs non-aérés ;

- 21 stations d'épuration utilisant un traitement par fosses septiques et champs d'infiltration ;
- 11 stations utilisant d'autres formes de traitement.

Les stations de type physico-chimique, quoique peu nombreuses, sont de loin les plus importantes (3,09 millions m^3/j , 2,28 millions d'équivalents-habitants), suivies de celles de type biofiltration (0,59 million m^3/j , 0,75 million d'équivalents-habitants) et de type boues activées (0,64 million m^3/j , 0,69 million d'équivalents-habitants). Les étangs aérés, nombreux au Québec, présentent un débit moyen de conception nettement plus faibles que pour les trois types précédents, soit de 2 940 m^3/j , avec une population moyenne de 3 500 équivalents-habitants. Les quatre autres types d'ouvrages sont de dimensions moindres, avec un débit moyen de conception inférieur à 500 m^3/j , et une population desservie par station de moins de 1 000 équivalents-habitants.

- Près de 68 % du débit (60 % de la population desservie) est traité par des stations de capacité supérieure à 100 000 m^3/j ; il s'agit des stations de la CUM et de Longueuil de type physico-chimique, de la CUQ de type biofiltration, et de la CUO (Communauté Urbaine de l'Outaouais) de type boues activées ;

- Un total de 25 % du débit (30 % de la population) est traité par des ouvrages de capacité comprise entre 5 000 et 100 000 m^3/j qui représentent 16 % du nombre total des ouvrages.

- Environ 7 % du débit (10 % de la population) est traité par des ouvrages de capacité inférieure à 5 000 m^3/j . Ceux-ci représentent plus de 78 % des ouvrages lesquels sont principalement des étangs aérés.

La dernière décennie a également été fertile au Québec en ce qui à trait à l'assainissement des eaux industrielles. Particulièrement, l'industrie des pâtes et papiers, fort importante en sol québécois, s'est vue imposer l'obligation de procéder à la mise en fonction de procédés de traitement secondaire de leurs eaux usées. Ainsi, la plupart des 60 papeteries québécoises qui, pour la plupart n'utilisaient qu'un traitement primaire limité à l'enlèvement des matières non-solubles facilement décantables, ont été amenées à se doter de procédés biologiques (principalement des systèmes de boues activées et de réacteurs biologiques séquentiels) permettant d'éliminer au moins une partie de la charge polluante soluble.

La mise en œuvre de ces procédés biologiques d'épuration a soulevé toutefois le problème de la gestion de la quantité supplémentaire de boues issues du traitement des eaux de l'industrie des pâtes et papiers. De plus, la biomasse extraite des procédés biologiques secondaires est nettement plus difficile à déshydrater que les boues primaires de papeteries. Des solutions efficaces et économiques restent donc à développer pour faciliter l'élimination ou la valorisation de ces rejets.

2 - DÉVELOPPEMENTS DANS LE TRAITEMENT DES EAUX USÉES

Le traitement des eaux usées n'est pas considéré comme un domaine de haute technologie et l'on n'y entend pas parler de grandes découvertes qui passent en quelques années du laboratoire de recherche à l'industrialisation en projetant quelques entreprises à la une des journaux économiques. Les contraintes

économiques, justement, y sont probablement pour beaucoup car seules les techniques les moins coûteuses sont encore considérées comme acceptables. S'imposer comme contrainte (c'est aujourd'hui à peu près le cas) pour l'épuration des eaux usées urbaines de ne pas dépenser plus que ce que coûterait leur réchauffement de 1 à 2 degrés limite singulièrement le champ des possibilités. Et pourtant les techniques évoluent, la palette des procédés disponibles s'élargit pour satisfaire de nouveaux objectifs que l'on s'assigne plus facilement lorsqu'il existe des moyens économiquement acceptables de les atteindre.

Quels sont donc ces changements intervenus pendant la décennie passée. Nous proposons d'en souligner sept :

- l'objectif maintenant presque généralisé d'éliminer les nutriments azote et phosphore et le développement rapide des techniques correspondantes ;
- la prise de conscience de l'importance des flux polluants véhiculés par les eaux pluviales et un début d'adaptation des stations d'épuration ;
- le développement limité mais réel des traitements anaérobies qui ont survécu à la démobilitation des surlendemain de la crise énergétique ;
- le fort développement des systèmes d'épuration biologique à culture fixée et notamment des biofiltres ;
- l'apparition prometteuse des membranes dans les systèmes d'épuration biologique permettant d'envisager de nouveaux objectifs de traitement ;
- la prise en compte de la fiabilité des systèmes d'épuration avec un poids de plus en plus important par rapport aux performances de pointe ;
- une vision plus intégrée de la prévention des pollutions tant dans l'industrie (technologies propres) que dans les agglomérations (gestion intégrée de l'ensemble réseau-station d'épuration).

