

CONSÉQUENCES DES BARRAGES SUR L'ENVIRONNEMENT

ENVIRONMENTAL IMPACTS OF DAMS

par Christian Lévêque ¹

RÉSUMÉ

La prolifération des lacs de barrages à travers le monde s'est faite le plus souvent à partir d'une démarche sectorielle d'usage de l'eau. Une étude menée par la Commission Mondiale des barrages (C.M.B.) fait un constat globalement positif des bénéfices tirés de ces barrages, mais sévère quant aux conséquences sociales et environnementales. On a, par exemple, sous-estimé les conséquences sanitaires liées à l'existence des barrages, leur rôle dans la production des GES (gaz à effet de serre), les conséquences en matière d'érosion des côtes et des deltas, les risques que font courir le vieillissement des barrages dans un contexte climatique qui évolue rapidement. Dans une perspective de développement durable, il est nécessaire que les projets futurs fassent l'objet d'une plus large concertation. Les petits barrages paraissent poser moins de problèmes environnementaux, et mieux intégrer la concertation entre les acteurs du développement, mais leurs conséquences sur le cycle de l'eau sont encore mal évaluées, et leurs conséquences sur la santé nécessitent d'être mieux prises en compte.

SUMMARY

The number of dams all around the world is estimated to 45 000 large dams and at least 800 000 small dams, half of them in China. Half of the dams were built for irrigation. The report of the World Commission of Dams (2000) stated that dams have made an important and significant contribution to human development, and the benefits derived from them have been considerable. However in too many cases an unacceptable and often unnecessary price has been paid to secure those benefits, especially in social and environmental terms, by people displaced, by communities downstream, by taxpayers and by the natural environment. And lack of equity in the distribution of benefits has called into question the value of many dams in meeting water and energy development needs when compared with the alternatives. We have to move from a sectoral management of the water towards a more integrated approach taking into account other issues than the water resource alone. For instance human health has not enough been considered in the planning of dams. Some unexpected environmental issues also appeared with time such as coastal erosion as a result of sediment entrapment in reservoirs, as well as the production of greenhouse gaz in eutrophic reservoirs. Large dams also are responsible for river fragmentation and disappearance of endemic fish species. The impact of small dams on the environment is less than for large dams, and they are more integrated in the local economy. However, their impact on human health and on the water cycle are not yet well known. One of the main risks associated with dams, large and small, is their maintenance. Dam breaks occur time to time and their probability increases with the age of the dam and bad maintenance. Along with all development choices, decisions on dams and their alternatives must respond to a wide range of needs, expectations, objectives and constraints. They are a function of public choice and public policy. To resolve underlying conflicts about the effectiveness of dams and their alternatives, a broad consensus is needed on the norms that guide development choices and the criteria that should define the process of negotiation and decision-making.

1. Correspondant de l'Académie d'Agriculture de France. Antenne IRD/MNHN, 43 rue Cuvier, 75006 Paris.
Courriel : cleveque@mnhn.fr

After more than two years of intense study, dialogue with those for and against large dams, and reflection, the Commission believes there can no longer be any justifiable doubt about two key points :

1. By bringing to the table all those whose rights are involved and who bear the risks associated with different options for water and energy resources development, the conditions for a positive resolution of competing interests and conflicts are created ;

2. Negotiating outcomes will greatly improve the development effectiveness of water and energy projects by eliminating unfavourable projects at an early stage, and by offering as a choice only those options that key stakeholders agree represent the best ones to meet the needs in question.

Le besoin d'assurer un approvisionnement permanent en eau douce a été à l'origine d'une prolifération de barrages sur les rivières en vue de stabiliser le débit et de créer des retenues à usages multiples pour la production d'électricité, l'irrigation, l'alimentation des centres urbains, etc.

A l'heure actuelle on estime qu'il y a 45 000 « grands barrages » (barrages de plus de 15 m de haut ou de plus de 5 m de haut et d'un volume d'au moins 3 Mm³ (CMB, 2000), dont la moitié en Chine, et environ 800 000 barrages de plus petites dimension (11). Des estimations récentes évaluent le volume d'eau stocké dans les réservoirs de 6 000 à 7 000 km³ (19). La moitié des grands barrages du monde a été construite à des fins d'irrigation exclusivement et 30 à 40 % des 271 millions d'hectares irrigués dans le monde le sont à partir de barrages. À ce jour, près de la moitié des fleuves compte au moins un grand barrage (CMB, 2000).

1. Pour une approche systémique

La Commission Mondiale des Barrages a rendu en l'an 2000 un verdict sévère (voir encadré). « Les investissements énormes réalisés ainsi que les innombrables conséquences des grands barrages ont provoqué des conflits à propos du site et des impacts, faisant des barrages – existants ou en projet – l'un des dossiers les plus chaudement débattus dans le domaine du développement durable ». La plupart des grands barrages d'irrigation et hydroélectriques n'auraient même pas atteint leurs objectifs

Une évaluation sans concession...

Après plus de deux ans d'études et de dialogue avec les partisans et les adversaires des grands barrages, la Commission Mondiale des Barrages a estimé que les points suivants étaient raisonnablement bien établis (CMB, 2000) :

- Les barrages ont largement contribué au développement humain, et les avantages qui en résultent ont été considérables.

- Dans de trop nombreux cas, le prix payé par les personnes déplacées, les communautés en aval, les contribuables et le milieu naturel pour s'assurer de ces bénéfices a été inacceptable et souvent inutile, particulièrement du point de vue social et environnemental.

