

# *l'eau dans les mégalo*poles *en l'an 2000*

---

André GUILLERME

La croissance urbaine n'est pas un vain mot. Un récent rapport de l'UNESCO prévoit pour la période 1970-2000 une augmentation de 50% de la population citadine de l'Europe de l'Ouest (70% pour l'Amérique du Nord, 80% pour l'URSS), le doublement de la population des villes d'Amérique latine et d'Asie du Sud, le triplement de celles d'Afrique. Certaines agglomérations du tiers monde doublent de surface tous les 10 ans. Or, l'alimentation en eau est la priorité des populations urbaines bien avant l'amélioration de l'habitat, l'électrification, le drainage de la voirie, ou l'assainissement.

Si l'objectif de la Décennie de l'eau était de procurer l'eau potable à tous en 1990, les résultats escomptés sont loin d'être atteints ou du moins varient-ils considérablement d'une ville, d'une région à l'autre, accentuant une fois de plus le décalage entre Nord et Sud : alors que là chaque foyer consomme quotidiennement plus d'1m<sup>3</sup> d'eau en moyenne, ici moins de 60% des citoyens disposent d'un

## A. GUILLERME

branchement individuel et la population urbaine non desservie est aujourd'hui trois fois plus importante qu'en 1975. Alors qu'au Nord la famille affecte en moyenne moins de 1% de son budget à la consommation d'eau, au Sud entre 2,5 et 8% du revenu populaire est consacré à ce même produit.

Le fossé s'élargit encore en regard de l'assainissement. Plus de 80% de la population des pays développés a les moyens individuels ou collectifs de traiter les eaux usées, tandis que plus de 50% de celle des pays en voie de développement ne dispose d'aucun mode d'évacuation des excréta. Des pays comme la France ou les Etats-Unis traitaient en 1982 plus de 40% de la pollution brute, ceux d'Afrique régénèrent à peine 3% des eaux usées (moins de 15% des Africains peuvent évacuer les eaux domestiques à l'égout). Or, selon l'Organisation Mondiale de la Santé, 80% des maladies graves sont associées à l'eau.

### *1. Les relations de la cité avec l'eau*

L'avenir paraît donc plutôt sombre quant aux rapports que la ville entretient avec l'eau. Il s'obscurcit encore face au développement quasi exponentiel des mégapoles et, au-delà des différences Nord-Sud, c'est la **raréfaction des ressources en eau potable** et la **surabondance des eaux de ruissellement** qui préoccupent les édiles.

Toute extension urbaine réclame de nouvelles ressources en eau que le sous-sol immédiat ne peut toujours fournir. Les pompages excessifs des aquifères, dont la technique n'a cessé de se perfectionner depuis un siècle et demi, amènent dans les villes maritimes une remontée des eaux saumâtres ou, dans les villes assises sur des sols compressibles, un affaissement lent mais inéluctable de l'aire métropolitaine : 0,1 m/an à Tokyo, 3m à Houston et plus de 10m à Mexico en 70 ans ! Force est donc de diminuer ces pompages, de les contrôler d'une manière draconienne d'autant que l'imperméabilisation du sol, corrélat de l'urbanisation, réduit la percolation. Il faut chercher toujours plus loin l'eau nécessaire à la vie de la ville, l'amener par conduite forcée ou par aqueduc, la stocker et la distribuer. De fait, le recours au système réticulaire paraît aux yeux de la plupart des experts comme la solution la moins risquée au sens large du terme, mais elle est aussi la plus coûteuse. Pour reprendre une des premières recherches, consacrées à l'aménagement du territoire, -effectuée en 1829 par l'ingénieur Navier-, toute expansion de la ville entraîne un développement au carré du linéaire des conduites d'alimentation, voire

au cube si la sociabilité (cas de Gênes) ou le coût des terrains exigent la construction d'immeubles en hauteur. On compte ainsi 0,825 m de tuyau par habitant à Paris, mais 2,3 m dans la petite couronne et 4,2 m dans les départements de la grande couronne.

Le phénomène urbain joue de multiples manières sur l'environnement : l'ensoleillement est moins intense, la température de l'air plus élevée, les précipitations plus fréquentes dans les grandes agglomérations que dans les campagnes avoisinantes. La multiplication des constructions, le tassement du sol par l'incessant roulement des véhicules et le piétinement quotidien des citadins, le pavage, l'emploi du béton ou des enrobés pour les trottoirs et les chaussées, rendent la surface de la cité de moins en moins perméable. Plutôt que d'imbiber le sol et alimenter la nappe souterraine, l'eau pluviale ruisselle tel un torrent. Les résultats sont impressionnants : le temps de concentration des eaux du bassin hydrographique est au moins divisé par 3, le débit de pointe est multiplié par au moins 6 (maximum 45) et le débit moyen peut atteindre 4m<sup>3</sup> par seconde et par km<sup>2</sup> (cas de la banlieue parisienne). Chaque grosse averse amène ainsi son quota d'inondations que le réseau d'assainissement, surchargé, absorbe de plus en plus difficilement.

La concentration des citadins et des activités sur des surfaces plus réduites augmente les rejets, créant ainsi dans les rivières urbaines des taux anormaux de pollution dépassant souvent la capacité d'auto-épuration et exigeant la construction de coûteuses stations d'épuration.