Ce choix de sept points comporte une part d'arbitraire. On peut cependant le conforter un peu en comparant les thèmes des communications présentées aux Conférences Internationales biennales de l'IAWQ (International Association on Water Quality - Association Internationale de la Qualité de l'Eau) qui se sont tenues à Brighton en juillet 1988 et à Singapour en juin 1996 (BALLAY *et al.*, 1996 ; LIJKLEMA *et al.*, 1989). Un total de 144 communications ont été présentées à Brighton et 288 à Singapour, dans les deux cas sélectionnées d'après leur qualité parmi les réponses à un appel à communications très large couvrant presque tout le champ de l'assainissement, du traitement des eaux usées, de la connaissance et de la gestion de la qualité des milieux aquatiques. Le tableau 1 permet de comparer les places relatives des différents thèmes à huit ans de distance.

2.1 Élimination des nutriments

En 1987, l'élimination de l'azote ou du phosphore était considérée comme un « traitement tertiaire ». Elle est aujourd'hui de plus en plus souvent intégrée dans les installations de traitement biologique.

À l'origine, il y a la prise de conscience du fait que les excès d'azote et de phosphore ne concernent pas seulement les lacs, mais aussi beaucoup de rivières, les eaux littorales et les nappes. La réglementation européenne l'a traduit par la notion de « zone sensible ».

Une grande diversité de procédés dérivés des boues activées et des biofiltres s'est ainsi développée. Les progrès de la modélisation permettent de s'approcher de l'optimisation dans chaque cas particulier dans la limite permise par la connaissance des eaux usées à traiter et de leur variation dans le temps.

Tableau 1 Évolution entre 1998 (Conférence IAWQ – Brighton) et 1996 (Conférence IAWQ – Singapour) de la répartition des communications entre différents thèmes.

Table 1 *Relative importance of different topics at IAWQ Biennial Conferences Brighton 1988 and Singapore 1996.*

Thème Topics	Communications concernant le thème <i>Communications relating to the topic</i> (en % du total) (% of the total number of papers)	
	1988	1996
Élimination des nutriments (N + P) <i>Nutrient removal (N + P)</i>	6 %	19 %
Flux polluants du temps de pluie <i>Storm water management</i>	2 %	3 %
Traitements anaérobies <i>Anaerobic treatments</i>	9 %	7 %
Systèmes à culture fixée – biofiltres <i>Biofilms and biofilters</i>	2 %	7 %
Membranes <i>Membranes</i>	1 %	5 %

Note : Le total est inférieur à 100 % car les Conférences traitent de nombreux autres thèmes.
The total is less than 100% because there are many other topics in these Conferences.

2.2 Les flux polluants de temps de pluie

Pour progresser dans la protection des milieux aquatiques contre les pollutions causées par les rejets urbains de temps de pluie, il fallait d'abord améliorer la connaissance des phénomènes.

Le recueil de données nécessitait une instrumentation lourde et des études de longue durée. Beaucoup de ces données ont été acquises au cours des dix dernières années. On sait notamment maintenant que le problème n'est pas seulement de traiter le premier flot d'orage.

La conception des stations d'épuration vise de plus en plus souvent à traiter le débit maximum en acceptant éventuellement une dégradation passagère de la qualité de l'eau épurée dès lors que l'on ne perturbe pas durablement le traitement. Parallèlement, à côté des « techniques alternatives » visant à réduire les débits de pointe, on commence à développer des installations spécifiques pour les débits supplémentaires du temps de pluie.

2.3 Les traitements anaérobies

Ils étaient pratiquement limités au traitement des boues mais les chocs pétroliers et les politiques d'économie d'énergie qui les ont suivi avaient relancé les travaux de recherche et de développement technologique dans les années 70 et le début des années 80. Les progrès réalisés dans la compréhension des phénomènes en jeu ont permis de développer des procédés (à culture libre et à culture fixée) utilisés efficacement pour le traitement d'effluents industriels concentrés alors même que l'économie d'énergie n'est plus une préoccupation aussi forte.

Au-delà de l'aspect énergétique, la faible quantité des boues produites renforcera certainement encore la compétitivité des procédés anaérobies.

2.4 Les systèmes à cultures fixées

Les premières stations d'épuration à biofiltres sont apparues dans les années 1970 mais leur grand développement pour le traitement des eaux usées urbaines s'est fait dans la dernière décennie.

La possibilité d'échapper aux accidents de décantation des boues activées n'est pas le seul argument en faveur des biofiltres. Ils occupent aussi moins de surface au sol, sont plus faciles à installer dans des bâtiments fermés, se prêtent bien à une construction modulaire. Le temps de réaction plus court permet d'envisager une optimisation automatique du procédé, jouant par exemple sur différentes possibilités de combinaison de filtres en série ou en parallèle, pour l'adapter aux variations des eaux à traiter ou à une modulation des objectifs de traitement.