- L'absence d'équité dans la répartition des bénéfices a mis en question la valeur réelle de la contribution de nombreux barrages à la satisfaction des besoins en eau et en énergie pour le développement, au regard des autres options.

- Des résultats négociés amélioreront considérablement l'efficacité des projets hydrologiques et énergétiques en éliminant à un stade précoce les projets les plus discutables. Seuls seront retenus les projets qui, aux yeux des parties intéressées, sont les plus à même de répondre aux besoins en question.

La CMB souligne également que les grands barrages conçus à des fins d'irrigation n'ont pas, dans l'ensemble, atteint les objectifs fixés et ont été économiquement moins rentables que prévu (les dépenses engagées n'ont pas été récupérées). De fait, l'évaluation du cycle de planification et de réalisation des projets de grands barrages a révélé une série de limitations, de risques et de lacunes dans la manière dont les installations ont été planifiées. En particulier l'évaluation des options possibles est généralement limitée aux paramètres techniques et à l'application étroite des analyses économiques coûts-bénéfices. Et de manière générale, la participation des populations à la prise de décision, ainsi que l'évaluation des conséquences sociales et environnementales ont eu lieu tardivement et ont été de portée limitée.

(CMB, 2000). Les défenseurs évoquent les exigences du développement économique et social et la contribution des barrages : irrigation, électricité, maîtrise des inondations et approvisionnement en eau, etc. Les détracteurs mettent en avant les conséquences négatives des barrages, comme le poids de la dette, les dépassements de coûts, le déplacement de populations et leur appauvrissement, la destruction d'écosystèmes importants et de ressources halieutiques, et le partage inéquitable des coûts et avantages (23).

De fait, pendant longtemps la gestion de l'eau s'est faite en fonction d'objectifs sectoriels focalisés autour d'usages spécifiques de la ressource physique : alimentation en eau des villes, production d'électricité, agriculture, etc. Le plus souvent les implications écologiques ou sociales étaient marginalisées, voire ignorées. La montée en puissance d'une sensibilité environnementale et les nombreuses conférences internationales depuis deux décennies ont promu l'idée d'une gestion intégrée des ressources qui prenne en compte les différents usages et les conflits potentiels entre utilisateurs. On parle maintenant de gestion intégrée des bassins versants dans laquelle l'eau est toujours une ressource mais également un milieu nécessaire à la vie aquatique, et un élément indispensable à la vie terrestre. La démarche systémique quant à elle, vise à comprendre et à formaliser les interactions entre les divers usages de l'eau par les sociétés humaines, les besoins de la nature et de la biodiversité, les comportements sociaux, et les facteurs économiques. C'est un paradigme qui reformule en quelque sorte la manière dont les hommes interagissent avec la nature. Elle débouche naturellement vers le développement durable et la recherche de compromis entre les besoins des sociétés humaines et la pérennisation des ressources.

Même si la démarche systémique est loin d'être opérationnelle, elle nous amène à élargir le champ de la réflexion et à prendre en compte un ensemble de critères jusque là marginalisés. Ainsi, dans le cas des réservoirs artificiels, la santé humaine, la biodiversité, les interactions avec le climat, sont autant de domaines qui doivent être pris en compte au même titre que les arguments sectoriels et économiques permettant d'examiner les différentes conséquences d'un barrage sur l'ensemble du socio-système dans lequel il s'inscrit, et de justifier ou non leur construction ou leur pérennisation.

2. Conséquences des barrages par rapport au cours d'eau

A. Modification de l'habitat aquatique et fragmentation des cours d'eau

Des milieux aquatiques perturbés

La première conséquence évidente des barrages est de transformer un écosystème d'eau courante dont le fonctionnement est contrôlé par les variations saisonnières du débit, en un milieu lacustre le plus souvent stratifié avec un hypolimnion anoxique et, à l'aval, un milieu courant dont le fonctionnement hydrologique est sous le contrôle des éclusées provenant du barrage en dehors de toute considération des cycles biologiques. Ce tronçon aval au débit régulé perd ainsi la majeure partie des zones inondables qui sont nécessaires au bon fonctionnement écologique des fleuves de même que les zones humides associées au lit majeur.

Dans ce contexte, les peuplements aquatiques sont profondément modifiés : disparition des espèces rhéophiles en amont compensée en partie par le développement d'espèces d'eau stagnantes ; disparition d'espèces qui se reproduisent dans les zones inondables à l'aval. Les barrages sont responsables de la disparition définitive d'espèces rhéophiles endémiques qui ne peuvent s'adapter aux nouvelles conditions écologiques qui leurs sont offertes.

L'une des conséquences les plus importantes sur le plan biologique est la rupture de la connectivité longitudinale et la fragmentation des cours d'eau, entravant la circulation des organismes qui ont besoin de migrer pour accomplir leur cycle biologique. C'est le cas de nombreuses espèces de poissons, mais également de crevettes d'eau douce (*Macrobrachium*). L'utilisation de passes à poisson a eu un succès limité, la technologie utilisée n'étant pas toujours adaptée aux sites et aux espèces concernées.

Poissons migrateurs

Une des conséquences les plus importantes de l'aménagement hydroélectrique du Bas-Rhône concerne les poissons migrateurs, en particulier l'aloise (Pattee, 1988). Avant 1950, l'aloise remontait sur l'ensemble du bassin du Rhône jusqu'au Doubs par la Saône et au lac du Bourget par le Haut-Rhône. Le premier aménagement hydroélectrique, Donzère-Mondragon, mis en service en 1952, a coupé d'emblée l'accès à 75 % du bassin pour les poissons migrateurs. Les autres sites de fraie ont été fortement compromis par la mise en service de l'aménagement de Vallabrègues en 1970. A la fin des années 1980, l'aloise n'était présente de façon significative qu'à l'aval de l'aménagement de Vallabrègues, les dispositifs de franchissement des seuils et des barrages étant peu ou pas efficaces pour cette espèce.