L'amenée de l'eau, son traitement, son stockage et sa distribution, l'ensemble des ouvrages d'évacuation des eaux pluviales et usées produites par la cité, représentent entre les deux tiers et les trois quarts des dépenses à effectuer pour viabiliser les zones à urbaniser. Les capitaux à mobiliser sont donc considérables (pour la seule France l'investissement était de 1,9 milliards de francs en 1975 et 3,8 en 1984 ; pour l'ensemble des pays il devrait être de 50 milliards de dollars par an) et les longues durées d'amortissement nécessitent soit des investissements à fonds perdus, soit des prêts à long terme que seules des banques d'Etat ou des associations de banques peuvent consentir. L'eau de la ville est une entreprise fortement capitalistique nécessitant de délicats montages financiers.

Sans remonter aux plus anciennes civilisations urbaines -de l'Indus, du Tigre et de l'Euphrate, et bien sûr du Nil- celles qui nous occupent maintiennent ou amplifient l'usage multiforme de l'hydraulique comptabilisé depuis des siècles dans

## A. GUILLERME

les archives municipales : eau-transport qui assure par les ruptures de charge qu'elle instaure la fondation d'autant d'entrepôts générateurs de villes ; eau-défensive qui garantit des incursions ennemies, ordonnée selon un fossé de circonvallation aujourd'hui disparu ou intégré au centre ancien ; eau-chimique dont les qualités intrinsèques, en donnant le soyeux à telle étoffe ou le chatoiement à telle teinture, font la réputation et la richesse de la cité ; eau-énergétique dont la puissance sert à moudre le grain, fouler le drap, assouplir le cuir, actionner des pompes avant de travailler à la genèse de l'électricité dont la ville est le premier consommateur ; eau-alimentaire qui offre sa pisciculture et sa consommation au citoyen. Enfin, grande valeur d'hygiène puisque toutes les civilisations ont opté pour son pouvoir purificateur, l'eau débarasse le corps urbain, de ses sueurs. Ces permanences qui font de l'eau un paradigme urbain, se retrouveront encore pour des siècles de manière plus ou moins évidente à l'origine de la croissance des villes et d'abord des mégalo-poles.

### *2. La distribution de l'eau*

Selon le Comité Scientifique des Nations Unies (1972), l'homme a besoin au minimum de 2 litres d'eau par jour pour se nourrir, chiffre très proche des 7 litres/jour proposé par l'ingénieur Bruyères en 1796 pour chaque Parisien alors que les grandes villes industrielles britanniques de l'époque escomptaient une moyenne de 20 litres par habitant (Londres, Liverpool et Manchester). Depuis le début du XIX<sup>e</sup> siècle, les **besoins** n'ont cessé de croître, au rythme de 1% par an dans les pays industrialisés. Si l'on compte ici actuellement une moyenne quotidienne de 350 litres par habitant (mais 1500 litres selon les normes américaines), on ne dépasse pas 150 litres dans les pays en développement dont certains ne peuvent fournir que 90 litres au Maroc, voire 6 litres en Mauritanie. La demande varie considérablement dans le temps et dans l'espace et d'après les secteurs de consommation : **agricole, public, industriel et domestique.**

- Le secteur agricole est le plus négligé dans les calculs et pourtant la tenue maraîchère exige quotidiennement près de 2 litres par m<sup>2</sup> de culture avec une forte demande durant l'été, chiffre auquel il faut ajouter celui de la consommation des bêtes (40 litres pour une vache ou un cheval).

- Le secteur public comprend l'arrosage des rues, le nettoyage, l'entretien des espaces verts, les fontaines (bornes ou monuments). Il varie de 6 à 60 litres par

habitant et par jour en région parisienne, occupe 15% des besoins en eau à Bangkok mais 35% à Dakar où les bornes-fontaines gratuites sont nombreuses.

- Il est difficile d'évaluer la part dévolue aux industries. Les plus gourmandes préfèrent s'alimenter elles-mêmes à la rivière ou à la nappe tandis que les emplois du secteur tertiaire consomment 25 à 30% de l'eau disponible.

- Le secteur domestique est de loin le plus important puisqu'il représente généralement plus de la moitié des besoins urbains. Encore son taux varie-t-il selon le type d'habitat, l'occupation du logement, l'équipement, le niveau de vie et la catégorie socio-professionnelle de l'occupant, voire l'âge du logement. La demande est beaucoup plus forte au moment des repas et le matin (dans les pays du Nord) ou le soir (dans les pays du Sud), la veille des fêtes religieuses et les jours de marché, lors des grandes chaleurs et des grandes fêtes civiles. Le coefficient de pointe (rapport entre les consommations ordinaires et exceptionnelles) peut grimper à 5 dans de grandes stations balnéaires, mais il reste généralement contenu en deçà de 2 dans les aires métropolitaines et pourrait même tendre vers 1,2 (cas des centres-ville de Paris, Londres, San Francisco) si le zonage préconisé depuis une cinquantaine d'années par l'urbanisme issu de la Charte d'Athènes intégrait en un même lieu domicile, emploi et loisirs. Car du coefficient de pointe dépend la capacité des réservoirs, le diamètre des conduites, l'interconnexion des réseaux et donc, globalement, le coût de la distribution (qui équivaut à deux fois le coût de production) avec, en conséquence, celui de l'assainissement.

