

UNESCO

JANVIER 1985 7 FF

le Courrier

Merveille de l'eau

Message à la jeunesse du monde

EN 1979, l'Assemblée générale des Nations Unies a désigné 1985 comme l'Année Internationale de la Jeunesse.

Cette année, dédiée à la participation, au développement et à la paix, a pour objectif essentiel de sensibiliser l'opinion mondiale à la situation, aux besoins et aux aspirations des jeunes. Elle vise aussi à accroître la coopération en vue de résoudre les questions relatives à la jeunesse et d'entreprendre des programmes d'action concertée en sa faveur, ainsi qu'à associer les jeunes à l'examen et à la solution des problèmes du développement social, économique et culturel ainsi que de la paix mondiale.

En 1983, la Conférence générale de l'Unesco a décidé que l'Organisation devrait participer, dans toute la mesure de ses moyens, à la célébration de l'Année Internationale de la Jeunesse. Les jeunes représentent en effet une part considérable, et toujours croissante, de la population mondiale ; ils sont donc concernés par tous les problèmes qui intéressent le présent et l'avenir de l'humanité. Aucune des grandes interrogations posées à notre époque ne peut trouver de réponse sans l'implication active de la jeunesse.

La jeunesse représente 45 % de la population mondiale. Et ses effectifs ne cessent de croître en nombres absolus : les 15-24 ans étaient 730 millions en 1975, ils devraient atteindre 1 milliard 180 millions en l'an 2000 — soit un accroissement de 60 % en vingt-cinq ans.

Si la place et le poids de la jeunesse dans la vie nationale varient d'un pays à l'autre, les jeunes partagent dans bien des cas un certain nombre de préoccupations, de craintes et d'aspirations communes.

Dans de nombreux pays, en effet, la jeunesse est spécialement exposée à des problèmes tels que le chômage, la faim, la délinquance, la drogue, la violence, le racisme — qui, tous, s'enracinent dans les tensions et les incertitudes d'aujourd'hui. Mais la jeunesse se caractérise aussi par l'imagination, l'enthousiasme, le courage, qui peuvent contribuer aux changements nécessaires. Parce qu'elle se situe au carrefour nécessaire de la continuité et du changement, de la tradition et du progrès.

Encore faut-il que les différents groupes de jeunes aient la possibilité de participer pleinement à tous les aspects de la vie économique, politique, éducative, culturelle et scientifique de leur société, d'y exercer librement les qualités qu'ils détiennent en propre.

C'est à y contribuer que s'emploie l'Unesco, qui place l'action en faveur de la jeunesse au cœur de l'ensemble de ses programmes — et notamment de ses programmes d'éducation et de formation.

Ses efforts en la matière s'organisent autour de trois objectifs principaux : stimuler la recherche sur la jeunesse dans les différentes régions du monde ; promouvoir la diffusion et l'échange d'information sur les jeunes et à leur intention ; contribuer à l'élaboration de politiques et à la mise en œuvre de programmes destinés à susciter la participation des jeunes à tous les aspects de la vie des sociétés.

Le Courrier de l'Unesco publiera, dans les prochains mois, un numéro consacré à la jeunesse, où l'ensemble de ces thèmes sera largement abordé et où la parole sera donnée à de nombreux jeunes pour nous dire, de vive voix, leurs succès d'aujourd'hui et leurs espoirs pour demain.

A. M. Bow

Amadou-Mahtar M'Bow
Directeur général de l'Unesco

Le Courrier du mois

L'EAU, qui recouvre plus de 70 pour cent de la surface du globe, est l'élément le plus abondant de la nature. Elle se trouve dans l'air que nous respirons et le sol que nous foulons. Elle emplit les océans, les fleuves et les lacs. Elle est la source et la substance de la vie : ni les végétaux, ni les animaux, ni les hommes ne peuvent s'en passer.

L'eau est le composant essentiel de la matière vivante. Elle constitue environ 65 % du corps de l'homme et 70 % de celui de l'éléphant. La teneur en eau d'une pomme de terre est de 80 % ; celle de la tomate est étonnante : 95 % !

Et cela n'est pas tout : l'eau est à la fois notre esclave et notre maître. Elle participe à la régulation du climat et, de sa force colossale, elle sculpte le paysage, balayant parfois au passage les fragiles constructions des hommes. Nous l'utilisons pour nous laver, cuire nos aliments et nous distraire. Elle nous débarasse de nos déchets, irrigue nos champs et, lorsqu'elle est puisée à certaines sources, nous accorde ses merveilleux effets thérapeutiques. L'eau est une ressource inépuisable et toujours renouvelée.

Mais ses bienfaits ne sont pas également répartis. Bien que l'eau douce salubre soit essentielle à la vie et à la santé, plus de la moitié des habitants des pays du tiers monde sont privés d'eau potable et les trois quarts d'entre eux manquent d'équipements sanitaires, alors que près de 80 % des maladies qui frappent l'homme sont liées au manque de salubrité et d'hygiène.

Voilà pourquoi l'Assemblée générale des Nations Unies a proclamé en novembre 1980 la *Décennie internationale de l'eau potable et de l'assainissement* (1981-1990), qui a pour objectif de mettre « eau salubre et assainissement adéquat à la portée de tous d'ici à 1990 ».

L'Unesco s'est penchée sur les problèmes de l'eau dès 1950, avec le lancement d'un programme de recherche sur les zones arides du globe. Aujourd'hui, le *Programme hydrologique international* (PHI) se donne pour objectifs d'élaborer les bases scientifiques d'une gestion plus rationnelle des ressources en eau et de rechercher des solutions aux problèmes hydrologiques spécifiques qui se posent dans des pays très différents par leurs conditions géographiques et leur niveau de développement technologique et économique.

Une mauvaise gestion ou l'absence de gestion des ressources en eau peuvent avoir des effets désastreux. Des projets d'irrigation mal conçus peuvent être aussi néfastes aux terres agricoles que la sécheresse ou la désertification, les deux grands fléaux qui sévissent actuellement dans de vastes régions d'Afrique. De mauvaises méthodes d'exploitation des terres, comme le surpâturage ou la déforestation, peuvent faire de l'eau un facteur primordial d'érosion. Enfin, de mauvaises pratiques industrielles peuvent transformer les cours d'eau en égouts et la pluie, ce bienfait du ciel, en un poison acide capable de tuer un lac ou d'anéantir une forêt.

Il y a autant d'eau sur la terre aujourd'hui qu'il y en a eu ou n'y en aura jamais. Il nous appartient de prendre soin de ce précieux héritage.

Notre couverture : photo © *Le Courrier de l'Unesco*

Rédacteur en Chef : Edouard Glissant

Janvier 1985

38^e année



Emblème de la *Décennie internationale de l'eau potable et de l'assainissement* (1981-1990).

4 Pour que l'eau jaillisse partout dans le monde...
par Grigori Voropaïev

7 Le cycle naturel de l'eau

8 L'érosion, maladie de la terre

10 La sécheresse en Afrique : les onze pays les plus touchés

12 Les menaces de la désertification
par Mohamed Skouri

14 Les mines d'eau fossile
par Jean Margat et Kamal Saad

17 Gérer la source de la vie
Le Programme hydrologique international de l'Unesco

21 Les pluies acides
I. Une pollution venue d'ailleurs
II. Sauver les lacs et les forêts

25 La grande soif des villes

27 Le lavage des eaux

29 Sri Lanka : une hydraulique millénaire
par Ananda Gurugé

31 Les escargots de Dongfeng
par Zhang Bihua

Mensuel publié en 29 langues par l'Unesco, Organisation des Nations Unies pour l'éducation, la science et la culture
7, place de Fontenoy, 75700 Paris.

Français
Anglais
Espagnol
Russe
Allemand
Arabe

Japonais
Italien
Hindi
Tamoul
Persan
Hébreu

Néerlandais
Portugais
Turc
Ourdou
Catalan
Malais

Coréen
Kiswahili
Croato-Serbe
Macédonien
Serbo-Croate
Slovène

Chinois
Bulgare
Grec
Cinghalais
Finnois

Une édition trimestrielle en braille est publiée en français, en anglais, en espagnol et en coréen.
ISSN 0304-3118
N° 1 - 1985 - OPI - 84 - 3 - 418 F

Pour que l'eau jaillisse



Photo Dominique Roger, Unesco

Les chutes d'Iguazú, l'une des merveilles naturelles que recèle le continent sud-américain, se trouvent sur le cours inférieur du Rio Iguazú, à l'endroit où il marque la frontière entre le Brésil et l'Argentine. Incurvées en forme de fer à cheval, elles ont 4 km de large (quatre fois plus que les chutes du Niagara en Amérique du Nord). Durant la saison des pluies, de novembre à mars, leur débit atteint 12 740 m³ par seconde. Dans la langue des Indiens guaranis, leur nom signifie « grandes eaux ».

LA Terre est une sphère recouverte d'une enveloppe humide, l'hydrosphère, qui comprend les océans, les mers et toutes les autres eaux. C'est dans les océans que la vie apparut et prit forme. Mais le mécanisme extrêmement complexe de la vie sur notre planète dépend étroitement, pour son fonctionnement, des eaux douces ou, plus exactement, de la faible fraction de celles-ci qui se renouvelle chaque année dans le cadre du cycle hydrologique : évaporation, précipitations, infiltration et écoulement.

Dans ce grand mouvement naturel, l'eau qui tombe en pluies sur les continents représente quelque 120 000 km³ d'eau, soit 1 % seulement du total des eaux de ruissellement et 0,001 % des eaux souterraines. Or, ces eaux sont précisément aujourd'hui la source essentielle de la vie sur le globe : elles humidifient la couche végétale du sol, condition indispensable pour une agriculture productive, elles entretiennent et multiplient les forêts, elles complètent les réservoirs souterrains qui fournissent de l'eau potable à près d'un cinquième de la population mondiale.

Une large part des précipitations, 40 % environ, forme le réseau hydrographique qui commande l'équilibre biologique des lacs, des mers, des océans, et influe sur l'activité économique de la planète. Les eaux fluviales, tout en fournissant des poissons comestibles, constituent un maillon important dans la chaîne biologique de certains poissons exploités par l'homme et tributaires à la fois des rivières et de la mer, comme l'esturgeon, le saumon, l'anguille, etc.

Deltas et estuaires formés par l'embouchure des fleuves, systèmes fluviaux, lacs, marais et réservoirs d'eau douce : autant d'habitats importants pour un grand nombre d'espèces animales nécessaires à nos besoins.

L'écoulement des fleuves représente environ 50 000 km³ par an, soit un peu plus de 0,5 % du total des eaux douces de la planète. Mais sa répartition géographique est inégale : la plus grande partie est située dans l'hémisphère nord ; un tiers des zones continentales les plus chaudes ont des réseaux fluviaux peu développés ou quasi inexistantes.

partout dans le monde...

par Grigori Voropaiëv



Or, la naissance des civilisations, l'essor démographique, le progrès de la production dans tous les domaines, de l'agriculture à l'industrie électronique de pointe, sont inconcevables sans eau douce. Si de nombreux pays ont connu des succès notables dans le développement des techniques de dessalement, d'épuration et de recyclage des eaux usées, la consommation d'eau fluviale ne s'en accroît pas moins d'année en année dans le monde. Depuis le début du 20^e siècle, la consommation d'eau douce a augmenté de plus de sept fois, pour atteindre actuellement près de 3 000 km³ par an. On prévoit son accroissement d'au moins 50 % dans les vingt ou trente prochaines années.

Là où le réseau fluvial est peu développé, notamment dans les zones arides, les principaux cours d'eau existants sont déjà pleinement exploités ou vont l'être dans un proche avenir pour satisfaire aux besoins de l'économie. C'est le cas, par exemple, du Nil, du Tigre, du Colorado, du Syr-Daria, du Tchou, de l'Amou-Daria, de nombreux fleuves d'Australie, d'Inde, du Mexique, d'Afrique et d'ailleurs. Dans ces régions,

l'approvisionnement en eau potable et le développement de l'irrigation posent un problème particulièrement aigu.

La répartition inégale de l'écoulement fluvial sur les divers continents pèse lourdement sur l'approvisionnement en eau. Son volume annuel par habitant s'élève à des dizaines de milliers de mètres cubes pour l'Océanie, l'Amérique du Sud et l'Amérique du Nord, mais tombe jusqu'à quelques milliers de mètres cubes seulement pour l'Europe et l'Asie. L'écart est encore plus prononcé dans les pays ou les régions où ce volume d'eau n'atteint plus que quelques centaines de mètres cubes, ce qui ne permet pratiquement pas d'approvisionner la population en eau potable ni de mettre en place une structure sanitaire moderne. Pour ces populations, le ravitaillement en eau devient une question vitale qui mobilise tous leurs efforts.

Cependant, en dépit de toutes ces graves difficultés, le problème serait plus facile à résoudre si le mécanisme naturel du cycle de l'eau restait inchangé. Malheureusement, il n'en est rien : l'activité économique de

l'homme modifie le cycle hydrologique en agissant sur le régime, les réserves et la qualité des eaux. Ainsi, le rejet dans l'atmosphère de composés sulfureux entraîne la formation de « pluies acides » qui modifient l'acidité du milieu aquatique, ont un effet nuisible sur tout ce qui vit et freinent le développement de la végétation.

L'urbanisation intensive agit à son tour sur l'évaporation et l'infiltration, modifie le régime des eaux de ruissellement et leur composition chimique, et les charge de substances polluantes souvent toxiques. Dans certaines régions, les bassins-versants des fleuves ont déjà subi des transformations considérables par suite de l'action de l'homme, processus qui se poursuit toujours.

Il s'ensuit une baisse des crues de printemps ou de celles dues aux pluies ; dès lors, la superficie des zones naturellement irriguées diminue tandis que la salinité de l'eau augmente dans les embouchures ; un grand nombre de ruisseaux et de rivières disparaissent à jamais. Conséquence de la construction des réservoirs, des écluses et des instal- ►



Le lac Baïkal, dans la partie méridionale de la Sibérie orientale, est le lac le plus profond du monde et constitue un musée vivant de faune et de flore aquatiques. Vieux de quelque 25 millions d'années, il contient près du cinquième de l'eau douce de surface de la planète. Il atteint 636 km de long pour une largeur moyenne de 48 km et couvre une superficie de 31 500 km². Il compte plus de 300 affluents. Son principal émissaire est l'Angara, qui est issu de sa rive sud-ouest (photo de gauche).

Ci-dessous, une mangrove en El Salvador. Cet écosystème forestier tropical unique en son genre, constitué de palétuviers, croît dans les estuaires et les zones littorales aux eaux saumâtres, un environnement hostile à toute autre espèce végétale. A mesure qu'il pousse, le palétuvier développe des racines aériennes qui partent de ses branches. Les mangroves étaient naguère considérées comme des terrains incultes. Aujourd'hui, leur rôle bénéfique pour le milieu naturel et leur potentiel économique sont amplement reconnus. Sous la voûte de leur

feuillage et l'enchevêtrement de leurs racines, elles offrent un refuge à une étonnante variété d'oiseaux, d'insectes et d'animaux aquatiques. L'homme en tire aussi un grand nombre de produits, notamment : bois, combustible, poissons et engrais. Avec le concours du Conseil International des unions scientifiques (CIUS), l'Unesco a lancé un programme de recherche et de formation visant à promouvoir la conservation et l'exploitation rationnelle des écosystèmes de mangroves dans différentes régions du monde.

► lations de captage, l'écoulement fluvial diminue, ses caractéristiques qualitatives sont bouleversées, et l'échange hydrologique entre la terre et la mer se trouve ralenti d'autant. Quant aux effets sur l'environnement, ils se révèlent négatifs, en particulier pour l'hygrométrie et la température de l'air.

Si, comme un certain nombre de données scientifiques le donnent actuellement à penser, le climat du globe est en train de changer, l'équilibre thermique et aquatique des continents et leurs ressources en eau connaîtront d'importants changements.

De grands efforts ont été déployés ces dernières années pour améliorer l'approvisionnement en eau douce de la population et des industries. Outre les progrès accomplis dans les techniques de dessalement de l'eau de mer, on a conçu divers projets pour pallier le manque d'eau dont souffrent certaines régions : transport d'icebergs, plus grande utilisation des glaciers, transfert d'eau par bateaux-citernes et par aqueducs sur de très longues distances, etc.

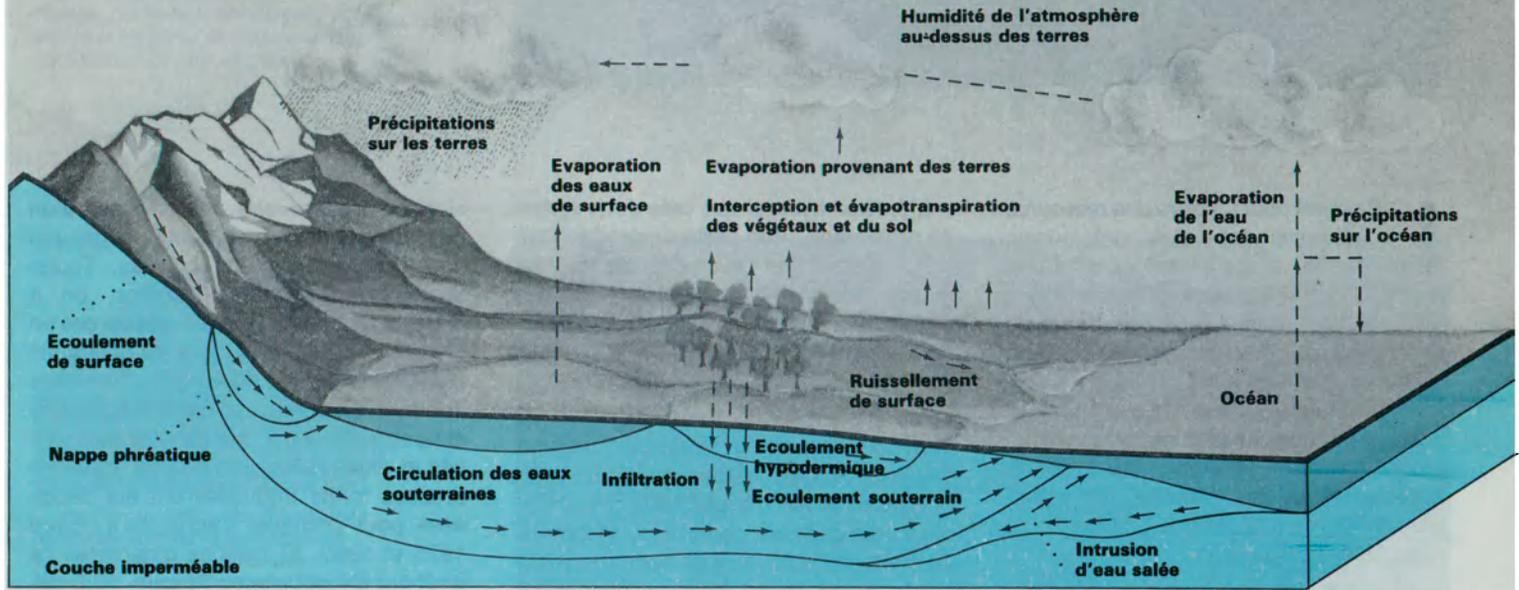
Les succès déjà obtenus autorisent un certain optimisme. Mais pour parvenir à résoudre enfin ces problèmes régionaux d'approvisionnement, il faudra utiliser souvent de très gros moyens, ce qui aura, en dernier recours, des répercussions inévitables sur la répartition géographique de la population et des industries.

Nous vivons à une époque où les progrès accomplis dans les diverses sciences de la Terre sont tels que nous pouvons prévoir l'évolution de l'environnement et donc définir, sur cette base, une stratégie rigoureuse de l'utilisation des ressources naturelles et planifier, notamment, la gestion du régime et des ressources en eau en agissant à bon escient sur les processus naturels. Il faut que les savants du monde entier unissent leurs efforts pour que l'eau jaillisse partout dans le monde. ■

GRIGORI VOROPAIEV, d'Union soviétique, est un membre correspondant de l'Académie des sciences de l'URSS, dont il dirige l'Institut d'hydrologie. Il appartient également au Comité national de son pays pour le Programme hydrologique international de l'Unesco et a consacré quelque 170 ouvrages aux problèmes de l'eau, notamment une monographie intitulée Principes physiques et géographiques de l'approvisionnement en eau dans l'agriculture.



Le cycle naturel de l'eau



Dessin Le Courrier de l'Unesco

CE n'est pas sans raison que notre planète est considérée comme la planète de l'eau. Sans l'omniprésence de cet élément sur la Terre, aucune des formes de vie que nous lui connaissons n'aurait pu exister. Quelques organismes très simples peuvent subsister sans air, mais aucun ne peut se passer d'eau.

Si elle ne se trouvait pas à 150 millions de km de distance du Soleil, notre planète ne pourrait pas renfermer de l'eau à l'état gazeux, liquide et solide. On a calculé qu'à moins de 134 millions de km du Soleil, l'eau entrerait en ébullition et s'évaporerait dans l'atmosphère. Par contre, à plus de 166 millions de km du Soleil, l'ère glaciaire se serait prolongée indéfiniment.

Les choses sont donc telles que nous les connaissons parce que le globe de feu thermonucléaire de notre système solaire se trouve où il est. Le Soleil se situe à l'exacte distance qui permet au cycle de l'eau (ou au cycle hydrologique, pour employer l'expression des hommes de science) de se renouveler continuellement.

Le Soleil prélève de l'eau à la surface des océans, ainsi que des lacs d'eau douce, des réservoirs et des cours d'eau. L'atmosphère recueille également d'importantes quantités d'eau par le processus de la transpiration végétale.

Toutes ces masses d'eau, qui restent invisibles à moins que la température ambiante ne les amène à se condenser en nuages, se déplacent au-dessus des terres et des océans. Lorsqu'elles sont soulevées par des plissements montagneux, ou entrent en contact avec des masses d'air plus froid, les molécules d'eau grossissent par coalescence et, ne pouvant plus être soutenues par l'air, tombent sous forme de pluie, de grêle ou de neige.

L'eau qui tombe sur un sol relativement imperméable ruisselle en surface et forme de petits cours d'eau. Mais, si le sol est assez poreux et la couverture végétale qui amortit sa chute assez dense, elle aura plutôt tendance à s'infiltrer dans le sol.

Lorsque l'eau pénètre dans le sol, les mouvements qui l'animent s'atténuent sensiblement. Dans des sols denses ou calcaires, ces mouvements peuvent pratiquement cesser, auquel cas l'eau mettra des centaines d'années à atteindre ce qu'on appelle la nappe phréatique, c'est-à-dire la région du sous-sol qui est saturée d'eau.

Il est à noter que la couche de sol qui surmonte la nappe phréatique, la zone non saturée, est vitale pour la végétation. Sans cette zone qui contient un peu d'eau en même temps que de l'oxygène, la plupart des plantes ne pourraient pas subsister.

L'eau qui atteint la couche phréatique n'échappe pas définitivement au cycle hydrologique planétaire. Même très lentement, elle migre vers les océans. Elle pourra rejoindre un lac et remonter en surface, comme elle pourra réaffleurer sous forme de source et s'unir au mouvement d'un cours d'eau superficiel. Lorsqu'à l'embouchure des fleuves, elle atteint la mer et se mélange aux eaux marines, on peut dire que le cycle hydrologique est complet.

En réalité, ce cycle se renouvelle sans cesse. Les quantités d'eau dont dispose la planète depuis l'origine n'ont essentiellement pas varié. Les molécules d'eau qui emplissaient le bain d'Archimède sont toujours présentes, dans un océan, un lac, un cours d'eau ou une nappe souterraine quelconques.

Le volume total de l'eau qui s'évapore des océans tous les ans est estimé à environ 505 000 km³, dont 458 000 km³ ne nous sont d'aucune utilité puisqu'ils sont directement restitués aux océans. Seuls 47 000 km³ sont poussés suffisamment loin pour retomber sur les continents. C'est là le volume d'eau dont nous disposons pour nos multiples besoins domestiques, agricoles et industriels. En réalité, le volume total des précipitations annuelles sur les terres est bien supérieur : il est de l'ordre de 119 000 km³, les 72 000 km³ restants étant retenus en permanence par l'atmosphère, le sol et les végétaux dans un cycle ininterrompu d'évaporation des eaux terrestres et marines, de transpiration végétale et de précipitations atmosphériques. L'excédent de 47 000 km³ prélevé sur l'évaporation des océans est restitué à ceux-ci par les réseaux hydrographiques et souterrains. ■

Le présent article et ceux qui figurent aux pages 25 et 27 ont été tirés d'une brochure publiée par l'Unesco dans le cadre du Programme hydrologique international et intitulée Water and the City (L'eau et la ville - en anglais seulement). Cet ouvrage a été rédigé par le Professeur Gunnar Lindh, qui enseigne l'hydrologie appliquée à l'Institut de technologie de l'Université de Lund, en Suède.

L'ÉROSION

maladie de la terre

LE sol est pour un pays une ressource naturelle des plus précieuses, décrite à juste titre comme « le maillon intermédiaire entre l'inanimé et le vivant ». Il est constitué par des roches de fond dégradées et décomposées, de l'eau et de l'air, des matières organiques provenant de substances végétales et animales putréfiées et des milliers de formes biologiques, essentiellement des micro-organismes et des insectes. Ils jouent tous un rôle dans le maintien de l'écologie complexe d'un sol sain.

Bien que l'érosion du sol se produise naturellement, le processus est lent. L'homme a multiplié par deux fois et demie le taux d'érosion naturelle et détruit au cours des siècles quelque 2 milliards d'hectares de terre. Tout prouve que les civilisations anciennes de la Méditerranée et de l'Amérique centrale se sont effondrées par suite de l'érosion des sols due à l'abattage des forêts sur les pentes abruptes ainsi qu'à d'autres pratiques destructrices.

Il y a érosion du sol essentiellement lorsque la terre est exposée à l'action du vent et de la pluie. Sans la protection d'un couvert végétal et l'action stabilisatrice des racines, chaque goutte de pluie frappe le sol nu avec la force d'une balle. Des particules se détachent, sont emportées le long de la pente, atterrissent dans la vallée en contrebas ou s'engouffrent dans la mer, portées par les cours d'eau.

