

constituées de films de polyamide, évitera peut-être ces difficultés. Ces nouvelles membranes seront toujours sensibles à la contamination, mais, plus solides, assureront une filtration plus sélective des seules molécules d'eau. Elles dureraient jusqu'à dix ans, bien que l'on n'ait pas encore le recul nécessaire pour l'affirmer.

Ces installations de dessalement de l'eau de mer ont une capacité de quelques litres par jour (certains canaux de sauvetage en sont équipés) à plusieurs dizaines de milliers de mètres cubes par jour (pour les systèmes municipaux).

Si la Société EDF installait une centrale nucléaire au bord de la Méditerranée, elle aurait sans doute recours, pour des raisons de sécurité et d'indépendance pour ses installations, à plusieurs unités de dessalement de taille moyenne (quelques milliers de mètres cubes par jour). En 1982, la Société SIDEM a fourni à EDF une unité de dessalement par évaporation. Entièrement électrique, cette unité fournissait 1 500 mètres cubes par jour. Elle a fonctionné quelques années sur le site nucléaire de Flamanville, dans la Manche, avant d'être vendue à l'île de Fuerteventura, aux Canaries.

Les centrales électriques exportées par EDF s'accompagnent souvent d'unités de dessalement pour l'approvisionnement en eau d'appoint.

Plus l'installation de dessalement est importante, plus le prix de revient de l'eau baisse. Une centrale électrique produit de la chaleur qu'un système de refroidissement à eau doit évacuer ; quand on utilise cette chaleur pour distiller de l'eau de mer, le coût de production de l'eau douce est quasi nul. Au contraire, l'osmose inverse nécessite de l'électricité.

Aujourd'hui, selon les estimations, moins d'un pour cent de l'eau potable mondiale est fournie par 12 500 usines de dessalement. Demain (ou après-demain), la source de notre eau de table pourrait bien être l'océan.

Diane MARTINDALE, journaliste scientifique ; Bernard TABOURIER, Société SIDEM.

Transport d'eau

On transporte parfois de l'eau dans d'énormes sacs.

Des tuyaux transportent à faible coût de l'eau douce sur de grandes distances... sur terre. Peut-on en faire autant sur les océans ? Pour améliorer la répartition des ressources en eau, on pourrait transporter l'eau en la traînant dans de gigantesques sacs en plastique ou en tissu derrière des remorqueurs.

Au début de l'année 1997, durant la saison touristique, alors que la demande en eau potable était maximale, une Société britannique a eu l'idée de remorquer de l'eau de la Grèce continentale jusqu'aux îles voisines dans d'énormes sacs en polyuréthane. De même, une société norvégienne a transporté de l'eau dans des conteneurs en tissu de la Turquie vers le Nord de Chypre.

Pendant longtemps, des navires-citernes et des péniches ont approvisionné des régions riches en petites quantités d'eau douce, par exemple, les Bahamas, Chypre et d'autres îles qui n'ont pas de sources d'eau douce suffisantes. Les navires-citernes ont également apporté de l'eau durant de courtes périodes de sécheresse et après des catastrophes, tel le tremblement de terre de Kobe au Japon en 1995. Toutefois, ce mode de transport est cher, bien qu'au début des années 1980, l'idée des sacs d'eau soit née de la volonté de réduire les coûts de transport de l'eau.

L'entreprise britannique *Aquarius Water Trading and Transportation Ltd* a d'abord fabriqué huit sacs de 790 tonnes et deux autres de 2 200 tonnes : ces derniers contiennent environ deux millions de litres d'eau chacun. Cette Société met également au point des modèles dix fois plus grands, et depuis 2000, la société norvégienne fabrique des sacs d'environ 30 millions de litres.

Ces sacs, dont le coût varie entre 750 000 et un million et demi de francs, pourraient remplacer les navires-citernes, mais des problèmes techniques subsistent, telle la résistance aux contraintes d'un voyage dans l'océan. Ainsi, Chypre et les îles grecques sont à une centaine de kilomètres du continent : on sait remplir les sacs sans difficultés, mais ils se déchirent facilement durant le transport.

De grosses fermetures éclair, avec des dents de plus de deux ou trois centimètres relient les sacs tel des wagons. Pour l'instant, cette technique n'a été utilisée que pour des livraisons d'eau douce en cas d'urgence et dans des régions côtières victimes de la sécheresse ; l'eau y devenait vitale, quel que soit le prix. Les sacs à eau représentent une façon nouvelle et astucieuse de s'approvisionner en eau.

Peter GLEICK

LES SACS À EAU sont remorqués dans l'océan afin de pallier le manque d'eau de certaines régions.



AP PHOTO

Informatique et économie d'eau

PASCAL BUSCH

Un modèle mathématique améliore la qualité de l'eau produite par les usines de traitement et réduit les coûts.

