

L'eau du XXI^e siècle, objet de toutes les ingénieries, miroir de tous les égoïsmes...

***Eau utile, eau néfaste,
pays industrialisés ou en
voie de développement,
un vaste panorama de l'eau
au XXI^e siècle en forme
de constat et de
mise en garde :
changement climatique
et croissance démographique
s'imposant mais progrès
de l'ingénierie aidant,
les défis restent maîtrisables.
A condition de ne pas
attendre une crise majeure.***

par Ghislain de Marsily (1)

*Correspondant de l'Académie des Sciences,
Professeur à Paris VI*

O n dit que le XXI^e siècle sera celui de l'eau. Oui, mais de quelle eau ? A l'échelle de la planète, l'eau est avant tout la cause principale de la transformation continue de l'écorce terrestre, et le véhicule des produits de cette transformation. Je n'en parlerai pas ici. A

l'échelle humaine, l'eau est aujourd'hui devenue un objet aux mains des ingénieurs. Elle est, ici ou là, utile ou néfaste, enjeu de pouvoir, source de conflits. Si les civilisations avaient jusqu'ici su s'accommoder de son abondance ou de sa rareté, force est de constater aujourd'hui que la croissance démographique, d'une part, et les changements climatiques programmés, de l'autre, ont rompu ces équilibres, et qu'il appartient aux ingénieurs de tenter de les rétablir, en harmonie avec les rapports parfois fort différents

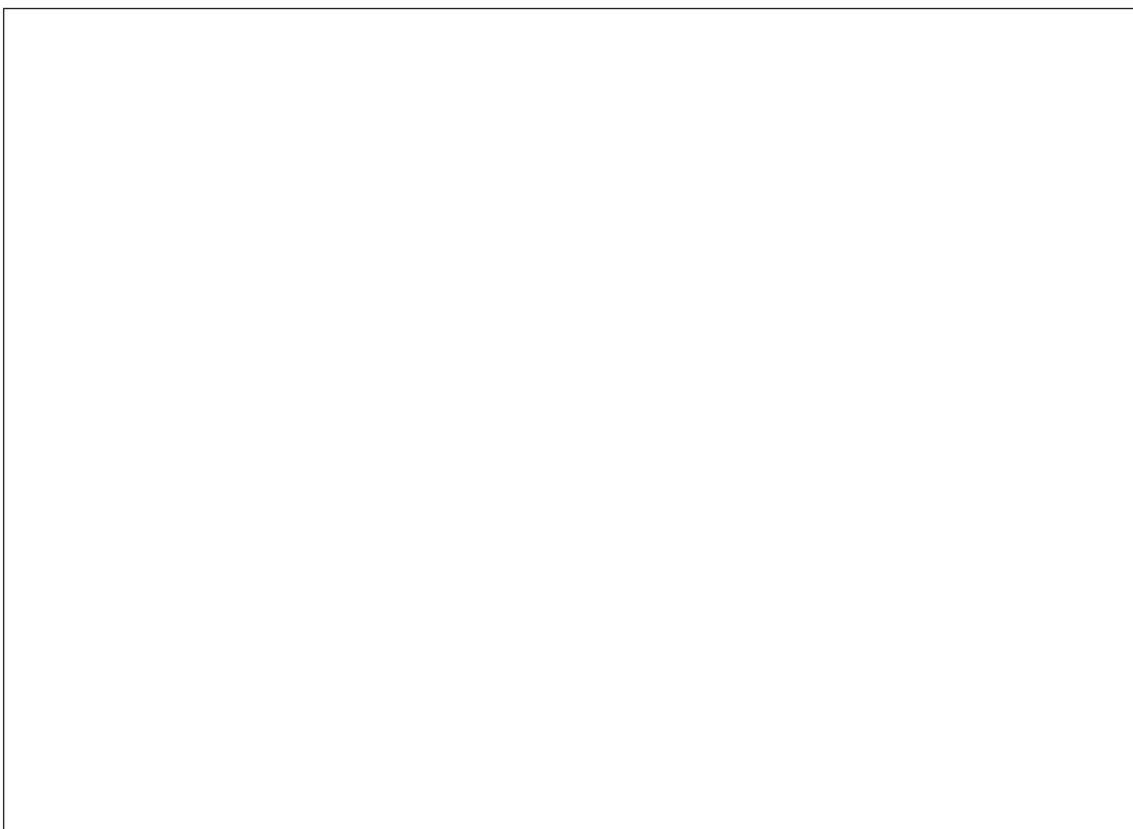
que les diverses civilisations ont établi avec l'eau. Cela constituera mon sujet principal. Mais l'eau est, enfin, un bien des milieux naturels, une nécessité pour la vie et la diversité des écosystèmes, un dernier bastion de la nature restée naturelle. Cet aspect prend progressivement de plus en plus de place dans les processus décisionnels d'aménagement mais, là encore, force est de constater que c'est l'ingénierie des territoires qui aujourd'hui façonne, maintient ou développe les écosystèmes « naturels ».