Les techniques de captage, de forage, de stockage, d'épuration et de distribution, lentement perfectionnées depuis bientôt deux siècles sont sûres mais relativement coûteuses. Elles adoptent aisément les nouvelles mutations technologiques : l'automatique est apparu en grand dès 1949 dans la distribution de l'eau d'Oran (procédé de régulation par l'aval) et peut s'appliquer à tous les niveaux de la chaîne distributrice, depuis le dosage chimique des réactifs jusqu'au télélevé des compteurs, en passant par l'enclanchement des pompes de refoulement ou des systèmes d'alarme -rappelons que l'eau est le fluide moteur des premiers automates de Philon d'Alexandrie. L'informatique occupe une place prépondérante dans la recherche appliquée à la distribution : sans négliger la programmation de la gestion des abonnés, l'accent est mis sur les systèmes experts relatifs au maillage des réseaux (un «casse-tête» que la méthode de calcul manuel de Hardy-Cross parvenait, récemment encore, difficilement à réaliser), au coefficient de pointe, etc... Les

## A. GUILLERME

grandes entreprises occidentales de distribution d'eau investissent près de 3% de leur chiffre d'affaire dans la recherche et surtout dans la réduction des coûts.

Car le grand problème de l'alimentation en eau des villes reste l'**incompressibilité des coûts**. On compte dans les grandes villes de l'Afrique de l'Ouest un investissement de 400 à 500 F/hab, soit environ de 1700 à 2000 F par parcelle, l'équivalent de deux mois de salaire minimum interprofessionnel garanti, 4000 à 6000 F par branchement dans les villes occidentales, soit l'équivalent d'un mois à un mois et demi de salaire moyen (cas de la France). Dans les pays en développement, beaucoup de citoyens hésitent à brancher leurs robinets sur le réseau - deux tiers des Ivoiriens abandonnent le branchement au bout d'un an - et préfèrent chercher l'eau à la borne-fontaine dont le coût moyen est de 8000 F ou l'acheter au porteur d'eau, homme-clef de la sociabilité urbaine. Au milieu du siècle précédent, 10% des abonnés payaient l'eau pour les 90 autres, soit l'intérêt des emprunts. Aujourd'hui, dans les mêmes villes occidentales, presque 100% d'abonnés ne donnent aux compagnies fermières ou travaillant en régie qu'une marge bénéficiaire évaluée bon an mal an à 15%. Entre temps les normes de qualité de l'eau ont changé, les fuites se sont aggravées, les besoins énergétiques se sont accrus pour pallier les pertes de charge, fonction de la longueur du réseau (de 0,13 à 0,50 F/m<sup>3</sup>/100 m de hauteur de refoulement en 1985), alors que le prix des matériaux et de la mise en oeuvre baissaient.

Une solution économique n'est-elle pas de diminuer la longueur des réseaux et d'instaurer localement des captages en rivière ou à la nappe ? De subventionner la mise en place de puits artésiens ou de pompes profondes comme à Buenos Aires ou au Caire ? Le puits est l'autre système d'alimentation (30 000 puits individuels à Paris en 1870, 450 à Berlin aujourd'hui). Individuelle ou semi-collective, son utilisation est en fait incontrôlable par l'autorité municipale. Elle exige peu d'entretien mais la surexploitation des aquifères grève d'une manière imprévisible le coût généralisé de l'urbanisation en provoquant des effondrements de terrain, en augmentant les risques de pollution.

Aux **besoins** urbains, il faut ajouter les **pertes** dues à de multiples facteurs dont le principal est le **vieillessement des conduites**. Si Bangkok estime avoir à peine 12% de fuite c'est que le gros de son réseau de distribution ne date que de 1972. Mais New-York, dont le réseau est plus que centenaire, perd autant d'eau qu'elle en consomme. Le Caire voit disparaître ainsi chaque jour plus d'un million

de mètres cubes et le cumul planétaire doit s'évaluer quotidiennement en kilomètres cubes. 30 à 50% du prix de l'eau au robinet sert à cacher ce gaspillage.

La durée de vie moyenne d'une conduite dépend de la composition du sol-support, de la résistance aux fortes pressions internes (en général 10 atmosphères) et aux coups de bélier, de la nature des eaux transportées (algues, incrustations calcaires), de sa protection contre les chocs externes (thermiques, physiques et chimiques) : ainsi dans les villes sahéliennes et tropicales, les fortes pluies d'hivernage dégradent rapidement les revêtements de chaussée, le ravinement et la poussée d'Archimède découvrent les tuyaux que les véhicules ne tardent pas à défoncer ; dans les villes occidentales, les pertes dans les réseaux électriques et téléphoniques enterrés génèrent des courants dits vagabonds qui détériorent lentement par électrolyse les conduites métalliques.