Débits réservés

Débit réservé, débit de référence biologique, débit biologique minimum acceptable, etc... sous ces termes on désigne le débit qu'il serait souhaitable de maintenir à l'aval des barrages pour garantir au milieu aquatique des conditions acceptables pour la conservation des espèces animales et végétales. Les débits réservés constituent un outil de régulation pour concilier les différents usages de l'eau. En France ils font partie de la loi pêche de 1984 qui recommande de maintenir 1/10 du module afin de préserver la vie piscicole.

Cette volonté du législateur de mieux équilibrer les relations entre usages et préservation ne suscite pas, loin s'en faut, une adhésion générale. Pour certains acteurs elle est comprise comme une contrainte supplémentaire, voire un manque à gagner (selon EDF, le maintien des débits réservés représente un manque à produire équivalent à 500 MF par an en France... (5), soit comme un palliatif toujours insuffisant pour restaurer des conditions de milieu acceptables pour la flore et la faune (20).

Malgré tout, de nombreuses méthodes de calcul des débits réservés ont été développées, dont certaines à partir d'expériences pilotes, et de retours d'expérience. La recherche d'un optimum du rapport efficacité pour le milieu/coût pour la collectivité répond aux préoccupations de la directive cadre sur l'eau (2). L'application des débits réservés doit donc être souple et adaptative en fonction des réels besoins des systèmes fluviaux. Ainsi, la valeur des débits réservés pour les chutes du bas Rhône mises en service avant 1980 est comprise entre 1/100 et 1/300 du module en hiver et entre 1/50 et 1/300 en été. Par contre dans le haut Rhône, le débit réservé des chutes mises en service à partir de 1980 est comprise entre 1/5 et 1/40 en hiver et 1/3 et 1/20 en été (2).

Sur le Rhône toujours, l'expérience a montré qu'une augmentation des débits réservés avait des effets très positifs sur les habitats aquatiques et le peuplement piscicole. Mais il faut aussi tenir compte de la perception des paysages par les citoyens : perception visuelle de l'écoulement qui se rapproche de la situation d'autrefois, réhumidification des rives avec la possibilité de développement d'une végétation hygrophile, développement des loisirs nautiques tels que canoë-kayak, pêche, etc... Ces « avantages » sociaux peuvent contrebalancer la « perte » sectorielle d'exploitation des barrages. Encore faut il les prendre en compte.

B. Modification du cycle érosion-transport-sédimentation

Rétention des sédiments et envasement

Les barrages interrompent le transit sédimentaire, que ce soit la charge grossière en saltation ou les limons en suspension. L'accumulation de matériaux dans les réservoirs réduit les capacités de stockage et nécessite des opérations d'entretien périodique pour évacuer les sédiments. On estime que les capacités de stockage de bon nombre de barrages vont périr, notamment dans les régions arides et semi-arides, là où ils sont les instruments essentiels de maîtrise des ressources en eau (14).

Les informations recueillies sur les petits barrages d'Afrique du Nord montrent que l'envasement est variable selon la nature des sols et les aménagements : de 1,8 t/ha/an en Tunisie centrale sur un bassin boisé et aménagé en dispositifs anti-érosifs, à 3,8 t/ha/an sur le plateau basaltique de Syrie et à 50 t/ha/an sur un petit bassin marneux du Maroc. En Tunisie, un suivi sur 24 petits barrages

met en évidence une perte de 22 % de la capacité initiale de stockage pour une durée d'existence moyenne de 7,7 ans, soit une perte moyenne de 4,6 % par an (Albergel et al., 2004).

Le colmatage rapide des réservoirs va à l'encontre d'un développement agricole durable.

Les pratiques agricoles et l'occupation des sols jouent un rôle important dans les processus d'érosion. Si l'on autorise la déforestation à l'amont des réservoirs, la terre mise à nue est rapidement entraînée par le ruissellement, sédiments dans les lacs et réduit considérablement leur capacité de stockage. L'aménagement anti-érosif des versants permettrait d'accroître la durée de vie et il est possible de contrôler en partie le phénomène de comblement des barrages en appliquant un certain nombre de mesures de gestion (4). Sinon on risque de se retrouver dans une situation du « toujours plus de barrages », dont les conséquences économiques et environnementales restent à évaluer.

Les chasses d'eau

Les chasses d'eau ont pour but d'évacuer une partie des matériaux accumulés dans une retenue afin d'éviter une sédimentation trop importante qui pourrait obstruer les conduites et gêner le fonctionnement du barrage. Ces chasses consistent en une vidange par l'abaissement de la retenue puis l'ouverture complète des vannes du barrage. Il en résulte qu'une partie des sédiments ainsi que l'eau chargée en azote ammoniacal et en hydrogène sulfureux rejoignent la rivière modifiant la qualité de l'eau tout en colmatant éventuellement les habitats aquatiques. Ces épisodes peuvent être traumatisant pour le milieu aquatique lorsqu'ils sont conduits sans précaution, et ils furent très souvent dans le passé à l'origine de véritables catastrophes écologiques, par défaut d'anticipation dans leur mode de gestion (CEMAGREF, 2004). Afin de minimiser les conséquences écologiques, les modalités des chasses ont été formalisées sur le Haut Rhône, par un accord franco-suisse de 1967, fixant les débits et les dates à respecter. C'est ainsi que tous les trois ans, les chasses assurent le transit d'environ 1 500 000 tonnes de matériaux fins entre Génissiat, Seyssel, Chautagne, Belley, Brégnier-Cordon et Sault-Brénaz. Mais ce n'est pas encore le cas partout dans le monde...