L'eau potable dans les pays industrialisés

Pour la société, l'eau utile remplit quatre fonctions principales : (i) la satisfaction des besoins de l'homme en eau domestique, agricole, industrielle, et maintenant en activité de loisir ; (ii) l'élimination des déchets et sous-produits de l'activité humaine par l'assainissement, (iii) un chemin pour le transport par bateau, (iv) une source d'énergie. Ces quatre

domaines sont entièrement sous le contrôle de la technologie. Prenons l'exemple de l'eau destinée à la consommation domestique. Jusqu'au XVIII^e siècle, elle était prise sur place ou là où elle était naturellement abondante, et distribuée par aqueduc, fontaines ou corvée d'eau. Quelques rares machines utilisaient l'énergie hydraulique pour remonter l'eau vers les points hauts (béliers, roues...). Dans les pays arides, les citernes collectant l'eau pluviale étaient très répandues. Au XIX^e, la dégrada-

tion de la qualité des eaux des rivières par l'activité industrielle naissante, et le développement de grandes épidémies transmises par l'eau, telle que le choléra, dans les grands centres urbains (Londres, Paris..) ou dans les pays calcaires ont conduit à la mise en place de longues adductions d'eau potable, que l'on allait rechercher là où elle était naturellement pure (captage des sources de la Vanne, dans l'Yonne, et construction de l'aqueduc les amenant à Paris, par exemple). Puis, au début du



Bouyer-Viollet

Si les eaux de source ou minérales sont, en général, des systèmes hydrogéologiques un peu particuliers, ils ne sont en rien miraculeusement épargnés par la pollution agricole ou par l'urbanisation ; leur temps de réponse est simplement un peu plus long que celui des nappes superficielles, et certains d'entre eux manifestent déjà des signes précurseurs de contamination. Il est scandaleux que les pouvoirs publics rechignent toujours à permettre leur protection.

XX^e siècle, avec la découverte du pouvoir stérilisateur de l'eau de Javel, la fourniture d'eau potable est revenue aux prises d'eaux locales, en rivière ou en nappe. Depuis lors, on a ainsi pris le parti de faire de l'eau potable avec de l'eau polluée. On admet alors qu'il suffira de faire évoluer les technologies de traitement avec la nature des polluants rencontrés, et avec la sévérité des normes de potabilité, dès que des polluants ou micropolluants nouveaux auront été détectés. Les techniques de traitement de l'eau ont alors fait des progrès considérables. Les sources de polluants, d'abord locales et d'origines urbaine et industrielle, sont peu à peu devenues diffuses et d'origine agricole, par la fertilisation sans contrainte et l'emploi généralisé des phytosanitaires en agriculture ou des antibiotiques, anabolisants, et autres éléments à usage sanitaire en élevage. Cette politique possède quelques travers ; par exemple, trente ans après les avoir sereinement distribuées, on s'est aperçu que les eaux chlorées trop tôt avant l'élimination de la matière organique naturelle, produisait des organo-chlorés cancérigènes... Aujourd'hui on s'interroge sur les effets sanitaires potentiels de ce qu'on appelle pudiquement des « perturbateurs endocriniens », dont la présence est constatée

dans les eaux distribuées, mais dont les effets sont encore inconnus. Ils sont issus de l'emploi de certains médicaments, de la dégradation de certains pesticides, de l'altération de certains plastiques... Une autre crainte, qui semble pourtant peu préoccuper les acteurs, est l'éventuelle transmission des prions dans l'environnement via l'eau. Tel maire de telle commune de l'Ouest, alerté de la présence d'un abattoir ayant traité des viandes contaminées à l'amont de la prise d'eau de sa commune, n'a pas jugé bon de la déplacer...

Les parcs naturels hydrologiques

Je suis intimement convaincu que cette approche est perverse, et qu'il est urgent de revenir à des systèmes où les eaux de consommation publique sont *naturellement* potables et protégées, et non pas polluées puis dépolluées. Le Président de la République, lorsqu'il était maire de Paris, ne disait pas autre chose quand il a proposé ce qu'on a appelé le « tuyau Chirac », qui consistait à vouloir transférer par conduite à Paris les eaux des grands barrages construits en amont de la capitale (Aube, Seine, Marne) plutôt que de les

