

Conditions de l'amélioration de la connaissance des ressources et des usages de l'eau pour la gestion durable dans un contexte de rareté croissante

JEAN-MARIE FRITSCH & ERIC SERVAT

ORSTOM, Programme FRIEND AOC, BP 5045, F-34032 Montpellier Cedex, France

e-mail: j-marie.fritsch@mpl.orstom.fr

Résumé Dans le contexte mondial actuel des préoccupations vis à vis des relations entre Eau, Développement et Environnement, les auteurs présentent un état de la réflexion accompagné de recommandations visant à assurer une meilleure connaissance des ressources et des usages de l'eau, et en particulier de leur grande variabilité dans l'espace et dans le temps. Cet exposé des situations observées à l'heure actuelle et des mesures, structurelles ou non, qu'il conviendrait de prendre pour améliorer l'efficacité de l'ensemble des systèmes d'information sur l'eau, aborde la question de la collecte des données hydrométéorologiques et hydrogéologiques (continuité, durée, fiabilité, pertinence des paramètres mesurés, accessibilité). Il met en évidence la nécessité de définir un protocole international unifié pour une évaluation consistante des ressources en eau, capable d'intégrer leur variabilité dans l'espace et dans le temps qui puisse être prise compte dans les systèmes d'information. Enfin, les auteurs concluent en évoquant le besoin de bases de données sur les usages de l'eau qui, combinées aux précédentes, sont indispensables pour que scientifiques et gestionnaires puissent établir des règles permettant d'assurer l'allocation équitable des ressources entre les différentes demandes (y compris les demandes environnementales) et d'aboutir ainsi à gestion durable des ressources en eau et des écosystèmes aquatiques.

CONSIDERATIONS GENERALES SUR LES RESSOURCES EN EAU RENOUEVELABLES A L'ECHELLE DE LA PLANETE

La distinction entre stocks et flux est incontestablement la première qu'il convient de faire lorsque l'on traite de la question des ressources en eau.

Les stocks

Les stocks se définissent comme les quantités d'eau immobilisées sur la planète. Elles varient d'une année à l'autre selon l'irrégularité du climat, mais tendent vers une valeur moyenne invariante sur une période assez longue (10 à 30 ans). Ceci reste vrai en première approximation, même dans l'hypothèse d'un changement climatique en cours, la précision de l'estimation des stocks étant bien inférieure aux effets que provoquerait sur ceux-ci le réchauffement global. Ces volumes sont considérables et représenteraient plus de $1386 \times 10^6 \text{ km}^3$ d'eau sur notre planète, dont les eaux salées

constituent 97.5% (Shiklomanov, 1998). Les $35 \times 10^6 \text{ km}^3$ qui constituent le stock des eaux douces se répartissent selon le Tableau 1 (Shiklomanov, 1995).

Ces chiffres montrent sans ambiguïté que la majeure partie de l'eau douce est stockée sous forme de glace sur les surfaces continentales de l'Antarctique et du Groenland.

Les flux

Mais il existe un phénomène déterminant dans le fonctionnement géophysique de la planète, génériquement désigné par "cycle de l'eau". Les conditions thermodynamiques qui règnent sur les océans (soit 71% de la surface terrestre), sont telles que l'évaporation y est supérieure aux précipitations. La circulation atmosphérique entraîne un transfert permanent de vapeur d'eau des océans vers les continents où, globalement, la pluviométrie est supérieure à l'évaporation. Dans un système considéré comme étant en équilibre (invariance des stocks), cette advection d'eau atmosphérique est intégralement compensée par un flux d'égale volume, constitué par la somme des écoulements de tous les fleuves et rivières et nappes de la planète aux mers et océans ainsi que par le flux de glace polaire sous forme d'icebergs.

Ce volume annuel a été estimé à $42\,757 \text{ km}^3 \text{ an}^{-1}$ (Shiklomanov, 1998), soit un ordre de grandeur 1000 fois inférieur à celui des stocks. Outre son importance essentielle dans le fonctionnement de la machine climatique, ce flux établi donne tout son sens au concept de "ressources renouvelables" en matière de gestion des ressources en eau.

La répartition des flux par continents (Tableau 2) (Shiklomanov, 1998), montre une grande diversité hydrologique: en termes de volumes écoulés, l'Asie fournit la plus importante contribution en eau douce aux océans, suivie par l'Amérique du Sud (colonne 2). Par contre si l'on convertit ces volumes en mm équivalents répartis sur chaque continent (colonne 4), on constate que l'Amérique du sud avec 672 mm d'écoulement par an est un continent hydrologiquement deux fois plus actif que l'Asie (311 mm). Ceci s'explique par le gigantisme du système hydrologique de l'Amazone qui contribue à lui seul pour près de 7000 km^3 , soit 15% de l'écoulement global.

Tableau 1 Répartition des stocks d'eau douce sur la terre.

Nature du stock	% du stock des eaux douces	Détail	% du stock des eaux douces
Glaces et neiges	69.6	Antarctique	61.7
		Groenland	6.68
		Arctique	0.24
		Autres (montagnes, permafrost)	0.98
Eaux souterraines	30.15	Nappes phréatiques	30.1
		Eau du sol	0.05
Lacs et marais	0.29		
Eau atmosphérique	0.04		
Rivières	0.006		

Tableau 2 Contribution des continents aux flux d'eaux douces.

Territoire	Flux annuel (km ³)	% de l'écoulement mondial	Flux annuel (en mm)
Asie	13 510	31.6	311
Amérique Sud	12 030	28.1	672
Amérique Nord et Centre	7 870	18.4	324
Afrique	4 047	9.5	134
Europe	2 900	7.8	277
Océanie + Australie	2 400	5.6	268
Total*	42 757	100	316

* Les apports d'eau douce du continent antarctique (environ 2200 km³ ne sont pas prises en compte).