L'érosion hydraulique est la forme d'érosion la plus répandue. Elle cause des dégâts massifs dans pratiquement tous les pays en développement. Elle sévit là où des terres escarpées sont imprudemment cultivées et où des terres légèrement en pente sont laissées exposées aux effets de fortes pluies pendant un certain temps. Au niveau mondial, environ 25 milliards de tonnes de terre sont emportées chaque année — échouant dans les fleuves, puis dans les océans. Selon les estimations de l'étude FAO/PNU, 11,6 pour cent de l'Afrique au nord de l'équateur et 17,1 pour cent du Proche-Orient sont soumis à l'érosion hydraulique. Il en est de même de 90 millions d'hectares en Inde, dont la superficie totale est de 297 millions d'hectares.

L'érosion hydraulique crée deux sortes de problèmes : une perte de productivité agricole sur le site ; et un déplacement en aval des sédiments, d'où des inondations, une moindre navigabilité des fleuves et l'envasement des bassins de retenue.

Si de fortes chutes de pluie, une sécheresse prolongée ou des vents violents peuvent être la cause directe de l'érosion des sols, ils ne constituent cependant pas le vrai problème. Un relief peut rester stable même dans ces conditions, qu'il soit à l'état naturel ou cultivé rationnellement. Il y a érosion lorsque l'on a recours à des pratiques agricoles qui ne tiennent pas compte de la facilité avec laquelle la terre est emportée par l'eau ou par le vent.

Par exemple, ces dernières décennies, la surcharge et le surpâturage ont causé des dégâts énormes sur une grande partie des terres d'Afrique et d'Asie. Dans les régions arides, le sol est tassé autour des points d'eau, la végétation s'appauvrit et meurt, et l'érosion s'installe. Trop souvent la terre se transforme en désert, aboutissement de l'érosion et de la dégradation du sol. Si l'érosion est la maladie de la terre, la désertification est sa mort. Aujourd'hui, la désertification menace environ 3,2 milliards d'hectares, mettant en jeu les moyens de subsistance des 700 millions de personnes qui en sont tributaires.

Environ 30 pour cent des terres cultivables du monde sont encore utilisés pour des cultures itinérantes en Afrique, Asie et Amérique latine. Cette technique est pratiquée par plus de 30 millions de personnes dans la seule Afrique. Autrefois, cette utilisation de la terre servait à préserver la fertilité dans la mesure où elle permettait une longue période de jachère au cours de laquelle le sol retrouvait son niveau de fertilité. Aujourd'hui, sous l'effet de la pression démographique et des efforts pour améliorer les rendements, la période de jachère est pratiquement nulle. Dans ces conditions, les sols forestiers perdent rapidement leur fertilité et commencent à s'éroder, surtout parce qu'ils sont surexploités.

Presque toujours, c'est la terre dénudée qui s'érode, tandis que la terre portant un couvert végétal est stable. L'éro-

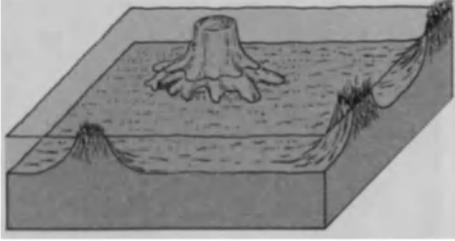
sion commence souvent en haut d'un bassin versant, sur les pentes raides qui sont traditionnellement boisées. Toutefois, ces dernières décennies, on a exploité de plus en plus les ressources en bois de feu. Les ruraux ont été contraints d'aller chercher de plus en plus loin leurs approvisionnements en combustible et de couper du bois sur des terrains plus élevés et plus raides. Par ailleurs, de nombreuses forêts tropicales ont été déboisées pour pratiquer l'agriculture. Entre 1975 et 1980, 37 millions d'hectares de forêt ont été détruits en Afrique, 12,2 millions en Asie et 18,4 millions en Amérique centrale et du Sud.

Dans certains pays, un déficit de plus en plus grand de la balance des paiements a contraint les gouvernements à pratiquer de plus en plus des cultures de rente. S'il n'y a plus de terres arables disponibles, les nouvelles cultures doivent être plantées sur des terres marginales, qui étaient autrefois des pâturages et qui sont labourées pour la première fois. Il peut arriver que la mince couche de terre disparaisse dès les premières grosses pluies si la surface du champ est encore à découvert. Il y a quelques années, au cours d'une tempête de courte durée survenue en République-Unie de Tanzanie, des chercheurs se sont aperçus qu'un champ qu'ils étudiaient avait perdu en quelques heures 5 centimètres de couche superficielle sur toute sa surface ; des ruisselets s'étaient creusés sur 15 centimètres de profondeur.

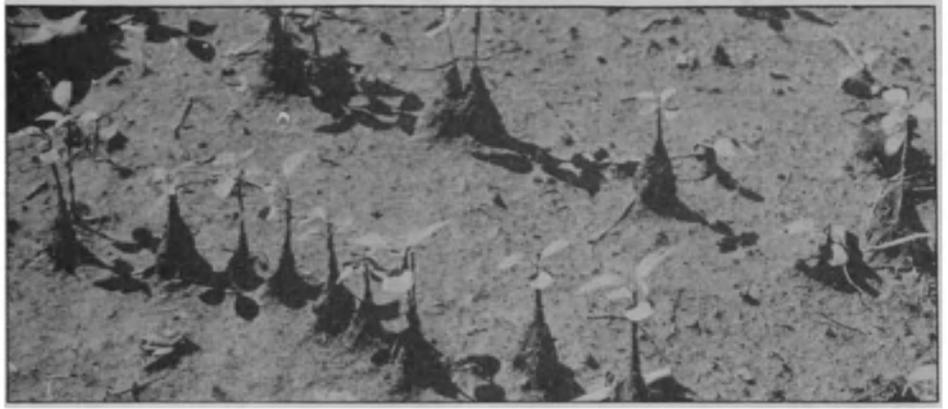
Les problèmes de la conservation des sols sont étroitement liés à ceux du développement et de la pauvreté en milieu rural. Un agriculteur qui doit lutter pour produire ne serait-ce que suffisamment d'aliments pour nourrir sa famille ne peut passer des semaines ou des mois à aménager ses terres en terrasses ou à apprendre de nouvelles techniques agricoles. Il s'ensuit qu'un développement rural réussi est un préalable indispensable pour maîtriser l'érosion des sols. ■

Texte, dessins et photos adaptés de la revue Protéger et produire : conservation des sols en vue du développement, une publication de l'Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO).

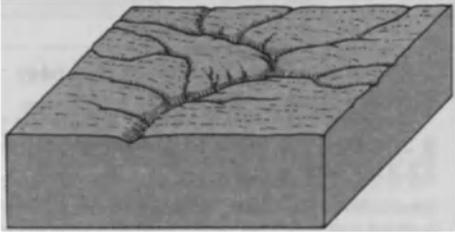
L'érosion en nappe...



... est l'érosion plus ou moins uniforme de la superficie d'un champ. Les racines des plantes, des arbres et les pieux de clôture se déchaussent de plus en plus.



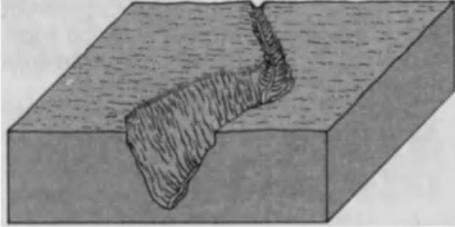
L'érosion par rigoles...



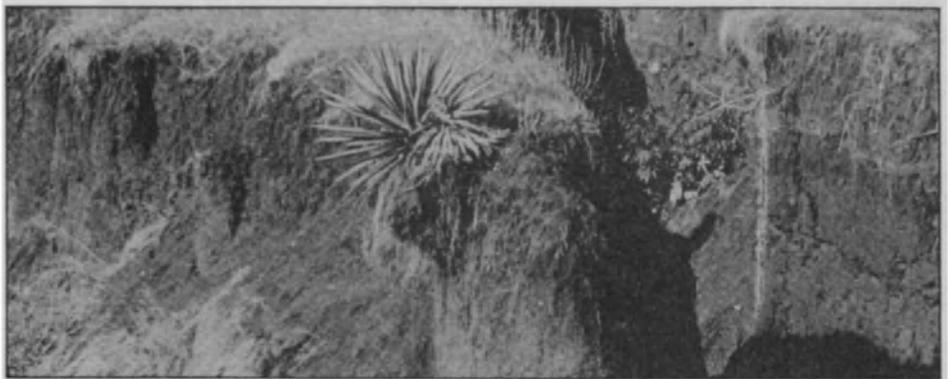
... est l'accentuation des dépressions naturelles dues au ruissellement en surface. Les façons culturales masquent souvent les dégâts, mais une partie du sol est perdue.



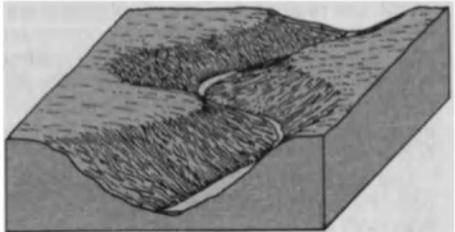
L'érosion par ravines...



... cause de profondes fissures dans des terres qui seraient cultivables. Les ravines creusent peu à peu la colline.



L'érosion des berges...



... transforme des cours d'eau profonds à courant rapide en rivières sinueuses bordées de grandes berges boueuses. Cela peut entraîner de graves pertes de terre cultivable.



La sécheresse en Afrique :

les onze pays les plus touchés



Photo T. Page, PAM

Ghana

Provinces les plus fortement touchées : les régions du Nord et du Haut Ghana.

Près d'atteindre une autosuffisance en matière de production de céréales il y a une dizaine d'années, le Ghana fait face aujourd'hui à une crise économique et financière très sérieuse, aggravée par une sécheresse prolongée.

La nette détérioration de la production agricole, associée au manque de moyens de transport et de carburant, à la médiocrité du réseau routier, à l'absence de moyens de stockage et à la réduction du pouvoir d'achat, a eu un effet immédiat sur l'état nutritionnel des mères et des enfants.

Le taux de mortalité infantile qui avait amorcé une baisse régulière remonte dans l'ensemble du pays, et plus particulièrement dans le nord.

La pénurie alimentaire est particulièrement dramatique dans le nord du Ghana où de sérieux problèmes de logistique devront être résolus afin de faciliter la distribution de denrées.

Burkina Faso

Régions les plus fortement touchées : le nord du pays (région du Sahel).

Le Burkina Faso (l'ancienne Haute-Volta), cinquième pays le plus pauvre du monde, avec un des taux de mortalité infantile les plus élevés, est gravement touché par la sécheresse et la désertification depuis 1968. La pluviosité la plus faible jamais observée en l'espace de trente ans a été enregistrée en 1981, année où environ un tiers du bétail a été décimé. En 1983, la sécheresse a été telle qu'elle a causé la perte complète de la récolte de la partie nord du pays.

Dans un pays où l'état sanitaire et nutritionnel des enfants et des mères est déjà très médiocre en temps normal, la sécheresse qui sévit actuellement rend ce groupe d'autant plus vulnérable aux maladies transmissibles et parasitaires que la malnutrition augmente.

Les importations annuelles et sur une grande échelle de denrées alimentaires de base, qui sont devenues une composante de la lutte du pays pour sa survie, ont été à nouveau nécessaires en 1984, ainsi que des importations de graines pour les prochaines semences.

Niger

Provinces les plus fortement touchées : Zinder et Diffa.

Nombre de personnes touchées : 23 800.

Le Niger, sur lequel pèse une lourde dette extérieure, subit comme d'autres pays du Sahel les conséquences d'une pluviosité incertaine. Au cours des années 1983 et 1984, certains groupes de population ont été sérieusement touchés par une sécheresse persistante, en particulier aux alentours de Zinder et de Diffa, dans le sud-est du pays.

Dans d'autres régions du Niger, les récoltes ont été plus ou moins bonnes. Cependant, malgré l'existence de réserves alimentaires, de nombreux ménages des zones rurales et périurbaines ne disposent pas d'un pouvoir d'achat suffisant pour acheter des denrées alimentaires.

Angola

Provinces les plus fortement touchées : provinces du Centre et du Sud.

Nombre de personnes touchées et/ou déplacées : 1 000 000.

La sécheresse a débuté en 1980/1982 dans les provinces du Centre et du Sud où plus de 260 000 personnes ont été touchées, dont près de 80 pour cent sont des femmes et des enfants. Une succession de saisons sèches a considérablement réduit la production alimentaire, et la baisse des prix du pétrole, du café et du diamant sur le marché mondial a également considérablement diminué les recettes d'exportation à un moment où le pays a besoin d'importer des produits alimentaires en grandes quantités.

Venant s'ajouter à la détérioration de la situation économique, le conflit politique et militaire a eu pour effet de déplacer et de toucher un nombre encore plus grand de personnes. Les fortes chutes de pluie des mois de février et de mars 1984 ont eu des effets désastreux sur l'état des routes, l'habitat et l'assainissement. Elles ont d'autre part été catastrophiques pour les récoltes, balayant les graines et les jeunes plants dans des torrents d'eau.

Aujourd'hui, un tiers des enfants angolais meurent avant d'avoir atteint l'âge de cinq ans.

Ethiopie

Régions les plus fortement touchées : Wollo, Gondar, Erythrée et Tigré.

Nombre de personnes touchées : 5 200 000 sur une population totale de 32 395 000.

Le pourcentage des enfants de moins de quinze ans touchés par la situation varie de 37 à 68 pour cent selon les régions. Environ 2 200 000 personnes déplacées ont besoin d'aide. Plusieurs régions ont été privées de pluies pendant trois récoltes consécutives. Les régions les plus atteintes se situent toutes au nord de l'Ethiopie.

D'autres régions connaissent également de sérieuses pénuries alimentaires. Environ 52 950 personnes dans la région de Bale, 278 830 dans la région de Hararghe, et 35 250 dans la région de Gojjam ont besoin d'une assistance immédiate. Il est probable que 122 000 personnes de la région de Soha, 2 530 de celle de Arussi, et 79 880 de celle de Gemu-Goffa auront également besoin d'une aide. Et dans la région administrative de Sidamo, 165 040 nomades sont dans une situation désespérée.

De plus, environ 221 610 personnes déplacées dans les régions de Gondar, de Hararghe, de Bale et de Sidamo ont besoin d'une assistance immédiate.

Mozambique

Régions les plus fortement touchées : Gaza, Inhambane, Maputo, Tete, Zambeze, Sofala, Manica.

Nombre de personnes touchées : 4 700 000

Le Mozambique subit une grave sécheresse depuis quatre années consécutives et la situation a même empiré en 1982 et en 1983. Les régions de Gaza, d'Inhambane et de Maputo sont considérées comme les plus durement touchées. La FAO estime que 4,7 millions de personnes (principalement dans les zones rurales) sont touchées, et que parmi elles 1,8 million le sont de façon alarmante dans les provinces du sud.

Les besoins en importations de céréales pour l'ensemble du pays sont évalués à 600 000 tonnes, tandis qu'en temps normal ils n'étaient que de 300 000 tonnes.



Photo Maggie Murray-Lee, UNICEF

Tchad

Provinces les plus fortement touchées : Kanem, Biltine, Batha.

Nombre de personnes déplacées et touchées ayant besoin de secours d'urgence, selon les régions : Kanem, 200 000 ; Bitine, 50 000 ; Batha, 50 000. La majorité sont des femmes et des enfants.

Dix-sept ans de conflits intérieurs, dix années de sécheresse, un manque de structures administratives appropriées et un réseau intérieur de communications très précaire ont conduit le Tchad à une situation catastrophique.

La survie du Tchad dépend entièrement aujourd'hui de l'aide alimentaire internationale et le Comité inter-Etats de lutte contre la sécheresse dans le Sahel (CILSS) estime que le déficit alimentaire structurel du pays est de l'ordre de 15 000 tonnes par an. De son côté, le Ministère des calamités naturelles évalue le déficit alimentaire net à 107 557 tonnes pour 1983/1984.

Les plus grandes victimes sont les femmes et les enfants qui souffrent de malnutrition grave et de maladies dues à des carences nutritionnelles et au manque d'eau potable (gale, paludisme, rougeole, infections intestinales, tuberculose).

Zimbabwe

Régions les plus fortement touchées : les huit provinces (aux lisières du pays plutôt qu'au centre).

Selon les estimations du gouvernement, 464 200 enfants souffrent de malnutrition et seulement 244 400 d'entre eux bénéficient d'une assistance.

Le Zimbabwe subit une troisième année de sécheresse qui est, de mémoire d'homme, la pire qu'il ait connue. Aucun surplus de denrées alimentaires n'est actuellement disponible et la prochaine récolte n'apportera probablement aucune amélioration de la situation. Selon les estimations, le déficit en maïs pour les quinze prochains mois (entièrement dû à la sécheresse) sera de 838 000 tonnes.

L'état de santé des groupes les plus vulnérables est souvent extrêmement grave.

Les secours, coordonnés par le gouvernement, comprennent des distributions de rations alimentaires de base et des programmes d'alimentation complémentaire.



Photo Jacques Danois, UNICEF

Mali

Provinces les plus fortement touchées : toute la zone sahélienne du pays (régions de Gao et de Tombouctou).

Nombre de personnes touchées : 2 500 000 dont 1 100 000 enfants de moins de quinze ans et 500 000 de moins de cinq ans. Ces chiffres ne tiennent pas compte des migrants en provenance des pays voisins, dont le nombre est difficile à évaluer.

La zone sahélienne du Mali, qui couvre les deux tiers du pays, est frappée depuis 1969 d'une sécheresse chronique. La grave sécheresse de la période 1968-1974, qui a atteint sa plus forte intensité en 1973, a dangereusement amenuisé les troupeaux. La situation s'est légèrement améliorée entre 1976 et 1978, mais la réapparition depuis 1980 de graves conditions de sécheresse a de nouveau provoqué une chute de la production alimentaire et une réduction du cheptel.

La situation a empiré en 1983. Dans l'ensemble du pays, la pluviosité a été la plus faible et le niveau des cours d'eau le plus bas qu'on ait jamais observés au cours du siècle, et la plupart des lacs sont à sec.

De nombreux points d'eau autour desquels se sont concentrées les populations sédentaires et nomades ne sont pas équipés pour accueillir un si grand nombre de personnes et constituent aujourd'hui un terrain favorable à la propagation des maladies et des épidémies. Les enfants en particulier se trouvent placés en situation de haut risque, d'autant plus que les zones fortement touchées par la sécheresse sont nettement sous-équipées aux niveaux social et sanitaire.

Il est à craindre que le taux de mortalité catastrophique de 1973 (90 % des enfants âgés de moins de cinq ans sont morts dans les camps provisoires) ne soit à nouveau atteint si aucune mesure d'urgence n'est prise pour relever les conditions de santé et de nutrition.

Texte adapté de Forum d'idées, de l'UNICEF. Au moment où nous mettons sous presse, on avance, pour le nombre des personnes touchées, de nouveaux chiffres, encore plus élevés. Ainsi, selon certaines sources, ce nombre atteindrait, dans le cas de l'Éthiopie, 7 millions.



Photo Norbert Engel, UNICEF

Sénégal

Provinces les plus fortement touchées : la région du fleuve, le nord et les régions de Louga et de Linguère.

Nombre de personnes touchées : 1 100 000 dont 500 000 appartiennent au groupe le plus vulnérable (enfants, femmes enceintes et mères allaitantes).

Le Sénégal est victime depuis quinze années consécutives — et plus spécialement depuis sept ans — d'une grave sécheresse qui a durement touché la population et l'économie intérieure. La sécheresse fait migrer paysans et nomades vers les villes, qui ne sont aucunement en mesure de les accueillir.

La saison des pluies de 1983 a été marquée par une nette chute de la pluviométrie et en 1983/1984, la récolte disponible pour la consommation intérieure a été évaluée à la moitié de la récolte annuelle normale. Le déficit céréalier, à lui seul, est d'environ 370 000 tonnes.

Mauritanie

Provinces les plus fortement touchées : neuf régions sur un total de douze.

La sécheresse qui sévit depuis plus de dix ans s'est particulièrement aggravée en 1983. Dans certaines localités, la pluviosité a chuté à un niveau jamais observé au cours des soixante-dix dernières années.

Le fleuve Sénégal n'a atteint que dix pour cent de son débit habituel durant la saison des pluies et, du fait qu'il n'a pas débordé sur ses rives, les cultures de décrue ont été nulles et les pertes en pâturages et en têtes de bétail d'une ampleur exceptionnelle.

La vente massive de bétail, cédé à bas prix, laisse prévoir des difficultés au niveau de l'approvisionnement en lait et en viande.

La production céréalière actuelle est évaluée à 15 000 tonnes (comparée à 61 000 tonnes en 1981/1982) et ne représente que six pour cent des besoins de consommation.

Des cas de malnutrition avancée ont déjà été observés dans certaines zones, dont de nombreux cas d'avitaminose et spécialement de scorbut et d'anémie. ■

Les menaces de la désertification

par Mohamed Skouri



LES zones situées en bordure du Sahara accusent depuis une vingtaine d'années des perturbations profondes qui bouleversent les données du problème de la désertification. En effet, outre la persistance de la sécheresse, ces zones ont connu des modifications écologiques et socio-économiques importantes qui ont accentué l'acuité de ce problème.

Si, sur le plan scientifique, des grands progrès ont été enregistrés en ce qui concerne la connaissance des milieux prédésertiques, il reste beaucoup à faire, sur le plan pratique, pour mettre au point des solutions adaptées aux conditions écologiques et socio-économiques de ces milieux.

Ainsi l'effort de recherche doit viser non seulement à approfondir les connaissances et à améliorer les méthodes d'exploitation des ressources naturelles, mais aussi et surtout à mieux tenir compte de la dynamique de ces ressources en relation avec l'évolution des moyens technologiques et en rapport avec la transformation des conditions socio-économiques.

C'est justement pour répondre à de telles préoccupations que l'Unesco a lancé son grand programme international sur l'homme et la biosphère (MAB). Ce programme, qui a effectivement démarré au début des années 70, vise à promouvoir une nouvelle approche de la recherche sur les milieux naturels en axant celle-ci sur l'étude de l'impact qu'ont les activités humaines sur les ressources naturelles et en cherchant à définir les conditions optimales d'utilisation de ces ressources. Outre l'approfondissement des approches méthodologiques, ce programme a contribué à favoriser le lancement de projets pilotes regroupant des activités de recherche, de formation et de démonstration et associant étroitement les populations concernées, les chercheurs, les vulgarisateurs et les décideurs.

Dans le cadre de la préparation d'une conférence spéciale d'évaluation d'ensemble des progrès réalisés dans la mise en œuvre du Plan d'action de lutte contre la désertification, qui s'est tenue à Nairobi en avril-mai 1984, l'Unesco fut chargée d'entreprendre la mise à jour de trois études de cas intéressantes respectivement le Chili, le Niger et la Tunisie, qui avaient été préparées à l'origine pour la *Conférence des Nations Unies sur la désertification* de 1977.

L'étude du Niger offre un exemple de la façon dont le MAB travaille.

La mise à jour de l'étude de cas montre que, parmi les deux causes principales de la désertification, qui sont la persistance de la sécheresse, d'une part, et l'accroissement de la pression humaine et animale, d'autre part, l'une ou l'autre a pu être prépondérante. Mais le fait qu'il existe des exemples de dégradation grave dans des régions peu habitées démontre que le responsable *initial* du

Chaque année, 21 millions d'hectares de terres autrefois productives sont perdus pour l'agriculture et 6 millions d'hectares de plus sont transformés en déserts. Cicontre, le village abandonné de Douz, en Tunisie, a été presque entièrement enseveli sous le sable par l'avancée des dunes.



processus est le déficit pluviométrique. Il est probable qu'en 1970, si la pression humaine et animale sur le milieu naturel avait été moins forte, les effets de la sécheresse n'auraient été ni aussi rapides ni aussi spectaculaires, mais auraient existé de façon plus localisée.

En 1983, malgré une remontée de la pluviométrie depuis 1977, la végétation n'est pas encore revenue à son niveau (quantitatif et qualitatif) d'avant la sécheresse : sans doute, d'une part, parce que ces « bonnes années » ont bénéficié de pluies ni assez abondantes ni assez bien réparties pour rattraper le lourd handicap de la longue série des déficits antérieurs et, d'autre part, parce que la pression humaine et animale en zone pastorale s'est accrue plus rapidement que la régénération. En début de crise, dans les années 70, l'allègement de la charge pastorale s'est réalisé par des départs, mais, surtout à son terme, par la mort des animaux ayant épuisé toutes les ressources fourragères. Après la sécheresse exceptionnelle, le retour des bovins peul, la politique de reconstitution du cheptel et la rapide croissance du petit bétail ont permis une reconstitution rapide du cheptel, même s'il n'a pas encore retrouvé son niveau antérieur.

La responsabilité de l'homme est donc incontestable. Elle n'en reste pas moins ponctuelle, car la destruction de la végétation par prélèvement direct, par brouillage ou piétinement des troupeaux, voire par feux de brousse, n'a jamais touché la totalité des milieux comme l'a fait l'altération climatique. Sans l'homme, ses troupeaux ou ses cultures, le déficit pluviométrique aurait eu des effets à peu près identiques, hors les points de forte concentra-

Attiré par l'odeur de l'eau, un troupeau de chèvres force vers un point d'eau en pléinant un sol fortement érodé par la surcharge pastorale, au Kenya.

tion. Ce n'est pas au surpâturage qu'on doit attribuer la spectaculaire régression de l'arbuste *Commiphora africana*, mais à la sécheresse prolongée et au vent. En revanche, la surexploitation des forêts pour le bois de feu est, elle, bien indépendante de la variabilité climatique.

Maintenant, le plus préoccupant pour l'avenir reste les effets de la régression du couvert végétal, que le climat ou l'homme en soit la cause. En effet, insuffisamment couvert, le sol se trouve livré aux excès du soleil, de l'eau et du vent. L'absence de matière végétale empêche la formation d'humus et risque de provoquer des réactions en chaîne qui ne laisseraient que bien peu de chances d'une véritable « récupération » du milieu biologique.