faire circuler par les rivières, et de les capter après qu'elles aient été polluées le long du trajet. Les signes précurseurs des dangers auxquels nous nous exposons dans la politique actuelle sont à mon sens déjà présents parmi nous. Outre les exemples de la présence de micropolluants préoccupants dans les eaux distribuées dont je viens de parler, on peut citer la contamination accidentelle du réseau de la ville de New-York en 1996 par des cryptosporidiums, les risques d'émergences de maladies nouvelles dont les modes de transmission seraient initialement inconnus, la fragilité croissante constatée de la population face aux agresseurs chimiques générateurs d'allergies. L'alternative ? Elle peut se concevoir de deux façons : soit créer ce que j'ai appelé depuis dix ans des « Parcs naturels hydrologiques », où certaines parties du territoire seraient réservées à la production d'eau potable pour la transférer aux agglomérations, en y excluant toute activité anthropique polluante (on pense alors à des territoires forestiers, que pourrait gérer l'Office national des forêts) ; de tels « Parcs » existent déjà, sans en porter le nom, en Australie, en Belgique, en Irlande. Cette approche serait cohérente avec la déprise agricole actuelle en Europe de l'Ouest, et qui risque de s'am-

plifier si l'Europe de l'Est, aux méthodes agricoles archaïques, venait rejoindre la Communauté européenne, en décuplant ses rendements. L'autre façon est de distribuer l'eau de boisson et de cuisson des aliments par un autre canal, des bouteilles, bonbonnes, éventuellement une seconde canalisation (qui a cependant des effets pervers), ces eaux de boisson étant, elles, issues de sources également totalement protégées. Ce double système existe déjà dans certains pays, où les eaux du réseau sont de mauvaise qualité. L'emploi de l'eau des réseaux publics serait alors limité à l'hygiène. Quoiqu'il en soit, il est urgent d'assurer une protection totale par des « parcs hydrologiques » aux principales eaux encore à peu près naturellement potables aujourd'hui, si on veut pouvoir en bénéficier dans le futur. Je pense, en particulier, aux eaux minérales ou de source, que les habitants de pays latins affectionnent, et qui peu ou prou sont toutes condamnées, à terme plus ou moins lointain, par la généralisation de la pollution diffuse agricole ou par l'urbanisation. Si les eaux de source ou minérales sont, en général, des systèmes hydrogéologiques un peu particuliers, ils ne sont en rien miraculeusement épargnés par cette pollution, leur temps de

réponse est simplement un peu plus long que celui des nappes superficielles, de l'ordre de quelques dizaines d'années, et certains d'entre eux manifestent déjà des signes précurseurs de contamination. Il est scandaleux que les pouvoirs publics rechignent toujours à permettre la protection de ces sources, en prétextant qu'une déclaration d'utilité publique pour permettre d'exproprier ou d'imposer des mesures de protection reviendrait à soumettre à l'intérêt particulier un territoire appartenant à d'autres (le projet de la nouvelle loi sur l'Eau, par exemple, n'en dit rien). Il est encore plus scandaleux que les mêmes pouvoirs publics se proposent, en revanche, au prétexte de satisfaire à une règle communautaire imposée par les Anglo-Saxons, de permettre par décret aux eaux de source et minérales s'appelant toujours « naturelles » d'être traitées pour en enlever les éléments dits « indésirables ». Alors qu'au XVIII^e siècle, en France, chaque ville était prisée ou méprisée par le goût de son eau, nos amis anglo-saxons tentent d'imposer, par le truchement de l'Europe, une eau embouteillée standardisée entièrement artificielle, qui serait produite à partir de n'importe quelle eau, polluée ou non, par double ou triple osmose inverse, stérilisation, puis ajout de sels pour en

fixer la composition chimique dans des normes strictes et uniformes. Ces eaux existent déjà sur les étalages des marchés américains, et séduisent ces épris de technicité, hélas souvent étrangers aux nuances du goût... En outre, avec la suppression des bactéries non pathogènes naturellement contenues dans les eaux non traitées, et non nuisibles sinon utiles à l'homme, elles ne possèdent plus les mêmes qualités de conservation, car les dites bactéries s'opposent au développement des bactéries pathogènes.

Les eaux usées

La seconde vocation de l'eau utile, l'élimination des déchets, n'échappe pas à ces contradictions. Notre société est entièrement construite sur l'utilisation de l'eau comme milieu de transport (dans les égouts) et de dilution (dans les rivières) d'une large fraction des déchets qu'elle produit. La qualité des eaux des rivières et des écosystèmes qui en dépendent en a été si fortement affectée que depuis 50 ans environ ont été mis en place des systèmes de traitement des eaux usées qui éliminent le plus gros (mais pas tout, loin s'en faut) de la pollution. Dans les zones côtières, certaines villes, insouciantes

ou inconscientes, rejettent encore en mer, de plus en plus loin mais sans traitement, leurs eaux usées. La qualité du milieu récepteur et des écosystèmes s'en ressent, et, le long d'une rivière, les usagers aval sont contraints à traiter l'eau ou à ne pas l'utiliser (aucune grande rivière européenne en aval d'une agglomération, par exemple, n'est aujourd'hui utilisable pour la baignade à cause de la pollution bactérienne rejetée par les stations d'épuration, dont on ne comprend pas encore bien les cycles). Est-ce raisonnable ? Un simple exemple permet de montrer qu'il est permis d'en douter. Il y a quelques années, un distributeur de produits phytosanitaires d'une petite ville le long de la Marne a décidé de rincer les cuves où il stockait ses produits. Les eaux de lavage sont parties à l'égout et la Marne entière en fut si polluée que les usines de production d'eau potable situées en aval et alimentant la région parisienne furent arrêtées pendant plusieurs jours. Autre exemple, dans Paris, en été, quand un orage survient, le débordement des égouts par les eaux de ruissellement (qui aboutissent au même réseau, dit unitaire) apportent à la Seine des flux de polluants domestiques si intenses que la faune aquatique en est éradiquée. En hiver, les mêmes