DE L'IMPORTANCE DES DONNEES HYDROMETEOROLOGIQUES ET HYDROGEOLOGIQUES

La collecte des données sur le terrain

La quantification des flux précédemment évoqués, aux échelles pertinentes (pays, région, bassin versant, système aquifère), constitue un préalable à l'estimation des ressources en eau et à tout projet de gestion de celles-ci. Pour cela, il est nécessaire que soient mis en œuvre des systèmes opérationnels (dits réseaux hydrométéorologiques), capables de mesurer toutes les données nécessaires pour caractériser la répartition dans le temps et dans l'espace des composantes du cycle hydrologique, telles que précipitations, écoulements de surface, niveaux des nappes souterraines, caractéristiques de qualité, etc. Ces opérations de collecte sont donc pour l'essentiel des activités à caractère météorologique.

Pour répondre aux objectifs de connaissance et de gestion, les données collectées doivent satisfaire à un certain nombre de contraintes et présenter les qualités suivantes:

La continuité et la durée Une information recueillie à un instant donné ne prend tout son sens que lorsqu'elle s'intègre dans une série chronologique continue et longue sur un même site. *Garantir la continuité des observations est une exigence essentielle pour un système de collecte performant.* Ce qui implique l'existence de structures dynamiques et responsables, dotées de personnels qualifiés et motivés, disposant d'équipements fiables et de ressources suffisantes pour que le processus puisse s'inscrire dans la continuité et la durée.

Chaque jour, des présomptions scientifiques supplémentaires viennent conforter l'hypothèse que le climat ne serait pas stationnaire, mais que nous serions dans une phase de changement climatique, caractérisée par un réchauffement global accompagné d'effets significatifs sur le cycle de l'eau et donc, potentiellement, sur l'état des ressources en eau d'une région ou d'un pays. Mais, même en l'absence de réponses précises et définitives sur cette question du changement climatique, l'expérience nous apprend que la variabilité naturelle du climat, et en particulier celle du régime des précipitations, est considérable. Le Nordeste du Brésil, le sud-est de l'Afrique, l'Ethiopie ou le Sahel africain et bien d'autres régions encore ponctuent périodiquement et tristement les chroniques de la sécheresse. Par ailleurs, l'action de

l'homme modifie de plus en plus souvent le régime naturel des cours d'eau et des nappes souterraines et perturbe la qualité de l'eau et les conditions hydrochimiques des écosystèmes aquatiques. Pour toutes ces raisons, l'abondance des ressources en eau est très variable et *il est donc impératif de prolonger les séries de données existantes avec des informations contemporaines*, ce qui permettra de détecter d'éventuelles tendances et de préciser le risque statistique des situations extrêmes (sécheresse ou crue) et de s'en prémunir par des mesures appropriées (structurelles ou non).

La fiabilité L'utilisation de technologies nouvelles, assorties de procédures de travail appropriées, permet aujourd'hui d'améliorer très significativement la qualité et la précision des données et doit donc être encouragée et favorisée.

La pertinence des sites de collectes La finalité des mesures est de servir à une meilleure gestion des ressources. La localisation des stations climatologiques, hydrologiques et hydrogéologiques et la périodicité des mesures doivent être organisées en conséquence et "pilotées par la demande". Dans tous les cas, les ajustements nécessaires des réseaux actuels aux besoins de la gestion ne doit pas amener à fermer les stations ayant bénéficié de très longues durées d'observation, qui sont porteuses de l'historique du cycle de l'eau.

La prise en compte des paramètres de qualité de l'eau La grande masse des données existantes est encore constituée par des hauteurs de pluie, des niveaux de nappe ou des débits moyens journaliers. Ces informations restent tout à fait pertinentes, mais le suivi de la qualité physique, chimique et bactériologique des eaux devient impératif avec l'impact croissant de la pression anthropique humaine, la ressource peut certes exister en quantité suffisante, mais s'avérer impropre à certains usages par suite de la dégradation de la qualité de l'eau ou des défauts de qualité naturels (salinité en zones arides). Les transports solides, dont les variations sont très mal connues et qui ont des effets tantôt bénéfiques tantôt néfastes sur l'environnement et la vie économique, devront, en particulier, faire l'objet d'un suivi plus attentif.

Alors que les préoccupations vis-à-vis du problème de l'eau sont de plus en plus vives, des évaluations exhaustives ont montré que dans des grandes régions particulièrement concernées par la rareté des ressources, comme l'Afrique subsaharienne, on a pu observer une dégradation très sensible de la quantité et de la qualité des données collectées à partir du début de la décennie 80. Parmi les causes identifiées de cette dégradation, il apparaît que l'activité des agences chargées de cette collecte, qui relèvent très généralement du secteur public, est trop directement liée à l'existence de programmes d'aide internationale ou bilatérale. A la fin du projet, les gouvernements ont généralement d'autres priorités que d'assurer le fonctionnement d'un secteur dont les effets ne sont pas immédiatement perceptibles sur l'économie et la vie quotidienne des citoyens. Dans ces conditions, les activités de collecte se réduisent au fil des années, jusqu'à ce que l'urgence vienne imposer le recours à un nouveau programme d'aide. Celui-ci ne s'inscrit pas forcément dans la continuité méthodologique du précédent, avec les inconvénients que l'on imagine.