La diminution de la biomasse végétale et la contraction des formations qui l'accompagnent ont pour effet de mettre le sol à nu et de réduire les obstacles opposés aux vents. Les surfaces dénudées ont pris une grande importance et, avec elles, l'abrasion par le vent touche des espaces accrus, qu'à son tour la végétation a de plus en plus de mal à reconquérir. Les vents violents et chargés de sable, maintenant fréquents, ne sont-ils pas le signe de l'aggravation des processus de dégradation du milieu ?

En définitive, à la question : « La désertification a-t-elle progressé ou régressé dans le nord-ouest du Niger depuis 1977 ? », il est bien difficile de répondre

catégoriquement pour l'ensemble du pays. En effet, selon le secteur ou l'élément considéré, on peut répondre en sens opposé. La couverture végétale sahéenne est en perpétuelle transformation et, pour compliquer l'observation, bien souvent, l'évolution de la strate herbacée ne se fait pas au même rythme que celle de la strate ligneuse ; ou bien, celle qui se produit sur les sols sableux n'a pas le même sens que celle des sols argileux... En présence de ces modifications non synchrones, il est bien délicat de formuler un jugement sur le bilan global de l'évolution en 1983. Par contre, sur ses causes, il semble que l'unanimité se soit faite comme nous l'avons exposé ci-dessus et c'est ce qui permet de bâtir une stratégie sur des bases solides.

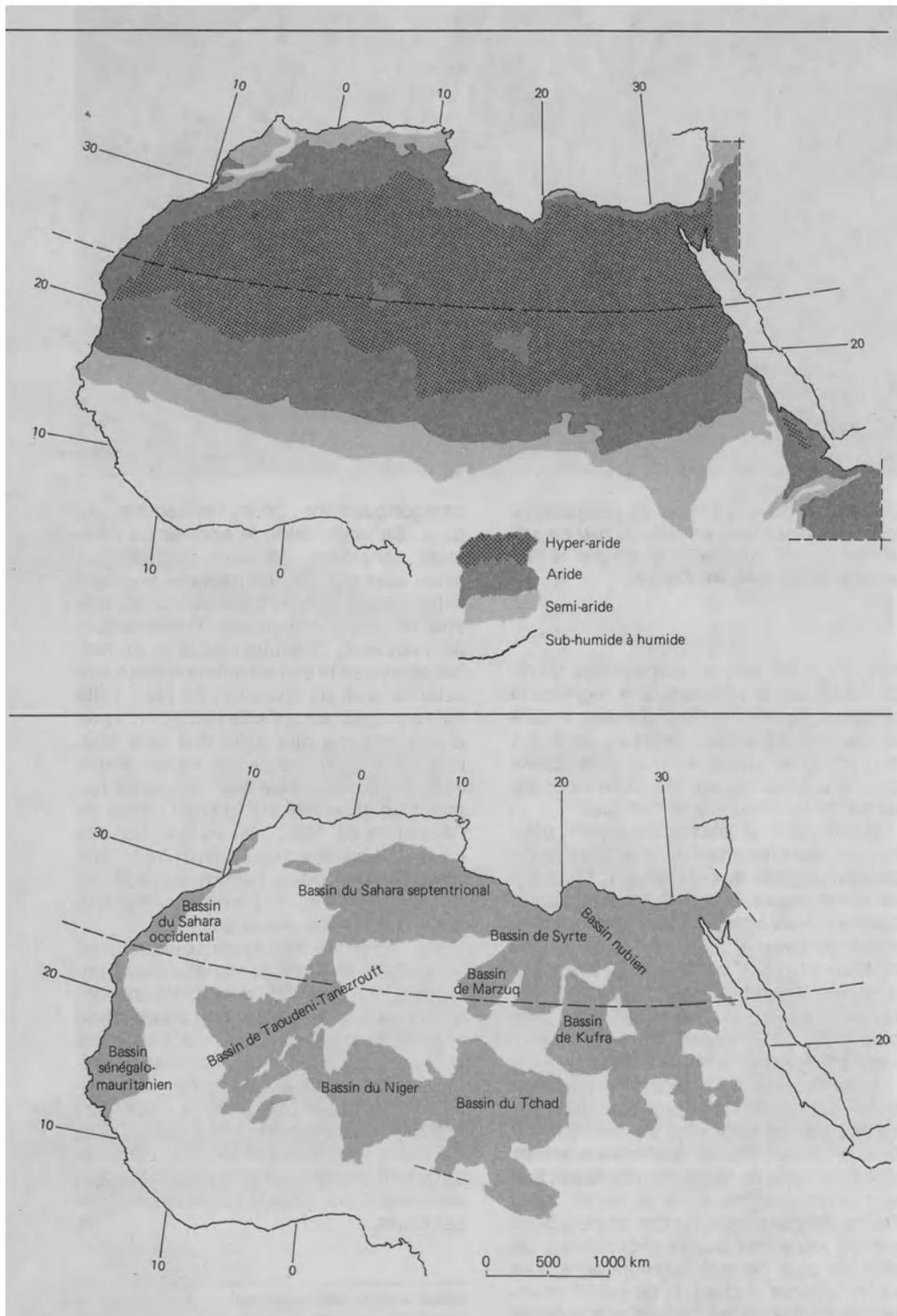
L'étude relative au Niger souligne bien le fait que les formations naturelles conservent, malgré des conditions climatiques peu favorables, un bon potentiel de régénération qui peut être valorisé, dans la mesure où la pression humaine et animale est maintenue à un niveau compatible avec la capacité de charge de ces formations. La surface couverte par l'étude, qui est de l'ordre de 70 000 km², est suffisamment grande pour être assez représentative d'une grande partie des milieux sahéens. ■

MOHAMED SKOURI est un spécialiste du programme à la Division des sciences écologiques de l'Unesco. Ingénieur agronome, il est spécialisé dans l'étude des zones arides.

Le présent article est extrait d'une étude parue dans la revue de l'Unesco consacrée à l'environnement, Nature et ressources, Volume XX, N° 1, janvier-mars 1984.

Les mines d'eau fossile

par Jean Margat et Kamal Saad



D'après la Carte de la répartition mondiale des régions arides, Unesco, 1977.

En haut, zones d'aridité en Afrique septentrionale. En bas, principaux bassins sédimentaires à aquifères profonds.

DES réserves d'eau souterraines considérables sont restées cachées pendant des millénaires dans les immenses aquifères (couches de roches perméables contenant de l'eau) que recèlent les grands bassins sédimentaires de tous les continents.

On a reconnu et commencé à exploiter ces nappes profondes pour la plupart au cours du 19^e siècle, mais, dans certains pays, cette exploitation n'a pris vraiment son essor que depuis quelques décennies.

Lorsqu'ils se situent en zone aride, ces réservoirs prennent bien évidemment une importance primordiale, car ils y offrent souvent la seule source permanente d'approvisionnement en eau. Fort heureusement, de tels réservoirs existent dans le sous-sol de plusieurs pays de la zone aride : c'est le cas, notamment, de l'immense étendue désertique qui, de l'océan Atlantique au Golfe, occupe le nord du continent africain (Sahara) et la péninsule arabique (voir la carte).

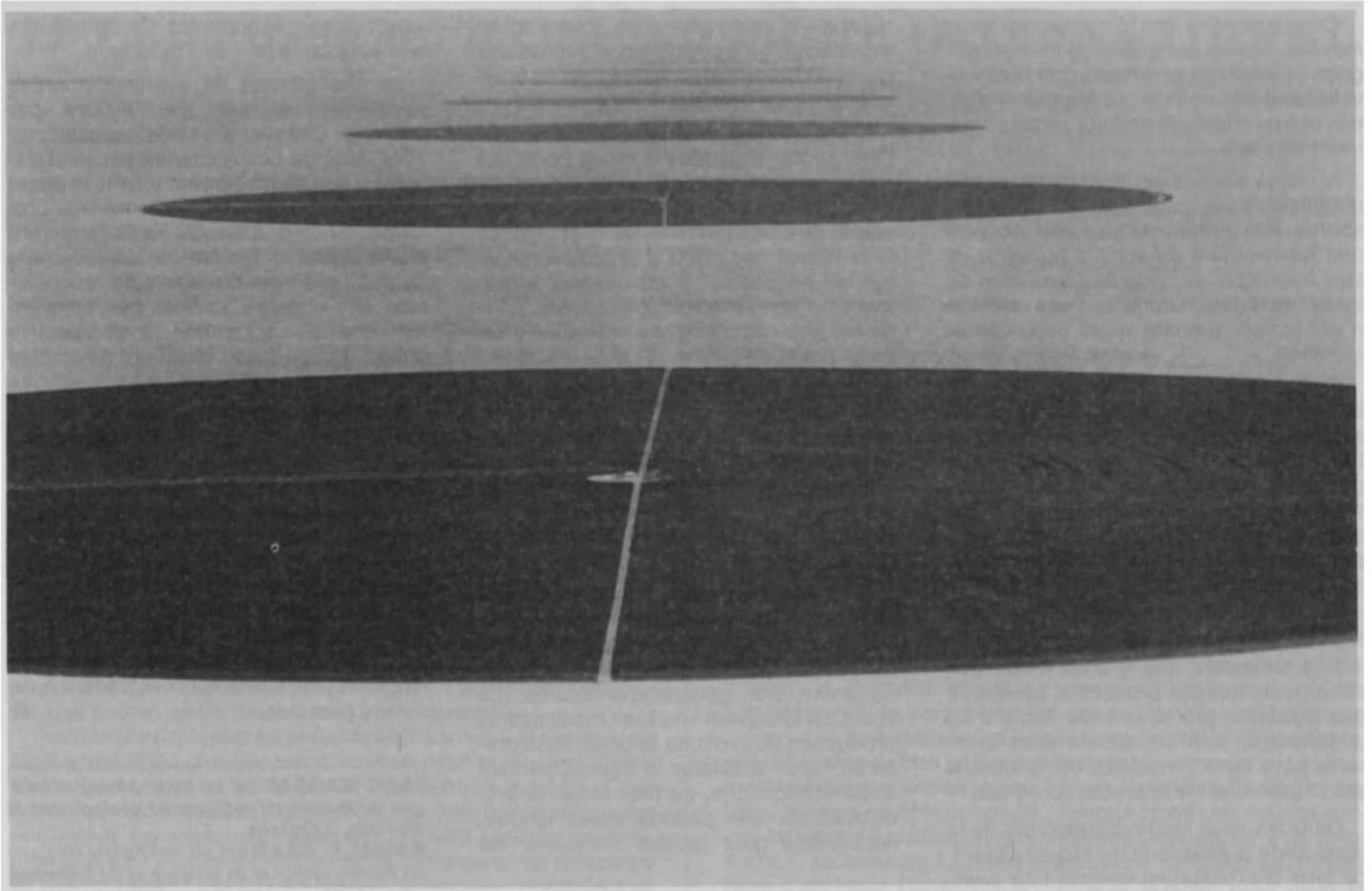
En une première phase, on s'est surtout préoccupé d'améliorer les techniques d'exploration et d'exploitation. Les forages se sont multipliés et une croissance souvent forte des productions d'eau dans chaque bassin s'en est suivie.

Cette croissance a eu pour effet d'abaisser le niveau de l'eau et, parfois, d'amoinrir la qualité de l'eau extraite. Aussi s'est-on soucié davantage ensuite de définir une stratégie d'exploitation à long terme à l'échelle du bassin.

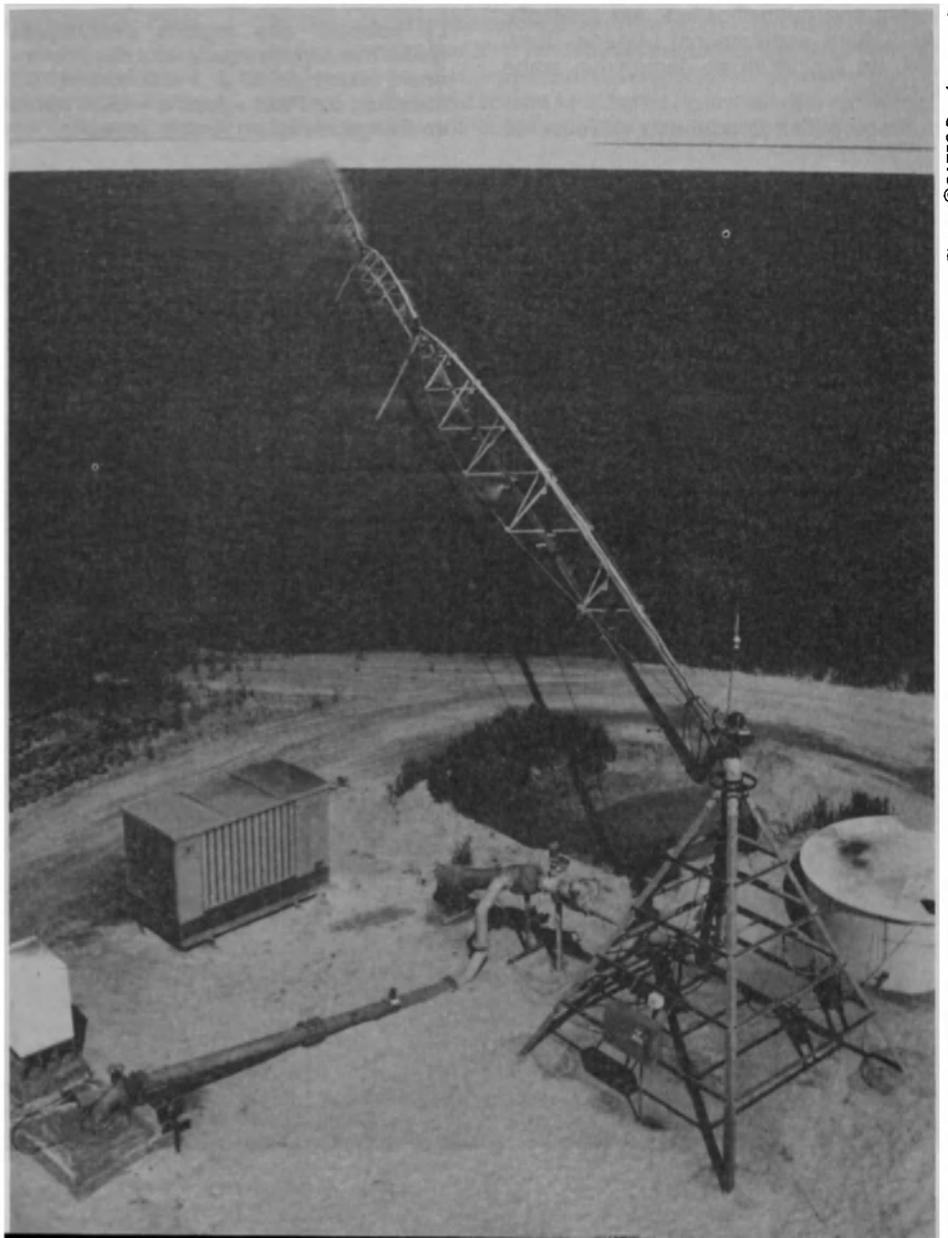
Les études menées à ce sujet en différents pays ont, dès l'abord, bien mis en évidence que les eaux de ces nappes captives profondes offrent une ressource *non renouvelable* et que cela imposait une conception de la ressource en eau et une procédure de son évaluation qui soient spécifiques. Une approche exemplaire à cet égard est celle fournie par l'« Etude des ressources en eau du Sahara septentrional » faite par l'Unesco.

Dans l'absolu, il n'existe presque pas d'eau souterraine totalement indépendante du cycle de l'eau naturel. Toutefois, les eaux se meuvent à des vitesses très différentes dans les couches aquifères et, en outre, leurs trajectoires ont des longueurs également très diverses. Lorsque l'eau doit parcourir plusieurs centaines, voire plus d'un millier de kilomètres, à une vitesse de l'ordre de quelques mètres par an, la durée de son séjour dans le sous-sol peut atteindre des dizaines de milliers d'années.

SUITE PAGE 16



Ci-dessus, cette vue aérienne spectaculaire d'un système d'irrigation rotatif en Afrique du Nord montre que l'exploitation des nappes souterraines permet de mettre en valeur certaines régions désertiques. Dans la région du Sarir en Jamahiriya arabe libyenne, le forage de 500 puits producteurs a permis la mise en culture de 50 000 ha de désert. Ci-contre, un dispositif d'aspersion pivotant autour d'un axe central situé sur l'emplacement du puits permet d'irriguer simultanément quelque 80 ha.



Ce qui ne veut pas dire que ces eaux fossiles — ainsi les qualifient les hydrologues — soient stagnantes ni que le renouvellement de l'eau de ces nappes profondes et très étendues soit nul : il est seulement très lent.

Au sens strict, il est également erroné d'affirmer que cette eau est une ressource *non renouvelable* : elle ne l'est que relativement à l'échelle humaine de son utilisation. A l'échelle plus large du cycle de l'eau naturelle, l'eau extraite n'est jamais détruite mais déplacée et modifiée.

Toutefois, la structure locale qui fournit la ressource peut subir, du fait d'une exploitation intensive, des transformations irréversibles : compaction du terrain ou intrusion d'eau salée. Mobiliser la ressource en eau offerte par un aquifère, c'est donc extraire l'eau de son stock : par analogie avec l'extraction des matières premières minérales, on peut qualifier cela d'exploitation minière d'eau souterraine.

Des « mines d'eau », c'est-à-dire des champs de forages productifs, exploitant des aquifères profonds sous forme d'un déstockage, sont en activité dans différents pays de la zone aride où ils fournissent l'essentiel de la production d'eau.

Dans les pays en développement de la zone aride d'Afrique et du Moyen-Orient, ce type d'exploitation connaît une croissance rapide et différents projets prévoient son intensification, par exemple, au Sahara septentrional (Algérie, Tunisie), en Egypte et en Jamahiriya arabe libyenne.

Savoir si l'on doit ou non exploiter les

réserves d'eau souterraine, que l'on ne mobilise qu'en les épuisant, n'est pas une question théorique, puisque cela se pratique dans les faits.

L'exploitation minière délibérée de l'eau souterraine pose d'abord, comme à tout exploitant minier, le problème de l'évaluation du gisement — ici du réservoir et du stock mobilisable — et celui de la prévision des effets des prélèvements sur les possibilités d'exploitation. L'évaluation d'une réserve dynamique qui réagit est plus complexe que celle d'un gisement passif de minerai.

De surcroît, les coûts de son exploitation croissent au fur et à mesure que le niveau de l'eau baisse et l'augmentation est particulièrement forte lorsqu'on passe d'une exploitation par jaillissement au pompage ou quand la productivité des puits diminue par suite de la compaction de l'aquifère.

On s'interroge aussi, d'un point de vue plus large, sur les inconvénients à long terme d'une telle exploitation. Le profit tiré par une ou deux générations se fait au détriment des générations futures. Le choix est le suivant : ou bien maximiser la production au profit de la génération présente, pour accélérer le développement socio-économique, ou bien étaler la production sur une période assez longue, notamment pour faciliter à l'avenir les

adaptations éventuelles qu'entraînera une économie de l'eau différente.

Le changement de source d'approvisionnement en eau peut inclure, par exemple, une recharge des nappes épuisées avec de l'eau obtenue par dessalement d'eau de mer (comme dans le projet du Qatar de recharge des aquifères profonds) ou bien, à l'instar de la fermeture d'une industrie minière, un déplacement de population ou, du moins, sa reconversion vers d'autres activités peu consommatrices d'eau (comme la perspective d'arrêt de l'irrigation en différents comtés de l'Arizona, aux Etats-Unis).

Faut-il encourager ou décourager l'exploitation minière de l'eau souterraine ? Dans les faits, la pratique n'a pas toujours attendu l'analyse et l'on s'est engagé souvent dans l'option « minière » sans l'avoir au préalable identifiée comme telle. Ainsi la question qui se pose aujourd'hui aux gestionnaires des ressources en eau est-elle surtout de choisir entre le maintien, voire l'accentuation de la tendance en cours, ou son infléchissement pour prolonger la production en la ramenant à un niveau plus bas. ■

JEAN MARGAT est un hydrogéologue français du Bureau de recherches géologiques et minières, à Orléans.

KAMAL F. SAAD est un spécialiste de l'eau du Bureau régional de science et de technologie de l'Unesco pour les Etats arabes, au Caire.

Le sous-sol des régions désertiques recèle des nappes aquifères à des profondeurs allant de 50 à 1 500 mètres. Cidessous, de l'eau « fossile » jaillit après un forage réussi en Arabie saoudite.

Le présent article et ses illustrations sont extraits d'une étude publiée dans la revue *Nature et ressources* (Vol. XX, N° 2, avril-juin 1984), qui est une publication de l'Unesco consacrée à l'environnement.



Photo © Le Courrier Johnson

Gérer la source de la vie

AUJOURD'HUI, une personne sur deux dans le monde — soit deux milliards d'individus — ne dispose pas d'eau salubre en quantité suffisante. Dans les campagnes, où la situation est la plus grave, 29 % seulement de la population a accès à une source d'eau potable et ceux qui bénéficient d'installations sanitaires sont encore moins nombreux (13 % seulement).

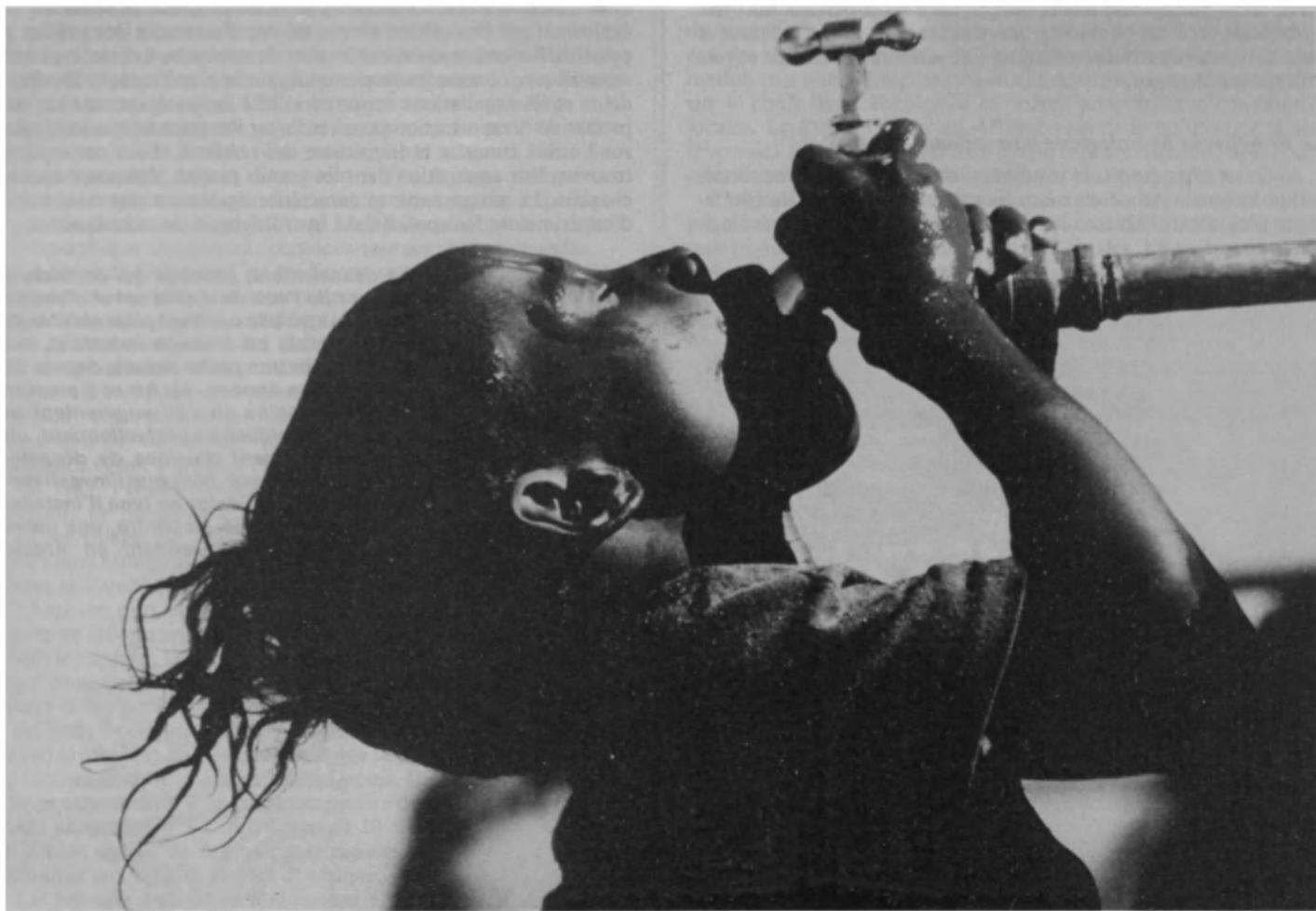
Pourtant l'eau potable est indispensable à la vie, à la santé ; c'est aussi la condition *sine qua non* de toute activité productive. Privés d'eau, les hommes et les animaux dépérissent et meurent. C'est l'eau douce qui nourrit les plantes, constitue le milieu nourricier des poissons et des organismes aquatiques et rend possible l'agriculture. L'eau est indispensable à certaines industries et les rivières ou les lacs fournissent à la fois des moyens de transport et des lieux de loisirs. Les Nations Unies en ont souligné l'importance en proclamant la période de 1981 à 1990 Décennie internationale de l'eau potable et de l'assainissement.

L'eau — ou plutôt la pénurie d'eau — pose de graves problèmes à l'humanité. L'Organisation mondiale de la santé estime que 80 % des maladies qui affectent la population du globe sont directement

liées à l'eau : par exemple, 400 millions de personnes souffrent de gastro-entérite, 200 millions de bilharziose et 30 millions d'onchocercose, toutes maladies transmissibles par l'eau. On a pu dire que si toutes les populations du globe avaient également accès à l'eau potable, la mortalité infantile se trouverait réduite de moitié, notamment par la suppression des cas de diarrhées infantiles.

Ceux qui sont malades ne peuvent pas travailler efficacement, mais beaucoup de bien portants consacrent un temps et une énergie considérables à se procurer chaque jour l'eau dont ils ont besoin. Dans les pays en développement, femmes et enfants doivent souvent parcourir à pied de longues distances pour arriver à un point d'eau. C'est ainsi que les mères de familles d'un village du Burkina Faso (l'ancienne Haute-Volta) marchent pendant deux ou trois heures chaque jour pour aller puiser dans une rivière ou un marigot 25 litres de cette eau précieuse qu'elles ramèneront dans une jarre en équilibre sur leur tête. Les familles des bidonvilles de la périphérie des grandes cités des pays en développement consacrent parfois jusqu'à 10 % de leur revenu à l'achat de l'eau dont elles ont besoin.