orages se déversent dans un fleuve au débit plus fort, et où la demande en oxygène pour dégrader la matière organique est moins intense du fait de la plus faible température. Paris et sa banlieue ont mis provisoirement en place des rampes d'injection d'oxygène dans la Seine, pour « sauver » les poissons en cas d'orage, en quelques havres de paix où ils viennent se réfugier ; on prévoit aussi de construire, à des coûts dirimants, des installations de traitement des eaux usées de temps de pluie, très chargées en métaux et en micropolluants organiques, dont on travaille encore à définir le cahier des charges (Décantation ? Filtration ? Traitement ?). Faut-il concevoir d'autres systèmes d'assainissement ? Assurément. Certaines villes ont expérimenté des systèmes d'assainissement domestiques à air, sous vide, qui ne consomment presque pas d'eau et produisent peu d'effluents, un peu comme dans les avions. Mais les fuites sont nombreuses, le coût très élevé, la généralisation difficile. D'autres civilisations ont basé l'hygiène sur la chaleur (sauna, four solaire des indiens d'Amérique) et moins sur l'eau. Il faut au moins remettre en question nos méthodes d'assainissement quand il s'agit de les transposer dans les pays en voie de développement. De

même que l'on a créé le tri sélectif à la source pour les déchets solides, la politique du « tout à l'égout » doit à mon avis être repensée, et certains rejets exclus des systèmes d'assainissement. La société crée cependant deux autres types de contamination des milieux par ses déchets, qui interagissent avec l'eau : celle des nappes dans le cas de décharges mal contrôlées et celle de l'atmosphère puisque de nombreux micropolluants ont un cycle atmosphérique avant de se retrouver dans les eaux météoriques par « lessivage » de l'air par la pluie. La pollution de l'eau pluviale en Île de France, par exemple, engendrée par les pesticides utilisés en agriculture, dépasse largement les normes de potabilité pendant les périodes d'épandages, par volatilisation directe de ces produits. La combustion des ordures ménagères, la circulation automobile génèrent aussi d'autres micropolluants que l'on retrouve dans les eaux.

La navigation, l'hydroélectricité

J'aborderai peu les deux dernières fonctions utiles de l'eau que j'ai citées, à savoir le transport et la production d'énergie. La voie d'eau est, en coût énergétique, de loin pré-

féralable aux autres modes de transport. Si la limitation des émissions de CO₂ devient véritablement une préoccupation majeure, cette utilisation de la voie d'eau devrait connaître un nouvel essor. Elle n'entre en conflit qu'avec les fonctions écologiques des fleuves, la chenalisation et la régulation étant néfaste aux habitats et à la reproduction de la faune. Mais des recherches sont conduites pour contrebalancer ces effets (échelles à poissons, zones annexes pour rétablir l'habitat, crues artificielles pour maintenir les zones de frayères...). En matière de production d'énergie, les réserves hydroélectriques encore exploitables se situent dans

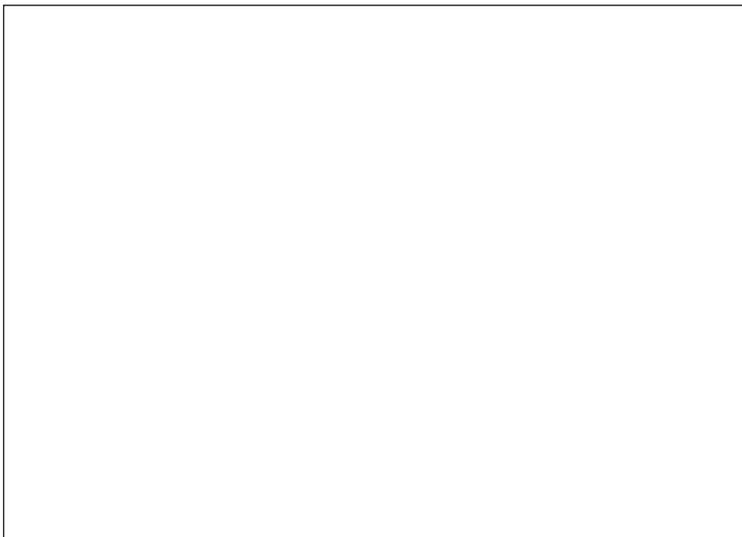
les pays en voie de développement, les conflits sont importants avec le fonctionnement naturel des écosystèmes. Dans les pays déjà équipés, il est probable que la production d'énergie hydroélectrique diminuera, avec le vieillissement des barrages et leur remplissage par les sédiments ; il est peu probable qu'arrivés en fin de vie ils puissent être reconstruits, pour des raisons environnementales.