L'accessibilité des données hydrométéorologiques et hydrogéologiques

Il est toutefois difficile de blâmer sans nuances l'attitude des pouvoirs publics, car les produits que sont censés élaborer certains services hydrologiques ne répondent pas aux exigences de quantité, de qualité et d'accessibilité que la société est en droit d'attendre. Au delà des aspects de qualité déjà abordés, *cette notion d'accessibilité est devenue fondamentale dans le contexte d'une véritable et profonde révolution en matière de communication et de circulation de l'information aux échelles nationales, régionales et mondiale*. Or, toujours en se référant aux conclusions des évaluations des systèmes de collecte évoquées plus haut, il a généralement été constaté que les retards entre la collecte sur le terrain et le traitement primaire des données était de l'ordre de plusieurs mois et parfois de plusieurs années, alors que selon les exigences actuelles, ce retard devrait être l'affaire de quelques jours. En outre, il existe rarement la possibilité d'accéder à distance à un catalogue des informations disponibles, et l'extraction des données est généralement peu conviviale et nécessite souvent l'intervention d'un informaticien.

L'accessibilité aux données hydrométéorologiques et hydrogéologiques à distance, selon des procédures interactives est incontestablement la caractéristique susceptible de modifier fondamentalement l'image des agences de collecte de données vis-à-vis des institutions qui les financent (gouvernements, organisations et bailleurs de fonds internationaux ou bilatéraux). Cette voie constitue un challenge exigeant pour les services hydrométéorologiques car elle mettra en évidence leur productivité au jour le jour, mais elle constitue également l'opportunité d'insuffler un dynamisme nouveau dans un système qui, par la nature même de ses activités, risque facilement de sombrer dans une routine lénifiante.

Il n'y a sans doute pas de meilleure option pour que l'utilité sociale de ces services soit pleinement reconnue. Et c'est bien en s'arrogant l'obligation et le privilège d'élaborer des "produits" pertinents qu'ils seront connus, reconnus et financés.

Mais il est tout aussi évident que dans beaucoup de pays, et pas seulement dans les PED, ces services ne sont pas prêts pour s'engager dans cette voie. Dans certains cas, l'évolution immédiate serait même techniquement impossible, beaucoup de pays n'ayant pas encore de liaison à haut débit vers le réseau Internet, et lorsque c'est le cas, les administrations concernées ne sont pas toujours reliées à un serveur d'accès. Dans pratiquement tous les cas, la capacité des personnels et les moyens matériels et financiers pour assurer cette reconversion sont inadaptés. Cependant, on peut raisonnablement prévoir que la généralisation des lignes de communication à haut débit à l'ensemble de la planète est une question de quelques mois, au plus de quelques années, c'est-à-dire de l'ordre de grandeur des délais requis pour la formation du personnel et la mise en œuvre de nouvelles procédures de travail. L'état défaillant des réseaux de télécommunication dans certains pays ne saurait donc constituer un facteur de blocage ou la justification d'une attitude attentiste vis-à-vis de cette question de l'accessibilité des données.

Il convient de citer ici l'initiative et l'ambitieux dessein inspiré par l'Organisation Météorologique Mondiale et connu sous l'acronyme WHYCOS (World Hydrological Cycle Observing System). Ce système prévoit d'améliorer très significativement la précision et la continuité des mesures de terrain, en faisant le cas échéant appel à des technologies avancées (par exemple collecte en temps réel par satellite), mais

l'objectif ultime est la mise en place de bases d'informations régionales, relatives aux ressources en eau. Ces bases seront accessibles par Internet, tant pour leur alimentation que pour leur consultation, et pourront comporter différents niveaux d'accès, en fonction des qualifications des utilisateurs. Plusieurs programmes HYCOS régionaux sont en cours ou en phase de qualification (Méditerranée, Afrique Australe, Afrique de l'Ouest et Centrale, Afrique Equatoriale, Région Caraïbes, etc.), grâce à l'implication des bailleurs de fonds internationaux, européens ou bilatéraux.

POUR UNE EVALUATION PERTINENTE DES RESSOURCES UTILISABLES

Contrairement à une pratique courante, *une évaluation pertinente des ressources en eau ne se réduit pas à la sommation des débits des rivières, des volumes des nappes phréatiques ou des totaux pluviométriques, et un long processus de réflexion et d'analyse est nécessaire pour transformer des données hydrométéorologiques en informations cohérentes sur les ressources en eau.*

Les différentes évaluations des ressources en eau menées jusqu'à présent, particulièrement aux échelles très globalisantes représentent un travail considérable et on eu l'immense mérite d'étayer la prise de conscience mondiale du problème de l'eau. Néanmoins, certaines d'entre elles souffrent d'un manque d'homogénéité et de rigueur conceptuelle, et doivent être considérées comme une première approche.

A titre d'exemple des biais pouvant affecter ces estimations, on peut citer le cas des pays traversés par un même fleuve, qui se voient chacun affecter le débit de ce fleuve au titre des ressources nationales, ce qui introduit clairement une estimation par excès (si la ressource venait à être utilisée dans le pays situé à l'amont, elle ne serait plus disponible en aval). Des estimations de la ressource par défaut existent également, et par exemple, il n'est généralement tenu aucun compte du recyclage de l'eau pour des utilisations successives (utilisation des eaux usées ou des eaux de drainage pour l'irrigation), qui représente des volumes considérables dans des pays soucieux de maximiser l'usage de leurs ressources.

Par ailleurs les approches très focalisées sur la gestion ignorent complètement la prise en compte des ressources pluviales (Margat, 1996), dont l'occurrence est certes ingérable par nature, mais qui constituent néanmoins une composante essentielle du cycle de l'eau, aussi bien en termes de volumes qu'en termes d'importance écologique, économique et sociale. De surcroît, dans un contexte de raréfaction de l'eau, l'intensification des cultures pluviales sera probablement largement recherchée. Ceci implique que les agriculteurs (et dans ce cas, plus précisément les petits agriculteurs) puissent effectivement bénéficier des avancées techniques et technologiques requises (meilleures prévisions des précipitations, technologies permettant d'assurer une irrigation de complément efficiente).