Depuis le milieu du XIX<sup>e</sup> siècle, les techniciens estiment que la longévité d'un tuyau en fonte (80% des matériaux employés dans les réseaux de distribution d'eau) est de l'ordre de 40 ans. Autrement dit, pour conserver aux réseaux leur rendement maximum (rapport entre le volume vendu et le volume produit), une vingtaine d'années après leur mise en place il faudrait commencer à remplacer les conduites défectueuses au rythme de 4% par an. C'est la politique que tentent de réaliser vaille que vaille les grandes villes qui ont subi le «boom» urbain d'après guerre, mais Paris ne remplace annuellement qu'1% de la tuyauterie, New-York et Rome moins de 1%. L'effort déployé par les villes pour la décennie de l'eau (\$8 milliards/an au début des années 80, \$4 milliards/an depuis 1985) devra par conséquent être renouvelé dès le commencement du prochain millénaire. En principe, le distributeur fixe l'amortissement financier des investissements sur la durée de vie des ouvrages et affecte annuellement la provision ainsi constituée à la rénovation des ouvrages les plus anciens et les plus déficients, mais en est-il toujours ainsi ? Beaucoup de municipalités à la limite du dépôt de bilan, préférant transférer ces provisions sur d'autres budgets, désengagent ainsi l'avenir de leur urbanité alors qu'il serait de la première importance de réserver une quote part de ces provisions au développement de recherches fondamentales et appliquées dans le domaine de la prévention et de la maintenance car, à vrai dire, on n'a aujourd'hui qu'une très vague idée du vieillissement des réseaux.

Les moyens employés pour détecter les **pertes** s'adaptent aux grandes innovations technologiques. Ils se divisent en deux types :

## A. GUILLERME

- **détection externe.** Si la photographie aérienne à l'aide de pellicules sensibles aux rayons infra-rouges expérimentée aux Etats-Unis (Water Research Center) va s'étoffer grâce aux transmissions satellites (type SPOT), le dépouillement des données ne concernera que les grosses fuites. L'acoustique - écoute sur le sol ou sur la conduite à l'aide de capteurs et d'amplificateurs - est la technique la plus ancienne, la moins coûteuse, la plus prisée, mais ses résultats ne sont pas toujours probants et varient selon la nature du sol ou du tuyau. Avantageuse pour les canalisations métalliques - le métal est un excellent transmetteur - elle est fragile lorsque les joints d'étanchéité rompent la transmission du bruit et inopérante pour les conduites en matière plastique.

- **détection interne.** L'utilisation de traceurs radioactifs à faible durée de vie se développe peu, par méfiance psychologique des décideurs, malgré son innocuité. L'endoscopie, très coûteuse mais très fiable, calque à une autre échelle le modèle médical : elle est employée actuellement surtout par les services techniques des grandes villes des pays développés et donc promise à de beaux jours. C'est sans doute vers ce second type de détection que la recherche appliquée va s'orienter en mettant à profit les découvertes optiques (lasers, fibres) et informatiques.

En fait, le problème de la détection des fuites sera en grande partie résolu lorsque, dès le stade de conception du réseau, l'édile accordera toute son attention aux aménagements qui faciliteront plus tard la recherche des fuites (accès, regards, galeries techniques).

Selon les normes européennes, la **qualité de l'eau potable** dépend de 64 paramètres organoleptiques, physico-chimiques, microbiologiques, toxicologiques et de mesures de substances indésirables. Ces normes comparables à celles de l'Amérique du Nord servent de références aux pays en développement et aux compagnies d'exploitation privées ou publiques. Elles exigent une longue série **d'analyses** qu'on peut classer selon leur coût en trois catégories : **courantes**, pouvant être effectuées dans de simples laboratoires sans personnel hautement spécialisé (mesures du pH, de la teneur en sels minéraux, de la turbidité, de l'oxygène dissous, de l'oxydabilité chimique) ; **déliçates**, nécessitant un laboratoire équipé de spectrophotomètres, spectrographes de masse, chromatographes et autres appareils hautement perfectionnés mesurant l'absorption atomique, l'électrophorèse, le carbone organique total ; **pointues**, recherchant virus et micropolluants, détectant goûts et odeurs. L'investissement nécessaire à ces analyses et le traitement consécutif de l'eau entrent

pour au moins 15% dans le prix de vente. Dès lors, on se demande s'il est nécessaire de rendre potable la totalité des eaux captées quand au moins 20% d'entre elles s'échappent par les fuites et que 95% au moins servent à autre chose que la cuisson des aliments ou la boisson - cette dernière catégorie étant d'ailleurs de plus en plus vendue à part, en bouteilles (pays développés) ou en sacs plastiques (pays en développement).

Paris est l'une des rares mégalo-poles à posséder un **système séparatif de distribution** mis au point en 1860 : 60% de l'eau est simplement clarifiée pour le lavage des rues, l'agrément des fontaines et l'entretien des parcs et jardins, le reste (550 000 m<sup>3</sup>/j) est purifié et conduit séparément pour les besoins domestiques dont cependant plus de 70% (WC, toilette, lavage, vaisselle) n'exigent pas une telle qualité de l'eau.