Les inondations

L'eau néfaste, aux yeux des hommes, ce sont les crues, les inondations. Tout a déjà été dit

sur l'urbanisation dans le lit majeur des fleuves. Je ne rappellerai qu'une chose : lors de la crue de l'Oder, en Pologne, en 1997, crue relativement lente à se mettre en place (donc prévue) mais très dévastatrice, le nombre de morts est d'environ 70, pour l'essentiel par suicide après la fin de la crue, par désespoir devant l'œuvre de toute une vie dévastée. Il faut cependant prendre en compte deux éléments nouveaux. D'abord, il est maintenant établi que les méthodes classiques de prévision des événements rares, par calage d'une loi statistique en général de type exponentiel sur les historiques, sous-estiment les crues de faible probabilité. Il faut probablement passer à de nouvelles lois, de type algébrique, basées sur des approches de type multifractales. Ensuite, le changement climatique rend *a priori* caduque le principe de la prévision du risque de crue à partir de l'analyse d'un historique, puisque la série à évaluer n'est plus stationnaire. Il faudrait innover. Or certains pensent que le changement climatique jouera non seulement sur les moyennes des séries pluviométriques, mais aussi sur les écarts types. Et personne ne sait dire aujourd'hui de façon sûre si les événements extrêmes vont l'être encore davantage avec la perturbation du climat. A ces défis, la réac-

Dickinson N./WWF CA Bios



Notre société est entièrement construite sur l'utilisation de l'eau comme milieu de transport (dans les égouts) et de dilution (dans les rivières) d'une large fraction des déchets qu'elle produit. Aucune grande rivière européenne en aval d'une agglomération, par exemple, n'est aujourd'hui utilisable pour la baignade à cause de la pollution bactérienne rejetée par les stations d'épuration.

tion de l'ingénieur peut être multiple. Barrage amont, endiguements renforcés, curage et rectification des cours d'eau pour accélérer la vidange. On parle ainsi d'un tunnel sous le Mont Valérien pour couper la boucle de Gennevilliers après Paris et, ainsi, faire baisser l'eau dans la capitale, aux dépens des habitants de l'aval, lors de la prochaine grande crue. Il faut savoir que celle-ci sera probablement aussi dévastatrice que celle de 1910, car les mesures prises depuis pour protéger la ville (barrages) sont d'un effet modeste, et ont été en partie contre-carrées par la mise au grand gabarit de la Seine amont. La crue à Paris est lente, donc sans risque de perte directe de vie humaine, mais très coûteuse en dégâts matériels. Une alternative est un meilleur aménagement des bassins amont, pour y retenir l'eau, naturellement ou artificiellement (réduction du ruissellement à la parcelle, maintien de champs d'expansion des crues, sur-stockage dans les plaines, éventuellement par relèvement des eaux ..., déjà mis en pratique en Alsace, dans les Rieds). Encore faut-il pouvoir convaincre les régions rurales concernées de l'intérêt de telles pratiques, dont ils pâtissent mais ne bénéficient pas. Rappelons, à ce propos, les édits de Napoléon III interdisant en Chautagne la

construction de digues sur le Rhône, et obligeant à détruire celles qui y avaient été édifiées après le rattachement de la Savoie à la France, après que celles-ci eurent engendré une crue catastrophique dans Lyon. Mais la puissance publique était, à cette époque, impériale... Une troisième voie pourrait être d'imposer, à ceux qui persistent à vouloir construire en zone inondable, des installations qui résistent à la crue : bâtiments sur pilotis, pourquoi pas rétractables (vérins) ou, encore, sur butte de terre artificielle, bâtiments aux huisseries et murs presque étanches que l'on maintiendrait à sec par une installation d'exhaure... On impose bien des normes de construction parasismique devant le risque de tremblement de terre, pourquoi ne pas imposer des normes de construction spécifiques pour le risque d'inondation ? Il deviendrait ainsi moins attractif, car plus cher, de construire en zone inondable...