Le biais de la variabilité des ressources dans le temps

Les statistiques de ressources sont toujours établies à partir de chiffres moyens interannuels. Or le débit des cours d'eau est très variable selon la saison, et la

signification d'un chiffre de débit annuel est donc fondamentalement différente en fonction du régime du fleuve et du caractère naturel ou régulé de ce régime. Par exemple, on ne peut directement comparer le chiffre des apports moyens du Nil qui assure l'essentiel de l'alimentation du Barrage d'Assouan (ordre de grandeur $84 \text{ km}^3 \text{ an}^{-1}$, mais avec des extrêmes compris entre 154 et 42 km^3) avec les débits du Nil égyptien à l'aval de cette retenue (ordre de grandeur $55 \text{ km}^3 \text{ an}^{-1}$). Dans le premier cas, le débit du fleuve est environ 40 fois plus élevé en septembre (maximum de la crue) qu'en avril (étiage) alors que dans le cas du Nil égyptien, la modulation mensuelle des débits est, de manière artificielle, complètement adaptée pour la satisfaction des besoins en eau à l'aval.

Dans le même ordre d'idée, une forte proportion des volumes d'eau s'écoule pendant les crues, et celle-ci ne peut généralement pas être entièrement contenue dans des réservoirs, lorsque ceux-ci existent! Cette partie des écoulements échappe à toute possibilité de contrôle et de gestion, et peut même s'avérer un vecteur de catastrophe. Inventorier cette eau en "ressource" reviendrait à comptabiliser l'énergie des tremblements de terre dans le bilan énergétique des pays qui les subissent. C'est pourtant ce qui est couramment fait dans les estimations de ressources en eau.

Un autre aspect de la variabilité, qui n'est pas pris en compte dans les approches globalisantes, est la variabilité interannuelle. C'est souvent l'occurrence d'une succession d'années sèches ou simplement inférieures à la moyenne qui crée une situation de pénurie, voire de disette ou de famine, dans certaines régions. Un exemple, concernant le continent africain, est à cet égard particulièrement significatif (Mahé & Olivry, 1995). Pour la région du "Sénégal-Fouta Djallon", les volumes d'eau moyens annuels qui ont transité dans les rivières durant la période 1970-1989, sont inférieurs de près de 60% à la moyenne annuelle établie sur la période 1951-1989. Sur le bassin moyen et supérieur du fleuve Niger, cette décroissance a été de 30%. Des résultats comparables ont été mis en évidence par Servat *et al.* (1997) dans l'ensemble de l'Afrique de l'ouest et centrale. Ceci est évidemment considérable, surtout quand on sait que la conception et les finalités de beaucoup d'aménagements (barrages, périmètres irrigués, etc.) ont fait appel à des données collectées avant 1970 et ne prenant donc pas en compte cette période sèche. Même dans des régions tropicales humides, réputées moins irrégulières (Angola, Congo), cette réduction a tout de même oscillé entre 10% et 12% durant cette période 1970-1989.

Ce double biais introduit par les variabilités saisonnières et interannuelle a amené certains auteurs à proposer une estimation des "ressources régulières", qui seraient définies, par exemple, comme celles qui sont assurées 90% du temps. Une telle estimation est, cependant, liée au degré d'aménagement des bassins versants, la construction d'un barrage réservoir ayant évidemment pour effet d'augmenter la part des "ressources régulières". Par ailleurs, certaines situations liées à des excès temporaires d'eau peuvent aussi se révéler bénéfiques d'un point de vue écologique ou économique. La recharge des nappes phréatiques lors de l'épandage des crues, la production piscicole considérable des zones inondées (delta intérieur du Fleuve Niger, Grand Lac du Cambodge, etc.), la persistance des grandes zones humides, la culture de décrue constituent autant d'exemples de ces situations. L'évaluation des ressources utilisables et/ou "utiles" n'est donc pas un processus simple et, dans tous

les cas, cet objectif nécessite de disposer de bases de données et d'informations exhaustives et constamment tenues à jour, ainsi que de critères pertinents et unifiés pour les décomptes. C'est donc une œuvre considérable, mais dont le besoin et l'utilité apparaissent évidents et qu'il faudra nécessairement entreprendre pour aboutir à des indicateurs appropriés concernant l'état des ressources.

La répartition des ressources dans l'espace

Les estimations de ressources établies dans un cadre territorial donné (continent ou pays) ne prennent pas en compte la répartition spatiale plus ou moins favorable des ressources. Cet élément est pourtant capital, puisqu'il régit de manière concrète l'accès de chaque utilisateur à cette ressource. Ne pas prendre en compte cette situation peut donner des résultats assez surprenants: ainsi, un indicateur de pression sur les ressources couramment utilisé (le pourcentage des ressources en eau utilisées au niveau national), amène à classer des pays semi-arides peu peuplés et parcourus par un grand fleuve relativement abondant (du moins en moyennes et hautes eaux!) comme le Mali ou la République du Niger dans la catégorie des pays favorisés (moins de 10% des ressources mobilisées), alors que la France et la Grande Bretagne ont un indicateur de stress sur les ressources en classe II (20 à 40% de prélèvement). Pourtant, les conditions d'un pays sahélien parcouru par une seule grande artère hydrologique au régime très contrasté ne sont en rien comparables à celles d'un pays au chevelu hydrographique dense et ramifié, en climat océanique tempéré comme la France ou la Grande Bretagne.