Chaque étape du traitement de l'eau dans une usine de production d'eau potable participe à la qualité de l'eau, à son goût et à son prix de revient. Afin d'optimiser tous ces paramètres, la Société *Lyonnaise des Eaux* a modélisé, en collaboration avec l'Institut national des sciences appliquées de Toulouse, le fonctionnement d'une usine de production d'eau potable. Grâce à des images virtuelles en trois dimensions, le programme, nommé Usine virtuelle™, simule le parcours de l'eau dans l'usine et, à chaque étape, on peut contrôler les paramètres de qualité. Cet outil est utilisé lors de la construction ou de la réhabilitation d'installations de production d'eau ; la modélisation des différentes contraintes de production fournit la taille optimale des différents éléments de l'usine et prédit l'évolution de la qualité de l'eau traitée, tout au long des étapes du traitement selon la qualité d'eau qui entre dans l'usine. Grâce à ce modèle, les

coûts d'exploitation sont parfois réduits de 30 pour cent, notamment parce que l'on peut diminuer notablement la quantité de réactifs chimiques nécessaires au traitement, et la consommation d'énergie. De surcroît, les coûts de réhabilitation, eux-mêmes, sont réduits (l'économie atteint parfois 50 pour cent des coûts prévus).

Aujourd'hui, le montant annuel des dépenses dans le domaine de l'eau potable en Europe s'élève à environ 46 milliards de francs en coût d'investissement et à 118 milliards en coût de fonctionnement. En outre, la directive européenne de décembre 1998 renforce la nécessité de mise en conformité des usines de production d'eau potable. Aussi l'Usine virtuelle™ pourrait-elle aider les constructeurs à mettre aux normes les installations à réhabiliter.

Par ailleurs, en période de crise, par exemple quand de fortes pluies augmentent la turbidité de l'eau brute, le modèle indique les corrections à apporter aux conditions de fonctionnement

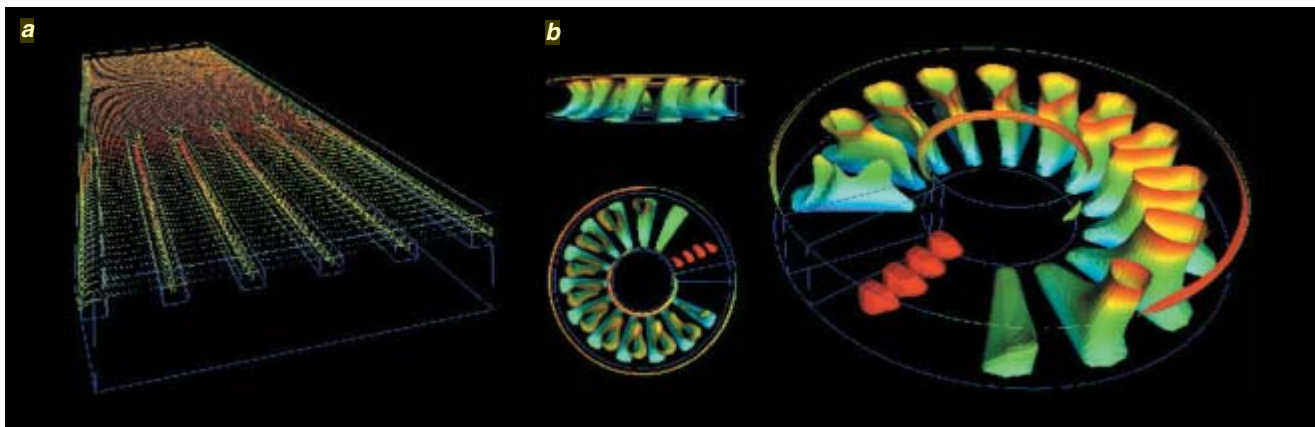
de l'usine pour garantir une qualité d'eau constante.

Cet outil a déjà été mis en œuvre pour certaines étapes de traitement d'usines de production. Ainsi, à Amman, en Jordanie, la *Lyonnaise des Eaux* a utilisé ce modèle afin de réhabiliter les installations, et d'augmenter la quantité et la qualité de l'eau produite par l'usine de Zai : la production d'eau a ainsi été suffisante durant l'été 2000.

À Morsang-sur-Seine, dans l'Essonne, la réhabilitation de l'étape de désinfection de l'eau a réduit les coûts de fonctionnement de cette étape d'environ 20 pour cent, grâce à une meilleure utilisation des réactifs chimiques.

Issu d'une collaboration entre plusieurs partenaires industriels et universitaires, notre modèle contribuera, avec les autres solutions proposées, aux deux objectifs qui préoccupent tous ceux qui traitent l'eau : épargner cette précieuse ressource et respecter l'environnement.

Pascal BUSCH
Lyonnaise des eaux



SUR UN ORDINATEUR, on optimise les différents éléments d'une usine de production d'eau potable afin d'améliorer la qualité et de diminuer les coûts. Par exemple, sur l'image d'un décanteur (a), on observe la vitesse de l'eau selon les zones (plus la couleur est proche du rouge,

plus la vitesse de l'eau est grande). Sur la modélisation du transfert d'oxygène (b), les quatre agitateurs qui assurent la circulation d'eau sont en rouge ; les colonnes représentent les panaches de bulles d'air ; les couleurs indiquent l'évolution de la pression sur la hauteur de chaque colonne.