Les écosystèmes aquatiques

Outre l'utilisation qu'elle fait de l'eau, la société s'attache maintenant à préserver ses écosystèmes aquatiques. Préserver la biodiversité, c'est préserver tant la qualité de

l'eau dans les milieux que la diversité même de ceux-ci. Et là, le bat blesse. En premier lieu, la dégradation de la qualité des eaux par les activités humaines (pollution diffuse agricole, principalement) altère fortement les milieux aquatiques par l'excès de nutriments (nitrates agricoles, phosphates tant domestiques qu'agricoles) engendrant l'eutrophisation, dans les rivières et les lacs, mais aussi le long des zones côtières. Si l'on excepte la pollution urbaine de temps de pluie, et, dans certaines zones, l'élimination encore à mettre en place de l'ammoniaque et de certains métaux, les pollutions urbaine et industrielle ont été en grande partie maîtrisées au cours des quarante dernières années. Le problème des phosphates dans les lessives reste préoccupant car, devant l'excès de nitrates agricoles, le phosphore est souvent l'élément limitant de la croissance des algues. On envisage maintenant de déphosphorer les eaux usées domestiques, avant de les dénitrifier. Mais le problème des nitrates agricoles devra être, un jour ou l'autre, pris de front. Il se décompose en deux : la trop forte densité, dans certaines régions, de l'élevage, (ce que l'on appelle les excédents structurels) et la surfertilisation. En Hollande, par exemple, l'excès de

nitrate dans les sols a conduit à une modification de la flore naturelle, sans parler de la détérioration de la qualité des eaux. Les questionnements sur les dangers réels des nitrates pour la santé me paraissent être, à ce propos, un faux débat : quand bien même un doublement de la norme en nitrates dans l'eau de boisson (actuellement de 50 mg/l en NO_3) serait tolérable, ce qui reste très controversé, et ne va sûrement pas dans le sens de la sécurité, il conduirait inévitablement à une détérioration encore plus sévère de la qualité écologique des milieux, déjà très fortement dégradée. Il faut concevoir, comme on est en train de le faire pour les émissions de CO_2 , des outils pour que les flux de nitrates dans l'environnement soient limités. *Volens-nolens*, le monde agricole devra s'y soumettre, un système de quotas sur les quantités d'azote comme dans l'accord de Kyoto, pourrait être une alternative efficace, afin de répartir entre les bénéficiaires (l'environnement, c'est-à-dire le public) et les producteurs le coût de ces mesures. Il faut aussi prendre en compte la capacité du milieu à réduire, par dénitrification naturelle, le flux de nitrates, en particulier dans les zones humides bordant les cours d'eau, si l'on s'avise de les maintenir ou de les développer ; cependant

cette dénitrification naturelle est soupçonnée d'induire en partie la formation de N_2O (au lieu de N_2), un gaz à effet de serre très néfaste. Des recherches sont en cours à ce sujet. Le problème des micropolluants est également préoccupant. Les flux de pesticides dans l'environnement, déjà évoqués, ont un effet sur les écosystèmes qui est encore mal connu. Les flux de métaux lourds d'origine principalement urbaine et industrielle (Cd, Zn, Pb, Hg, Cr...), sont encore notables bien qu'en forte réduction. Le cadmium est parfois lié aux engrais phosphatés. Dans certains fleuves, la pollution ancienne par les métaux est intense et migre essentiellement par le mouvement des matières en suspension lors des crues. C'est notamment ce qui est observé dans le Lot puis la Garonne, où la pollution est liée à d'anciennes activités minières.

L'ingénierie écologique des territoires

Mais, au-delà de la qualité des eaux, c'est la nature des milieux où l'eau circule qui doit être préservée. Il ne s'agit pas de dire ici que ces milieux sont des milieux naturels :

dans les pays industrialisés au moins, il n'en existe pratiquement plus, tout l'espace a été aménagé et transformé par l'homme, depuis des siècles sinon des millénaires. Nous avons par exemple étudié à l'Université Paris VI le fonctionnement des zones humides bordant le cours de la Seine moyenne, pour nous apercevoir que ces zones, dans leur fonctionnement actuel, se sont mises en place pour l'essentiel au Moyen Age, par érosion des plateaux et versants lors de la première mise en culture. C'est, en effet, le remplissage des vallées par des sédiments fins qui a permis aux zones humides de s'installer, et d'être façonnées par l'homme pour la production de foin, le transport du bois par flottage, la mise en place de moulins, d'étangs de pêche... Il n'y a pas de biodiversité naturelle, il y a aujourd'hui une nature entièrement façonnée par l'homme, qui souvent ne s'est pas intéressé ou n'a pas su anticiper les conséquences des aménagements qu'il a construits. Plus proches de nous, les grands réservoirs de la Seine, de la Marne et de l'Aube en sont un bel exemple. Construits pendant la deuxième moitié du XX^e siècle en amont de Paris pour limiter les inondations, ils sont devenus des hauts lieux de passage et de préservation des oiseaux