Une fonction essentielle de ces systèmes d'information évoqués plus haut est de permettre l'estimation des ressources en des sites pour lesquels on ne dispose pas de mesures de débits, ce qui constitue la situation la plus générale. Ceci implique de croiser les *informations* contenues dans les bases de données avec les *règles* de la répartition des ressources dans l'espace, applicables dans la région concernée, règles que des études spécifiques doivent mettre en évidence.

Ces considérations sur les aspects spatiaux de la ressource, amènent à évoquer le problème des bassins versants partagés entre plusieurs pays et des eaux internationales. Pas moins de 215 grands cours d'eau internationaux ont été dénombrés dans le monde, et les zones concernées couvrent 47% des terres émergées. La transnationalité des bassins versants est donc une situation ordinaire plutôt qu'exceptionnelle. On compte ainsi une douzaine de grands fleuves dont les bassins versants couvrent plus de cinq pays. Parmi ceux-ci, on relève le Danube (13 états), le Nil (10), le Rhin (8), l'Amazone (7), le Niger (7), le Mékong (6), le Ganges-Brahmapoutre (5). Pour clarifier la situation de chaque pays vis-à-vis des ressources, certains travaux ont fait la distinction entre la part générée directement dans un pays, la part entrante et la part sortante. Mais ce décompte requiert des informations hydrologiques nombreuses et précises qui sont loin d'être disponibles pour tous les pays (Gleick, 1995).

En substance, une évaluation satisfaisante des ressources en eau utilisables doit être menée selon des pas de temps et sur des espaces cohérents avec les mécanismes de genèse de ces ressources. En ce sens, le cadre du bassin versant, qu'il soit national ou transnational, constitue très généralement l'unité géographique

pertinente et les systèmes d'informations sur les ressources en eau devront être bâtis en s'adaptant à cette grille.

Parmi les expériences pionnières les plus marquantes en matière de mise en commun des données hydrométéorologiques aux niveaux régionaux (ce qui est un préalable à tout système d'évaluation des ressources), il convient de faire référence aux programmes FRIEND (Flow Régimes from International Experimental and Network Data) du Programme Hydrologique International de l'UNESCO. Des composantes plus ou moins actives couvrent aujourd'hui plusieurs grandes régions du monde (Europe du nord-ouest, Europe méditerranéenne et alpine, Afrique de l'ouest et centrale, Afrique Australe, Inde-Himalaya, Bassin du Nil, etc.). Ces réseaux devraient être fortement sollicités pour la réalisation d'un inventaire des ressources utilisables à l'échelle mondiale.

POUR UNE ESTIMATION APPROPRIÉE DES DEMANDES EN EAU

La montée des préoccupations vis à vis des problèmes de l'eau au niveau mondial résulte d'une triple prise de conscience:

- A l'aube du troisième millénaire une proportion considérable de la population de la planète, (de l'ordre d'un milliard d'individus), ne bénéficiera toujours pas d'un accès facile et garanti à une eau de bonne qualité.
- Le déséquilibre entre une offre limitée (les ressources) et des demandes en croissance continue (les usages de l'eau) est déjà insupportable dans un certain nombre de pays et les prévisions sont très préoccupantes pour un très grand nombre de régions du globe, à des échéances très proches.
- Les concepts émergents de la valeur patrimoniale de l'eau et de la nécessité de conserver l'équilibre des écosystèmes aquatiques ont fait leur chemin dans les esprits (ceux des citoyens, mais aussi ceux des bailleurs de fonds et des hommes politiques). L'eau pour les écosystèmes n'est plus désormais "celle qui reste" lorsque les usages à retours économiques immédiats ont été satisfaits, mais se définit comme une "demande environnementale", caractérisée par un certain niveau de priorité dans toute démarche de planification ou de gestion durable des ressources en eau et des milieux aquatiques.

Les ressources en eau renouvelables sont limitées, dans l'absolu, par la quantité d'eau précipitée sur les continents. De surcroît, depuis plusieurs décennies, ces ressources auraient plutôt eu tendance à diminuer. En effet, par suite d'une gestion hasardeuse de l'environnement, les pollutions ont pu rendre inutilisables une certaine partie des ressources (par exemple: salinisation des nappes phréatiques côtières surexploitées ou teneurs trop élevées en nitrates des eaux de rivières). Face à cette stagnation, voire à cette réduction des ressources, la croissance des demandes est incessante. Au niveau mondial, les consommations en eau ont été multipliées par un facteur proche de 7 entre le début du siècle et 1995, et elles ont doublé au cours des 20 dernières années. La moitié de cette augmentation environ est à mettre au compte de l'augmentation de la population et l'autre moitié à celle de l'augmentation de la consommation per capita, lié au développement agricole et industriel et à l'accroissement du bien-être social.

Il apparaît donc clairement que c'est sur le terme des "dépenses" du bilan hydrique (les consommations) que devront porter les efforts de créativité et d'innovation pour résoudre les crises de l'eau, plutôt que sur le terme des "recettes" (les ressources). De surcroît, il existe très généralement des possibilités d'économiser des quantités importantes d'eau tout en fournissant le même service aux utilisateurs. L'évaluation et la réduction de ce "gisement du gaspillage" constitue la première étape d'une gestion rigoureuse des usages de l'eau.