Si le problème majeur pour la plus grande partie de la population



► mondiale réside dans la pénurie d'eau, la situation inverse peut être tout aussi grave : ce sont alors les inondations, qui détruisent des villages entiers et anéantissent les récoltes. Et pour les habitants de certaines régions côtières, les vagues telluriques peuvent constituer un péril mortel.

Ces problèmes sont liés, pour une grande part, à la méconnaissance par l'homme du cycle hydrologique naturel (condensation de l'eau des nuages entraînant des précipitations, évaporation des eaux de surface dans l'atmosphère et ainsi de suite). On peut aussi les imputer à une mauvaise gestion ou à l'absence de gestion par l'homme des ressources en eau de la planète. Pollution et saturation (eutrophisation) des eaux intérieures sont des problèmes graves à l'échelle mondiale, alors que le développement économique des régions littorales, où sont concentrés les deux tiers de la population mondiale, fait peser de graves menaces sur l'environnement.

Les problèmes liés à la pénurie d'eau douce ont toutes chances de s'aggraver si des mesures ne sont pas prises pour améliorer la gestion de cette ressource précieuse à l'échelle mondiale. L'Unesco s'efforce de promouvoir cette gestion plus rationnelle par toute une série de programmes dont l'objectif est d'améliorer les connaissances scientifiques et techniques, de former du personnel, d'encourager les activités de recherche et de formation et de contribuer à mobiliser les populations intéressées à la conservation et à la mise en valeur des ressources en eau.

Les programmes de l'Unesco s'intéressent à la fois à l'eau douce et aux océans, mais il s'agit d'un sujet tellement vaste qu'on se contentera d'évoquer ici les principaux problèmes de mise en valeur et de gestion rationnelle des ressources en eau potable.

L'Unesco s'est penchée sur le problème de l'eau dès 1950, avec le lancement d'un programme de recherche sur les zones arides du globe, où l'hydrologie joue un rôle essentiel. Quinze ans plus tard, malgré l'action de l'Organisation, les problèmes hydrologiques n'avaient fait que s'aggraver. La croissance de la population, associée aux progrès de l'agriculture irriguée et du développement industriel, exerçait sur l'environnement des pressions tellement fortes que les gouvernements comprirent qu'il n'était plus possible de continuer à gaspiller aussi inconsidérément les ressources en eau de la planète. La nécessité d'une politique cohérente de gestion rationnelle de ces ressources s'imposait donc.

C'est ainsi que l'Unesco a proclamé en 1965 la Décennie hydrologique internationale, premier programme mondial d'étude systématique du cycle hydrologique. Cet exemple remarquable de coopération internationale entre plus d'une centaine de pays a largement contribué à faire mieux comprendre les processus du cycle hydrologique, à faire connaître les ressources en eaux de surface et eaux souterraines et à faire adopter une attitude rationnelle envers l'utilisation de l'eau.

Le Programme hydrologique international

Après en avoir étudié les résultats et mesuré combien une coopération internationale était nécessaire dans ce domaine, la Conférence générale de l'Unesco lança en 1974 le Programme hydrologi-

que mondial (PHI), entreprise à long terme dont l'objectif est d'élaborer les bases scientifiques d'une gestion rationnelle des ressources en eau qui tiennent compte à la fois des aspects quantitatifs et qualitatifs du problème. Il s'agit de rechercher des solutions aux problèmes hydrologiques spécifiques qui se posent dans des pays très différents par leurs conditions géographiques et leurs niveaux de développement technologique et économique.

Le PHI fonctionne par l'intermédiaire de ses représentants gouvernementaux, constitués en comités et points focaux nationaux (qui se chargent de l'exécution des travaux). Il existait à la fin de 1983 des comités nationaux dans 101 Etats membres de l'Unesco et des points focaux dans 31 autres. C'est donc au total 132 Etats membres qui participent au programme. Regroupant la plupart des activités de l'Unesco relatives à l'eau douce, il n'est pas limité dans le temps. Le Conseil intergouvernemental du PHI, réuni à Paris en mars 1984, a approuvé la troisième phase de ses travaux, désignée par le sigle PHI-III.

PHI-III englobe, à l'échelle mondiale, un ensemble de projets répartis en 18 grands thèmes, qui vont de l'étude du rôle de la neige et la glace dans le cycle de l'eau, à la compilation de données sur l'impact des changements climatiques sur les situations hydrologiques extrêmes (sécheresses et inondations) et à l'application à la recherche hydrologique de nouvelles technologies comme la télé-détection par satellite.

La phase PHI-I du programme mettait surtout l'accent sur les activités de formation et d'éducation. Entre 1975 et 1980, près de 1 500 spécialistes ont ainsi bénéficié d'une formation assurée ou parrainée par l'Unesco. Entre 1981 et 1983, plus de 600 hydrologues originaires des pays en développement ont reçu une formation supérieure sous le parrainage de l'Unesco.

Le calendrier budgétaire de l'Unesco ayant été modifié afin de l'harmoniser avec celui des autres organismes des Nations Unies, la deuxième phase du PHI (PHI-II) n'a duré que deux ans (1981-1983). Depuis on est revenu à la formule des programmes établis sur six ans et correspondant aux dates du Plan à moyen terme de l'Organisation, ce qui signifie que PHI-III s'étendra de 1984 à 1989.

Applications pratiques

PHI-III met davantage l'accent sur les applications pratiques de la connaissance scientifique et de la gestion rationnelle des ressources en eau, sans se désintéresser pour autant des activités hydrologiques traditionnelles. La phase actuelle du programme se distingue également par des efforts accrus en vue d'atteindre des publics a priori difficilement mobilisables par une entreprise à caractère aussi scientifique, comme les responsables de la planification, les décideurs et les populations concernées. Elle insiste également sur les projets de démonstration pour renforcer l'apprentissage, ainsi que sur l'utilité concrète et immédiate des résultats. Tous ces aspects trouvent leur application dans les grands projets régionaux décrits ci-après. Le programme se caractérise également par la volonté d'expérimenter les applications hydrologiques de techniques nou-

Le dessalement, procédé qui consiste à enlever de l'eau de mer le sel et d'autres minéraux qu'elle contient pour obtenir de l'eau potable ou à usage industriel, est pratiqué sur une petite échelle depuis de nombreuses années. Au fur et à mesure que les besoins en eau augmentent et que les techniques se perfectionnent, un nombre croissant d'usines de dessalement fonctionnent, bien que l'investissement de base qu'exige ce type d'installation soit très élevé. Ci-contre, une usine de dessalement à Jeddah, en Arabie saoudite.

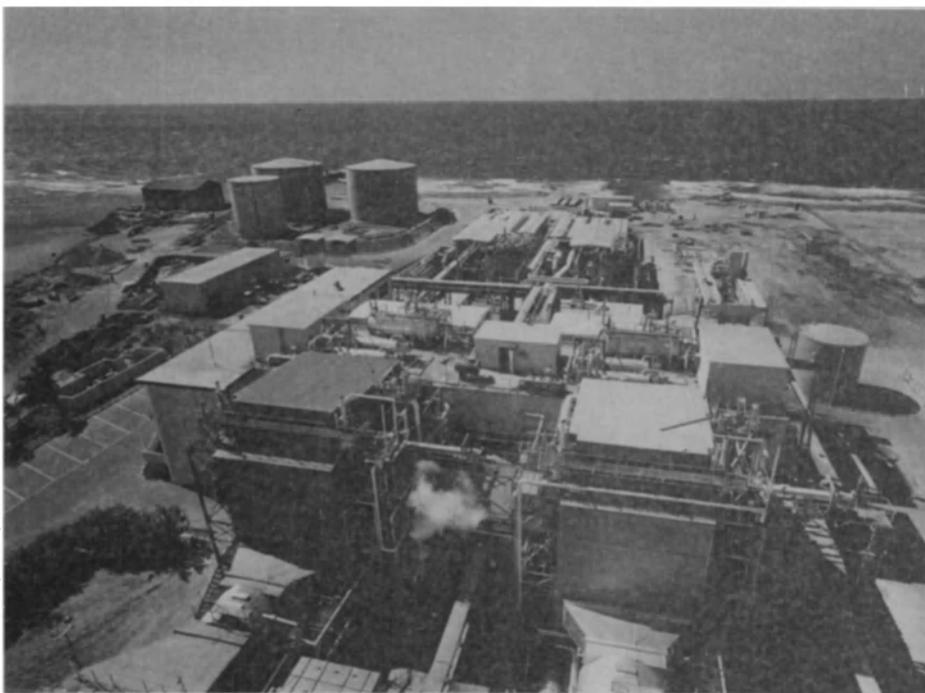


Photo St. Duroy © Rapho, Paris





Photo © Claude Sauvageot, Paris

Une famille type de cinq enfants a besoin d'environ 40 litres d'eau par jour rien que pour sa subsistance et de quelques 200 litres supplémentaires pour respecter l'hygiène et rester en bonne santé. Dans un grand nombre de régions d'Afrique et d'Asie, femmes et enfants consacrent jusqu'à huit heures par jour à la corvée de l'eau. Ci-contre, au Niger, une femme et sa fille près d'un trou d'eau.

velles telles que la télédétection par satellite.

D'une façon générale, le PHI accorde une importance considérable à la notion de participation : si le programme fonctionne, c'est qu'un grand nombre de spécialistes et d'organisations professionnelles du monde entier ont reconnu sa nécessité et souhaitent y apporter leur contribution. Cette participation s'effectue presque toujours sur une base bénévole par l'intermédiaire des comités nationaux du PHI.

Lors de la réunion du Conseil intergouvernemental du PHI, qui s'est tenue à Paris en mars 1984, un hydrologue africain a adressé la communauté internationale un ardent plaidoyer : « Libérons de leur fardeau ces têtes qui doivent supporter des jarres, des seaux et d'autres récipients remplis d'eau pendant plusieurs kilomètres... »

Tel est justement l'objectif du Projet majeur régional en Afrique sur l'utilisation rationnelle et la conservation des ressources en eau en milieu rural (il existe des projets similaires en Amérique latine et dans les Caraïbes, ainsi que dans les Etats arabes). Nous avons vu que les femmes de certaines régions subsahariennes doivent passer plusieurs heures par jour à faire la navette entre leur village et le point d'eau le plus proche pendant la saison sèche pour satisfaire les besoins de leur famille. Ces gens, qui ont toujours mené une existence nomade, errant d'un point à l'autre pour utiliser aux mieux les ressources en eau disponibles, n'ont aucune expérience des méthodes de stockage de l'eau. Mais à mesure que la pression démographique augmentait, certaines sources se sont épuisées.

En Extrême-Orient, où les traditions sont différentes, les villageois des zones où les eaux souterraines sont atteintes par des intrusions d'eau salée ont très vite adopté l'idée de construire des réservoirs en ciment au-dessus des maisons pour stocker l'eau de pluie. Ces réservoirs sont construits de façon très économique à partir de ciment renforcé par une armature métallique, voire par des tiges de bambou. Ainsi, dans le nord-est de la Thaïlande, des villageois ont construit 1 500 de ces réservoirs dans le cadre d'un projet d'auto-assistance visant à stocker l'eau de pluie collectée sur les toits.

En 1983, l'Institut asiatique de technologie a organisé avec le concours de l'Unesco un séminaire doublé d'un voyage d'étude dans les villages de Thaïlande à l'intention des représentants de divers pays africains (Bénin, Burkina Faso, Libéria, Sénégal, Sierra Léone et Zambie), afin de les familiariser avec ces techniques de stockage des eaux de pluie. Les participants ont assisté à des conférences au laboratoire de l'Institut et visité les laboratoires où l'on testait le matériel. Ils se sont également rendus à Java, en Indonésie, pour constater comment ces réservoirs avaient remplacé comme source d'eau potable les canaux d'irrigation à l'eau très polluée.

A l'issue de ces voyages, les participants ont préconisé l'adoption de cette technique en Afrique, ainsi que la mise en place de centres de formation et de projets pilotes. Depuis, l'Unesco a proposé au gouvernement de la République populaire du Congo d'avancer les fonds nécessaires à la construction de 20 réservoirs d'eau de pluie en ciment en vue de démontrer la capacité d'adaptation de cette technique aux régions rurales d'Afrique.

Les barrages souterrains sont une autre solution pour procurer de

l'eau aux régions victimes de la sécheresse. Il s'agit de simples plaques de métal ou d'autres matériaux étanches qu'on enfonce perpendiculairement au courant dans le lit sablonneux des fleuves à sec. Ces barrages créent une accumulation d'eau souterraine qu'il est possible ensuite de capter par des trous de forage, et ils aboutissent parfois même à la création de véritables réservoirs dans le sable par rétention des limons que charrient les eaux en crue. Dans le cadre d'un projet réalisé au Botswana, deux barrages de ciment ont permis de relever d'environ un mètre le niveau du lit sablonneux de la rivière. D'autres projets semblables sont en voie de réalisation au Kenya et au Burkina Faso.

Projets majeurs régionaux

Ces grands projets régionaux entrepris en 1981 ont donc pour but de contribuer à l'accroissement du potentiel scientifique et technique des régions intéressées, au développement des réseaux d'information et à une utilisation rationnelle des ressources en eau basée sur le choix des technologies les mieux adaptées aux conditions locales. Le Projet majeur en Afrique prévoit la publication d'un inventaire des techniques d'hydrologie rurale existantes, afin d'en sélectionner les plus économiques et les plus prometteuses.

L'objectif du Projet majeur régional dans les Etats arabes est de promouvoir la conservation et la rénovation des systèmes de captage traditionnels utilisés dans les zones rurales. Là encore on s'efforce de dresser l'inventaire des techniques traditionnelles, en coopération avec le Centre arabe pour l'étude des zones et terres arides. Pour chaque système de captage, les conditions de fonctionnement optimal sont déterminées, et des études sont entreprises pour définir ses possibilités d'utilisation dans les circonstances actuelles, ainsi que la manière dont il pourrait servir de complément aux méthodes modernes d'utilisation des eaux. Des guides méthodologiques sont préparés pour la formation d'ingénieurs et de techniciens, ainsi que pour l'information des responsables et du grand public. Des mesures seront prises pour la revalorisation des savoir-faire locaux, dont la survivance est essentielle à la conservation de ces systèmes traditionnels.

Le Projet majeur régional en Amérique latine et dans les Caraïbes répond aux mêmes objectifs : redonner vie aux zones rurales en combinant les technologies traditionnelles et modernes pour la mise au point de systèmes peu coûteux et adaptés aux circonstances. Les programmes nationaux d'enseignement et de formation seront encouragés au moyen de campagnes d'information.

Parmi les projets entrepris dans ces régions, certains visent à tirer profit de ressources en eau non conventionnelles, telles que les brouillards et rosées dans les zones arides, ainsi qu'à produire de l'énergie pour le transport, le dessalement et le pompage de l'eau en utilisant, par exemple, les fluctuations extrêmes des températures diurnes et nocturnes, les courants et les radiations solaires. On s'intéresse également à la lutte contre l'érosion par des techniques telles que la construction de terrasses et d'étangs et aux mesures d'économie de l'eau, comme l'irrigation au moyen de pots poreux. ▶

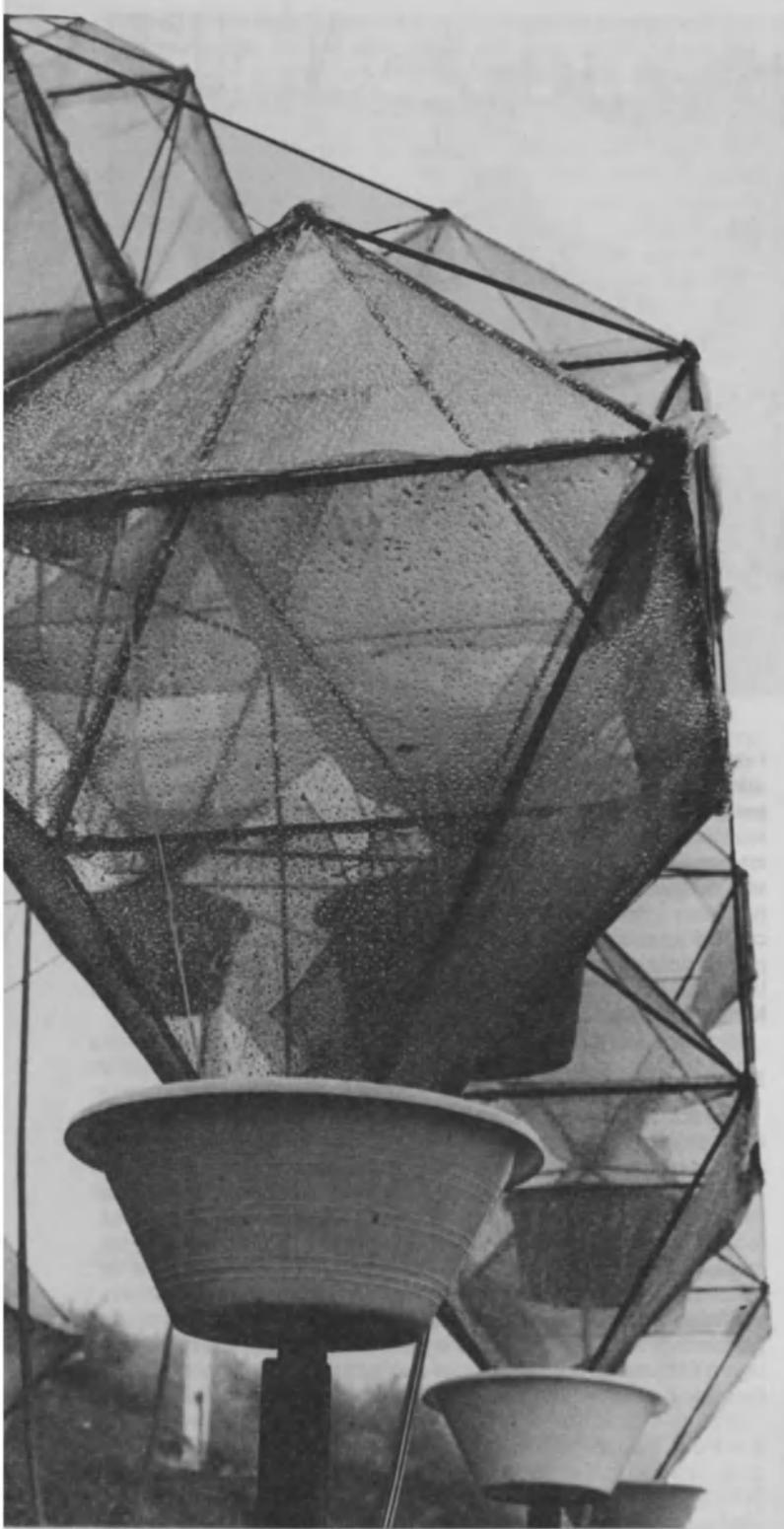


Photo Christian Gischler, Unesco

Erigés sur les hauteurs du littoral Pacifique de l'Amérique du Sud, dans des régions où la pluie est très rare, ces étranges objets à facettes aident à pallier le manque chronique d'eau. Ce sont des pièges à brouillard qui ont été installés dans des sites expérimentaux au Chili, en Equateur et au Pérou, dans le cadre du Projet majeur régional de l'utilisation et de la conservation des ressources en eau des zones rurales de l'Amérique du Sud et des Caraïbes dû à l'Unesco. Le brouillard, dont la présence fréquente dans ces régions côtières s'explique par l'effet connu sous le nom d'« inversion thermique », est souvent la seule source locale d'eau douce. Ces octaèdres, tendus simplement de gaze, captent l'humidité qui se condense ensuite en eau, et peuvent produire chacun jusqu'à 200 litres par jour du précieus liquide.

Le Secrétariat du Programme hydrologique international (PHI) travaille au Siège de l'Unesco à Paris dans le cadre de la Division des sciences de l'eau qui a pour directeur Sorin Dumitrescu.

Sous la supervision du Conseil intergouvernemental du PHI, ce Secrétariat fonctionne en coopération étroite avec les Comités nationaux du PHI et les Points focaux pour le PHI qui ont été créés dans plus de 130 Etats membres. Un spécialiste des ressources en eau est basé dans chacun des cinq Bureaux régionaux pour la science et la technologie de l'Unesco afin de fournir sur place conseil et assistance.

Une liaison constante est maintenue avec d'autres organisations des Nations Unies qui sont concernées par les problèmes de ressources en eau, comme le Programme des Nations Unies pour l'environnement (PNUE), l'Organisation météorologique mondiale (OMM), l'Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO), l'Organisation mondiale de la santé (OMS) et l'Agence internationale de l'énergie atomique (AIEA).

► *Autres projets de terrain*

Outre ceux qui figurent dans son budget ordinaire annuel, l'Unesco gère également un certain nombre de projets de terrain financés par des fonds extérieurs à l'Organisation. Ceux-ci ont trait à la recherche appliquée, à l'éducation, à la formation, à l'évaluation des ressources en eau et à la création d'institutions.

- En Algérie et en Tunisie, l'étude des ressources souterraines du nord du Sahara achevée en 1972 a défini les limites d'exploitation des aquifères profonds et superficiels de la région. Les résultats de cette étude ont été consignés sous une forme exploitable par les responsables de la planification des pays concernés. L'Agence internationale pour l'énergie atomique et l'Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture ont coopéré à ce projet.

- Au Portugal, une étude de l'environnement de l'estuaire du Tage (1977-1982) portant sur les aspects qualitatifs de la gestion des ressources hydriques offrira au gouvernement une base scientifique qui lui permettra de prendre des mesures contre la pollution et pour la protection de l'environnement et de décider de ses investissements dans des ouvrages d'épuration des eaux usées. Divers projets d'évaluation des ressources hydriques ont également été réalisés aux Canaries, en Espagne, au Brésil, en Zambie et au Mozambique.

- Au Soudan, l'Unesco contribue depuis 1974, avec le financement du PNUD et en collaboration avec le Ministère de l'irrigation, à la mise en place d'une station de recherche hydraulique à Wad Medani qui est appelée à regrouper les services d'études de l'ingénierie hydraulique du ministère. Des projets similaires ont été réalisés au Brésil, en Inde et en Argentine.

- Au Nigéria, un autre projet Unesco/PNUD, lancé en 1978, vise à aider le Ministère fédéral des ressources en eau à créer un Institut fédéral des ressources en eau qui accorde toute priorité à la formation d'ingénieurs hydrologues de moyen niveau. Des projets similaires ont été réalisés au Brésil, en République-Unie de Tanzanie et en Inde, certains avec un financement de l'Unesco.

- Enfin, l'Unesco a organisé des cours de formation de courte durée sur le développement des eaux souterraines issues de roches dures en Suède et en Sicile (1977), en Inde (1979) et en République-Unie de Tanzanie (1981), avec l'appui dans ce dernier pays de l'Agence suédoise d'aide au développement (SIDA). Au Kenya (1977) et en Zambie (1982, 1984), des cours, d'une durée de deux à trois mois, pour former des ingénieurs hydrologues, furent organisés avec l'aide du gouvernement norvégien.

Ce qui fait l'originalité de l'action de l'Unesco dans le domaine des sciences et de la technologie, c'est son caractère international. Aucune autre organisation n'est en mesure de mobiliser ainsi la totalité des ressources scientifiques du monde. Qui plus est, l'Unesco a joué un rôle considérable dans la création de certains organes et réseaux scientifiques internationaux très importants, tels que ceux qui viennent d'être mentionnés, dont elle appuie et encourage les activités. Parce que les eaux de la planète sont pour l'essentiel des ressources partagées, seule une organisation à vocation internationale comme l'Unesco pouvait s'acquitter de cette tâche. ■

Le présent article est tiré d'une brochure consacrée à la gestion des ressources en eau de la planète, que prépare actuellement un spécialiste de l'Unesco, David Spurgeon, et qui sera publiée prochainement par le Secteur des sciences de l'Organisation. Y seront également traités les problèmes relatifs aux océans.

Les pluies acides

Une pollution venue d'ailleurs

L'humanité a toujours révéralé ce que Tennyson appelait « la nuisance bienfaitrice de la pluie » ; sans les 120 000 km³ de pluie qui tombent sur eux chaque année, les continents seraient arides.

Mais en certains points du globe, la pluie a pris un caractère complexe et menaçant : elle se mélange dans l'air à la pollution provenant de la combustion des combustibles fossiles — notamment dans les centrales électriques, les usines et les moteurs de voiture — et provoque des retombées d'acide sulfurique et d'acide nitrique dilués. Ces substances tuent les poissons et les autres formes de vie aquatique, et attaquent les bâtiments parmi lesquels certains des monuments anciens les plus importants du monde ; elles peuvent également endommager les forêts et les cultures et, peut-être, menacer dangereusement la santé.

La pluie acide n'est pas un phénomène nouveau : ce terme fut employé pour la première fois par un chimiste, Robert Angus Smith, qui décrivait la pollution de Manchester, en Angleterre, il y a plus d'un siècle. Ce qui est nouveau, c'est la portée internationale qu'a prise ce problème. On a pu épurer dans une large mesure l'air de villes comme Manchester, en partie en érigeant dans les centrales et les usines de hautes cheminées qui chassent la pollution très haut dans l'atmosphère. Ces cheminées ont amélioré la situation localement, en dispersant les polluants, mais ont aggravé les difficultés internationales. En effet, les composés de soufre et d'azote émis par les combustibles fossiles peuvent être entraînés à des milliers de kilomètres par les vents et produire une pluie acide dans des pays très éloignés de leur point d'origine.