Dans le monde des techniciens, soucieux de maintenir la qualité du service public, on rencontre une très vive opposition à ce système dont la ville de Paris tire une certaine gloire : la séparation entraînerait le doublement du réseau, soit l'équivalent de 40% du prix de l'eau. Pourtant, dans la plupart des métropoles africaines où l'entretien et la maintenance du service ne sont guère assurés faute d'argent et de techniciens qualifiés, l'eau distribuée, mal épurée, verse ses germes pathogènes que les urbains tentent d'éliminer en la faisant bouillir ou en utilisant individuellement des purificateurs. Compte tenu des hauts risques pandémiques et des difficultés à les enrayer, c'est probablement vers cette dernière solution que se tourneront les citoyens de demain. A Dakar comme à Guayaquil, on jette dans l'eau de boisson quelques pastilles de permanganate ou quelques gouttes d'eau de Javel, produits chimiques très bon marché et relativement efficaces ; à Los Angeles ou Chicago, l'appareil purificateur (\$500 à 1000) est partie intégrante du confort de la «high middle class». Partout se lève une certaine méfiance à l'égard de l'eau du robinet parce qu'elle est dépourvue de repères tangibles ; captée de plus en plus loin de la ville pour pallier la rareté (150 km pour Paris, Brême, Athènes, 500 pour Los Angeles : 5000 pour le projet de la North American Water and Power Alliance (NAWAPA) qui souhaite exploiter l'immense gisement hydraulique du Pôle Nord) ou de plus en plus profond (100 m sous Berlin, 600 m sous Paris pour la nappe albienne dite «stratégique»), l'eau superficielle ou souterraine est stockée, tamisée, pré-oxydée, décantée, filtrée, désinfectée, affinée, adoucie avant d'être livrée. Mais précisément c'est sur l'inocuité de sa livraison que l'opinion publique se pose le plus de questions : le mythe de l'empoisonnement par l'eau est encore

## A. GUILLERME

très vivace. En investissant ses plus récentes découvertes, la biotechnologie devrait apporter demain la nécessaire sécurité économique et sociale de l'eau.

### 3. *Les eaux usées*

On estime que chaque habitant d'une agglomération occidentale moyenne rejette quotidiennement avec les eaux usées 90g de matières en suspension et 57 g de matières oxydables, les premières pouvant être traitées mécaniquement, les secondes chimiquement. Les effluents croissent avec la concentration de l'habitat, la consommation d'eau, l'élévation du niveau de vie et surtout avec le développement industriel.

La **pollution industrielle** peut représenter jusqu'à 50% de la pollution domestique dans certaines grandes agglomérations comme Lyon, Milan, Dresde ou Séoul. Sa nature varie avec la branche d'activité dominante : les industries mécaniques, la chimie peuvent, selon les villes, affecter jusqu'à 55% du total des eaux industrielles évacuées alors que la pollution due au secteur agro-alimentaire (20 à 25%) et au tertiaire (10 à 15%) reste relativement stable. On peut donc prédire que, dans les prochaines années, la pollution industrielle va fortement s'aggraver dans les villes des pays en développement et diminuer dans les pays développés où s'accroît la «tertiarisation».

La plupart des grandes usines traitent elles-mêmes leurs effluents sous le contrôle - parfois de principe - des municipalités ou des Etats. La fabrication d'une tonne de papier équivaut aux rejets de 100 ou 300 habitants, celle d'une tonne de peaux tannées de 1000 à 2000 ; le lavage d'une tonne de linge de 700 à 2300 selon la réglementation européenne. On voit par ces quelques chiffres l'énormité de la pollution industrielle dont la seule partie traitée par le service public représente en France, par équivalence, le quart de la population (30 à 60 m<sup>3</sup> par jour et par hectare loti pour la petite industrie, 10 à 12 m<sup>3</sup> par jour et par hectare loti pour les zones d'entrepôt ou de haute technicité). A cette pollution hydrique à risque majeur, dont l'opinion publique s'émeut à juste raison, s'ajoute la pollution atmosphérique.

Les composés soufrés et azotés dégagés par la combustion des matières fossiles dans les centrales électriques, les usines et les automobiles, disséminés par le vent et réagissant avec l'humidité de l'air forment en retombant les **pluies acides**, fléau déjà connu à la fin du XVIII<sup>e</sup> siècle dans les régions industrialisées (Montpellier,

Rouen, Londres), mais qui prend aujourd'hui des proportions planétaires, particulièrement alarmantes dans les vastes aires urbaines (2400 km<sup>2</sup> pour Tokyo, 3000 km<sup>2</sup> pour Chicago et Bangkok, 3600 km<sup>2</sup> pour Paris, Pékin et Mexico) qui produisent ces émanations et en sont les plus directement atteintes. A mesure que le degré d'acidité de l'eau augmente, l'aluminium et surtout les métaux extrêmement toxiques comme cadmium, le plomb et le mercure deviennent solubles, se fixent dans les aliments, nécessitent une élimination très coûteuse pour rendre cette eau potable, détruisent la faune aquatique. Les remèdes sont à la portée des pollueurs et déjà la République Fédérale d'Allemagne y consacre annuellement plus de 2 milliards de francs.

Les pays en développement ne semblent pas encore touchés par ce type de pollution et le volume des eaux usées à traiter reste assez proche de celui des eaux domestiques. Ici, dans la majorité des cas, les effluents sont évacués directement dans le milieu naturel ou traités dans des fosses septiques, véritables réacteurs biologiques et hydrauliques de prétraitement. Celles-ci exigent cependant un minimum de 30 litres d'eau par jour et par habitant pour pouvoir fonctionner. Solution satisfaisante en habitat dispersé (en France et aux Etats-Unis, 30 à 50% des eaux usées sont ainsi traitées), la fosse septique devrait être très bientôt fabriquée industriellement et coûter moins de deux semaines de salaire d'un ouvrier africain (500F).