Or, on doit noter que, si un effort important a été mené ces dernières décennies pour aboutir à une meilleure connaissance des mécanismes du cycle hydrologique, la connaissance paraît beaucoup moins avancée et moins élaborée en ce qui concerne les mécanismes qui régissent les demandes en eau. Cette situation assez paradoxale s'explique sans doute par le fait que la caractérisation des ressources constitue la mission d'un nombre relativement limité de spécialités et de communautés bien structurées (essentiellement les climatologues, les hydrologues et les hydrogéologues), alors que les groupes concernés par l'usage de l'eau sont bien plus nombreux: l'affirmation que l'eau est indispensable à toute activité humaine a pour corollaire qu'il n'est pas un groupe socio-économique, un secteur de production ou une discipline scientifique qui n'ait un point de vue à faire valoir, du conservateur de la nature à l'industriel ou de l'agriculteur au philosophe.

Cette fragmentation des secteurs concernés par les demandes entraîne une complexité extrême de la gestion de l'eau, mais elle constitue également une opportunité d'impliquer l'ensemble des communautés humaines dans la mise en œuvre de solutions, dont certaines devront impliquer des changements profonds de comportement dans nos relations avec l'eau (économiser l'eau et/ou accepter de la payer à son juste prix, ce qui dans certains cas peut vouloir dire plus cher).

Mais cette diversité des secteurs d'activité ou de bien-être concernés par les usages de l'eau a pour conséquence que les bases de données relatives à ces usages sont encore plus hétérogènes et moins utilisables pour des comparaisons entre régions ou entre pays que celles qui concernent les ressources. Il est courant qu'à l'intérieur d'un même pays, les données des différents secteurs d'utilisation portent sur des périodes différentes ou non clairement spécifiées. Comme les demandes évoluent très vite, cette inexactitude de l'information peut induire des diagnostics erronés, et amener à prendre des décisions qui ne sont pas forcément les plus pertinentes. Dans beaucoup de cas, les chiffres de l'efficacité de l'eau par secteur d'activité ne sont pas disponibles alors que c'est, à n'en pas douter, dans ce domaine que des économies sont immédiatement possibles. On observe également qu'il y a souvent confusion dans les chiffres entre les utilisations de l'eau sans réelle consommation (turbinages) et les consommations effectives (prélèvements consommables de l'agriculture).

Ce manque d'homogénéité dans les informations relatives aux usages de l'eau fait que les analyses sur la répartition "offre-demande" sont très difficiles à établir à l'échelle d'un pays et qu'elles sont difficilement comparables entre différents pays.

Pour permettre la gestion intégrée de toutes les demandes en eau d'un bassin versant, il y a donc besoin de mettre en place des systèmes d'informations sur les usages et les demandes en eau, ayant les mêmes caractéristiques que celles qui avaient été recommandées pour la comptabilité des ressources. Ces systèmes d'information devront nécessairement intégrer toutes les données socio-économiques

requis pour expliciter les mécanismes qui gouvernent les différents usages de l'eau à l'intérieur du système considéré.

Une différence essentielle avec l'évaluation des ressources est qu'il n'est généralement pas nécessaire de créer un service opérationnel pour mesurer les consommations, celles-ci étant connues par la plupart des utilisateurs. Le problème de la constitution d'un sous-système d'information sur les usages de l'eau est plutôt d'agréger et d'homogénéiser ces données, ce qui peut néanmoins représenter un effort très significatif en fonction des caractéristiques et de la fragmentation du secteur eau du pays considéré. Mais dans de nombreux cas, ces considérations restent assez théoriques, puisque dans bien des cas, les volumes prélevés pour l'irrigation, particulièrement par gravité à partir de canaux, ne sont pas connus, même par leurs utilisateurs. La priorité est alors de mettre à disposition des usagers des systèmes de mesure des prélèvements, première étape vers une prise de conscience individuelle et collective du concept d'efficacité de l'usage de l'eau. Enfin, certaines demandes dont le bénéfice économique direct est difficile à estimer ou qui ne relèvent d'aucun utilisateur bien identifié, telle la demande environnementale, devront être estimées par des entités compétentes et sereines.

De tels systèmes d'information auront des applications immédiates et fécondes car pour chaque usage de l'eau (irrigation, alimentation en eau domestique, etc.), il existe des normes d'efficacité optimale. Un système d'information sur les usages de l'eau, en renseignant sur le "rendement hydrologique" des fournitures, permettrait de détecter le "gisement du gaspillage" c'est à dire les volumes d'eau qui peuvent être économisés et replacés dans le terme "ressources" du bilan. Dans le cadre d'une gestion intégrée des ressources en eau, il deviendrait alors possible d'exprimer la demande environnementale en termes objectifs ou pour le moins quantifiés (débit réservé, seuils pour différents paramètres de qualité de l'eau, etc.)

Ces systèmes d'informations sur les demandes en eau peuvent également se révéler des outils puissants pour la *prévision de l'évolution des demandes* dans les différents secteurs. Celles-ci doivent évidemment être les plus réalistes et les plus fines possibles pour orienter convenablement les décisions. Il est manifeste que l'évolution de chaque type de demande a des répercussions sur les autres types et que l'évolution de la demande d'un secteur donné est fonction du modèle et du stade de développement économique, ainsi que du comportement des sociétés face à la ressource en eau et aux écosystèmes aquatiques. A partir de ces systèmes d'information, un exercice de réflexion et de "modélisation de la demande" devrait donc impérativement être entrepris. Cette démarche ne doit pas se limiter à un simple modèle de croissance des demandes, même assorti d'estimations hautes et basses, mais doit aboutir à un ensemble de scénarios, prenant en compte les évolutions probables ou possibles des modes de vie des sociétés humaines (modification de la répartition des populations entre villes et campagnes, modification des habitudes alimentaires, progrès en génétique végétale, intégration progressive du coût de l'eau dans les denrées alimentaires, accroissement de la valeur patrimoniale de l'eau des écosystèmes, évolution des échanges internationaux, etc.).