C'est la Suède qui a fait pour la première fois de la pluie acide une question internationale, lors de la Conférence des Nations Unies sur l'environnement humain qui s'est tenue à Stockholm en 1972, avant qu'elle devienne l'un des principaux sujets écologiques internationaux. Au début, les points de vue suédois furent accueillis avec une certaine incrédulité, notamment par certains des pays à l'origine de la pollution ; au cours de ces dix dernières années, toutefois, cette question a fait l'objet de nombreuses recherches à l'échelle internationale. Des informations abondantes étaient disponibles à la fin de 1982, grâce aux activités du Programme de coopération pour la surveillance et l'évaluation de la transmission à longue distance des polluants atmosphériques en Europe (EMEP) dans le cadre de la convention sur la pollution atmosphérique transfrontières à longue distance de 1979, et grâce aux activités menées en conformité

avec le Mémorandum d'intention entre les gouvernements du Canada et des Etats-Unis sur la pollution atmosphérique transfrontières. En outre, une conférence spéciale s'est tenue à Stockholm en 1982 sur l'acidification de l'environnement, où furent revues et corrigées une grande quantité d'informations scientifiques non disponibles auparavant.

Jusqu'à présent, la pluie acide était considérée comme un problème essentiellement régional, limité aux zones industrielles de l'hémisphère nord. Certes, c'est là que le problème s'est manifesté pour la première fois, mais il risque de s'étendre considérablement ; car la pluie acide peut apparaître partout où l'on fait un usage intensif de combustibles fossiles.

Lorsqu'elle ne l'est pas déjà, l'acidification est en passe de devenir un problème écologique dans certaines régions d'Europe et d'Amérique du Nord : environ cinq à dix millions de kilomètres carrés de ces continents sont touchés. Des zones de pollution similaires peuvent apparaître partout dans le monde, notamment autour des grandes agglomérations urbaines et industrielles ; nous ignorons encore où elles se situent, car nous ne possédons jusqu'à présent aucune preuve à ce sujet.

Les régions industrielles sont beaucoup plus affectées par les retombées acides qu'elles ne l'étaient avant la révolution industrielle. La raison en est que les centrales électriques, certains processus industriels, les véhicules et les habitations émettent des composés de soufre et d'azote, provenant essentiellement de la consommation de combustibles fossiles, et en ont augmenté considérablement la proportion dans l'environnement.

Outre les sources imputables à l'homme, certains processus naturels émettent également dans l'air des composés de soufre et d'azote. Personne n'en connaît exactement la proportion autour du globe : les estimations varient entre 78 et 284 millions de tonnes de soufre par an sous forme d'oxyde de soufre et entre 20 et 90 millions de tonnes d'azote par an sous forme d'oxyde d'azote. En comparaison, l'homme émet entre 75 et 100 millions de tonnes de soufre par an. Ainsi, malgré les différences dans l'estimation des sources naturelles, la quantité de soufre émise par celles-ci et les rejets dus à l'homme sont d'égale ampleur.

La combustion du charbon produit environ 60 % des émissions imputables à l'homme, la combustion du pétrole en produit encore 30 %, et les divers processus industriels sont à l'origine des 10 % restants. Selon certaines indications approximatives,

les trois quarts ou presque des émissions de soufre, dans les pays de la CEE, sont produits par la combustion du pétrole dans les centrales électriques et les usines.

Certains indices portent à croire que les émissions de bioxyde de soufre (le principal polluant de l'Europe et de l'Amérique du Nord) n'ont pas augmenté au cours de ces dix dernières années, contrairement aux prévisions, et n'augmenteront probablement pas davantage au cours des décennies à venir. Ceci tient à deux facteurs : un meilleur contrôle de la pollution, et une réduction de la consommation de combustibles fossiles à la suite des économies d'énergie et, peut-être, d'une croissance économique plus lente que prévu en Occident.

La pollution causée par les oxydes d'azote, comme celle causée par les oxydes de soufre, est du même ordre de grandeur par rapport aux sources naturelles. La consommation de combustibles fossiles produit quelque 20 millions de tonnes d'azote par an, ce qui a déjà créé des problèmes écologiques aux plans régional et local dans les pays industrialisés.

La pollution n'est pas entièrement imputable à la pluie acide, autrement dit à l'acide sulfurique et nitrique dissous dans les précipitations ; elle se produit aussi en partie lorsque les oxydes de soufre et d'azote eux-mêmes retombent sur le sol, dans ce que l'on appelle un « dépôt sec ». En général, cette forme de pollution prédomine plutôt à proximité de sa source, et plus les gaz restent en suspension dans l'air, plus il est probable qu'ils vont subir les modifications complexes qui les transformeront en pluie acide (ou en dépôt humide), pour retomber peut-être à des milliers de kilomètres de leur point de départ. Les taux de dépôt humide sont assez bien connus, mais le dépôt sec est difficile à calculer et les taux restent plus incertains. Ces deux types de dépôt peuvent être interceptés par la végétation : la voûte des forêts d'arbres à feuilles persistantes, notamment, est soumise à des taux de dépôt élevés.

Les lacs et les rivières furent les premières victimes de la pluie acide à être découvertes. L'acidité a frappé des centaines de lacs dans certaines régions de Scandinavie, dans le nord-est des Etats-Unis, le sud-est du Canada et le sud-ouest de l'Ecosse. Certaines parties de ces régions sont particulièrement vulnérables, car leur sol et leur sous-sol rocheux offrent une faible protection contre la pluie acide : ils sont constitués de minéraux comme le granit, et des roches riches en quartz, qui contiennent peu de chaux, ne se désagrègent pas facile-



►ment et ne peuvent donc guère neutraliser l'acide qu'ils reçoivent.

En Suède, cette acidification a touché 2 500 lacs de pêche et 6 500 autres semblent atteints. Dans le sud de la Norvège, sur les 5 000 lacs disséminés sur une superficie de plus de 28 000 km², 1 750 ont vu périr leurs poissons en masse et 900 sont gravement atteints. Au Canada, près de 20 % des lacs analysés jusqu'à présent sont devenus acides ou sont en passe de l'être. Dans le sud-ouest du Québec, 30 à 60 % des lacs présentent une plus ou moins grande vulnérabilité. Dans les provinces canadiennes de la côte de l'Atlantique, beaucoup de lacs ont vu leur acidité augmenter de 10 à 30 fois durant ces vingt dernières années. Situation qu'on retrouve en maint endroit du nord-est des Etats-Unis.

Lorsque l'eau devient plus acide, la quantité d'aluminium qu'elle renferme se met à augmenter rapidement : des concentrations n'excédant pas 0,2 milligrammes de métal par litre dans l'eau acide sont mortelles pour le poisson. On a constaté, dans certains lacs suédois, que les poissons mouraient en grand nombre, empoisonnés sans doute par l'aluminium plutôt que par l'acidité de l'eau.

Parallèlement, les phosphates qui nourrissent le phytoplancton et autres plantes aquatiques se fixent à l'aluminium et perdent de leur utilité comme substances nutritives. De ce fait, l'augmentation des taux d'aluminium peut réduire la production primaire dont dépendent toutes les autres formes de vie aquatique. A mesure que l'acidité de l'eau continue à s'élever, la solubilité d'autres métaux comme le cadmium, le zinc, le plomb et le mercure augmente progressivement. Plusieurs d'entre eux sont extrêmement toxiques et certains peuvent être absorbés par la vie aquatique par le biais des chaînes alimentaires, bien que l'on dispose encore de peu de preuves à ce sujet.

Les sols résistent normalement mieux à l'acidification que les lacs, les rivières et les cours d'eau, et peuvent, par conséquent, absorber plus d'acide sans nuisance écologi-

que notable. Leur vulnérabilité diffère suivant leur type, la nature du sous-sol rocheux qu'ils recouvrent et l'usage que l'homme en fait. Les terres les plus vulnérables sont celles qui comportent un sous-sol rocheux pauvre en chaux, recouvert de couches peu épaisses de terre contenant de faibles concentrations de substances protectrices : une grande partie de la Scandinavie est dans ce cas.

Des recherches expérimentales intensives sur l'incidence de l'acidification pour les forêts, les terres et la production de bois ont été effectuées en 1970 ; elles se poursuivent, mais jusqu'à présent, les résultats sont peu concluants. Les retombées acides semblent effectivement avoir un effet distinct sur la microbiologie des sols, la chimie et la faune ; les effets sur la croissance des plantes, y compris des arbres, sont beaucoup moins évidents.

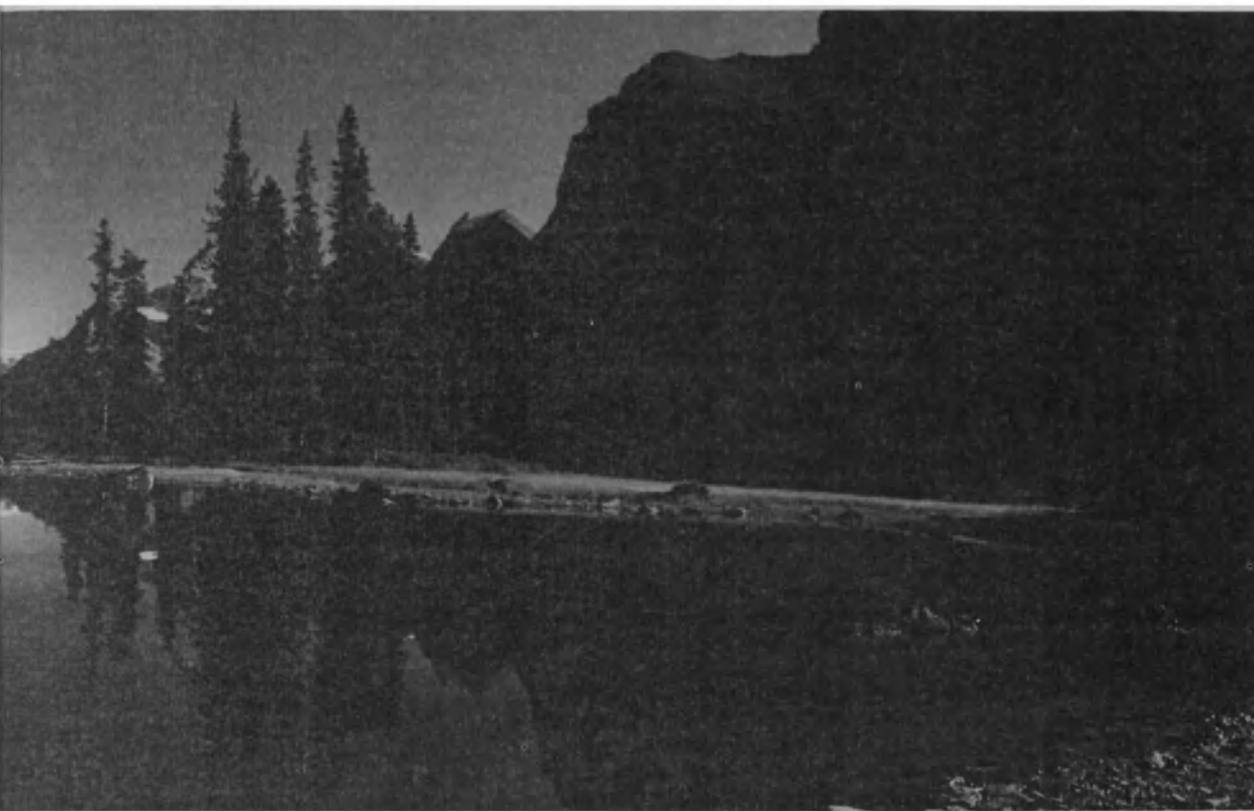
En République fédérale d'Allemagne, d'autre part, on a enregistré en 1982 une détérioration de 7 % des forêts par une maladie due au dépôt et à l'accumulation des polluants atmosphériques. De surcroît, les arbres ont davantage souffert de la tempête et ont fait preuve de difficultés de régénération. Ces forêts ont reçu beaucoup plus de retombées que celles de Scandinavie, car elles sont situées à proximité de villes et de grandes régions industrielles comme la Ruhr, où les sources de pollution sont nombreuses.

L'une des raisons avancées pour expliquer ce dommage est une conjonction de pointes de la production naturelle d'acide, de situations climatiques extrêmes (précipitations, températures) et du dépôt atmosphérique d'acide. Il en résulte la libération d'aluminium dans le sol, qui facilite la destruction par les bactéries des racines des arbres. Ceux-ci perdent de leur vitalité, finissent par être atteints de putréfaction et deviennent plus vulnérables aux tempêtes. De fortes concentrations de bioxyde de soufre dans l'air peuvent détériorer les feuilles et réduire ainsi la productivité des arbres. Les brouillards acides, s'ils persistent pendant plusieurs jours, peu-

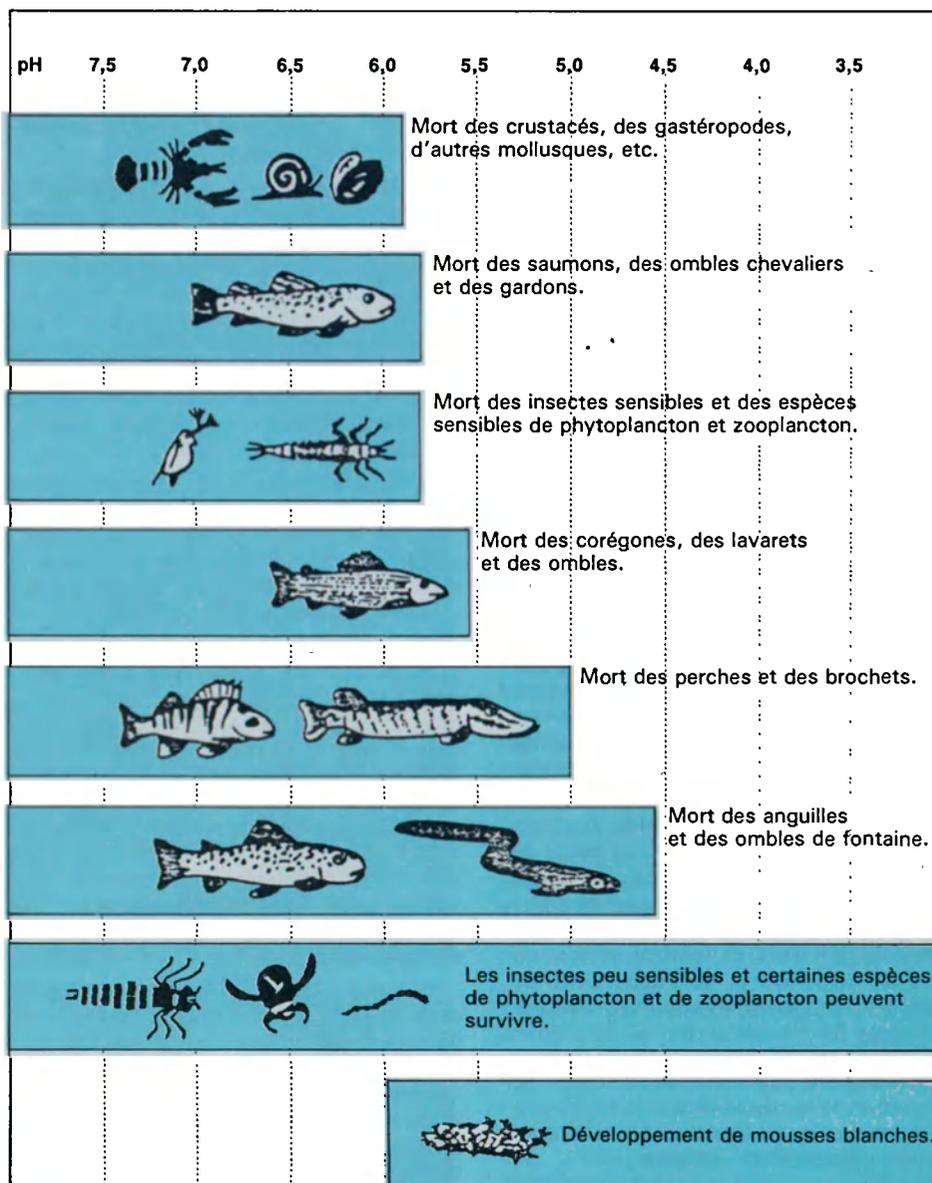
vent également endommager les arbres dans les régions montagneuses.

La pollution peut également faire peser un risque sur la santé humaine, comme sur celle des écosystèmes. On sait depuis longtemps que de fortes concentrations de bioxyde de soufre, d'oxydes d'azote et de poussières sont nocives. Cette question n'est liée que de manière marginale au problème de la pluie acide, car on ne rencontre en général de telles concentrations qu'à proximité des sources de pollution, et les niveaux d'oxyde de soufre ont récemment diminué dans un grand nombre de villes d'Europe et d'Amérique du Nord. Les concentrations minimales jugées dangereuses pour la santé sont : pour le bioxyde de soufre, 250 microgrammes par mètre cube sur une moyenne de vingt-quatre heures, et 100 microgrammes par mètre cube pour une durée plus longue ; pour les oxydes d'azote, 190 à 320 microgrammes par mètre cube, concentration à laquelle une personne ne doit pas être soumise plus d'une heure par mois.

On soupçonne l'existence d'autres risques indirects sur la santé, qui seraient le fait de métaux comme le plomb, le cuivre, le zinc, le cadmium et le mercure, libérés des sols et des sédiments par l'augmentation de l'acidité. Ces métaux peuvent atteindre les eaux souterraines, les rivières, les lacs et les cours d'eau utilisés pour l'approvisionnement en eau potable, et être introduits dans les chaînes alimentaires qui les amènent en dernier lieu jusqu'à l'homme. Le problème causé par la libération du cadmium, notamment, s'aggrave avec l'augmentation de l'acidité, car les niveaux normaux présents dans la nourriture humaine sont déjà proches du seuil d'absorption quotidienne admissible. L'acier et le cuivre galvanisé des canalisations d'eau peuvent également libérer des métaux, et le risque apparaît, semble-t-il, dès que l'acidité de l'eau dépasse le niveau normal. Dans les pays industrialisés toutefois, l'eau potable est fournie en majeure partie par les services publics qui éliminent ce problème par des techniques de traitement appropriées. Mais



Les effets nuisibles des pluies acides ont d'abord été constatés dans les lacs et les cours d'eau. En Suède, cette acidification aurait compromis la pêche dans 2 500 lacs, et il semblerait que 6 500 autres en soient atteints. Sur les 5 000 lacs du sud de la Norvège, 1 750 ont vu périr leurs poissons en masse et 900 autres sont gravement atteints. Au Canada, près de 20 % des lacs analysés jusqu'à présent dans l'Ontario se sont acidifiés ou sont en passe de l'être. Dans le sud-ouest du Québec, 30 à 60 % des lacs sont plus ou moins vulnérables. Dans les provinces de la côte atlantique, l'eau de nombreux lacs est devenue de 10 à 20 fois plus acide au cours de ces vingt dernières années. Cidessus, le lac Maligne dans la Province de l'Alberta, au Canada, avec au fond les Monts MacLeod, dans les Montagnes Rocheuses.



Sensibilité des organismes aquatiques à un abaissement du pH dans les eaux douces

Les dommages apparaissent lorsque le pH descend en-dessous de 6,5. Toute forme de vie « normale » disparaît à un pH inférieur à 5.

Source : *Acidification today and tomorrow*, rapport du ministère suédois de l'agriculture à la conférence sur l'acidification de l'environnement (Stockholm, 1982).

il reste beaucoup à faire dans les pays en développement.

Par ailleurs, l'acide accélère la corrosion de la plupart des matériaux employés dans la construction des bâtiments, des ponts, des digues, des équipements industriels, des canalisations d'eau, des réservoirs de stockage souterrain, des turbines hydro-électriques et des câbles électriques et de télécommunications. Il peut également

porter gravement atteinte aux monuments anciens, bâtiments historiques, sculptures, ornements et autres objets culturels importants. Certains des plus grands trésors culturels du monde, dont le Parthénon d'Athènes et la Colonne de Trajan à Rome, sont rongés par les retombées acides.

Des tests ont révélé que la corrosion des matériaux est de deux à dix fois plus rapide en atmosphère urbaine et industrielle

polluée qu'à la campagne. L'acier au carbone (revêtu ou non), le zinc et l'acier galvanisé, le cuivre, le nickel et l'acier nickelé, le grès et le calcaire se corrodent tous plus rapidement à mesure que la quantité de bioxyde de soufre présente dans l'air augmente. Par ailleurs, des matériaux comme l'aluminium et l'acier inoxydables sont peu touchés.

Sauver les lacs et les forêts

L'APPORT de chaux aux lacs, rivières et cours d'eau, à leurs bassins de réception, permet de pallier la dégradation de l'eau. De nombreux produits chimiques comme la soude caustique, le carbonate de sodium, la chaux éteinte, la chaux vive ou la dolomite permettent de combattre l'acidité. La Suède a lancé un programme de chaulage de l'eau à l'automne de 1976, et durant l'été de 1982, près de 1 500 lacs du pays avaient reçu de la chaux pour un coût total d'environ 15 millions de dollars.

Le chaulage, s'il permet de pallier certains des symptômes de l'acidification, est impraticable pour bon nombre de lacs et de cours d'eau et ne s'attaque pas aux racines du problème. Il s'agit cependant d'une mesure provisoire qui apporte une certaine défense tant que l'émission de polluants n'est pas ramenée à un niveau satisfaisant.

La seule solution durable consiste à réduire les émissions de polluants. Abstraction faite des effets qu'ils pourraient avoir sur la protection des eaux et des forêts, des contrôles stricts permettraient d'économiser des millions de dollars en évitant la corrosion. L'Organisation pour la coopération et le développement économique (OCDE) a tenté pour la première fois en 1981 de trouver un moyen de quantifier les coûts de la corrosion : elle estime en conclusion que des mesures strictes de contrôle des émissions dans 13 pays d'Europe permettraient d'économiser environ 1,2 milliard de dollars par an sur les coûts de la corrosion.

Le moyen le plus simple de contrôler la pollution consiste à employer des combustibles à basse teneur en soufre. Mais cette solution sera de courte durée, car les réserves mondiales pour ce type de combustible sont jugées limitées. Une solution plus durable serait de faire appel à d'autres sources d'énergie au lieu des combustibles fossiles et d'améliorer les économies d'énergie.

Selon des estimations récentes, dont certaines furent soumises à la Conférence de Stockholm sur l'acidification, en 1982, l'élimination du soufre des combustibles coûterait environ de 20 à 40 dollars par tonne de carburant, en fonction surtout du type de carburant et de l'importance de l'usine. Il en résulterait une augmentation d'environ 5 à 10 dollars du coût de chaque mégawatt/heure d'énergie produite (prix de 1980), soit une augmentation de 10 à 20 % du coût de l'électricité. L'industrie, d'autre part, estime que le prix sera de 40 à 85 dollars par tonne de carburant.

Le charbon contient deux types de soufre ; la pyrite (sulfure de fer) et le soufre organique. Il faut éliminer la pyrite sulfureuse en lavant le charbon après l'avoir concassé et moulu. On estime que ce

procédé mécanique coûterait de 1 à 6 dollars par tonne de charbon. On peut ainsi éliminer environ la moitié de la pyrite et jusqu'à 90 % de celle-ci pour certains charbons, quand le procédé est d'un maximum d'efficacité. Les méthodes chimiques se révèlent plus efficaces, mais aussi plus onéreuses, et elles ne sont pas encore tout à fait au point. Avec celles-ci on peut séparer le soufre organique et la pyrite. Le coût de l'élimination de 90 à 95 % de la pyrite et de la moitié du soufre atteindrait environ entre 20 et 30 dollars par tonne de charbon. Les coûts excédentaires du lavage du charbon iraient de moins de 1 dollar à près de 3 dollars par mégawatt/heure et impliqueraient un accroissement de 1 à 6 % des frais d'électricité. La désulfuration chimique serait encore plus coûteuse : environ de 8 à 12 dollars par mégawatt/heure, ce qui se traduirait par une augmentation de 15 à 25 % des coûts d'électricité.

Il est possible de réduire les émissions d'oxyde d'azote en changeant les méthodes de combustion des carburants, notamment dans les centrales thermiques et électriques. L'un des principes de base est de ramener la température de combustion au-dessous de 1 500 degrés centigrades environ et de ne faire entrer que de faibles quantités d'air. De telles modifications pourraient diviser par deux la quantité d'oxydes d'azote produite.

L'élimination du soufre des combustibles et gaz laisse des déchets — dont il faut se débarrasser d'une manière adéquate pour ne pas polluer les eaux ou le sol. Bien entendu, ce problème grandit à mesure que le contrôle des émissions s'intensifie.

Selon les calculs préliminaires de l'OCDE, il coûte en moyenne 800 dollars pour empêcher l'émission dans l'atmosphère d'une tonne de soufre. Selon les calculs les plus récents, ces coûts seraient peut-être plus élevés. Si les pays du nord-ouest et du sud de l'Europe voulaient réduire leurs émissions annuelles de soufre dans les dix ou vingt-cinq années à venir en contrôlant les émissions des centrales électriques classiques, il leur en coûterait 10 % du coût total de leur production d'électricité.

D'autres facteurs viennent compliquer ces analyses. L'un d'eux, que l'on retrouve dans de nombreux cas de dommages subis par les ressources naturelles communes, est que les pays auxquels profiterait la réduction de la pollution ne seraient bien souvent pas ceux qui auraient à supporter le coût d'une telle réduction. Un autre facteur est que toutes les estimations de ces avantages supposent que les dommages occasionnés par la pluie acide peuvent d'ores et déjà être redressés, si l'on met en œuvre un contrôle suffisant de la pollution ; mais tel n'est pas

forcément le cas dans la réalité. Il faudra peut-être longtemps avant que s'amorce un redressement du dommage subi notamment par l'écosystème. Les données scientifiques concernant ce redressement sont malheureusement très rares.

Ce n'est là qu'un problème parmi tant d'autres, dans l'ensemble de ce domaine qui, malgré un progrès considérable de la recherche à ce sujet, reste inconnu ou compris seulement de manière superficielle. Il est indispensable d'étudier le dépôt sec de gaz et de particules polluantes et leurs effets sur l'eau, le sol, les feuillages jeunes et anciens et autres cibles de leur pollution ; comment les polluants se transforment dans l'atmosphère et comment ils sont transportés et déposés ; comment les couches de roches se désagrègent sous l'effet de différents acides et produisent des substances nutritives ; comment l'acide affecte le sol, notamment à long terme ; et quels sont les éventuels effets nuisibles des retombées acides sur la croissance des forêts.

Outre ces sujets de recherche à orientation météorologique et écologique, il est nécessaire de réunir des informations sur les effets que peut avoir sur la santé la dissémination accrue de cadmium et autres métaux toxiques par suite de l'acidification. Il convient entre autres de poursuivre la surveillance des quantités de métaux présents dans l'alimentation, les tissus humains et les liquides du corps.