**L'épandage** est un système d'assainissement collectif très ancien qui continue à porter ses fruits dans la ceinture maraîchère des grandes agglomérations : les effluents de 400 habitants peuvent ainsi nourrir un hectare de culture. Les champs d'épandage couvrent des dizaines de milliers d'hectares à l'ouest de Paris, à Moscou et surtout aux abords des grandes villes d'Asie. Leur coût est inférieur à celui d'une station d'épuration mais les risques bactériologiques à prévenir sont plus élevés : on se souvient de l'enterite de Mexico (1959), du choléra de Jérusalem (1970), du Tchad et du Soudan produits par la pollution des eaux souterraines. De grandes améliorations devraient être apportées par l'utilisation des géo-textiles. Ces textiles artificiels non tissés associés à des granulats judicieusement choisis, modifient les propriétés du sol (hydrodynamique, activité biologique) et la qualité de l'épandage. Ils permettent de maîtriser la vitesse de circulation du fluide et sa distribution en multipliant les capillaires digesteurs. Le rendement des champs devrait ainsi doubler.

Système de traitement plus coûteux, mais aussi plus rentable quant aux

## A. GUILLERME

résultats escomptés, la **station d'épuration** est le «terminal» du réseau de canalisation des eaux usées avant leur rejet en rivière. Placée en aval de la ville de manière à tirer profit de l'écoulement naturel, elle permet d'obtenir après dégrillage, désablage, déshuilage, traitements primaires (décantation, coagulation, floculation) et secondaire (biologique), une purification presque parfaite des effluents. Elle revient à 300 F/hab pour des agglomérations de 5 à 10 000 citadins, 200 F/hab pour une ville de 50 000 âmes et autour de 80 F/hab pour Achères, la plus grande station du monde, qui doit épurer annuellement plus d'un milliard de mètres cubes d'effluents parisiens en attendant la mise en service d'une autre station de même capacité à Valenton (sud-est de Paris) qui devra être complètement opérationnelle en 2005. Le coût de ces usines de traitement tend à se stabiliser pour des performances toujours croissantes grâce à la biologie qui améliore la capacité de digestion des lits bactériens, à la combustion des gaz émis par les bactéries pour produire une partie de l'électricité consommée et aux automates programmables.

Les stations d'épuration sont apparues à la fin du XIX<sup>e</sup> siècle lorsque l'auto-épuration des plans d'eau s'est avérée insuffisante, notamment dans les grandes villes industrielles. Jusqu'alors les techniciens municipaux s'étaient contentés de quadriller la mégalopole d'égouts collecteurs qui se déversaient dans le fleuve, l'estuaire ou la mer. Deux conceptions différentes voire opposées présidaient l'évacuation des eaux urbaines : la première consistait à ne traiter que les eaux ménagères (système séparatif), la seconde à rassembler dans un même émissaire eaux usées et eaux pluviales (système unitaire ou tout-à-l'égout), calquant celle des villes médiévales élaborée 700 ans auparavant pour développer l'artisanat et la meunerie. Chacune a, aujourd'hui encore, ses détracteurs et ses défenseurs. Il est vrai que le système séparatif est plus difficile à mettre en oeuvre de façon efficace car il implique une mobilisation importante des moyens financiers et des hommes de l'art pour que branchements et raccordements soient corrects. Il coûte 30 à 50% plus cher que son rival, surtout dans les quartiers de petite taille puisqu'il met en place deux fois plus de conduites (eaux usées, eau pluviale). En outre, la pollution croissante des eaux de ruissellement n'est pas éliminée. En revanche le système unitaire s'adapte mal aux régions de type méditerranéen ou sahélien et, à vrai dire, aux grandes villes dont l'imperméabilisation croissante du sol provoque des surcharges parfois catastrophiques dans les collecteurs et toujours très coûteuses pour la station d'épuration qui ne peut traiter sans difficultés techniques plus de trois fois le débit moyen des effluents par temps sec. En outre, plus l'assiette de la ville est plate, plus ce type d'assainissement est dispendieux puisqu'il met en

place des stations de refoulement ou de relèvement pour assurer une pente minimale nécessaire à l'auto-curage des conduites (vitesse minimale de 0,6 m/s contre 0,3 m/s pour le système séparatif).

#### ***4. Les eaux de ruissellement***

Depuis quelques années des solutions originales permettent d'éviter au moindre coût les inondations locales ou la saturation des réseaux provoquées par les averses tout en améliorant la qualité de l'environnement. Certaines réhabilitent des pratiques anciennes (évacuation des eaux usées dans les fossés de fortification) ou le lagunage qui laisse à la nature son pouvoir auto-épurateur : les rayons ultra-violets, l'oxygène de l'air, la chaîne organique (bactéries, algues, protozoaires) facilitent la digestion des effluents dans de vastes bassins d'eau calme dont la superficie équivaut à 10 m<sup>2</sup> par habitant. Ce type d'assainissement ne consomme ni énergie ni produits chimiques, valorise la biomasse utile à la pisciculture, élimine efficacement au bout de quelques mois la pollution microbienne - mais ne peut traiter les toxines industrielles -, et constitue pour les municipalités une réserve foncière et un paysage aquatique dont beaucoup de villes sont dépourvues. Toutefois sa principale qualité limite son usage : l'eau stagnante stimule la prolifération des moustiques, vecteurs des pires maladies. Mais les résultats encourageants de la biochimie devraient, dans un proche avenir, résoudre cette question.