La fonction ultime de ces systèmes d'informations est celle d'outils d'aide à la décision, permettant à la fois d'éclairer la prospective et la planification (modification de la répartition de l'allocation de l'eau entre les différents types

d'utilisation, nécessité ou non d'aménagements nouveaux, etc.) et de gérer au quotidien les ressources dans une optique de développement durable.

Les deux grandes ONG internationales que sont le Conseil Mondial de l'Eau et le Partenariat Mondial pour l'Eau, qui ont pour ambition d'être des forums rassemblant tous les acteurs, gouvernementaux et non-gouvernementaux, publics et privés, environnementalistes et développeurs, constituent des forums privilégiés pour aborder cette question des systèmes d'information sur les usages de l'eau.

D'autre part, l'importance particulière de la demande en eau agricole, amène à tirer parti des expériences acquises dans le domaine plus spécifique des systèmes d'information sur l'usage agricole de l'eau. Parmi celles-ci, le programme AQUASTAT de la FAO constitue une initiative marquante, aussi bien en termes de pertinence aux échelles nationales qu'en capacité à fournir des estimations plus globalisantes.

CONCLUSION

Des développements qui précèdent, un certain nombre de conclusions, en forme de recommandations, peuvent être formulées en ce qui concerne l'amélioration de la connaissance des ressources et des usages de l'eau pour une gestion durable dans un contexte de variabilité spatiale et temporelle.

Concernant la collecte et la mise à disposition des données hydrométéorologiques tout d'abord:

- (a) L'accessibilité aux données hydrométéorologiques collectées par les agences gouvernementales pour les opérateurs du développement et le public est une priorité absolue. Des efforts substantiels en matière de technologie et de formation des ressources humaines doivent être consentis pour atteindre cet objectif.
- (b) La durabilité de l'action sur le terrain des services hydrométéorologiques doit être garantie. Dans les pays dans lesquels cette situation n'est pas réalisée, les gouvernements doivent mettre en place les procédures administratives, légales et financières susceptibles d'assurer cette condition. Un principe général pertinent serait d'admettre que dans le coût de l'eau payé par les utilisateurs quels qu'ils soient, une part soit réservée et affectée au suivi de la quantité et de la qualité des ressources. Il s'agit là de la généralisation du principe "pollueur-payeur" vers le concept étendu de "l'eau paye l'eau". L'existence d'un code de l'eau prévoyant les principes de cette mesure et les modalités de sa mise en œuvre et l'inventaire des usagers solvables constituent des préalables institutionnels indispensables.
- (c) Dès lors que les processus garantissant cette durabilité des activités de collecte et de diffusion des données auront été définis et mis en œuvre aux échelles nationales, l'aide internationale trouverait son sens et sa justification en permettant le démarrage du nouveau système et son soutien pendant la phase transitoire.
- (d) Les priorités pour parfaire les connaissances hydrométéorologiques doivent être données aux pays et aux régions où les ressources sont rares, plus précisément là où les pressions des différentes demandes sur le potentiel des ressources sont les plus fortes.

- (e) Les collaborations inter-régionales et intra-régionales sont de nature à faciliter la cohérence des objectifs, l'homogénéité des méthodes, la compatibilité des solutions, tant en matière de métrologie que dans la conception des bases de données et dans le choix des procédures de leur alimentation et de leur consultation. Il est donc souhaitable que cette relance de l'hydrologie opérationnelle soit menée en relation étroite avec les différents projets WHYCOS, (World HYdrological Cycle Observing System) coordonnés par l'Organisation Météorologique Mondiale.

Relativement à l'évaluation des ressources en eau utilisables ensuite:

- (f) A partir des données hydrométéorologiques, il est nécessaire et urgent de bâtir des systèmes d'information permettant d'estimer précisément *les ressources en eau* de surface et souterraines *utilisables*. Cette estimation devra prendre en compte et intégrer toute la complexité de la répartition spatiale des ressources et toute l'incertitude attachée à la variabilité temporelle des flux hydrologiques, aux échelles saisonnières et aux échelles interannuelles. Toutes les informations relatives à la qualité des eaux, qui sont déterminantes vis à vis du concept de ressources utilisables, devront également être prises en compte par ces systèmes d'information.
- (g) La mise en œuvre de la recommandation "f" suppose que des critères ou des normes sur la manière de procéder à ces estimations aient au préalable fait l'objet du plus large consensus possible. Il est nécessaire qu'un effort de réflexion approfondi soit rapidement conduit et que les propositions soient acceptées par un nombre significatif de pays et d'organisations concernées. Dans un premier temps, des projets pilotes, appliqués à des bassins versants caractéristiques permettraient de roder et de valider ces méthodes avant qu'elles ne soient mises en œuvre à grande échelle.
- (h) Ces systèmes d'information devront être conçus dans les cadres géographiques pertinents que sont les bassins versants. Cette recommandation s'applique particulièrement aux bassins versants qui s'étendent sur plusieurs pays. La collaboration inter-états est requise et garante du succès. Dans la pratique, celle-ci pourrait s'exercer à travers les différentes Agences, Commissions ou Autorités de bassin existantes. Mais pour entretenir l'intérêt et l'implication des différents pays dans un tel projet, les systèmes d'information ainsi développés doivent également être utilisables pour des finalités de gestion nationales. Il est essentiel que les services hydrologiques nationaux, qui sont les fournisseurs de données soient directement impliqués dans cette entreprise et qu'ils soient propriétaires et responsables des informations gérées par ces systèmes. Les récents progrès en matière de technologie de bases de données partagées et de communications permettent de concevoir des systèmes d'informations régionaux, sans qu'il y ait nécessairement concentration physique des données sur un site particulier. Toutefois, des procédures d'homogénéité doivent être définies et appliquées, ce qui implique nécessairement une coordination régionale, en matière de méthodes, de formation et d'équipements. Cette complémentarité entre niveaux national et régional permettra d'éviter la redondance ou la dispersion des efforts dans chaque pays et sera particulièrement appréciable pour la formation des ressources humaines.