Érosion côtière

L'érosion côtière résulte le plus souvent de l'impact cumulé de plusieurs facteurs, certains naturels, d'autres induits par les activités humaines. Il est très rare qu'un seul facteur soit à l'origine du phénomène de telle sorte que l'on a tendance à sous évaluer l'impact des projets d'aménagement, pris de manière individuelle, sur les transports sédimentaires (6). Les principaux facteurs naturels d'érosion sont les marées, les courants marins, les tempêtes. Actuellement cette érosion n'est plus compensée par les apports littoraux et surtout par les apports des fleuves qui, autrefois, comblaient le déficit sédimentaire. Les ouvrages côtiers, les barrages et travaux d'irrigation, les opérations de dragage, les prélèvements de sable et l'extraction de sédiments en mer, le défrichement des terrains côtiers, constituent les principales causes anthropiques de l'érosion. Chaque année, 100 millions de tonnes de sable qui servent à réapprovisionner de manière naturelle des habitats côtiers en Europe sont utilisées pour le secteur de la construction ou piégées derrière des barrages fluviaux ou par des travaux de génie civil. Un cinquième du littoral de l'Union européenne est sérieusement atteint par l'érosion côtière. Par endroit, le recul est de 0,5 à 2 mètres par an, et même de 15 mètres dans quelques cas alarmants.

L'érosion marine et le recul des côtes est un phénomène bien connu pour un grand nombre de fleuves aménagés tant en Europe qu'aux États-Unis. Ainsi, on estime que les aménagements du Rhône et de ses affluents ont fait passer la charge alluviale livrée annuellement à la mer d'environ 30 millions de tonnes au début du XX^e siècle à 12 millions de tonnes dans les années soixante et à seulement 8 millions de tonnes de nos jours. La réalisation des barrages hydroélectriques a joué un rôle important depuis 1945 mais l'abandon des terres agricoles en montagne avaient déjà réduit l'abondance de la charge alluviale des rivières dans les premières décennies du XX^e siècle (18). On comprend ainsi l'érosion des plages de la Camargue et du Languedoc oriental rongées par une dérive littorale sous-saturée en sédiments.

L'érosion des côtes est actuellement un phénomène préoccupant sur la façade atlantique de l'Afrique de l'Ouest. Elle paraît surtout être la conséquence de la fermeture du barrage d'Akosombo sur la Volta et du barrage de Diama sur le fleuve Sénégal.

Cycle des éléments nutritifs

Les barrages interrompent non seulement le flux des sédiments mais aussi le flux des éléments nutritifs avec des conséquences sur la productivité du cours d'eau à l'aval et, dans le cas des grands fleuves, sur la productivité des zones côtières. L'exemple bien connu est celui du barrage d'Assouan : les apports de phosphate et de silicate au milieu côtier ne sont plus respectivement que 4 et 18 % des apports qui existaient avant barrage. On estime que cette réduction des apports associée à une surpêche est responsable de la baisse observée des pêcheries côtières au large du delta du Nil (7).

3. Conséquences en matière de santé humaine

Dans la plupart des pays, les plans d'eau créés à l'amont des barrages sont des lieux d'attraction des populations, soit pour le tourisme dans les pays du Nord, soit pour la baignade ou les activités ménagères dans les pays du Sud. En d'autres termes la création de plans d'eau, qui favorise par ailleurs le développement agricole ou l'alimentation domestique, a pour contrepartie de renforcer également les possibilités de contact des populations avec les maladies liées à l'eau, notamment en zone tropicale. Cet aspect est rarement pris en compte dans les projets de développement agricole, ou parfois même volontairement sous-estimé dans les prévisions économiques. Pourtant l'expérience montre que nombre d'épidémies résultent de la création de nouveaux plans d'eau, lorsque les précautions élémentaires ne sont pas prises. Cette composante sanitaire dans les pays tropicaux est probablement celle qui a été la plus négligée dans les projets de construction de barrages.

A. Maladies d'origine hydrique

Les maladies d'origine hydrique sont des maladies « de l'eau sale » causées par une eau contaminée par des déchets humains, animaux ou chimiques. Les maladies d'origine hydrique comprennent notamment le choléra, la thyphoïde, la polio, la méningite et l'hépatite A et B. Les êtres humains et les animaux peuvent être les hôtes des bactéries, des virus et des protozoaires qui causent ces maladies. L'emploi comme engrais d'eaux usées contaminées peut provoquer des épidémies de maladies comme le choléra.

Quand il n'y a pas d'installations sanitaires appropriées (on estime que 3 milliards d'êtres humains, par exemple, n'ont pas de sanitaires), les maladies d'origine hydrique peuvent se répandre rapidement. Les maladies diarrhéiques, qui sont les principales maladies d'origine hydrique, sont prévalentes dans de nombreux pays où l'épuration des eaux usées est insuffisante. En pareil cas, les déchets humains sont évacués à ciel ouvert dans des latrines, des fossés, des canaux et des cours d'eau, ou sont épandus dans les champs.