Les boues d'épuration

Les eaux usées sont aujourd'hui trop polluées pour qu'on puisse les rejeter dans les cours d'eau ou les épandre sur des sols agricoles. Les stations d'épuration ont pris le relais : les substances polluantes sont extraites par plusieurs traitements. Les boues récupérées après décantation contiennent des particules solides, des substances organiques et minérales obtenues lors des traitements chimiques d'épuration et une biomasse, dite excédentaire, constituée de micro-organismes qui se sont nourris des substances dissoutes.

En France, ces boues représentent, chaque année, plusieurs dizaines de millions de mètres cubes, ramenées à environ 10 millions de tonnes de boues brutes après divers traitements. On estime que cette production croîtra de 50 pour cent (en masse de matière sèche) dans les années à venir si la France respecte les objectifs négociés avec ses partenaires européens. L'enjeu n'est autre que la qualité des milieux aquatiques, qui exige une amélioration constante de l'épuration des rejets.

Traditionnellement, ces boues sont utilisées en agriculture où elles fertilisent la terre. Toutefois, des alertes sanitaires récentes (la maladie de la vache folle, la dioxine...) qui étaient toutes liées à la gestion des déchets et à la contamination de la chaîne alimentaire, ont soulevé la question des risques liés à cette pratique. En 1999, un comité technique national a été mandaté pour élaborer un dossier d'information sur les tenants et les aboutissants de l'épandage agricole des boues d'épuration. Après un rappel des conditions d'obtention de ces boues et des conditions de leur épandage, une analyse des risques a été faite ; on a différencié, d'une part, les risques immédiats dus à la présence d'agents pathogènes dans les eaux usées, et, d'autre part, les risques différés dus à une dégradation de la qualité des sols et des cultures, à cause de l'accumulation de substances chimiques présentes en infimes quantités (cadmium, mercure, plomb...).

Une réglementation, qui tient compte des connaissances acquises dans de nombreux domaines, précise la qualité des boues à respecter, la quantité de contaminants tolérée (même pour les substances présentes à l'état de trace), la restriction des épandages pour certaines productions (les légumes et les fourrages notamment).

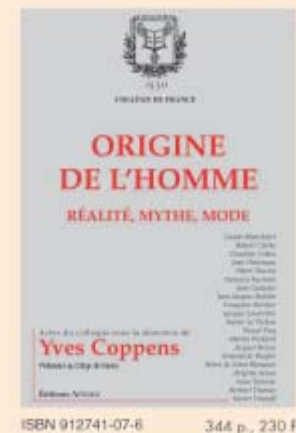
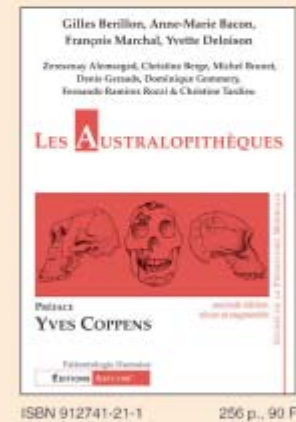
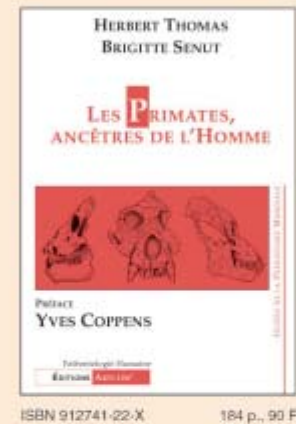
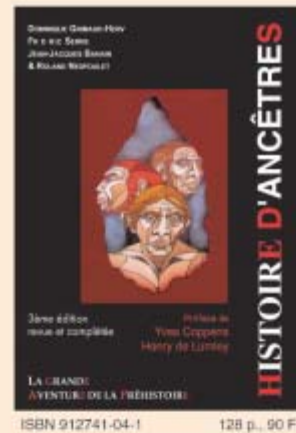
Destiné à la population, le dossier montre aussi que tout ne se résoudra pas par des approches curatives, celles qui consistent à éliminer les polluants des différents rejets anthropiques. Inéluctablement, une approche préventive devra prendre le relais : les boues ne seront pas contaminées, ou, mieux encore, elles ne seront pas produites !

Curieusement, on connaît mieux les cycles biologiques, géologiques et chimiques qui ont lieu dans la nature que les activités humaines qui produisent les contaminants. Quand on étudie les impacts, même potentiels, d'une pratique industrielle, on peut en conclure ce qu'il ne faut pas faire, mais pas nécessairement quelles seraient les solutions plus performantes. Or, dans une logique de prévention des pollutions et de développement durable, ce sont bien les pratiques humaines qui devront évoluer.

La démarche préventive est d'une tout autre nature que la démarche curative : elle doit évaluer les conséquences d'un processus industriel, mais aussi envisager les effets des autres procédés possibles. La chaîne des responsabilités s'en trouvera modifiée.

Le recours au principe de précaution requiert d'épuiser les vertus de la prévention. Sa prise en compte est indispensable et les débats autour de l'épandage des boues illustrent les difficultés que cela pose.

Jean-Marc MÉRILLOT, ADEME



ÉDITIONS ARTCOM[®]
53, rue Boissière 75116 - Paris