- (i) La connaissance des ressources utilisables n'est pas un processus rétrospectif ou statique. Une gestion avisée suppose de pouvoir anticiper la variabilité des ressources, même si l'on sait que ces prévisions restent entachées d'une certaine incertitude statistique. Cette capacité de prévision peut s'envisager à plusieurs échelles de temps: de quelques heures à quelques jours pour la prévision des crues ou pour la gestion optimisée des cultures pluviales, avec une antécédence de plusieurs mois pour prévoir l'occurrence d'une sécheresse et ses effets sur la production agricole, enfin avec une vision prospective de plusieurs décennies lorsqu'il s'agit d'anticiper les effets du réchauffement global sur les ressources en eau. Les systèmes existants de diffusion des prévisions météorologiques, qui sont largement suivis dans pratiquement tous les pays de la planète par voies de radio, de télévision ou de journaux, devraient comporter une composante plus spécifique et plus explicite pour la prévision des précipitations, en particulier dans les zones où les ressources pluviales restent déterminantes pour l'agriculture ou l'élevage. Dans la plupart des régions, ceci implique d'améliorer substantiellement cette capacité de prévision, ce qui requiert des progrès en matière d'observation des phénomènes climatiques (réseaux de mesures au sol, satellites) et en matière de connaissance de la circulation des masses d'air (progrès en science météorologique). Les prévisions à l'échelle de la prochaine saison sèche ou de la prochaine saison des pluies sont un impératif tout à fait stratégique pour la gestion des ressources en eau. Des quantités impressionnantes d'informations, constamment actualisées, sur l'état du système climatique de la planète (par exemple la température de surface des océans), sont aujourd'hui disponibles. Celles-ci pourraient permettre d'anticiper l'évolution des pluies et des débits avec plusieurs mois d'antécédence, ou pour le moins d'apprécier la probabilité d'être confronté à telle ou telle situation extrême. Les efforts de recherche internationale devront être orientés et encouragés dans ce sens.

Enfin, se rapportant à une meilleure connaissance de l'état et de l'évaluation des demandes et des usages de l'eau:

- (j) Pour gérer la compétition entre les différentes demandes en eau, y compris les demandes environnementales, et orienter la décision pour une répartition équitable des ressources, il est nécessaire et urgent de mettre en place des systèmes performants pour collecter et gérer toutes les informations relatives à l'ensemble des besoins et des usages de l'eau (prélèvements, rejets, usages non consommables, demandes environnementales).
- (k) Ces systèmes d'information sur les demandes devront satisfaire aux mêmes contraintes que celles évoquées à propos des ressources: continuité et durabilité du processus de collecte et d'agrégation des données, transparence des modes de calcul et d'estimation, accessibilité des informations.
- (l) Ces bases de données sur les demandes devront être les plus exhaustives possible et comporter notamment des informations à caractère économique permettant de prendre en compte des coûts de réalisation, de fonctionnement et de renouvellement des aménagements. Il ne sera pas toujours possible d'organiser ces informations sur l'usage dans le même cadre territorial que les ressources (le bassin versant), mais les informations des deux systèmes devront pouvoir être

croisées et confrontées sur tout espace et toute période de temps requis pour une optimisation de l'allocation des ressources vis à vis des demandes.

- (m) L'utilisation la plus immédiate de ces systèmes d'information est l'évaluation du "gisement du gaspillage", c'est à dire la quantification des volumes d'eau susceptibles d'être économisés en augmentant l'efficacité des systèmes de transport ou de distribution de l'eau, des procédés industriels, des technologies d'irrigation, etc.
- (n) Enfin, une fonction essentielle de ces systèmes d'information sera de permettre des études prospectives de l'évolution des demandes, selon un certain nombre de scénarios probables ou vraisemblables, prenant en compte l'évolution macro-économique et les conditions locales. Ces prospectives devront satisfaire à des considérations éthiques, implicites dans une démarche de gestion durable des ressources en eau:
- la conservation des écosystèmes aquatiques;
 - la proscription de toute surexploitation des ressources renouvelables, particulièrement quand celle-ci favorise des productions agricoles ou industrielles à court terme en faussant le jeu du marché ("surexploitations compétitives");
 - la proscription des pollutions acceptées ou volontaires qui minimisent les coûts de production ("pollutions compétitives").

REFERENCES

- Gleick, P. (1995) *Water in Crisis*. Oxford University Press, New York, USA.
- Mahé, G. & Olivry, J. C. (1995) Variations des précipitations et des écoulements en Afrique de l'ouest et centrale de 1951 à 1989. *Sécheresse* 6, 109-177.
- Margat, J. (1996) *Les Ressources en Eau*. BRGM/FAO Manuels et Méthodes no. 28.
- Servat, E., Paturel, J. E., Lubès-Niel, H., Kouamé, B., Travaglio, M. & Marieu, B. (1997) De la diminution des écoulements en Afrique de l'ouest et centrale. *C.R. Acad. Sci., Paris* 325, série IIa, 679-682.
- Shiklomanov, I. A. (1995) World freshwater resources. In: *Water in Crisis* (ed. by P. Gleick), 1-24. Oxford University Press, New York, USA.
- Shiklomanov, I. A. (1998) World Water Resources: a new appraisal and assessment for the 21st century. Executive summary for *World Water Resources Monograph*. UNESCO-IHP, Paris.