Certaines régions tropicales sont peut-être fortement ou modérément sensibles à l'acidification, ce qui pourrait susciter des problèmes particuliers dont il nous faut découvrir la nature. Dans les régions tropicales sèches, la pluie acide elle-même ne peut jouer de rôle notable du fait de la rareté des précipitations. Mais on ignore quel rôle joue le dépôt sec. Dans les régions humides, les températures et les taux d'humidité diffèrent de ceux des zones tempérées où l'acidification a déjà été étudiée. Il se peut donc que leurs problèmes soient tout à fait distincts.

Par ailleurs, certains sols sont trop pauvres en soufre ou fortement alcalins ; dans une certaine mesure, des retombées de soufre et d'azote — ou simplement une pluie acide — pourraient leur être utiles. Ceci pourrait faire intervenir un nouveau facteur d'intérêt dans le calcul des coûts et des avantages de la pollution, mais cette question n'a pas encore été examinée. ■

Le présent article est extrait d'une étude du Programme des Nations Unies pour l'environnement (PNUE), qui a été publiée dans la Chronique des Nations Unies (volume XX, N° 5) sous le titre L'état de l'environnement mondial en 1983.

La grande soif des villes

LES mégapoles contemporaines, qui s'étalent à l'infini, exercent sur leur environnement des effets qui se font sentir bien au-delà de leur périphérie. Londres, Paris, Mexico, Amsterdam, Los Angeles, pour n'en citer que quelques-unes, se sont étendues en mordant sur des terres agricoles, qu'elles ont ensevelies sous le béton. Elles ont aussi poussé des tentacules de fer et de ciment pour capter l'eau de fleuves et de lacs éloignés. Dans leurs propres limites, elles se sont pratiquement dépouillées de toute végétation, substituant aux prés, aux taillis et aux bois, le bitume, le béton et les toitures étanches des maisons.

Tout cela est lourd de conséquences pour l'environnement urbain et les réserves d'eau dont les citadins sont tributaires.

La transformation d'une région inhabitée en une ville dotée de rues, de places publiques, d'un métro souterrain, de monuments et de tous les autres acquis de la civilisation est un processus long et complexe, dont trois étapes successives ont des incidences déterminantes sur l'eau.

Au premier stade de l'urbanisation, le déboisement et la suppression de la végétation, qui permettent de dégager le terrain pour la construction, modifient le potentiel hydrologique de la zone d'implantation en réduisant la transpiration de végétaux.

C'est généralement à ce stade que sont creusés des puits pour ravitailler les citadins, ce qui influe également sur le potentiel hydrologique dans la mesure où ces puits font baisser le niveau de la nappe phréatique.

Les cours d'eau qu'enserme la jeune métropole sont également touchés par la sédimentation. La construction de logements et de locaux commerciaux, ainsi que l'installation de conduites d'eau sou-

L'approvisionnement en eau est l'un des problèmes les plus pressants et les plus difficiles à résoudre qui se posent à la ville de Mexico (17 millions d'habitants), l'une des conurbations mondiales à croissance ultra-rapide. Faute de réserves d'eau locales suffisantes, cette mégapole doit aller chercher de plus en plus loin (entre 150 et 200 km) et de plus en plus profond (jusqu'à 1 000 mètres au-dessous du niveau de la ville) l'eau dont elle a besoin. A gauche, vue aérienne de Netzahualcoyotl, un quartier de Mexico.

► terrains, ameublissent parfois le sol au point qu'il peut être facilement emporté par les eaux de ruissellement.

C'est également à cette étape précoce de la croissance des villes que sont creusées les fosses septiques qui, lorsqu'elles sont mal conçues ou mal placées, risquent de polluer certaines parties de la nappe aquifère. Faute d'un système de tout-à-l'égout, les matières de vidange et d'autres effluents urbains s'infiltrent dans la nappe souterraine, déclenchant des épidémies de choléra et de fièvre typhoïde.

Au stade suivant, des fondations sont creusées pour permettre la construction de bâtiments plus grands. Une nouvelle couche de terre végétale est supprimée et de petites nappes d'eau sont comblées, ce qui accélère l'érosion des sols et la sédimentation des cours d'eau.

A mesure que la ville s'étend, la surface imperméable s'accroît, ce qui a pour conséquence de réduire l'infiltration des eaux de pluie vers la nappe souterraine. De ce fait, le débit des cours d'eau de surface grossit et des inondations peuvent se produire.

Mais le plus grand facteur de risques pour l'homme — qui survient généralement à ce stade — est l'évacuation de produits chimiques toxiques ou de déchets insuffisamment traités dans les cours d'eau locaux, qui polluent à leur tour les cours d'eau principaux, où toute vie aquatique disparaît. Outre qu'elle compromet les activités de loisir, cette dégradation de la qualité de l'eau se répercute également sur les collectivités situées en aval.

Au stade ultime de l'urbanisation, les terres qui étaient libres au départ sont entièrement recouvertes de constructions et autres revêtements qui ont pour résul-

tat d'en rendre la surface pratiquement imperméable. L'infiltration vers les nappes souterraines s'est considérablement réduite et les écoulements torrentiels se sont accrus et accélérés.

La nappe aquifère étant moins bien alimentée, il faudra sans doute creuser des puits plus profonds pour satisfaire les besoins en eau d'une population grandissante, à moins que l'on ne capte l'eau de sources extérieures à la municipalité. A cet égard, certaines des techniques élémentaires employées de nos jours pour l'alimentation en eau, comme l'exploitation d'aires de captage éloignées, l'acheminement de l'eau par aqueducs et l'adduction d'eau dans les villes, étaient déjà utilisées au siècle dernier, et même à l'époque romaine. Les principes essentiels en sont restés les mêmes, bien qu'on en maîtrise mieux les difficultés.

L'*Environment Protection Agency*, le service chargé de la protection de l'environnement aux Etats-Unis, a répertorié un certain nombre de facteurs importants de la pollution des eaux souterraines dans ce pays. La plupart d'entre eux sont liés à l'urbanisation. Ce sont notamment les puits d'injection souterraine servant à l'évacuation de substances dangereuses, le déversement accidentel de ces substances dans les rues des villes, les zones

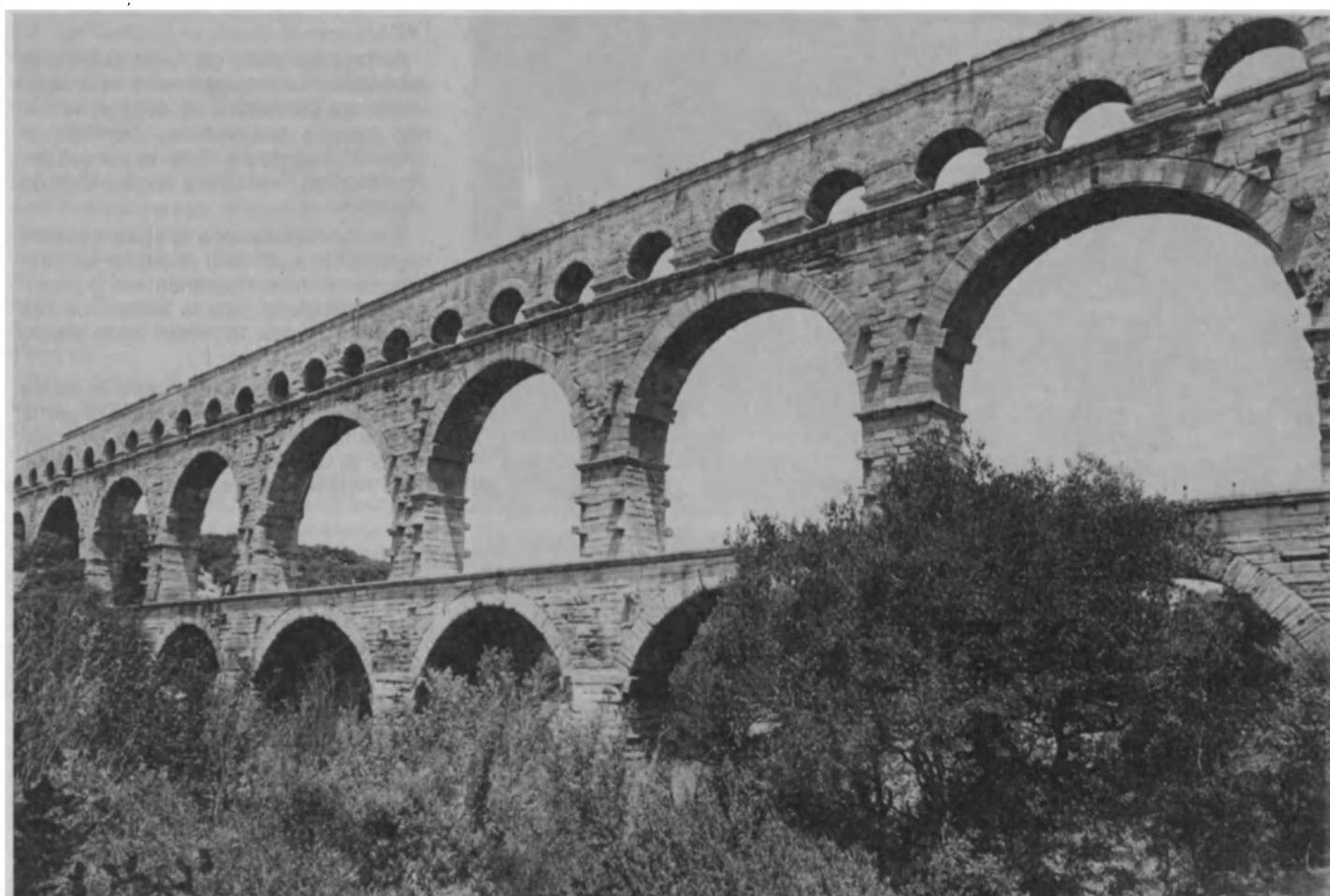
Les ingénieurs romains de l'Antiquité construisirent des systèmes d'adduction d'eau extrêmement élaborés. Le Pont du Gard (vers 19 av. J.-C.), dans le sud de la France (ci-dessous), n'est qu'une portion d'un aqueduc long de 40 kilomètres, souterrain pour la plus grande partie, qui amenait l'eau à Nîmes. Les deux premiers étages d'arcades s'élèvent à plus de 47 mètres de hauteur ; l'étage du haut, où passe l'aqueduc, est fait de 35 arches hautes chacune de 4,6 mètres.

industrielles, les voies ferrées et les aéroports, les fuites dans les conduites et les réservoirs, les puits domestiques abandonnés, l'abus de produits agrochimiques, les pièces d'eau boueuses dépourvues de revêtement et l'ingression d'eau salée dans les nappes aquifères.

Le pompage de quantités croissantes d'eau à des profondeurs de plus en plus grandes peut également provoquer des affaissements de terrain. Ce problème se pose avec une acuité particulière à Houston, une métropole en pleine expansion de la côte texane des Etats-Unis. De telles quantités d'eau y ont été pompées, que le terrain s'est affaissé de près de 3 mètres à 64 km à la ronde. Certains calculent avec ironie que si le tassement se poursuit à ce rythme, le sommet d'un célèbre gratte-ciel de 45 étages du centre-ville se retrouvera au-dessous du niveau de la mer en l'an 2180...

Mexico, qui s'élève à 2 134 m au-dessus du niveau de la mer, ne risque évidemment pas de connaître le même sort, bien que cette grande métropole, construite sur des terrains lacustres asséchés, se soit enfoncée de 10,7 m en 70 ans, par suite des ponctions opérées sur la nappe aquifère sous-jacente.

Les autorités mexicaines se proposent de satisfaire une demande croissante en captant l'eau de fleuves situés à plus de 160 km de la capitale. D'après certaines estimations, Mexico dépassera les 30 millions d'habitants en l'an 2000, ce qui en fera la plus forte concentration urbaine du monde. Or, si de 1960 à 1976 l'approvisionnement en eau de cette ville a plus que doublé, le volume d'eau disponible par habitant a diminué. En 1982, seuls 15 % des résidents de zones urbaines autour de Mexico recevaient l'eau courante à domicile. ■



Le lavage des eaux

LE monde entier reconnaît aujourd'hui, du moins en principe, la nécessité de réduire la pollution des eaux si l'on ne veut pas compromettre la survie de l'humanité. Aussi est-il désormais admis qu'il faut épurer toutes les eaux usées qui sont rejetées dans le système naturel de l'eau.

Les procédés d'épuration en vigueur ont été conçus pour éliminer les polluants et types de pollution suivants :

- solides en suspension, comme les limons qui produisent la turbidité et forment des dépôts résiduaux.
- matières qui consomment de l'oxygène.
- matières nutritives nécessaires à la création de nouveaux organismes.

Les phosphates et les nitrates sont des matières nutritives très importantes. Dans les eaux résiduaux, le phosphore et l'azote proviennent principalement des eaux usées ménagères. Par suite de l'utilisation croissante des engrais chimiques, les eaux résiduaux des régions agricoles posent également aujourd'hui un problème grave.

On a discuté du rôle joué par le phosphore dans la pollution des eaux avec l'introduction des détergents synthétiques, lorsqu'on a découvert que ceux-ci en contenaient en grande quantité et que cette substance se répandait très vite dans les eaux de surface.

Les fabricants ont réagi en réduisant considérablement la dose de phosphore contenue dans leurs produits. Mais les eaux usées que doivent traiter les usines d'épuration ont toujours une teneur élevée en phosphore et en azote.

• Les eaux résiduaux urbains contiennent aussi des bactéries et des virus pathogènes ainsi que des substances chimiques toxiques. Le mercure, le plomb, le zinc et le chrome (ce qu'on appelle les « métaux lourds ») sont des substances résiduaux de certaines industries qui sont terriblement nocives pour un grand nombre d'organismes vivant dans les cours d'eau et les lacs. Certains effluents peuvent aussi changer le pH de l'eau, c'est-à-dire son taux d'acidité naturelle, qui varie entre 0 et 14. Le degré 7 correspond à ce qu'on pourrait appeler le point neutre ; plus le chiffre est faible, plus l'acidité de l'eau est forte. Les poissons qui entrent dans la catégorie de la pêche

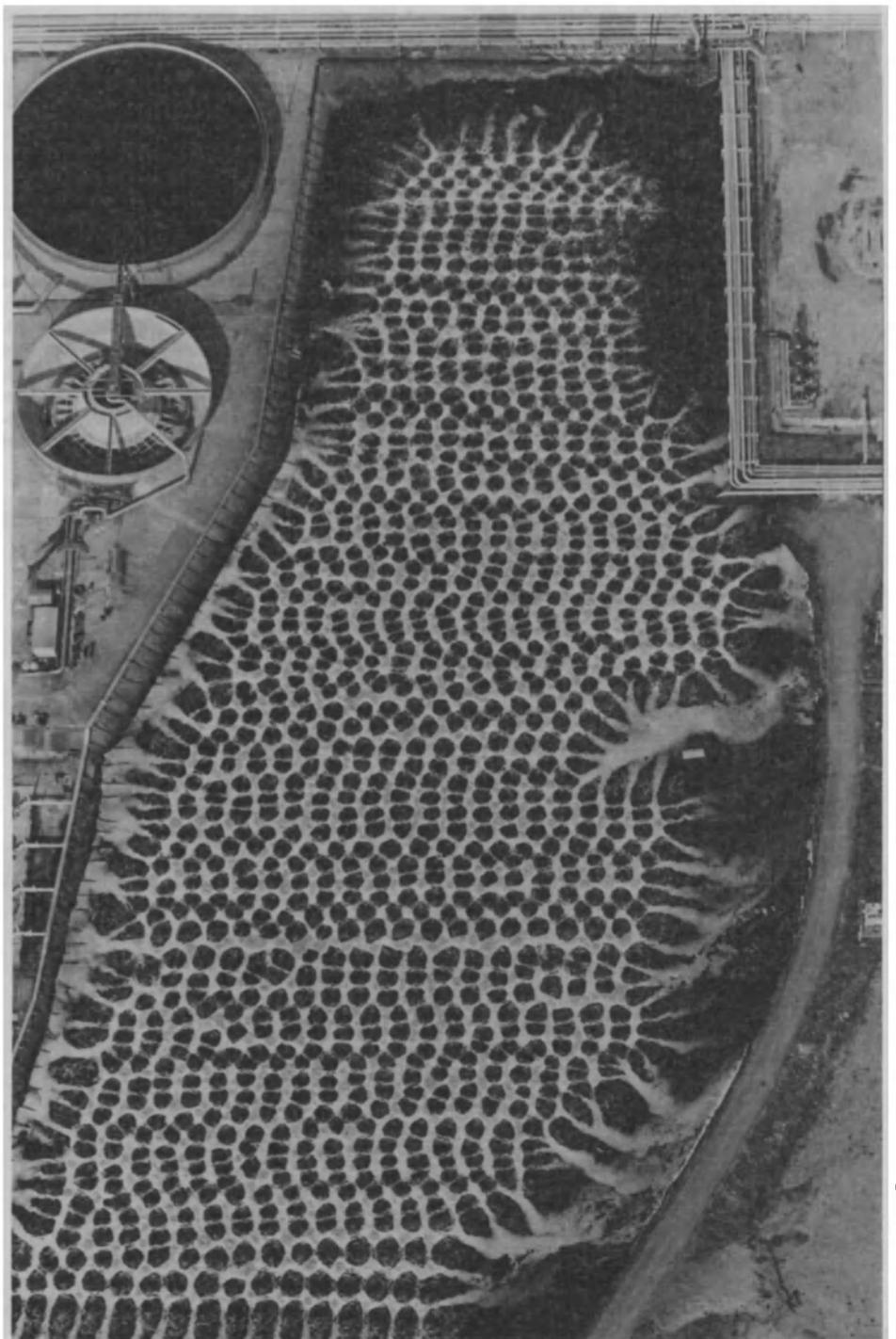
sportive, comme la truite, ont besoin, pour survivre, d'un pH supérieur à 5, mais à l'inverse, un pH trop élevé risque d'être pour eux dangereux. Ce sont surtout les effluents de l'industrie du papier qui abaissent le taux du pH tandis que les rejets des tanneries et des usines textiles l'augmentent.

• Deux autres groupes de polluants ont de graves conséquences biologiques : les pesticides et les hydrocarbures rejetés par les raffineries de pétrole, les stations-service, les garages et la circulation automobile urbaine.

Le traitement des eaux usées se fait en quatre étapes :

- séparation des boues résiduaux.
- traitement biologique.
- traitement chimique.
- traitement complémentaire comme le filtrage.

L'épuration des eaux résiduaux commence toujours par l'élimination des déchets flottants, volumineux ou pesants. A ce premier stade, on retire aussi les sables et les graviers. Après ce tri initial, les eaux résiduaux sont amenées jusqu'à un bassin où elles sont exposées ▶



Dans cette usine d'épuration située en Louisiane (Etats-Unis), les eaux résiduaux industrielles sont littéralement « lavées » par l'eau oxygénée que déversent en elles des centaines de jets. L'oxygène contenu dans cette eau (qui apparaît en blanc sur la photo) décompose les matières organiques des eaux résiduaux. Celles-ci sont ensuite rejetées dans le Mississippi d'où elles provenaient.

► ralenties : les matières solides tombent ainsi sur le fond d'où il est ensuite facile de les extraire.

Cette première phase du processus, longue d'environ trois heures, peut être exécutée selon deux méthodes différentes. La première consiste à amener l'eau dans un bassin où elle est aérée par diffusion ou par une ventilation obtenue à l'aide d'une turbine qui met l'eau en mouvement. Apparaissent alors des formations boueuses dont le volume augmente sans cesse. Après une heure ou deux de ce traitement en bassin d'aération, cette eau pleine de matières en suspension passe dans un bassin de sédimentation : les boues se déposent sur le fond d'où on peut les retirer ou les recycler.

Avec la seconde méthode, on utilise un lit biologiquement actif formé de couches de divers matériaux, le plus souvent de cailloux. Les micro-organismes contenus dans la pellicule visqueuse qui adhère aux pierres décompose les matières organiques puis, périodiquement, s'en sépare. Comme avec le procédé précédent, les eaux résiduaires, en partie épurées, passent ensuite dans un bassin de sédimentation des boues qu'elles contiennent.

La phase suivante, si nécessaire, consiste en un traitement chimique. Pour faciliter l'agglomération des substances, on ajoute du sulfate d'aluminium et des composés ferreux. Le phosphore est éliminé à ce stade. Enfin, on peut encore recourir au filtrage pour éliminer les agglomérats qui subsistent.

Les boues sont un sous-produit du processus d'épuration des eaux usées. Auparavant, les pays dotés d'un littoral marin déversaient dans la mer ces matières encombrantes. Mais cette pratique est devenue inacceptable depuis que l'on

connaît les effets nocifs qu'elle a sur la vie marine.

Ces boues peuvent être traitées dans des chambres de « digestion » : l'atmosphère sans oxygène qui y règne transforme la matière organique en composés non organiques. Ce procédé dure environ trois semaines. Toutefois, les boues ainsi « digérées » doivent quand même subir un autre traitement, car elles recèlent encore une grande quantité d'eau qu'on peut éliminer au moyen de lits déshydratants ou par chauffage, méthode qui exige une grande dépense d'énergie.

Une fois qu'elles ont perdu l'eau qu'elles contenaient, il reste, pour éliminer définitivement ces boues, plusieurs possibilités :

- les évacuer dans un dépôt d'ordures. Mais un nouveau problème risque alors de surgir : les fuites. En effet, si le dépôt n'est pas construit selon les règles, les pluies peuvent s'infiltrer à travers les boues jusqu'aux nappes d'eau souterraine.
- les mélanger aux ordures solides ménagères.
- les incinérer. Avec ce procédé on court malheureusement le risque de substituer à une pollution des eaux une pollution de l'air. Les cendres qui restent après l'incinération peuvent contenir des métaux lourds nocifs pour les organismes vivants.
- les utiliser pour la bonification des terres, comme on fait avec le fumier. Mais le

Entre autres installations, cette usine d'épuration, située à Lubbock (Texas), compte une ferme de 1 200 hectares qui utilise les résidus laissés par la troisième phase du processus d'épuration. Au lieu d'être éliminées comme c'est habituellement le cas, les matières nutritives obtenues à ce stade servent en effet d'engrais.

problème des métaux lourds n'en est pas résolu pour autant. Aussi dans beaucoup de pays la législation interdit-elle d'employer ces boues comme fumure dans les jardins pour éviter la présence de métaux lourds dans les produits alimentaires.

A l'évidence, il est très difficile de se débarrasser des substances nocives que nous introduisons dans le cycle hydrologique. Certaines substances polluantes — même si ce ne sont plus exactement celles qui ont été déversées au départ — qui y demeurent en définitive présentes peuvent se révéler biologiquement dangereuses. Le plus grave cependant est que l'homme pollue sans cesse davantage ce cycle naturel. Dans les usines d'épuration, ces polluants sont transformés pour la plupart en déchets solides. Mais le tout est de savoir ce qu'on fait de ces déchets. Si on laisse les polluants qu'ils contiennent atteindre les eaux de surface ou les eaux souterraines, le cycle de la pollution est complet.

Alors, comment agir ? Avons-nous le choix entre plusieurs possibilités ? Hélas, leur nombre est restreint. Il nous faut de nouveaux procédés industriels qui ne polluent pas les eaux et de meilleures méthodes de recyclage pour empêcher que les eaux souillées ne soient évacuées dans les cours d'eau et les lacs.

Il faut insister sur le fait que tous les éléments de l'environnement hydrique urbain doivent être considérés comme appartenant à un seul et même système. Autrement dit, il faut assurer une distribution convenable d'eau potable, il faut épurer efficacement les eaux usées et faire un usage sûr des substances qui restent après épuration, comme les boues. Une seule faille dans un seul des éléments de ce système et c'est tout le processus et la ville entière qui sont en péril. ■



Photo Ted Spiegel © Rapho, Paris

SRI LANKA : une hydraulique millénaire

par Ananda Gurugé

Photo © François Dupuy, Paris

« **P**AS une seule goutte de pluie qui tombe sur cette île ne doit se perdre dans l'océan avant d'avoir été mise à profit par l'homme ». Telle était la règle d'or d'un gigantesque programme d'aménagement des ressources en eau entrepris au 12^e siècle à Sri Lanka par l'un des plus grands rois de son histoire, Parakramabahu 1^{er} (1153-1186). Les réalisations de ce monarque sont fort impressionnantes. Le *Culavamsa*, d'anciennes chroniques sri-lankaises en pali, la langue des Ecritures bouddhiques, fait état des ouvrages qui lui sont dus, d'abord comme gouverneur de la province occidentale de l'île, puis comme souverain du pays tout entier. Il compte à son actif la construction ou la réfection de 163 grands réservoirs (communément appelés *tanks* au Sri Lanka), de 2 617 réservoirs de moindre capacité, de 3 910 canaux d'irrigation, de 328 écluses en pierre et de 168 vannes, sans compter la réparation de 1 969 brèches dans les digues. L'un de ces réservoirs, dit *Mer de Parakramabahu* en raison de ses proportions monumentales, s'étendait sur 3 000 ha, en irriguait près de 10 000 autres et était entouré d'une levée de terre de 14 km. Le progrès qui s'ensuivit dans la conservation et la répartition des eaux eut pour résultat de permettre l'extension des terres cultivables. Aussi, sous le règne de Parakramabahu 1^{er}, la production de riz s'accrut au point que Sri Lanka put en exporter dans les pays voisins et devint, dit-on, le grenier de l'orient.

En exécutant cet ambitieux programme, le roi Parakramabahu s'acquittait de l'un des devoirs primordiaux qu'imposait la tradition aux souverains du pays. En effet, le devoir d'un roi était de servir à la fois les intérêts matériels et spirituels de son peuple (dits *loka-sasana-abhivuddhi* en pali). Pour

Le grand lac artificiel d'Anuradhapura, dans le nord de Sri Lanka, avec, au fond, le Ruvanvalisaya, un stupa monumental. Le royaume d'Anuradhapura (2^e siècle av. J.-C.-10^e siècle ap. J.-C.) créa un remarquable système d'aménagement hydraulique qui assura sa prospérité.

ce faire, il devait défendre la nation contre les périls internes et externes, assurer la conservation et la gestion des ressources en eau pour permettre la culture du riz et soutenir le bouddhisme en encourageant l'édification de monastères et de grands monuments religieux. Les monarques cinghalais qui se sont signalés dans l'histoire se sont brillamment acquittés d'au moins deux de ces trois obligations.