La **technique des bassins** retient aujourd'hui toute l'attention des édiles. Dans le système d'assainissement unitaire, le déversoir d'orage emmagasine les premières ondées, à priori les plus polluées. Dans le système séparatif, le bassin de retenue stocke en surface ou sous terre le débit d'eau pluviale dont l'écèlement du volume est ensuite restitué au réseau aval lorsque le débit est plus faible. Le bassin d'infiltration permet la réalimentation de la nappe souterraine à condition que le sol ait une bonne perméabilité mais il exige un entretien périodique pour éviter le colmatage et une grande surveillance de la pollution éventuelle de la nappe. Pour tirer profit de ces bassins, certains services techniques mettent au point une gestion automatisée du remplissage et du déversement à l'aide de barrages gonflables et de vannes mobiles dont l'ouverture est commandée par ordinateurs (département de la Seine Saint-Denis, 700 km de conduites, 1 300 000 habitants). Ces bassins, secs en période normale, peuvent composer des grappes de verdure.

## A. GUILLERME

Enfin, pour réduire ou différer le débit de pointe pluvial, on modifie la texture des chaussées en la rendant plus poreuse, en installant des tranchées filtrantes aux abords des parkings et des placettes -dont le coût est six à dix fois moins élevé que le système d'évacuation classique par tuyaux et trottoirs -, en développant les revêtements alvéolés. Grâce à ces supports perméables qui gomment l'uniformité des produits noirs (bitumes et goudrons), la végétation prend racine, la ville perd sa poussière et gagne à nouveau sa fraîcheur.

Dans les prochaines années, des progrès décisifs devraient être réalisés en matière de **prévention**. Il est nécessaire de renforcer la protection des nappes phréatiques qui alimentent plus de la moitié de l'humanité. Or les risques croissent avec le vieillissement des usines, les transports (110 millions de tonnes de matières dangereuses circulaient sur les routes françaises en 1984), l'automobile (150 tonnes d'huile de vidange s'infiltrent dans le sol tous les ans en Allemagne de l'Ouest) et l'obsolescence des systèmes d'assainissement. On estime à 45 000 le nombre de molécules commercialement disponibles, 1% d'entre elles présentes en quantité notable peuvent être à l'origine de pollution, d'autres sont nocives à des concentrations très faibles. Des recherches prometteuses sont en cours d'élaboration. Le comportement d'une nappe polluante dans le courant d'une rivière devrait être accessible à partir de simulations assistées par ordinateur, diverses méthodes d'analyse (spectrométrie infra-rouge, chromatographie en phase liquide ou gazeuse) permettent la détection des micro-polluants. Mais à dire vrai, sorti des lois que l'ingénieur Darcy élaborera en 1850 on sait bien peu sur le comportement des fluides dans le sol. Quant aux nouvelles technologies très sophistiquées, elles ne sont à la portée que des pays les plus riches.

Transfuge de la technologie aéroportuaire, l'image radar couplée à un ordinateur peut évaluer, une demi-heure à l'avance - temps suffisant pour programmer les automates - l'intensité et le volume d'une averse par la photo-interprétation des nuages. Au plan macro-géographique, les prévisions météorologiques qui n'étaient guère fiables au delà de deux jours il y a 40 ans, le seront au-delà de dix au tout début du prochain millénaire. La population des villes maritimes, les plus exposées aux cyclones, pourront ainsi être évacuées plus facilement en attendant que de grands travaux de terrassement et d'endiguement viennent définitivement la protéger des inondations catastrophiques - la région parisienne s'est ainsi dotée de trois barrages-réservoirs dont le plus récent, celui de l'Aube a une capacité de 0,175 km<sup>3</sup> pour un prix de revient de 10F/m<sup>3</sup>. La prise en considération des données

pluviométriques et limnigraphiques, la recherche de paramètres spécifiques à l'écosystème urbain devraient mettre fin au monopole des formules de calcul du dimensionnement des ouvrages, formules trop souvent inadaptées au contexte local : l'averse type ne peut régir à la fois la neige et la mousson, les assainissements de Montréal, de Dacca, de Pointe Noire et de Lyon.