Les **cyanobactéries** ou algues bleues sont présentes dans le monde entier, notamment dans les eaux calmes, riches en nutriments. Certaines espèces de cyanobactéries produisent des toxines cyanobactériennes auxquelles les hommes et les animaux peuvent être exposés par de l'eau contaminée, que ce soit en la consommant ou en s'y baignant. Les effets les plus graves et les plus fréquents sur la santé sont dus à la consommation d'eau contenant des toxines (cyanobactéries) ou à l'ingestion d'eau lors d'activités récréatives. La maladie due aux toxines cyanobactériennes varie en fonction du type de toxine et du type d'exposition à l'eau ou liée à l'eau (eau de boisson, contact avec la peau, etc.). Les symptômes chez l'être humain sont divers, comprenant irritation cutanée, crampes d'estomac, vomissements, nausée, diarrhée, fièvre, angine, céphalées, douleurs musculaires et articulaires, vésicules autour de la bouche et atteinte hépatique. Les personnes qui nagent dans des eaux contenant des toxines cyanobactériennes peuvent avoir des réactions allergiques telles que l'asthme, une irritation des yeux. Les animaux, les oiseaux et les poissons peuvent également être intoxiqués par de fortes concentrations de cyanobactéries qui produisent des toxines.

Dans les pays en développement, les diarrhées sont une des causes de mortalité importante. En 1998 on estimait qu'elles avaient tué 2,2 millions de personnes, surtout des enfants de moins de 5 ans (22). Chaque année il y aurait de l'ordre de 4 milliards de cas de diarrhées dans le monde.

B. Maladies à support hydrique

Parmi les maladies à support hydrique, on peut citer le ver de Guinée (draconculose) et la schistosomiase (bilharziose). Ces maladies sont causées par une variété d'helminthes, qui infectent les êtres humains. Bien qu'elles n'entraînent généralement pas la mort, elles peuvent être débilitantes.

Souvent, la prévalence de maladies à support hydrique augmente quand on construit des barrages. En effet, l'eau stagnante qui s'accumule derrière un barrage offre des conditions idéales aux hôtes intermédiaires tels que les mollusques. Par exemple, le barrage d'Akosombo, sur le Lac de la Volta, au Ghana, et le Grand Barrage d'Assouan, sur le Nil, en Egypte, sont à l'origine d'énormes accroissements de schistosomiase dans ces régions. Par ailleurs, au Mali, une enquête effectuée dans 225 villages situés dans des milieux écologiques différents a constaté que la prévalence de schistosomiase urinaire était cinq fois plus élevée dans les villages alimentés par de petits barrages (67 %) que dans les villages de la savane plus sèche (13 %) (12).

Les **bilharzioses** sont des infestations parasitaires dues à des vers plats appelés schistosomes vivant dans les vaisseaux sanguins. La maladie se contracte dans les eaux stagnantes où vivent des mollusques qui servent d'hôtes intermédiaires à l'origine des larves infestantes et sans lesquels les parasites ne peuvent effectuer leur cycle. Les aménagements hydroagricoles créent un contexte favorable à leur développement, rendant possible l'infestation d'une population qui vient utiliser cette eau de surface (jeux, baignade, lessive...). On observe ainsi que ce sont les enfants qui fréquentent le plus les points d'eau qui sont les plus contaminés. Dans ces nouvelles zones agricoles, les mouvements de population engendrés par l'extension des aires cultivables irrigables favorisent l'importation du parasite par des sujets originaires d'autres régions. Cette maladie parasitaire se range juste après le paludisme pour l'importance de son impact sur la santé publique et sur le développement socio-économique.

C. Maladies transmises par des vecteurs liés à l'eau

Des millions de gens ont des infections transmises par des vecteurs, tels que les moustiques ou les mouches tsé-tsé, qui se reproduisent et vivent dans ou près de l'eau, polluée ou non. Ces vecteurs infectent les humains avec le paludisme, la fièvre jaune, la dengue, la maladie du sommeil et la filariose. Le paludisme, qui est la maladie la plus répandue, est endémique dans une centaine de pays en développement, où quelques 2 milliards d'habitants sont à risques. Plus d'un million de personnes meurent de la malaria chaque année et environ 90 % des décès dus à la malaria ont lieu en Afrique subsaharienne.

L'incidence de maladies transmises par des vecteurs liés à l'eau semble être en augmentation (22). Beaucoup de raisons expliquent cet état de choses : les hommes acquièrent de la résistance aux médicaments anti-paludiques ; les moustiques deviennent résistants aux insecticides employés ; les changements apportés à l'environnement créent de nouveaux gîtes de ponte ; l'évolution du climat et la création de nouveaux habitats d'eau stagnante, comme les retenues, qui sont de nouveaux sites de ponte pour les vecteurs.

4. Émission de gaz à effet de serre et qualité des eaux

Les lacs de barrage sont en général des milieux stratifiés avec un hypolimnion anoxique qui est le résultat de la décomposition de grandes masses de matière organique qui existaient avant l'inondation, ou qui résultent de la production primaire dans le lac lui-même. Ces milieux eutrophes sont les milieux d'élection des cyanophycées, et l'anoxie favorise la production de gaz à effet de serre.

A. Gaz à effet de serre

La création de réservoirs, notamment pour la production hydroélectrique, est en progression constante, tant au niveau régional qu'au niveau global. Cette évolution est renforcée par la perception de l'hydroélectricité comme alternative énergétique sans incidence climatique. Ainsi, l'IPCC ne mentionne dans son rapport de 2001 que des émissions occasionnelles de méthane. Les mesures d'émissions de gaz à effet de serre (GES) effectuées sur des réservoirs au Canada, en Finlande, aux États-Unis ainsi qu'en Amérique du Sud amènent à questionner cette évaluation. La Commission Mondiale des barrages (CMB, 2000) a constaté que tous les réservoirs échantillonnés à ce jour par les scientifiques produisent, comme les lacs naturels, des gaz à effet de serre en raison de la décomposition de la végétation et des apports de carbone du bassin versant.