2.5 L'apparition des membranes

Les bioréacteurs à membranes n'étaient évoqués qu'en une page sur les 1 500 pages de l'édition 1989 du Mémento Technique de l'Eau Degrémont, « bible » de nombreux praticiens. Il y a maintenant des installations qui fonctionnent à l'échelle réelle. Les membranes permettent de réaliser des installations extrêmement compactes et elles permettent d'envisager de nouveaux objectifs de traitement (zéro MES ; désinfection, etc.).

Leur champ d'application, encore limité par des considérations de coûts, commence à s'étendre du traitement tertiaire à l'épuration biologique intensive aérobie ou anaérobie sans oublier le traitement des eaux usées pour une réutilisation sur place au niveau d'un logement ou d'un groupe de logements.

2.6 La fiabilité

On a pris conscience du fait que la dégradation des milieux aquatiques pouvait résulter aussi bien de dysfonctionnements passagers des ouvrages d'épuration que d'une insuffisance de leurs performances en fonctionnement normal ; en fixant les règles statistiques d'interprétation des résultats des contrôles des rejets des stations d'épuration, la directive européenne du 21 mai 1991 a officialisé cette exigence de fiabilité.

Il commence à en résulter des évolutions importantes dans la conception des installations (fractionnement en plusieurs files parallèles par exemple). La moitié des « 50 recommandations pour la conception des stations d'épuration » publiées en 1996 par le ministère français de l'environnement et les agences de l'eau concernent directement la fiabilité.

2.7 Une vision plus intégrée

En raisonnant l'assainissement urbain à partir du milieu récepteur, la notion de « système réseau-station d'épuration » a commencé à s'imposer. Le développement des capteurs et des systèmes de traitement des données en temps réel permet de progresser vers une réelle gestion du système, particulièrement nécessaire pour optimiser ses performances en temps de pluie.

La réduction des rejets polluants des industries se fait aussi de plus en plus en remontant vers la fabrication, en séparant les rejets de nature ou concentration différente et en installant éventuellement plusieurs systèmes d'épuration différents dont certains sont inclus dans des boucles de recyclage.

*
* *

Il y a aussi des domaines dans lesquels les progrès ont été moindres qu'on ne l'aurait espéré. Par exemple la réutilisation des eaux usées ou la désinfection des eaux usées urbaines. Peut-être est-ce pour la prochaine décennie...

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- AQTE, 1994. Produits et Services, Domaine de l'Eau et de l'Environnement, Répertoire 1995-1996. Association Québécoise des Techniques de l'Environnement, Montréal, Québec.
- BALLAY D. and IAWQ Programme Committee, Editors (1996). Water Quality International'96. *Water Sciences and Technology* 34, n° 1 à 12.
- BERLAND J.M., 1994. Normes : quelle influence sur les choix techniques dans les domaines de l'assainissement et de l'épuration ? Comparaison France/Allemagne. Thèse de l'École Nationale des Ponts et Chaussées - Paris, 304 p. plus annexes 154 p.
- BREAS J., 1996. Les progrès importants de l'assainissement collectif depuis trente ans. Les données de l'environnement n° 20. Février-mars 1996. Institut Français de l'Environnement, 4 p.
- « COURANTS », 1994. Le marché de l'eau et des déchets. Numéro hors série. PYC-Édition - Ivry-sur-Seine. 176 p.
- DEGRÉMONT et LYONNAISE DES EAUX, 1989. *Mémento technique de l'eau*. 2 tomes, Degrémont, Paris, France.
- DIRKZWAGER A.H., L'HERMITE P., 1989. *Sewage sludge treatment and use: New developments, technological aspects and environmental effects*. Elsevier Applied Science, Londres et New York.
- EUROPEAN WASTEWATER GROUP, 1997. *European Wastewater catalogue 1997 - EUREAU-Bruxelles*, 52 p.
- L'HERMITE P., 1991. *Treatment and use of sewage sludge and liquid agricultural wastes*. Elsevier Applied Science, Londres et New York.
- LIJKLEMA AND THE IAWPRC PROGRAMME COMMITTEE, 1989. Water pollution research and control. *Water Science and Technology*. Volume 21, n° 4 à 12.
- RNDE, 1995. L'assainissement des grandes villes. Office International de l'Eau. Limoges. 20 p. plus 1 carte.
- STRATECH, 1996. Survol du potentiel de marché pour la commercialisation des technologies de décontamination des boues d'épuration municipales. Rapport présenté à l'Industrielle de l'Environnement inc. STRATECH, technologies environnementales, Saint-Étienne-de-Lauzon, Québec, projet 96-610.
- U.S. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (1990). *National sewage sludge survey: availability of information and data, and anticipated impacts on proposed regulations, proposed rule*. U.S. Fed. Register, 55, 47209-47283.