Et de fait, le roi Mahasena qui construisit au 4^e siècle le *tank* de Minneriya fut déifié par son peuple. Dans le temple érigé à sa mémoire sur la digue de ce lac artificiel, il reçoit encore l'hommage des cultivateurs locaux qui implorent sa bénédiction pour les récoltes. Au 5^e siècle, le roi Dhatusena, sommé par son fils rebelle Kashyapa de lui révéler le lieu où était caché le trésor royal, conduisit ses geôliers à Kalaweva, un lac de 90 km de circonférence qu'il avait fait creuser, et y puisant de l'eau dans sa paume il leur dit : « Tenez, mes amis, voici toute ma fortune. »

La construction de ces ouvrages exigeait une haute technicité. Les fleuves étaient détournés à des kilomètres de leur cours habituel au moyen de digues de pierre. Les cours d'eau saisonniers étaient entrecoupés de barrages formant une succession de biefs s'étagant jusqu'au bas des vallées. Les remblais de terre qui cernaient ces réservoirs

allaient de quelques centaines de mètres à 15 km, et pouvaient atteindre par endroits 18 mètres de haut. Le *Jaya-Ganga*, un canal d'irrigation baptisé non sans raison la rivière de la Victoire et qui est encore en usage aujourd'hui, conserve sur ses 80 km une largeur constante de 12 mètres et, pour éviter l'envasement et l'érosion des berges, sa pente a été maintenue à un gradient imperceptible de 1 pour 10 000 sur les trente premiers kilomètres. Ce canal relie deux réseaux fluviaux et alimente tout un ensemble de réservoirs qui communiquent les uns avec les autres et irriguent 46 000 ha de rizières.

Bien que l'on sache fort peu de choses sur les méthodes ou l'outillage des ingénieurs cinghalais de l'époque, il est évident qu'ils maîtrisaient parfaitement la dynamique des eaux et les techniques de planimétrie et de nivellement. La vanne de sortie et sa tour de prise d'eau, *Biso-kotuva* en cinghalais, un système d'une remarquable efficacité qui dénote une science remarquable de l'eau sous pression, permettaient de régulariser le débit de l'eau répartie dans les champs, de façon à garantir ceux-ci ainsi que le canal lui-même contre l'érosion et les crues. Par la même occasion, il empêchait les agriculteurs de vider inconsidérément les réservoirs durant les périodes de sécheresse pour arroser leurs champs, et de mettre ainsi en péril la survie des hommes et des bêtes. De même, un déversoir ou un évacuateur de crue en pierre était construit au niveau voulu, parfois à des kilomètres de la vanne, pour protéger les digues contre les élévations soudaines de pression par suite de pluies ou de crues soudaines.

Ces ouvrages ingénieux ont déconcerté bien des spécialistes, comme ces ingénieurs néerlandais au 18^e siècle, ou leurs homologues britanniques au 19^e siècle, qui ne réus-

L'irrigation

► s'irent pas à percer les secrets d'un réservoir géant proche de Mannar, sur la côte Nord-Ouest. Ce n'est que tout récemment que l'on parvint à découvrir, en restaurant ce réservoir suivant les plans originaux, que le travail de nivellement réalisé par les ingénieurs anonymes du passé était bien supérieur à celui qu'avaient voulu entreprendre ceux de notre époque, avec tous leurs instruments modernes.

Il n'est pas aisé de retracer les origines de cette science de l'eau à Sri Lanka. Les premiers ouvrages hydrauliques connus remontent à la fondation du royaume cinghalais, au 6^e siècle avant notre ère. Quoi qu'il en soit, le savoir-faire des cinghalais en matière d'irrigation semble avoir été reconnu dès l'Antiquité. Dans sa relation de l'ambassade sri-lankaise à la cour de l'empereur Claude à Rome en 45, Pline l'ancien fait allusion au lac artificiel des environs de la capitale de l'époque, Anuradhapura. Dans le *Rajatarangani* (« Le fleuve des rois »), des chroniques poétiques de l'Inde ancienne, il est fait allusion, bien qu'en termes allégoriques, à des experts lankais qui auraient aidé vers le 8^e siècle le roi Jayapida à assécher un lac.

Dans les époques les plus reculées, l'eau faisait déjà l'objet à Sri Lanka d'une réglementation fort complexe, qui non seulement prévoyait les modalités de sa distribution, mais arrêtaient également les compétences en matière d'entretien des réservoirs et des canaux d'irrigation. Jusqu'à ce que l'avènement de l'économie monétaire les fasse tomber en désuétude, ces dispositions furent appliquées dans le cadre d'un système de coopération mutuelle. Aujourd'hui encore, elles continuent d'être observées dans certains villages isolés.

Le devoir fait aux rois de développer les ressources en eau, qui sont la substance même de la vie dans les campagnes de Sri Lanka et de la culture aux multiples facettes de ce pays, incombe au gouvernement sri-lankais depuis que le pouvoir politique est passé aux mains de dirigeants nationaux dans les années 30. Dans un grand effort pour relancer l'agriculture dans la zone sèche du nord et du sud-est de l'île, plus de 3 000 réservoirs de diverses capacités et leurs systèmes de canalisation ont été remis en état, et de grandes étendues de terres rizicoles ont été mises en exploitation. Le *Senanayaka-Samudraya* (la Mer de Senanayaka, du nom du premier chef de gouvernement indépendant de Sri Lanka, qui fit œuvre de pionnier dans la restauration des anciens ouvrages hydrauliques et l'implantation de nouveaux villages dans des régions jusque-là inhabitées) n'a rien à envier à la Mer de Parakramabahu évoquée plus haut.

La réalisation la plus impressionnante à cet égard est le projet de détournement du cours du Mahaveli-Ganga, le fleuve le plus long de l'île. Cet ambitieux projet, qui doit permettre non seulement de produire de l'électricité et de contenir les crues, mais aussi d'irriguer des milliers d'hectares de terres pour l'agriculture, montre bien que l'orgueil de la nation sri-lankaise continue d'être incarné par le village, avec son lac, ses rizières et son temple. ■

ANANDA GURUGE est à l'Unesco le chef de l'Unité de coopération avec l'UNICEF et le PAM. Il est un spécialiste des cultures asiatiques et bouddhiques auxquelles il a consacré plusieurs ouvrages.

PRÈS du huitième des terres cultivées dans le monde sont irriguées, ce qui représente au total 230 millions d'hectares, auxquels doivent s'ajouter 50 millions d'hectares d'ici à 1990.

Les avantages

• *Un accroissement de la production alimentaire.* Au cours des vingt dernières années, la productivité des terres agricoles s'est accrue en moyenne de deux pour cent par an. La part des terres nouvellement irriguées dans cette augmentation de la production agricole est d'environ soixante pour cent.

• *Un accroissement des revenus des petits agriculteurs.* L'irrigation permet de doubler, voire de tripler, le nombre des récoltes annuelles, ce qui signifie que grâce à l'irrigation, un paysan et sa famille peuvent tirer leur subsistance d'un lopin de terre qui auparavant n'y suffisait pas.

• *Une extension des terres cultivables.* L'irrigation permet aujourd'hui de faire pousser du blé et du maïs dans certaines régions du nord du Mexique, et du riz

dans la vallée du Kuban en Union soviétique, sur des terres qui étaient auparavant improductives.

Les risques

• *Les maladies d'origine hydrique.* Des projets d'irrigation mal conçus peuvent accroître l'incidence de maladies d'origine hydrique, comme la schistosomiase, le paludisme et la cécité des rivières (voir encadré page 32).

• *La salinisation et l'engorgement par l'eau.* Lorsque des terres mal drainées sont irriguées dans des régions chaudes, l'évaporation sous l'action du soleil des eaux retenues en surface laisse dans le sol un dépôt de sels alcalins guère favorable à l'agriculture. En outre, ce mauvais drainage finit par faire monter le niveau hydrostatique et par provoquer l'engorgement du sol. Vers le milieu des années 70, l'Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture a estimé à 952 millions d'hectares la superficie des terres touchées par la salinisation. ■



Les effets de la salinisation du sol, due à un mauvais drainage et à un engorgement d'eau, en Inde (ci-dessus) et aux Etats-Unis (ci-dessous).





Les escargots de Dongfeng

par Zhang Bihua

Chasse aux escargots le long d'un fossé servant à drainer les eaux, à Dongfeng, non loin de Shanghai. Depuis les années 70, on a creusé ces fossés plus profonds pour éviter que les champs ne soient saturés d'eau, un facteur de propagation de la bilharziose ou « fièvre de l'escargot ».

LES conditions de vie des 400 familles de la brigade de Dongfeng, un village dont le nom signifie « vent d'est » proche de la ville de Wuxi en Chine méridionale, se sont transformées de manière spectaculaire ces dix dernières années.

Comme dans les autres agglomérations rurales du district de Wuxi, les routes du village ont été pavées et les anciennes constructions basses en briques ont été remplacées par des bâtiments de deux ou trois étages aux toitures de tuiles. Grâce à l'augmentation de leurs revenus, les villageois peuvent s'acheter toutes sortes d'articles de consommation, comme des appareils de haute fidélité, des postes récepteurs de télévision, des machines à laver et des appareils photographiques.

Mais Dongfeng a subi une autre transformation dont les effets ne sont pas directement perceptibles pour le visiteur de passage. Les escargots y ont disparu. Et depuis 1972, on n'y a plus signalé un seul cas de « fièvre de l'escargot », une maladie débilitante qui sévit en Chine depuis l'époque des Hans, c'est-à-dire depuis 2 000 ans.

Connue médicalement sous le nom de schistosomiase (ou bilharziose), cette maladie se manifeste par des fièvres, des douleurs abdominales, des éruptions cutanées et du sang dans les selles et les urines. Elle est causée par un ver parasite appelé schistosome, dont le cycle évolutif complexe se déroule successivement dans l'eau douce, dans une espèce particulière de gastéropodes et dans l'organisme humain (voir des-

sin). Les êtres humains contractent la maladie en marchant ou en se baignant dans les eaux contaminées d'un canal, d'un lac ou d'une mare.

La région de Wuxi est traversée de toutes parts de fleuves et de canaux, et elle est bordée au sud par le lac Tai, l'un des plus grands de Chine. La ville tire son eau du Grand canal qui unit le Yangtze au lac Tai et étend au passage des ramifications dans les villages qui s'échelonnent sur ses rives. La fertilité des sols, la douceur du climat et l'abondance d'eau font de cette région un « pays du poisson et du riz ».

Toutefois, l'eau n'amène pas que des bienfaits, puisqu'elle véhicule aussi le schistosome et abrite les escargots porteurs de la maladie. Des statistiques réalisées peu après la Libération en 1949 faisaient apparaître que 100 millions d'individus étaient atteints de la « fièvre de l'escargot » dans 11 provinces (y compris la province de Jiangsu où se trouve Dongfeng), situées le long du fleuve Yangtze et au sud de celui-ci.

La brigade rurale de Dongfeng appartient à la commune de Luyuan, dans la banlieue nord de la ville de Wuxi. Les eaux du Grand canal, s'unissant à celles de cinq affluents de la rivière Liangqi, y forment un réseau serré de voies navigables, qui offrent au schistosome et à son hôte l'escargot un habitat idéal.

Bien qu'ils y fussent moins exposés que dans d'autres secteurs, les habitants de Dongfeng risquaient de contracter la maladie chaque fois qu'ils allaient puiser de l'eau dans la Liangqi, la seule source d'eau pota-

ble et à usage domestique dont ils disposaient. La brigade possédait bien deux vieux puits communaux, mais il n'existait aucun puits familial.

Les enfants déféquaient parfois dans les champs. Les adultes faisaient usage de seaux, qu'ils vidaient également dans les champs et lavaient ensuite dans la rivière d'où ils tiraient leur eau, contribuant ainsi à répandre les œufs de schistosome.

Pourtant, les paysans ignoraient totalement pourquoi leur abdomen était distendu ou comment ils attrapaient ce qu'ils appelaient la « maladie de la paresse ». Tout ce qu'ils savaient c'est qu'elle les rendait faibles et inaptes au travail. Lorsque la douleur était trop forte, ils se perforaient l'abdomen pour en purger les humeurs.

Il fallut vingt ans à Dongfeng pour se débarrasser du fléau que charriaient les eaux. Une campagne de lutte contre la bilharziose fut déclenchée d'abord à l'échelle nationale dans le cadre d'un programme de prévention visant à détruire les escargots et leur habitat, ainsi qu'à imposer un contrôle rigoureux de l'utilisation de l'eau et de l'évacuation des excréments. Des groupes spéciaux furent formés à tous les niveaux, du ministère de la Santé à Beijing aux districts, aux provinces et aux brigades.

Cette campagne s'engagea à Dongfeng dans les années 50, mais il fallut attendre plusieurs années pour qu'elle s'y organise vraiment.

À Dongfeng, les terres et les biens appartiennent en collectivité à la brigade, qui

► contrôle aussi les ressources financières de la communauté. Une part de son revenu annuel est versé à un fonds coopératif d'entraide, qui subventionne les soins médicaux collectifs. C'est de là que vinrent les fonds nécessaires au financement de la lutte contre les escargots.

La campagne prit véritablement son élan en 1972, avec la constitution d'un groupe anti-bilharziose qui fut chargé de prendre la direction des opérations. Ce groupe était composé de quatre responsables locaux : le secrétaire du Parti communiste, deux chefs d'équipes de production de brigade et un « médecin aux pieds nus ». Ces médecins aux pieds nus, qui jouent un rôle de première importance dans le système médical rural en Chine, ne sont pas des docteurs en médecine, mais des paysans ayant reçu une formation intermédiaire.

En 1972, le médecin aux pieds nus de la brigade qui était affecté à la campagne anti-bilharziose était une jeune femme de 27 ans, Su Guiying. Enfant, Su avait vu des gens de son village souffrir de schistosomiase et s'était promise de devenir médecin pour pouvoir un jour les soulager.

Pour devenir médecin aux pieds nus, Su avait suivi, pendant quatre mois dans la ville de Wuxi un stage où elle avait reçu une formation élémentaire en pharmacologie et en obstétrique, et appris à diagnostiquer et à traiter des affections communes telles que

le rhume et la diarrhée. Pour la campagne, elle dut suivre un cours accéléré consacré à la maladie, s'initier à l'écologie de l'escargot et acquérir les rudiments de l'analyse des selles.

Le secrétaire du Parti communiste et les deux chefs de production de brigade furent instruits, quant à eux, des aspects non médicaux du problème. Le groupe au complet assista à la projection de films documentaires sur la maladie, examina les larves et les œufs du ver parasite et disséqua même un lapin contaminé pour en étudier les effets sur son organisme. Il restait à transmettre toutes ces connaissances aux habitants de Dongfeng.

Selon Lu Guomin, un médecin de la ville de Wuxi, ils ne tardèrent pas à s'apercevoir que les informations étaient mieux reçues lorsque les paysans se les transmettaient directement que lorsqu'elles leur étaient portées de village en village par des professionnels.

Il fallait donc lancer une grande action publicitaire. Des affiches et des slogans furent placés sur les murs. Des articles et des illustrations furent exposés sur des panneaux. Pendant la journée de travail, des annonces étaient constamment diffusées par haut-parleur dans les champs et le soir, des comédiens amateurs jouaient des saynètes et chantaient des ballades pour faire passer le message.

Une mobilisation générale était indispensable au succès de la campagne mais, tout en reconnaissant la nécessité d'une action de propagande pour obtenir une telle mobilisation, Su était persuadée que la clé du succès était la patience.

Tous ces efforts finirent par porter leurs fruits. Au début des années 70, au moins un membre de chacune des 400 familles de Dongfeng était atteint de bilharziose. En 1975, trois ans après que la campagne eut véritablement démarré, on n'en signalait plus que 18 cas.

Les conditions sanitaires purent être améliorées grâce à trois actions majeures entreprises durant la campagne, à savoir :

- L'élimination des escargots,
- La construction de nouveaux canaux pour l'irrigation, l'évacuation des eaux usées et la navigation,
- La modification des méthodes d'approvisionnement en eau et d'évacuation des excréments.

Chacune de ces actions put être menée à bien grâce au soutien du gouvernement, à l'action communautaire et à la motivation des responsables locaux.

Quelques tentatives avaient été faites à Dongfeng pour détruire les escargots au tout début de la campagne, dans les années 50 et 60. Comme beaucoup d'autres responsables locaux, Yang Zoji, un spécialiste en

SUITE PAGE 34

Les maladies liées à l'eau

L'ORGANISATION mondiale de la santé a estimé que 80 % des maladies et des affections qui sévissent dans le monde sont imputables à l'absence d'eau salubre et d'installations d'assainissement. Il s'agit notamment des maladies contractées en buvant de l'eau contaminée, provoquées par des vecteurs vivant dans l'eau ou dues au manque d'hygiène.

Les maladies liées à l'eau et à l'assainissement entrent dans cinq catégories :

- *Les maladies hydriques*, contractées en buvant de l'eau contaminée ou en y lavant la nourriture, les ustensiles, les mains ou le visage. Ce sont la fièvre typhoïde, le choléra, la dysenterie, la gastro-entérite (diarrhée) et, si la contamination est particulièrement importante, l'hépatite virale.

- *Les maladies propagées par une mauvaise hygiène personnelle*, qui atteignent les yeux et la peau d'individus qui manquent d'eau pour se laver. Ce sont, entre autres, le trachome, la gale, le pian, la lèpre, la conjonctivite, les dermatoses prurigineuses et les ulcérations de la peau.

- *Les maladies d'origine aquatique*, dont le vecteur est un invertébré aquatique. Les plus répandus sont le schistosome et la filaire de Médine.

- *Les maladies transmises par des vecteurs et contractées près de l'eau*. Les moustiques (vecteurs du paludisme, de la filariose et de la fièvre jaune) et les simulies (vecteurs de l'onchocercose ou cécité des rivières) se reproduisent dans l'eau. Les mouches tsé-tsé, qui sont les agents de transmission de la trypanosomiase ou la maladie du sommeil, piquent généralement près de l'eau.

- *Les maladies dues essentiellement à l'absence d'installations d'assainissement*, comme l'ankylostomiase.

La DIARRHÉE tue directement 6 millions d'enfants dans les pays en développement chaque année et contribue à la mort de quelques 18 millions de personnes. Ceux qui en sont victimes meurent souvent de déshydratation, ou en sortent si affaiblis qu'ils demeurent exposés à d'autres maladies. Dans des conditions d'hygiène insuffisante, la maladie se transmet facilement

d'un enfant à l'autre. On peut restituer à l'organisme du malade l'eau et le sel qu'il a perdus en lui faisant absorber par voie orale ou intraveineuse une solution contenant de faibles quantités de sucre et de sel.

Le TRACHOME est une conjonctivite virale qui peut, si elle n'est pas traitée, entraîner la cécité par l'atteinte secondaire de la cornée et la formation de cicatrices opaques. Le virus est inoculé par la piqûre d'un insecte ou transmis par contact direct.

La SCHISTOSOMIASE (ou bilharziose) est causée par un ver parasite qui vit dans un mollusque d'eau douce (voir article). 200 millions de personnes en Afrique, au Moyen-Orient, dans certaines parties de l'Amérique latine et en Asie du Sud-Est, subissent à l'heure actuelle les effets débilitants de cette maladie. Les larves infectieuses du schistosome pénètrent chez l'homme par la peau alors qu'il marche ou se baigne dans de l'eau qui en est infestée. Les larves passent dans les vaisseaux sanguins, où elles se développent et deviennent des vers adultes. Ceux-ci pondent des œufs qui sont excrétés dans l'urine et les selles. La maladie se manifeste par des fièvres, des douleurs hépatiques, des éruptions cutanées et la présence de sang dans les urines et les selles. Paradoxalement, la recrudescence spectaculaire de la schistosomiase est due à la multiplication des canaux d'irrigation et des retenues d'eau, qui offrent un excellent habitat aux mollusques et à leur parasite.

La CÉCITÉ DES RIVIÈRES, ou onchocercose, dont 30 millions d'individus seraient atteints, est une maladie contagieuse causée par de minuscules vers qui sont transmis par la piqûre de petits moustiques, les simulies, qui vivent dans les eaux courantes. Les vers se répandent dans l'organisme et atteignent souvent les yeux, où ils provoquent des lésions dont les cicatrices peuvent entraîner la cécité.

Le PALUDISME, endémique dans certaines régions chaudes et humides des tropiques, se manifeste par des accès de fièvre intermittents. Il est provoqué par un parasite inoculé dans le sang par la piqûre de moustiques. Ceux-ci peuvent se reproduire sur les moindres étendues d'eau. On estime que 800 millions de personnes en sont atteintes tous les ans. ■

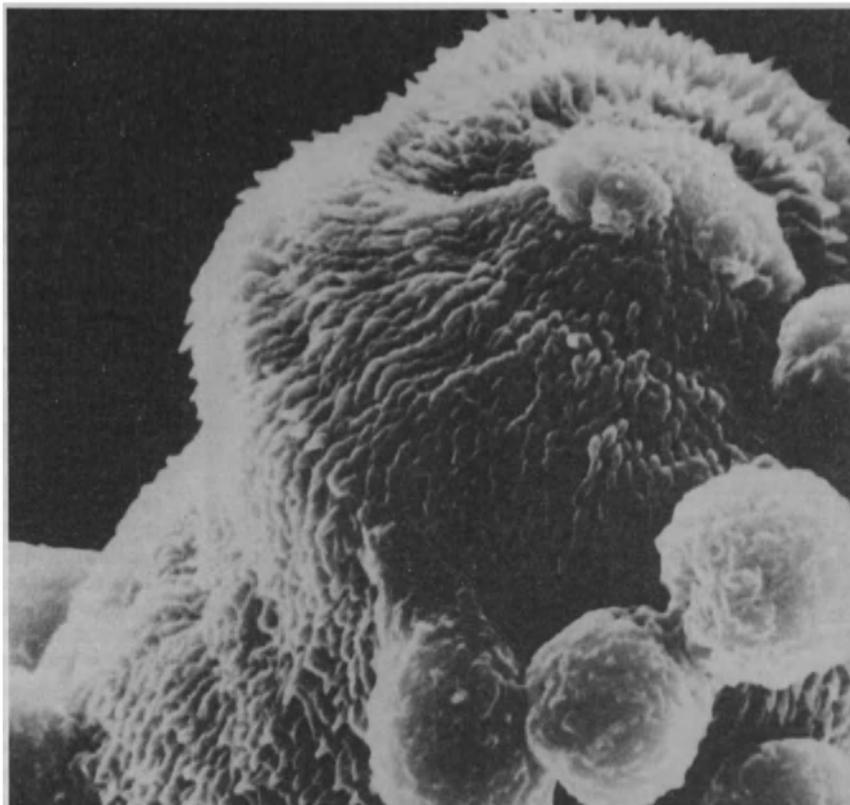


Photo G. Torpier et OMS, Genève

Photographie au microscope électronique du parasite causant la schistosomiase ou bilharziose (ci-dessus) et image du moustique anophèle qui transmet le paludisme (à droite).

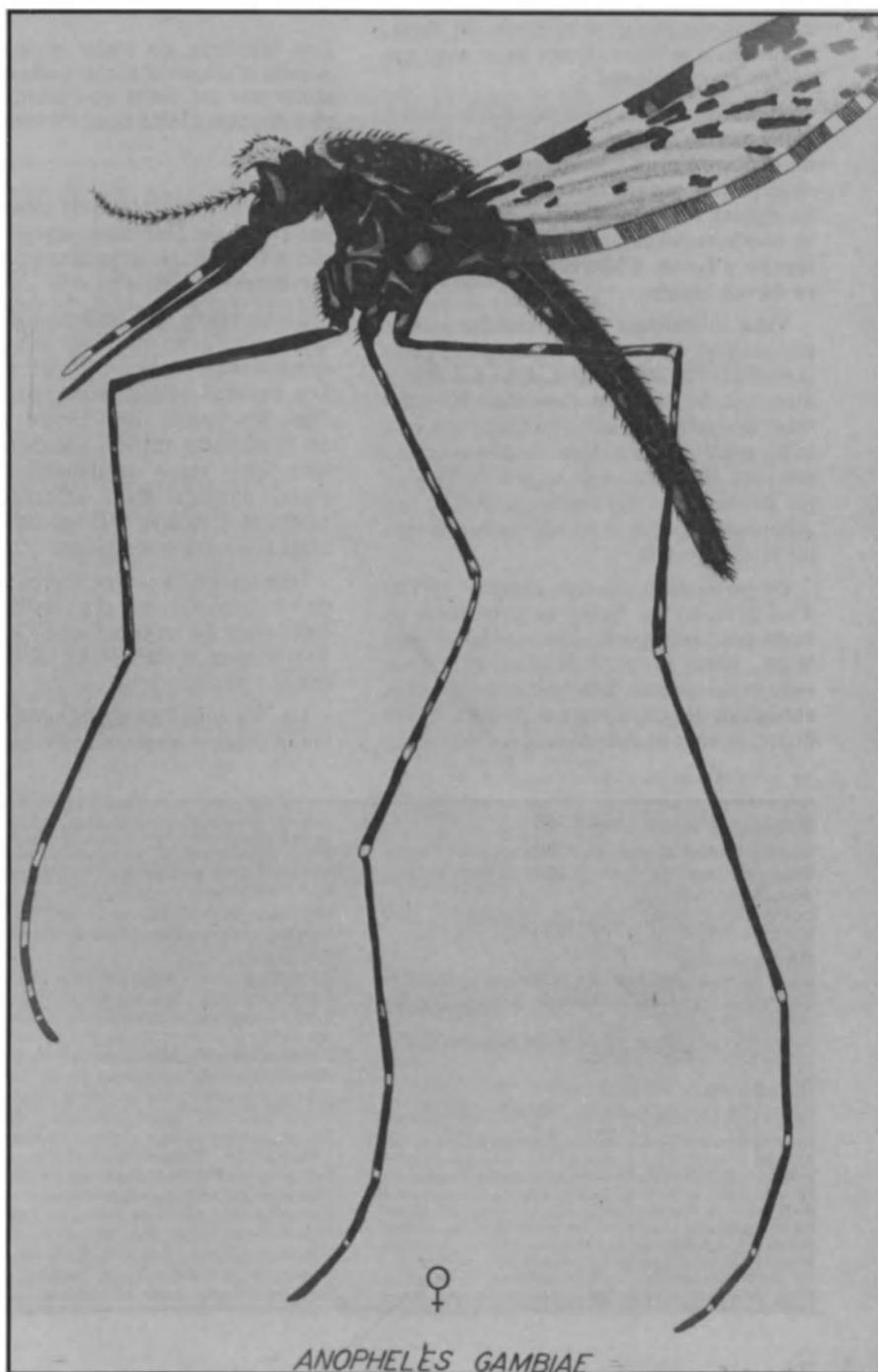
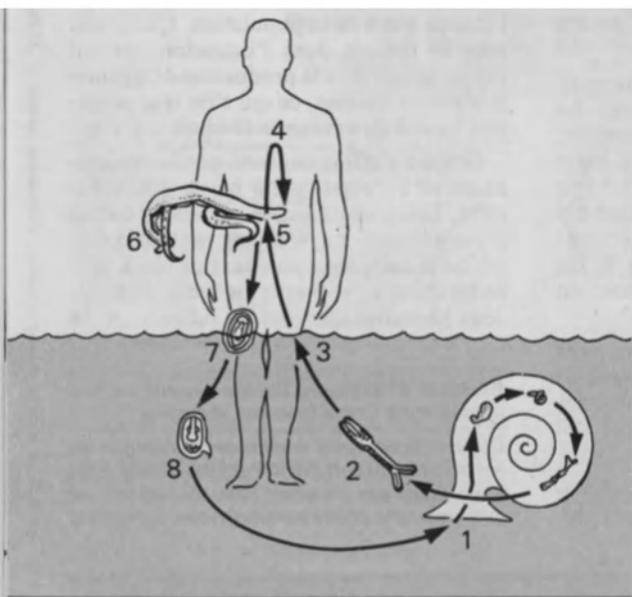


Photo OMS, Genève



Le cycle évolutif du schistosome, le parasite responsable de la schistosomiase (ou bilharziose), maladie surnommée la « fièvre de l'escargot ».