Le volume de ces émissions est très variable néanmoins. Ainsi, un chercheur brésilien, Fearnside (10), a produit des résultats tendant à montrer que certains réservoirs artificiels laissent échapper des quantités très importantes de gaz à effet de serre (CO₂ et méthane). Ainsi, il serait sorti du réservoir de Balbina près de Manaus en Amazonie, dès sa première année de mise en eau en 1988, 10 millions de tonnes de CO₂ et 150 000 tonnes de méthane. En comparant le barrage de Balbina à une centrale au charbon qui produirait la même quantité d'électricité on en déduit que l'hydroélectricité serait 16 fois plus polluante ! Cette situation ne semble pas néanmoins être généralisable, les barrages amazoniens, surtout lors de leur mise en eau, étant très riches en matière organique décomposable. Ailleurs (c'est le cas notamment des réservoirs dans les zones boréales), les émissions brutes de gaz à effet de serre seraient considérablement plus faibles que celles des centrales thermiques.

Des travaux réalisés en Guyane depuis la mise en eau du barrage de Petit-Saut en 1994 ont montré que cet ouvrage était susceptible de produire en un siècle autant de gaz à effet de serre, en équivalent CO₂, qu'une centrale thermique à gaz de puissance équivalente. Au niveau mondial, les premières estimations publiées situent à environ 70 mégatonnes annuelles les quantités de méthane produites par les retenues artificielles de par le monde (21), un chiffre qui équivaldrait à la production en méthane de l'ensemble des rizières mondiales.

Le développement d'espèces invasives dans les réservoirs, telles que la jacinthe d'eau, produit d'énormes quantités de matière organique qui, en se décomposant, sont susceptibles également d'accroître la production des GES.

B. Qualité des eaux : le mercure

Des recherches menées sur le mercure en Guyane par des équipes françaises ont mis en évidence que le réservoir de Petit Saut est un véritable réacteur pour produire du méthylmercure qui est la forme toxique du mercure assimilable par les organismes. Les processus en jeu, de la remobilisation du mercure inorganique au niveau des sols à sa transformation sous l'effet de bactéries qui vivent dans les biotopes aquatiques peu oxygénés, ainsi que les phénomènes de bio-amplification (processus d'assimilation et de concentration des métaux lourds dans l'organisme) le long des chaînes alimentaires, sont à présent bien connus. Et les poissons carnassiers en fin de chaîne alimentaire sont fortement contaminés, ce qui rend leur consommation dangereuse si elle est fréquente (3).

5. Vieillessement des barrages et risques de rupture

Le terme vieillissement désigne toute dégradation du remblai ou des ouvrages annexes en fonction du climat, des conditions d'exploitation, d'événements particuliers, ou d'un défaut introduit dès le stade de la conception et de la construction de l'ouvrage. La sécurité des barrages exige une attention grandissante et des investissements accrus car les coûts d'entretien augmentent à mesure que le parc vieillit. De plus, le changement climatique pourrait modifier le régime hydrologique qui a servi de base à la conception des déversoirs.

Les risques environnementaux les plus souvent cités pour les barrages sont les conséquences de leur rupture éventuelle. Malgré leur faible charge, les petits barrages ont un taux de rupture

moyen qui est du même ordre de grandeur que pour les grands barrages. Comme il y a au moins cinquante fois plus de petits barrages que de grands barrages, quelques dizaines de petits barrages sont détruits chaque année dans le monde (1). Lorsqu'il s'agit d'un barrage de 50 000 m³, sa destruction passe inaperçue. Elle n'engendre que peu de catastrophes à l'aval, mais les sédiments stockés dans la retenue sont libérés dans le réseau hydrographique et le cours d'eau reprend son régime hydrologique naturel. Lorsqu'il s'agit d'un ouvrage de 10 à 15 m de haut avec un stockage de quelques centaines de milliers de mètres cubes, sa rupture peut créer des crues dangereuses de plusieurs centaines de mètres cube par seconde dans un fond d'oued qui n'a pratiquement plus vu passer d'eau depuis la construction du barrage et dans lequel des populations ont pu s'installer.

Les autorités chinoises ont reconnu, en 1998, que plusieurs milliers de leurs barrages construits dans les années 50 et 60, en mauvais état, sont menacés de rupture. Déjà 322 d'entre eux ont cédé, provoquant des centaines de morts.

Une étude réalisée par le CEMAGREF a mis en évidence que les petits barrages du Gers souffrent dans l'ensemble d'un vieillissement prématuré. Parmi les principales raisons : l'insuffisance des études préalables des sites et des sols, les simplifications de structure adoptées par les maîtres d'oeuvre pour diminuer le coût de la construction, le laxisme des propriétaires et le manque d'entretien et de suivi des ouvrages (13). Des méthodes d'aide à l'expertise pour le diagnostic et l'analyse de risques des barrages sont en cours de développement. L'objectif est de capitaliser la connaissance et le retour d'expérience des experts, et de mettre en place une base de connaissance sur les mécanismes de vieillissement des barrages (17).

La question du vieillissement peut se croiser avec celle de la modification du régime hydrologique des cours d'eau induite par une dérive climatique et l'amplification des extrêmes, que ce soit les crues ou le étiages. Des ouvrages fragilisés pourraient ainsi être menacés par des fortes crues.