## *5. L'eau énergétique*

L'énergie thermique de l'eau, mise en valeur par les Newcomen, Papin, Watt, Stephenson, Carnot et Joule continue à focaliser l'attention des chercheurs et des techniciens. Les basses énergies occupent notamment les agronomes soucieux de protéger les ceintures maraichères des rigueurs hivernales. Les moyennes énergies provenant du refroidissement des centrales nucléaires s'appliquent à la pisciculture (une élévation de température de 1°C augmente les rendements piscicoles de 20%) et aux cultures péri-urbaines (serres). Mais c'est au chauffage urbain que les thermies de l'eau sont les mieux employées. Système de production et de distribution à grande échelle, le réseau de chaleur satisfait les besoins de plusieurs milliers de logements : plus de 800 agglomérations sont ainsi desservies en U.R.S.S. par 180 000 km de conduites d'eau chaude ou de vapeur (Moscou délivre annuellement une énergie de 82 milliards de kwh dans un réseau de 3 300 km, et Leningrad 40 milliards de kwh dans 1 800 km de canalisations). Le Danemark prévoit qu'à la fin du siècle près de la moitié des besoins de chaleur de ses secteurs résidentiel et tertiaire sera couverte par des réseaux. Ce type de distribution, qui a le mérite d'offrir en zone densément peuplée un confort meilleur marché que le chauffage individuel, se développe plus particulièrement lors des crises économiques (le chauffage entre pour au moins 2% dans le budget des ménages dans les pays du Nord). Compte tenu de l'importance des quantités de chaleur mises en jeu, les réseaux peuvent transporter des énergies de diverses origines nécessitant un investissement lourd, mais présentant un coût d'exploitation faible - charbon, rejets industriels, bois - ou très faible - ordures ménagères, solaire à concentration. De ce point de vue, la géothermie, technologie récente et prometteuse, devrait procurer aux grandes villes de demain une énergie illimitée et presque gratuite : plusieurs dizaines de milliers de logements sont déjà desservis en Europe de l'Ouest et au centre-sud des Etats-Unis.

L'eau thermique et mécanique a porté la révolution industrielle du XIX<sup>e</sup> siècle

## A. GUILLERME

et la croissance urbaine. A ce titre, les machines et bateaux à vapeur, les moulins à eau, les turbines, bref ce mobilier industriel qui assit la réputation des villes occidentales appartient au patrimoine culturel et de ce fait doit être protégé. Mais, depuis quelques années, la dépression économique et les mutations technologiques démolissent cet héritage. Des associations locales se sont constituées pour sauvegarder ses vestiges monumentaux, aidées parfois mais insuffisamment par les municipalités ou les Etats. Quelle part du patrimoine hydraulique de notre enfance sera encore debout dans 20 ans ? Il ne reste pas aujourd'hui en Europe de l'Ouest plus d'un moulin à eau sur mille en état de fonctionnement. Qu'en sera-t-il demain des grands barrages hydro-électriques édifiés au début du siècle, des centrales thermiques qui ont donné la lumière à la ville ?

**L'énergie hydraulique** mondiale est loin encore d'être totalement consommée. A peine le quart des 3 800 millions de KW des réserves sont utilisées et les experts estiment que ce n'est pas avant 2030 que devrait théoriquement s'achever leur domestication. Les recherches se poursuivent donc pour tirer profit des qualités énergétiques de l'eau dans tous ses états (solide, liquide, vapeur) et en multiplier les applications mécaniques (jets coupants sous une pression hydraulique de 3000 à 6000 bars) et chimiques. C'est dans cette dernière discipline scientifique que la qualité de l'eau apporte la plus grande valeur ajoutée : si la chimie lourde rapporte globalement 1 F par kg produit, la chimie fine, celle de la pharmacologie et de la biologie, table sur 70 F par grammes mais utilise une eau parfaitement pure. Au reste, les recherches fondamentales sur le comportement intrinsèque de l'eau - figée depuis Lavoisier dans une formule trop simple ( $H^2O$ ) - devraient bouleverser à l'horizon 2000 une grande part des applications industrielles de ce corps multiforme -  $(H^2O)_n$  - **prima materia**.

## 6 . *La qualité de la ville*

Eau publique, eau dynamique, eau usée par le quotidien des citoyens, l'eau urbaine a toujours été l'image de marque de la mégalopole occidentale, creuset de la pensée technique et scientifique : Rome sous les Césars et les Papes, Paris sous le roi et les empereurs, Londres sous le pouvoir de l'industrie naissante, toutes sont nées au bord de l'eau et ont choisi de révéler par de monumentales fontaines leur grandeur. Traversées de fleuves, elles ont su aux siècles passés ceindre l'abondance de leurs murailles de plans d'eau à la fois abreuvoirs, digesteurs, viviers, aire de

repos et de détente. L'industrie et ses cohortes d'hygiénistes ont tôt fait le procès de ces espaces, géniteurs de fièvres paludéennes, que les municipalités se sont empressées de combler, d'assainir et de livrer à la circulation ou à la construction. L'espace ludique, sans cesse repoussé aux extrémités de la ville tentaculaire conquiert à nouveau le centre et les rives : l'eau égaie les places, court au milieu des voies piétonnes, bouillonne dans les jardins publics à l'écart du trafic, s'étale aux pieds des ponts, rêve dans les lacs édilitaires à Yokohama, Berlin, Chicago, Genève, Bristol ou Ottawa. Depuis peu d'années, les pouvoirs municipaux s'efforcent de redonner à l'eau une certaine liberté, une liberté surveillée par des services techniques et d'autant plus chère payée que l'environnement s'est dégradé. Des longueurs importantes de canaux sont réhabilitées, leurs rives habillées de promenades. Les petites rivières péri-urbaines qui ont échappé au recouvrement et à la mise en égout sont transformées en aires de loisirs. A juger les projets de planification qui gèrent l'avenir des cités, l'eau doit, après un bon siècle d'éclipse, reprendre sa place dans la qualité des villes : la première.

André GUILLERME  
Directeur de Recherche au CNRS (France)