1. La larve quitte le mollusque.
2. Elle atteint l'eau.
3. Elle pénètre chez l'homme par la peau.
4. Les jeunes trématodes parviennent à maturité dans les vaisseaux sanguins qui irriguent les poumons.
5. Les vers parasites adultes s'installent autour de l'intestin grêle.
6. Les œufs qu'ils pondent traversent les tissus et passent dans l'intestin, d'où ils sont rejetés avec les excréments.
7. Quand ils atteignent l'eau, ils éclosent presque immédiatement.
8. La larve va pénétrer chez un gastéropode d'une espèce particulière.

agronomie, avait également subi les atteintes de la fièvre de l'escargot. Il se souvient qu'à cette époque, les paysans allaient en barque chercher les escargots nichés dans les berges du fleuve. Ils tuaient ceux qu'ils trouvaient en les plongeant dans l'eau bouillante d'un réchaud qu'ils transportaient sur leurs embarcations. C'était un travail lent et fastidieux, vu le nombre de petits cours d'eau qu'il fallait assainir.

On aurait pu éliminer les mollusques en répandant des produits chimiques, mais ceux-ci étaient trop coûteux. Yang a calculé qu'une tonne de molluscicides importés coûtait l'équivalent de quatre tonnes de riz.

Au début des années 70, on changea de méthode. Une véritable armée d'enfants du village, dotés d'une vue perçante et munis de simples brochures représentant différentes espèces d'escargots, passèrent les canaux d'irrigation et les fossés d'écoulement au peigne fin pour en extirper la variété d'escargots porteurs de schistosome.

« En deux mois, les habitants de Dongfeng creusèrent de nouveaux fossés et se servirent de la terre qu'ils en retirèrent pour combler les anciens (qui totalisaient 18 km de long). Ils éliminèrent ainsi définitivement les escargots en les ensevelissant. « Ce ne fut ni compliqué, ni coûteux, dit Yang, et fut fait à la force de nos bras, avec nos bêtes et nos râteaux ».

Plus droits et plus profonds que les précédents, ces canaux permirent d'éviter l'accumulation d'eaux stagnantes dans les champs (un environnement favorable aux escargots). Mais il fallut pour cela modifier les contours des parcelles. De nombreux villageois y furent d'abord opposés, jugeant ce travail inutile.

Yang se souvient qu'un vieil homme se plaignait qu'un nouveau fossé, qui longeait la sépulture de ses ancêtres, avait modifié la direction des vents et empêchait l'écoulement des eaux. Il était convaincu que cela avait porté malheur à sa famille et rendu son petit-fils malade. Su soigna l'enfant en lui administrant des médicaments, ce qui acheva de convaincre les villageois d'accepter le changement.

La population de Dongfeng se servait d'un affluent du fleuve coulant d'est en ouest pour transporter des marchandises à Wuxi. Wang proposa de creuser un nouveau canal qui irait dans le sens nord-sud et abrégerait de trois heures et demie la durée du trajet, tout en contribuant à débarrasser



Photo Mik Wheeler, UNICEF - Genève

Les bienfaits de l'eau courante... Ici, auprès d'un point d'eau installé en Thaïlande par les soins de l'UNICEF (Fonds des Nations Unies pour l'enfance).

le fleuve des escargots qui l'infestaient. Les habitants de Dongfeng s'attelèrent à la tâche, travaillant même la nuit, à la lumière des lampes à gaz.

Le problème de l'approvisionnement en eau et de l'évacuation des excréments fut certainement le plus difficile à résoudre. Les paysans étaient accoutumés à boire l'eau contaminée de la rivière, ce qui leur fut strictement interdit, de même que d'y laver leurs seaux de toilette. La brigade creusa plusieurs puits collectifs et il fut demandé à chaque ménage de creuser un puits ordinaire à son usage.

Il fallut trois jours pour creuser un puits de 9 m de profondeur et en revêtir les parois de briques. La brigade fournit la moitié des 300 briques et des 50 kg de ciment qui furent utilisés.

Lu Wenying, un agent sanitaire, distribuait à chaque maisonnée des produits chi-

miques pour purifier l'eau. Un tube de plastique percé de deux trous est rempli d'hypochlorite de sodium (un antiseptique) et immergé dans l'eau. Au contact de l'eau, qui pénètre lentement dans le tube par ses orifices, ce produit dégage du chlore et la purifie. Cette méthode est bien plus sûre que celle qui consiste à verser directement le produit dans l'eau, comme on avait coutume de le faire auparavant.

Une fosse spéciale à trois compartiments fut aménagée pour recueillir les excréments. Ceux-ci fermentent pendant 15 jours dans le premier compartiment. A ce stade, 90 % des œufs de schistosome qu'ils contiennent tombent au fond de la fosse. Les matières fermentées sont ensuite évacuées dans le deuxième compartiment, où le processus se répète. Lorsque celui-ci est plein, les matières s'écoulent dans le troisième compartiment, d'où elles sont retirées. Le produit final est un excellent fertilisant, riche en azote et entièrement débarrassé des œufs de schistosome.

Aujourd'hui, la fièvre de l'escargot ne sévit plus à Dongfeng, mais des mesures préventives continuent d'y être prises régulièrement. Des chasses aux escargots sont déclenchées au printemps et à l'automne, pendant les périodes d'activité de ces mollusques. Une récompense de 20 Yuans (40 dollars des Etats-Unis) est remise à quiconque en découvre un. (Néanmoins, les grands travaux d'assainissement avaient été réalisés sans incitations pécuniaires).

L'amélioration de l'approvisionnement en eau et de l'évacuation des excréments a eu pour corollaire une amélioration de l'état de santé de la population. Quant aux progrès réalisés dans l'irrigation, ils ont permis d'accroître la production de légumes et d'autres denrées, ce qui s'est traduit par une hausse du revenu individuel.

Grâce à l'effort consenti par la communauté et à l'appui prêté par le gouvernement, Dongfeng a gagné sa bataille contre le ver parasite. Lu Wenying résume le succès de la campagne en citant ce vieux proverbe chinois : « Il est plus facile de briser deux baguettes que tout un faisceau. » ■

ZHANG BIHUA, de Chine, travaille comme journaliste à China features, à Beijing.

Cet article est tiré d'une étude plus longue qui a d'abord paru dans Who Puts the Water in the Taps (Ceux par qui arrive l'eau du robinet), un livre de poche publié par Earthscan, à Londres.

Ventes et distributions :

Unesco, PUB/C, 7, place de Fontenoy, 75700 Paris.
Belgique : Jean de Lannoy, 202, avenue du Roi, Bruxelles 6.
Reproduction sous forme de microfiches : 150 francs (1 an).

Abonnement

1 an : 68 francs français. 2 ans (valable uniquement en France) : 120 francs français. Reliure pour une année : 52 francs.
Paiement par chèque bancaire, mandat, ou CCP 3 volets à l'ordre de : l'Unesco.

Bureau de la Rédaction :

Unesco, 7 place de Fontenoy, 75700 Paris, France
Les articles et photos non copyright peuvent être reproduits à condition d'être accompagnés du nom de l'auteur et de la mention « Reproduits du *Courrier de l'Unesco* », en précisant la date du numéro. Trois justificatifs devront être envoyés à la direction du *Courrier*. Les photos non copyright seront fournies aux publications qui en feront la demande. Les manuscrits non sollicités par la Rédaction ne sont renvoyés que s'ils sont accompagnés d'un coupon-réponse international. Les articles paraissant dans le *Courrier de l'Unesco* expriment l'opinion de leurs auteurs et non pas nécessairement

celle de l'Unesco ou de la Rédaction. Les titres des articles et les légendes des photos sont de la rédaction. Enfin, les frontières qui figurent sur les cartes que nous publions n'impliquent pas reconnaissance officielle par l'Unesco ou les Nations Unies.

Rédacteur en chef adjoint : Olga Rödel
Secrétaire de rédaction : Gillian Whitcomb

Rédacteurs :

Edition française : Alain Lévêque (Paris)
Edition anglaise : Howard Brabyn (Paris)
Edition espagnole : Francisco Fernandez-Santos (Paris)
Edition russe : Nikolai Kouznetsov (Paris)
Edition arabe : Sayed Osman (Paris)
Edition allemande : Werner Merkli (Berne)
Edition japonaise : Seichiro Kojima (Tokyo)
Edition italienne : Mario Guidotti (Rome)
Edition hindie : Rajmani Tiwari (Delhi)
Edition tamoule : M. Mohammed Mustafa (Madras)
Edition hébraïque : Alexander Broïdo (Tel-Aviv)
Edition persane : Hossein Razmdjou (Téhéran)
Edition néerlandaise : Paul Morren (Anvers)
Edition portugaise : Benedicto Silva (Rio de Janeiro)
Edition turque : Mefra Ilgazer (Istanbul)
Edition ourdoue : Hakim Mohammed Said (Karachi)

Edition catalane : Joan Carreras i Marti (Barcelone)
Edition malaise : Azizah Hamzah (Kuala Lumpur)
Edition coréenne : Paik Syeung-Gil (Séoul)
Edition kiswahili : Domino Rutayebesibwa (Dar-es-Salaam)

Editions croato-serbe, macédonienne, serbo-croate, slovène : Vitomir Sudarski (Belgrade)
Edition chinoise : Shen Guofen (Pékin)
Edition bulgare : Goran Gotev (Sofia)
Edition grecque : Nicolas Papageorgiou (Athènes)
Edition cinghalaise : S.J. Sumanasekera Banda (Colombo)

Edition finnoise : Marjatta Oksanen (Helsinki)
Editions braille : Frederick H. Potter (Paris)

Rédacteurs adjoints :

Edition française : Neda el Khazen
Edition anglaise : Roy Malkin
Edition espagnole : Jorge Enrique Adoum
Documentation : Christiane Boucher
Illustration : Ariane Bailey
Maquettes : Georges Servat
Promotion-diffusion : Fernando Ainsa
Projets spéciaux : Peggy Julien
Toute la correspondance concernant la Rédaction doit être adressée au Rédacteur en Chef.

Complétez votre collection du Courrier de l'Unesco avec des numéros déjà parus

Références à rappeler	Titres	Prix	Références	Titres à rappeler	Prix
FCO 8102	Le tourisme : une rencontre manquée	7 F	FCO 8402	L'alphabétisation à l'échelle des cultures	7 F
FCO 8104	L'homme et la biosphère	7 F	FCO 8403	Tamouls : culture en vie	7 F
FCO 8105	La Bulgarie : les racines d'une nation moderne	7 F	FCO 8404	Vaincre la faim	7 F
FCO 8106	Les chemins de la participation : les handicapés	7 F	FCO 8405	Histoire de l'Afrique	7 F
FCO 8107	Maîtriser l'énergie	7 F	FCO 8406	Les routes commerciales	7 F
FCO 8109	L'Islam : 15 ^e siècle de l'Hégire (numéro double)	14 F	FCO 8407	Arts d'Amérique latine	7 F
FCO 8110	Les déshérités : les pays les moins avancés	7 F	FCO 8408	Eternel cinéma	7 F
FCO 8111	Ataturk : naissance de la Turquie moderne	7 F	FCO 8409	L'histoire de l'Univers	7 F
FCO 8207	Peuples et cultures : les politiques culturelles	7 F	FCO 8410	Les Tsiganes	7 F
FCO 8209	Questions de notre temps : les différents aspects de la situation mondiale (numéro double)	14 F	FCO 8411	Science et science-fiction	7 F
FCO 8210	L'âge de la plénitude : le problème du vieillissement	7 F	FCO 8412	Civilisations du riz	7 F
FCO 8303	Informatique et communications	7 F			
FCO 8304	Théâtres du monde	7 F			
FCO 8306	Les paysans du globe	7 F			
FCO 8307	Langues et langages	7 F			
FCO 8309	Les fleuves	7 F			
FCO 8310	Les grands anniversaires : Luther - Kafka - Euler - Marx - Stendhal - Gibran - Wagner	7 F			
FCO 8311	Racisme, Racismes	7 F			

Pour commander

Pour chaque titre commandé, veuillez rappeler le numéro de référence. En cas d'épuisement des numéros souhaités, indiquer par ordre de préférence trois titres supplémentaires.

Nous vous prions de commander un minimum de 5 exemplaires (35 francs minimum).

Joindre votre paiement à l'ordre de la Librairie de l'Unesco par chèque bancaire ou CCP 3 volets Paris 12598-48 F en précisant vos nom, prénom, et adresse complète.

Adresser votre commande à Unesco — Bât. VII — Bureau 3.06 — 7, place de Fontenoy — 75700 Paris.

Comment obtenir les publications Unesco

Les publications de l'Unesco peuvent être commandées par l'intermédiaire de toute librairie. Dans chaque pays il existe un ou plusieurs libraires qui assurent le rôle de distributeurs nationaux (voir liste ci-dessous). A défaut, elles peuvent être obtenues par correspondance, au Siège de l'Organisation avec règlement joint par chèque libellé en une monnaie convertible ou sous forme de mandat poste international ainsi que de bons internationaux Unesco.

ALGÉRIE. ENAMEP, 20, rue de la Liberté, Alger.

RÉP. FÉD. D'ALLEMAGNE. Mr. Herbert Baum Deutscher Unesco-Kurier Vertrieb, Besalstrasse 57 5300 BONN 3

ARGENTINE. Librería El Correo de la Unesco EDILYR S.R.L. Tucumán 1685 1050 Buenos Aires.

AUTRICHE. Gerold and Co., Graben 31, A-1011 Wien

BELGIQUE. Jean de Lannoy, 202, Avenue du Roi, 1060 Bruxelles, CCP 000-0070823-13. ; N.V. Handelsmaatschappij Keesing, Keesinglaan 2-18, 21000 Durne-Antwerpen.

RÉP. POP. DU BÉNIN. Librairie nationale, B.P. 294. Porto Novo ; Ets Kouidjo G. Joseph, B.P. 1530 Cotonou.

BRÉSIL. Fundação Getúlio Vargas, Editora-Divisão de Vendas, Caixa Postal 9.052-ZC-02, Praia de Botafogo, 188 Rio de Janeiro RJ

BULGARIE. Hemus, Kantora Literatura, bd Rousky 6, Sofia. Librairie de l'Unesco, Palais populaire de la culture, 1000 Sofia

CAMEROUN. Librairie des Editions Clé, B.P. 1501, Yaoundé ; Librairie St-Paul, B.P. 763, Yaoundé ; Commission nationale de la République-Unie du Cameroun pour l'Unesco, B.P. 1600, Yaoundé ; Librairie « Aux messagères », avenue de la Liberté, B.P. 5921, Douala ; Librairie « Aux frères réunis », B.P. 5346, Douala

BURUNDI. Buma Kor and Co., Bilingual Bookshop, Mvog-Ada, B.P. 727, Yaoundé ; Centre de diffusion du livre camerounais, B.P. 338, Douala

CANADA. Editions Renouf Limitée, 2182, rue Ste. Catherine Ouest, Montréal, Que H3H 1M7.

CHINE. China National Publications Import and Export Corporation, P.O. Box 88, Beijing.

COMORES. Librairie Masiwa 4, rue Ahmed Djoumi, B.P. 124, Moroni.

RÉP. POP. DU CONGO. Librairie Maison de la presse, B.P. 2150, Brazzaville ; Commission nationale congolaise pour l'Unesco, B.P. 493, Brazzaville

RÉP. DE CORÉE. Korean National Commission for Unesco, P.O. Box central 64, Séoul

CÔTE-D'IVOIRE. Librairie des Presses Unesco, Commission Nationale Ivoirienne pour l'Unesco, B.P. 2871, Abidjan.

CUBA. Ediciones Cubanas O'Reilly N° 407, La Habana.

DANEMARK. Munksgaard Export, OG Tidsskriftservice, 35 Norre Sogade, DK-1970 Kobenhavn K.

ÉGYPTE (RÉP. ARABE D'). National Centre for Unesco Publications, N° 1, Talaat Harb Street, Tahrir Square, Le Caire.

ESPAGNE. MUNDI-PRENSA Libros S.A., Castelló 37, Madrid 1, Ediciones LIBER, Apartado 17, Magdalena 8, Dndárroa (Viscaya) DONAIRE, Aptdo de Correos 341, La Coruña ; Librería Al-Andalus, Roldana, 1 y 3, Sevilla 4. Librería CASTELLS, Ronda Universidad 13, Barcelona 7.

ÉTATS-UNIS. Unipub, 1180 Ave of the Americas, New York, N.Y., 10036.

FINLANDE. Akateeminen Kirjakauppa, Keskuskatu 1, 00100 Helsinki. Suomalainen Kirjakauppa Oy, Koivuväraan Kuja 2, 01640 Vantaa 64

FRANCE. Librairie Unesco, 7, place de Fontenoy, 75700 Paris ; et grandes librairies universitaires

GABON. Librairie Sogalivre, à Libreville, Franceville ; Librairie Hachette, B.P. 3923, Libreville.

GRÈCE. Librairie H. Kauffmann, 28, rue du Stade, Athènes ; Librairie Eleftheroudakis, Nikkis 4, Athènes ; John Mihalopoulos and Son, 75, Hermou Street, P.O. Box 73, Thessalonique ; Commission nationale hellénique pour l'Unesco, 3 rue Akadimias, Athènes.

RÉP. POP. REV. DE GUINÉE. Commission nationale guinéenne pour l'Unesco, B.P. 964, Conakry.

HAÏTI. Librairie A la Caravelle, 26, rue Roux, B.P. 111, Port-au-Prince.

HAUTE-VOLTA. Lib. Attie B.P. 64, Ouagadougou. — Librairie Catholique « Jeunesse d'Afrique ». Ouagadougou

HONGRIE. Kultura-Buchimport-Abt., P.O. B. 149-H-1389, Budapest 62.

IRAN. Commission nationale iranienne pour l'Unesco, 1188 Enghlab Av., Rostam Give Building, Zip Code 13158, P.O. Box 11365-4498, Teheran.

IRLANDE. The Educational Co. of Ir. Ltd., Ballymount Road Walkinstown, Dublin 12. Tycooly International Publ. Ltd, 6 Crofton Terrace, Dun Laoghaire Co., Dublin.

ISRAËL. A.B.C. Bookstore Ltd, P.O. Box 1283, 71 Allenby Road, Tel Aviv 61000.

ITALIE. Licosa (Libreria Commissionaria Sansoni, S.p.A.) via Lamarmorata, 45, Casella Postale 552, 50121 Florence.

JAPON. Eastern Book Service, Inc. 37-3 Hongo 3-chome Bunkyo-ku, Tokyo 113

LIBAN. Librairie Antoine, A. Naoufal et frères, B.P. 656, Beyrouth.

LUXEMBOURG. Librairie Paul Bruck, 22, Grande-Rue, Luxembourg ; Service du Courrier de l'Unesco, 202 avenue du Roi, 1060 Bruxelles - CCP 26430-46

MADAGASCAR. Toutes les publications : Commission nationale de la Rép. dém. de Madagascar pour l'Unesco, B.P. 331, Antananarivo

MALI. Librairie populaire du Mali, B.P. 28, Bamako.

MAROC. Librairie « Aux belles images », 282, avenue Mohammed-V, Rabat ; Librairie des Ecoles, 12, avenue Hassan II, Casablanca ; Commission nationale marocaine pour l'Unesco 19, rue Oqba, B.P. 420, Rabat Agdal.

MAURICE. Nalanda Co. Ltd., 30, Bourbon Street, Port-Louis.

MAURITANIE. Gralcoma, 1, rue du Souk X, avenue Kennedy, Nouakchott.

MEXIQUE. Librería El Correo de la Unesco, Actipán 66, Colonia del Valle, Mexico 12 DF.

MONACO. British Library, 30, bd. des Moulins, Monte-Carlo.

MOZAMBIQUE. Instituto Nacional do livro e do Disco (INLD), Avenida 24 de Julho, 1921 r/c e 1^o andar, Maputo.

NIGER. Librairie Mauclert, B.P. 868, Niamey.

NORVÈGE. Johan Grundt Tanum, P.O. 8. 1177 Sentrum, Oslo 1 ; Narvesen A/S Subscription and Trade Book Service 3, P.O. B. 6125 Etterstad, Oslo 6 ; Universitets Bokhandelen, Universitetssentret, Postboks 307 Blindern, Oslo 3

NOUVELLE-CALÉDONIE. Reprex SARL, B.P. 1572, Nouméa.

PAYS-BAS. Keesing Boeken B.V., Joan Muyskenweg, 22, Postbus 1118, 1000 B C Amsterdam.

POLOGNE. ORPAN-Import. Pałac Kultury, 00-901 Varsovie, Ars-Polona-Ruch, Krakowskie- Przedmiescie N° 7, 00-068 Varsovie.

PORTUGAL. Dias & Andrade Ltda. Livraria Portugal, rua do Carmo, 70, Lisbonne.

ROUMANIE. ARTEXIM, Export/Import, Piata Scientiei n° 1, P.O. Box 33-16, 70005 Bucarest.

ROYAUME-UNI. H.M. Stationery Office P.O. Box 276, London S.W. 8. 5 DT ; Third World Publications, 151 Stratford Road, Birmingham B 11 1RD.

SÉNÉGAL. Librairie Clairafrique, B.P. 2005, Dakar. Librairie des Quatre-Vents, 91, rue Blanchot-avenue Georges Pompidou, B.P. 1820, Dakar.

SUÈDE. Svenska FN- Forbundet, Skolgrand 2, Box 150-50, S-10465 Stockholm ; Wennergren-Williams AB Box 30004-S-104 25 Stockholm ; Esselte Tidskriftscentrale Gamla Brogatan 26 Box 62 - 101 20 Stockholm.

SUISSE. Europa Verlag, 5, Ramstrasse, Zurich, CH 8024. Librairie Payot, 6, Rue Grenus, 1211, Genève 11. C.C.P. : 12 236. Librairie Payot aussi à Lausanne, Bâle, Berne, Vevey, Montreux, Neuchâtel et Zurich.

SYRIE. Librairie Sayegh Immeuble Diab, rue du Parlement, B.P. 704, Damas

TCHAD. Librairie Absounout, 24, av. Charles de Gaulle, B.P.388, N'Djamena.

TCHÉCOSLOVAQUIE. S N T L, Spalena 51, Prague 1. Artia, Ve Smekach 30, P.O.Box 790, III-27 Prague 1. Pour la Slovaquie seulement : Alfa Verlag Publishers, Hurbanovo nam. 6, 893 31 Bratislava.

TOGO. Librairie Evangélique, B.P. 378, Lomé ; Librairie du Bon Pasteur, B.P. 1164 ; Lomé, Librairie universitaire, B.P. 3481, Lomé.

TRINITÉ-ET-TOBAGO. Commission Nationale pour l'Unesco, 18 Alexandra Street, St. Clair, Trinidad, W.I.

TUNISIE. Société tunisienne de diffusion, 5, avenue de Carthage, Tunis ; Société chrétienne de distribution et de presse, Sochepress, angle rue de Dinant & St. Saens, B.P. 683, Casablanca 05

TUROUIE. Haset Kitapevi A.S., Istiklal Caddesi, N° 469, Posta Kutusu 219, Beyoglu, Istanbul.

URUGUAY. Edilry Uruguaya, S.A. Maldonado, 1092, Montevideo.

YUGOSLAVIE. Mladost, Ilica 30/11, Zagreb ; Cankarjeva Založba, Zoprtarjeva 2, Ljubljana ; Nolit, Terazije 13/VIII, 11000 Belgrade.

RÉP. DU ZAIRE. La librairie, Institut national d'études politiques, B.P. 2307, Kinshasa. Commission nationale de la Rép. du Zaïre pour l'Unesco, Ministère de l'Éducation nationale, B.P. 32, Kinshasa



Les pluies acides

Les retombées acides dans les pluies ou dans d'autres formes de précipitations causent des dommages écologiques considérables dans certaines régions d'Europe ou d'Amérique du Nord. Ces deux photos de Hanskühnenburg, en Basse-Saxe (République fédérale d'Allemagne), ont été prises à onze ans d'intervalle, la première (en haut) en 1972 et la seconde (en bas) en 1983. Voir notre article sur les pluies acides en page 21.