6. Les « petits barrages »

En milieu rural, les petits barrages ou retenues collinaires apparaissent comme des aménagements propres à assurer les besoins en eau de petites communautés. Ce sont des ouvrages de retenue d'eau de surface, créés par une digue en terre, en pierre, ou en béton. Ils captent les eaux de ruissellement et contiennent quelques dizaines à quelques milliers de mètres cubes d'eau.

Dans la zone sahélienne d'Afrique de l'Ouest (nord Côte d'Ivoire, Burkina, sud Mali) les petits barrages collectent l'eau de ruissellement en saison humide constituant ainsi des réserves qui servent aux usages domestiques, à abreuver le bétail, et à la culture irriguée en saison sèche. Ce sont des aménagements propres à assurer les besoins en eau de petites communautés en croissance démographique, en réponse à la sécheresse qui sévit depuis quelques décennies dans le Sahel. Ils ont contribué de manière significative au développement d'activités agricoles (cultures maraîchères, élevage, vergers, riziculture) et à la création d'activités économiques nouvelles telles que la pêche. Des objectifs similaires ont conduit à une politique d'implantation de nombreux petits barrages en terres « açudes » dans le polygone de la sécheresse au nord-est du Brésil.

Leur construction ne crée pas *a priori* de nuisance particulière. De faibles dimensions et ne retenant qu'une petite quantité de la production en eau des bassins versants, les lacs collinaires sont considérés comme ayant un impact relativement faible sur l'environnement. Sur le plan écologique, ces petits barrages destinés à sécuriser des ressources en eau dans les espaces ruraux sont autant de zones humides ou d'oasis disséminées dans des paysages de savanes, facteur éminemment favorable à l'installation d'une faune et d'une flore plus diversifiées. Leur extension participe à la lutte contre l'érosion des sols et au reboisement. De fait les petits barrages ont contribué à une modification sensible du paysage rural, par un développement de la végétation arborée mais aussi par l'extension des zones de culture.

Aux « bénéfiques » potentiels ou bien réels dans l'immédiat des petits barrages sont associés des « risques » plus ou moins bien évalués. Ainsi, si certaines recherches viennent conforter l'hypothèse que les lacs collinaires participent à la recharge des nappes, on sait peu de chose en ce qui concerne leur impact sur le débit des fleuves en aval. La multiplication de lacs collinaires à l'amont des grands barrages risque également de réduire les écoulements nécessaires à leur remplissage. Ceci a été vérifié au nord-est du Brésil où l'irrégularité accrue des apports annuels a aussi été démontrée.

De même, ces retenues subissent des pertes importantes dues à l'évaporation qui pourraient contribuer de manière plus générale à modifier le cycle de l'eau dans les zones concernées, sans que l'on en connaisse l'importance.

Conclusions

L'idée de durabilité renvoie à l'équilibre entre la transformation de la nature en réponse aux besoins des hommes et la capacité des communautés à intégrer, dans la régulation de ses usages, le souci de l'exploitation durable de la ressource. Au-delà des changements induits par l'aménagement il s'agit d'évaluer les chances de pérennité, tant des aménagements eux-mêmes que des usages divers dont ils font l'objet, à travers les modes de régulation mis en place.

Les deux grands pôles du débat sur l'opportunité des barrages illustrent l'éventail des opinions sur les expériences passées. D'un côté, l'accent est mis sur l'écart entre les avantages annoncés et les revenus réels d'un barrage. De l'autre, on insiste sur les défis que pose le développement des ressources hydrauliques et énergétiques dans la perspective de la construction nationale et de l'allocation des ressources. Pour les partisans des barrages, la réponse à toute question sur les résultats passés s'impose à l'évidence puisqu'ils avancent que les barrages ont, dans l'ensemble, répondu aux attentes dans plus de 140 pays et, à quelques exceptions près, ont fourni un éventail indispensable de services dans les secteurs de l'eau et de l'énergie. Les opposants font valoir que de meilleures solutions, moins coûteuses et moins lourdes de conséquences, ont fréquemment été négligées : des options à petite échelle comme des centrales électriques ou stations d'alimentation en eau décentralisées, aux options à plus grande échelle privilégiant l'efficacité au point final d'utilisation et la gestion par la demande. Les barrages ont souvent été préférés à d'autres options susceptibles de contribuer à la réalisation des objectifs hydrauliques ou énergétiques à un coût plus faible, ou présentant, en matière de développement, des avantages plus durables et plus équitables.

Le débat sur les barrages met donc en question les opinions sur la manière dont les sociétés exploitent et gèrent les ressources en eau dans le contexte plus large des choix liés au développement. Le bon sens ne peut nier l'utilité des barrages, mais l'expérience nous a montré que le prix à payer en matière d'environnement et pour la société était parfois disproportionné par rapport aux bénéfices réels. Il est donc logique que les projets futurs fassent l'objet d'une plus large concertation, que les ouvrages soient réalisés dans une perspective à long terme et multi-usages pour les sociétés concernées, que les solutions alternatives soient bien explorées. Les projets pharaoniques devraient certainement se réduire fortement au profit d'aménagements de plus petite taille qui soient mieux pris en compte par les sociétés, voire gérés par les sociétés concernées. Le développement durable passe également par une meilleure gouvernance à tous les niveaux. Comme le souligne la CMB « nous devons examiner les projets proposés en matière de développement des ressources en eau et en énergie dans un contexte beaucoup plus large – un contexte qui reflète une connaissance approfondie des avantages et des conséquences, pour toutes les parties, des projets de grands barrages ou de leurs alternatives. Cela signifie que d'autres parties doivent prendre part à la décision et que nous devons tenir compte de nouveaux critères et perspectives. Nous devons mettre au point une approche qui permette de parvenir à un consensus autour des décisions qui auront été prises. Cela entraînera des changements fondamentaux dans la manière dont les décisions sont arrêtées. »