migrateurs européens (grue cendrée...); une retombée économique importante de la construction de ces retenues, totalement inattendue, a d'ailleurs été le tourisme venu d'Europe du Nord pour observer cette faune... Pour tenter de prévoir ou d'orienter l'évolution des milieux « naturels », se développe aujourd'hui une « ingénierie écologique » dont, en France, le Cemagref est le fer de lance, qui cherche à savoir aménager l'espace fluvial, rural ou les zones humides afin d'y restaurer ou d'y établir un écosystème pérenne aux caractéristiques voulues. Cela va de l'habitat, du microhabitat, aux zones de reproduction et à la gestion artificielle de la vitesse des cours d'eau, par aménagement des sections, des bras morts et la gestion des retenues. Au Kenya, la société des Ciments Lafarge a créé un écosystème tropical entièrement artificiel, sur le carreau d'une ancienne exploitation de calcaire. La publication, en décembre 2000, d'une nouvelle directive européenne qui impose aux pays membres de prendre les mesures appropriées pour que soit rétablie, d'ici quinze ans, la qualité « originale » des eaux des milieux « naturels » va exiger, outre des efforts financiers importants, de véritablement mettre en oeuvre cette ingénierie écologique à

grande échelle, pour déterminer quelles sont les mesures à prendre, pour atteindre cet objectif qu'il appartient d'abord à chaque pays de définir et de décliner.

L'agriculture et les pays en voie de développement

La consommation d'eau, c'est principalement l'agriculture. Elle seule « consomme » réellement l'eau, c'est-à-dire l'évapore, les autres activités la restituent en général au milieu naturel, souillée ou dégradée. L'agriculture est le plus gros consommateur au niveau mondial, environ 70 % des 5 000 km³ d'eau qui sont consommés annuellement, et qui représentent environ la moitié des ressources mondiales facilement utilisables. L'eau domestique ne représente que 10 % de la consommation, et l'eau industrielle 20 %. Dans les pays tempérés, il n'y a pas de véritables conflits d'usage de l'eau, même si les besoins agricoles peuvent être en conflit avec les besoins « écologiques » de l'eau dont nous avons parlé. En pays arides, les besoins agricoles sont dominants. J'ai limité jusqu'ici le propos aux

pays industrialisés en climat tempéré. Il est clair que les problèmes de l'eau sont d'une autre dimension dans les pays en développement, souvent situés en zones arides, et où la croissance démographique est encore, si elle semble quelque peu s'essouffler, largement excédentaire. Le problème majeur est celui de l'irrigation, tous les pays concernés ont pris ou prennent des mesures lourdes d'augmentation de la disponibilité en eau pour satisfaire aux besoins croissants en produits agricoles. Cela va de la construction de grands barrages (par exemple les Trois Gorges, en Chine) à l'exploitation des eaux fossiles du Sahara (la Rivière verte, en Libye) en passant par la petite hydraulique (les mille barrages, en Tunisie, où l'on veut éviter de « perdre » la moindre goutte d'eau douce en mer, aux dépens des écosystèmes côtiers). Certains pays du Golfe ont même irrigué avec des eaux de mer dessalées par osmose inverse (dont le coût arrive aujourd'hui à moins d'un demi dollar par mètre cube). D'autres ont construit d'énormes canaux de transfert d'eau de bassins à bassins. On parle en Europe d'un transfert d'eau du Rhône à Barcelone. Certains recherchent des cultures plus efficaces vis-à-vis de la consommation en eau, d'autres optimisent les

méthodes d'irrigation. Les Canadiens proposent aux Mexicains de leur livrer, par bateau, l'eau douce du Saint Laurent, mais les coûts de transport sont trop élevés. D'autres se proposent de transporter, vers les pays défavorisés, de « l'eau virtuelle », c'est à dire du blé produit dans des pays où l'eau est abondante, sachant qu'il faut environ mille tonnes d'eau pour produire une tonne de blé, et donc qu'il serait moins cher de transporter le blé que l'eau. Pour une tonne de viande, il faut encore environ dix fois plus d'eau... Encore faut-il que l'acheteur ait les moyens de payer le blé transporté, et accepte sa dépendance économique et même politique vis-à-vis de son fournisseur. C'est ainsi que l'île de Malte a refusé l'eau potable venue en bateau de Marseille, pour lui préférer l'eau de mer dessalée par osmose inverse, pourtant plus chère, pour préserver son autonomie.

Ces mesures vont-elles suffire ? Si la démographie continue de croître au rythme actuel (cent millions d'individus de plus sur terre par an), probablement pas. Par ailleurs, trois dangers me semblent menacer ces pays. Le premier est la salinisation des sols. Par excès d'irrigation, le niveau des nappes peut remonter très près du niveau

du sol; l'évaporation fait alors s'accumuler dans les sols superficiels les sels contenus dans l'eau, conduisant très vite à la perte de la fertilité. Ce phénomène est malheureusement observé à grande échelle en Australie. Même en l'absence de remontée de nappe, une irrigation qui ne s'accompagne pas d'un drainage pour éliminer, par un apport volontairement excessif d'eau, les sels que l'évaporation et la transpiration des végétaux accumulent, conduit de même à la salinisation des sols. On estime ainsi qu'en Tunisie, un million de tonnes de sels, qui étaient autrefois lessivés et rejetés à la mer, s'accumulent chaque année dans les sols. Le second danger est l'épuisement des ressources en eau souterraines. C'est le cas dans de nombreux pays, en Inde par exemple, où le niveau des nappes est en baisse régulière, du fait de la généralisation des prélèvements souterrains dans le cadre de la « révolution verte » qui a pourtant permis au pays d'atteindre l'autosuffisance alimentaire. Le troisième danger est l'incapacité à faire face, dans une situation déjà tendue, à une variation climatique naturelle (par exemple le retour des dix ans de sécheresse au Sahel de 1975 à 1985), ou aux variations climatiques dues à l'effet de serre, qui risque, dit-on, de

réduire la pluviométrie précisément dans les zones déjà à déficit hydrique, pour l'augmenter dans les zones équatoriales et les hautes latitudes. Les réserves mondiales de céréales seront-elles suffisantes pour faire face aux besoins en cas de crise, et saurons-nous les mobiliser assez vite ? Un pays au moins, la Tunisie, a déjà préparé son plan de lutte en cas de sécheresse : importation massive et immédiate de blé pour, d'une part, éviter la spéculation et, d'autre part, éviter à tout prix que les variétés de blé adaptées au climat tunisien, uniques et inexistantes sur le marché international, soient consommées pour l'alimentation, compromettant les semences de l'année suivante. Un minimum de deux ans de semences est en permanence maintenu en stock pour parer à ce risque.

L'eau potable des pays en voie de développement

Les problèmes de l'eau des pays en voie de développement portent aussi, et peut-être surtout, sur la fourniture d'eau potable et l'assainissement. Si, comme en pays industrialisés, la qualité de l'eau prélevée sur place est

souvent déplorable, les techniques pour assurer un traitement adéquat sont souvent absentes ou trop onéreuses. Le premier problème, responsable de l'essentiel des maladies hydriques, est la contamination bactérienne (un quart de l'humanité est atteint de dysenterie), puis viennent des maladies parasitaires. Enfin, les problèmes liés aux concentrations naturellement excédentaires en certains éléments toxiques, comme l'arsenic dans la vallée du Gange en Inde et au Bangladesh, ou le fluor dans les régions de socle, ont des conséquences sanitaires tragiques. Il faut ajouter à cela que se créent sous nos yeux d'inquiétants rassemblements humains : il y avait trois villes de plus de dix millions d'habitants en 1950, il y en a 21 aujourd'hui (dont 17 dans les pays en développement), on en attend 50 en 2025. Les conditions sanitaires y sont le plus souvent déplorables, et le premier problème y est l'assainissement, avant même l'adduction d'une eau de qualité. On a en effet constaté que, sans assainissement, la fourniture en quantité d'eau de bonne qualité à un effet *néгатif* sur l'état sanitaire de la population desservie. Que faire ? Lors du dernier Forum mondial de l'Eau à La Haye, en 2000, la Commission mondiale de l'eau a tenté de chiffrer les

dépenses que l'humanité dans son ensemble devrait consentir pour résoudre, en vingt-cinq ans, les problèmes de l'eau potable. Elles sont estimées à 180 milliards de dollars par an, alors que le budget actuel de l'humanité pour l'eau, toutes dépenses confondues, est à peine de 80 milliards de dollars par an. Qui va payer la différence ? Nul ne sait... Les pays riches se sont bien gardés, à La Haye, de prendre le moindre engagement là-dessus, préférant garder leur or, qui pour construire des boucliers anti-missiles, qui pour réduire la durée du travail hebdomadaire, qui pour organiser des jeux dispendieux. On parle de solliciter l'investissement du secteur privé, qui est à même de régler certains problèmes dans les pays en mesure de payer l'eau, mais pas dans les pays déjà en deçà du seuil de pauvreté.

La crise ?

Je suis persuadé que l'humanité attend une crise majeure pour se résoudre à agir. Celle-ci peut être une terrible famine, une épidémie meurtrière, un conflit armé ayant l'eau pour objet. Pourtant les solutions du problème de l'eau existent, dès lors que la croissance démographique ne vient

pas chaque jour amputer les progrès faits (c'est, quand même, le problème numéro un de l'eau). L'eau existe, il faut simplement commencer à l'économiser, là où elle fait défaut, s'abstenir de la contaminer, la transporter, l'épurer, éventuellement la dessaler. Il faut peut-être repenser, pour les pays non encore équipés, les principes de l'adduction d'eau potable et de l'assainissement, comme je l'ai indiqué précédemment. Les technologies existent, il faut sans cesse les optimiser, les adapter, les améliorer, mais c'est le financement de ces technologies qui est à l'évidence problématique, à moins que ne se réveille un jour, devant la crise, un sentiment de solidarité des habitants de la planète face au problème de l'eau...

Note

(1) Membre de l'Académie des Technologies, de l'Académie d'Agriculture de France, de l'Academia Europea, de l'International Water Academy, Foreign Associate de l'US Academy of Engineering, Correspondant de l'Académie des Sciences, Professeur à Paris VI.