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- (1) ALBERGEL J., NASRI S., BOUFAROUA M., DROUBI A. et MERZOUK A.A., 2004. – Petits barrages et lacs collinaires, aménagements originaux de conservation des eaux et de protection des infrastructures aval : exemple des petits barrages en Afrique du Nord et au Proche Orient. *Sécheresse*, **15**, n° 1, 78-86.
- (2) CEMAGREF, 2004. – Barrages et développement durable en France. Synthèses, débats, rapports généraux. *Ingénieries*, supplément au n° 38.
- (3) CHARLET L. et BOUDOU A., 2002. – Cet or qui file un mauvais mercure. *La Recherche*, **359**, 52-59.

- (4) DUNGLAS J., 2002. - Érosion des bassins versants et gestion des barrages. Conclusion. C.R. Acad. Agric. Fr, **88**, n° 1, 119-121.
- (5) EDF 2000. - L'énergie hydraulique à EDF. 28 août 2000. www.edf.fr/download.php4?coeid=726
- (6) EUROSION, 2004. - Living with coastal erosion in Europe: Sediment and Space for Sustainability. PART I - Major findings and Policy Recommendations of the EUROSION project, 10 May 2004.
- (7) FAO, 1995. - Effects of Raverine inputs on Coastal Ecosystems and Fisheries resources. FAO Fisheries technical paper, n° 349, Rome, Italy.
- (8) FEARNSIDE P.M., 1995. Hydroelectric dams in the Brazilian Amazon as sources of greenhouse gases. *Env. Conserv*, **22**, 7-19.
- (9) FEARNSIDE P.M., 2001. Greenhouse gas emissions from a hydroelectric reservoir (Brazil's Tucuruí dam) and the energy policy implications, *Water, Air, and Soil Pollution*, **00**, 1-27.
- (10) FEARNSIDE, P.M. 1997. Greenhouse-gas emissions from Amazonian hydroelectric reservoir: the example of Brazil's Tucuruí Dams compared to fossil fuel alternatives. *Environmental Conservation*, **24**, n° 1.
- (11) HOEG, K. 2000. - Dams: Essential Infrastructure for Future Water management. Paper presented at the Second World Water Forum for the International Commission on Large Dams, 17-22 March 2000, The Hague. <http://europa.eu.int/comm/environment/iczm/home.htm>
- (12) HUNTER J.M., REY L., CHU K.Y., ADEKOLU-JOHN E.O., et MOTT K.E., 1993. - Parasitic diseases in water resources development: The need for intersectoral negotiation. Geneva, World Health Organization, 1993. 152 p.
- (13) LAUTRIN D., 1998. - Le vieillissement des petits barrages en remblai. *Ingénieries*, **14**, 55-67.
- (14) MARGAT J., 2002. - La sédimentation des réservoirs et ses conséquences sur la maîtrise des ressources en eau dans le monde. C.R. Acad. Agric. Fr, **88**, n° 1, 105-114.
- (15) OLSHANSKY S.J., CARNES, B., ROGERS, R., & SMITH, L., 1997. - Infectious diseases - New and ancient threats to world health. *Population Bulletin* 52, 2, 2-43. Jul. 1997.
- (16) PATTEE E., 1988. - Fish and their environment in large European river ecosystems. *The Rhône. Sciences de l'Eau*, **7**, n° 1, 35-74.
- (17) PEYRAS L., ROYET P., BOISSIER D. & VERGNE A., 2004. - Diagnostic de risques liés au vieillissement des barrages. Développement de méthodes d'aide à l'expertise. *Ingénieries*, **38**, 3-12.
- (18) PROVANSAL M., 2003. - Dynamique à long terme des milieux littoraux. Pp 140-145 In Lévêque C. & Van der Leeuw S., *Quelles natures voulons nous ? Pour une approche socio écologique du champ de l'environnement*. Elsevier, Paris.
- (19) SHIKLOMANOV, I.A. AND RODDA, J. 2003. - World Water Resources at the Beginning of the 21st Century. UNESCO, Paris.
- (20) SOUCHON Y., VALENTIN S., et CAPRA H. 1998. - Peut-on rendre plus objective la détermination des débits réservés par une approche scientifique ? *Houille Blanche*, **8**, 41-45.
- (21) ST-LOUIS V., KELLY C. A., DUCHEMIN E., RUDD J. W. M. et ROSENBERG D.M., 2000. - Reservoir surfaces as sources of greenhouse gases: a global estimate, *Bioscience*, **50**, n° 9, 766-775.
- (22) WORLD HEALTH ORGANIZATION (WHO), 1997. - Health and environment in sustainable development five years after the earth summit. Geneva, WHO, p. 19-133.
- (23) CMB, 2000. - Barrages et développement. Un nouveau cadre pour la prise de décisions. Tour d'horizon. Le Rapport de la Commission Mondiale des barrages.
- (24) Novembre 2000. www.dams.org

(Reçu le 17 mai 2005)



LES COLLOQUES

de l'Académie d'Agriculture de France

IRRIGATION et DÉVELOPPEMENT DURABLE

Paris, 19 mai 2005

