

Objectif de cette Note d'Information

Cette Note d'information a pour objet : de porter les questions pertinentes relatives au stockage de l'eau à l'attention des Parties contractantes et de les aider à comprendre les conséquences pour les zones humides ; de fournir des informations supplémentaires pour compléter les orientations Ramsar existantes sur ces questions ; et de faire des recommandations en vue d'apporter des réponses à ces questions aux niveaux mondial et national ainsi qu'à l'échelle de chaque bassin hydrographique.

Informations Générales

Dans le plan de travail du GEST pour 2009-2012, la tâche 7.4 du domaine de travail thématique 6 (les zones humides et la gestion des ressources en eau) comprend un examen du rôle des zones humides dans le stockage de l'eau et la préparation d'un rapport technique sur les interactions entre les zones humides et le stockage de l'eau (y compris dans les barrages et les zones souterraines) pour soutenir la mise en œuvre des résolutions Ramsar concernant les orientations relatives à l'eau (voir Manuel Ramsar pour l'utilisation rationnelle 8, 4e édition, 2011). En 2010, à l'occasion de ses ateliers à moyen terme, le GEST a demandé la préparation d'une note d'information sur ce sujet avec des données nouvelles et actualisées.

Auteur

Mike Acreman
Responsable du domaine de travail thématique du GEST sur les ressources en eau, 2009-2012

Les zones humides et le stockage de l'eau : tendances et problèmes actuels et futurs

Il est clair que la demande d'approvisionnements fiables en eau, galvanisée par l'adaptation aux changements climatiques, la sécurité alimentaire, la sécurité de l'eau et le développement économique et humain ne cessera d'augmenter partout sur la planète. Et dans un climat mondial de plus en plus imprévisible, un des moyens importants de satisfaire cette demande réside dans des solutions efficaces de stockage de l'eau. Il est probable que la construction de barrages, petits et grands, apparaîtra comme un moyen possible d'augmenter le stockage d'eau superficielle mais, comme les Parties contractantes à la Convention de Ramsar l'ont reconnu dans plusieurs résolutions, les barrages peuvent avoir des incidences aussi bien positives que négatives sur les zones humides et les services écosystémiques qu'elles fournissent. Dans la présente note d'information, le GEST passe en revue les conséquences, pour les zones humides, des tendances et problèmes actuels relatifs à la croissance potentielle de la demande de capacité de stockage d'eau de surface.

Messages clés et recommandations

- La demande de stockage d'eau devrait connaître une forte croissance dans un proche avenir, d'autant plus que les pays sont de plus en plus nombreux à mettre en œuvre des politiques d'adaptation aux changements climatiques. Après une pause dans la construction de barrages, pendant les années qui ont suivi la publication du rapport de la Commission mondiale des barrages, en 2000, il est probable que la construction de nouveaux barrages et la remise en état de barrages anciens connaissent, à l'avenir, une nouvelle expansion pour satisfaire une partie de la demande croissante de stockage d'eau.
- Les barrages et autres ouvrages de stockage de l'eau peuvent avoir des effets négatifs sur les zones humides et leurs services écosystémiques; cependant, certains types de zones humides peuvent jouer le rôle majeur d'*infrastructures naturelles* et, dans certaines conditions, offrir une capacité de stockage de l'eau.
- La Convention de Ramsar a adopté plusieurs résolutions proposant des orientations sur les moyens d'affronter les impacts d'infrastructures telles que les barrages sur les zones humides. Cette somme d'orientations reste valable et utile et les Parties sont vivement invitées à en appliquer les recommandations.
- Le GEST a émis les recommandations supplémentaires suivantes pour la Convention:

- fournir une justification scientifique solide pour les fonctions et capacités de stockage de l'eau de différents types de zones humides;
- définir un message Ramsar clair sur les zones humides et la question du stockage de l'eau et utiliser les termes appropriés pour bien se faire comprendre;
- déterminer les publics les plus importants pour ce message et élaborer des stratégies ciblées pour communiquer des informations pertinentes sur les zones humides à ces publics.

Pourquoi stocker l'eau ?

À bien des égards, l'eau nous est indispensable: pour boire, laver, cuisiner, cultiver des plantes alimentaires, pour l'industrie et pour la production d'énergie (Gleick 1993). En outre, nous sommes redevables à l'eau qui maintient les écosystèmes, lesquels fournissent d'autres biens et services (Acreman 2003) – aujourd'hui couramment appelés « services écosystémiques » (MA 2005).

L'eau arrive à la surface de la Terre sous forme de précipitations qui varient selon les endroits du monde et selon différentes échelles de temps. Les précipitations sont très saisonnières dans les régions de mousson, sur le sous-continent Indien et dans une bonne partie de l'Afrique. On peut aussi observer une variabilité interannuelle, sous l'influence de phénomènes à grande échelle comme El Niño-Oscillation australe (ENSO) qui peuvent donner lieu à des inondations et à des sécheresses sur un cycle de 3 à 8 ans (Adhikari *et al.* 2010). La persistance décennale caractérise aussi l'expérience passée; au début des années 1980, le Sahel a connu la sécheresse et la famine mais en août 1988, des inondations ont ravagé cette région.

La demande d'eau pour l'agriculture est souvent saisonnière mais la demande des ménages, de la production d'énergie et de l'industrie tend à être constante tout au long de l'année. Il est essentiel de stocker l'eau en période d'abondance pour pallier les besoins en période de pénurie parce que tout écart entre la demande et l'offre d'eau a de graves conséquences, notamment : mauvaises récoltes, soif, coupures d'électricité, perte de voies de transport et dégradation des services écosystémiques.

L'eau est stockée dans de nombreux éléments du cycle hydrologique: dans l'atmosphère, comme par exemple dans les forêts de brouillard, dans les sols, dans les aquifères souterrains, dans les cours d'eau, les lacs et autres zones humides. Les eaux souterraines constitu-

La variabilité hydrologique affecte la croissance économique

La variabilité des précipitations peut avoir un impact marqué sur la croissance économique (Brown & Lall 2006). Le Kenya a subi une chute de 16% de son produit intérieur brut (PIB) à cause de la sécheresse de 1998-2000 et de 11% à cause des inondations de 1997-1998, en partie parce que le pays n'a pas pu stocker de l'eau et la distribuer efficacement pour l'irrigation et la production hydroélectrique (Commission économique pour l'Afrique 2008). L'étude intitulée « Comprehensive Assessment of Water Management in Agriculture (Molden 2007) » a conclu que 20% de la population mondiale vit dans des régions où il y a une rareté physique de l'eau.

ent le plus grand réservoir d'eau douce non gelée et fournissent actuellement la majeure partie de l'eau utilisée dans le monde. En Afrique, 60% de la population vit en zone rurale et dépend de petits approvisionnements en eaux souterraines (Calow *et al.* 2009). Dans de nombreuses régions du monde, les eaux souterraines sont rechargées par les eaux de pluie qui percolent lentement dans le sol – parfois pendant des mois. Ainsi, les eaux souterraines peuvent fournir de l'eau pendant des années et, en conséquence, pallier le manque de ressources en eau durant les variations saisonnières et pluriannuelles des précipitations et les grandes sécheresses.

Lorsque l'eau infiltrée dans un aquifère depuis très longtemps n'est pas actuellement rechargée, on parle souvent d'« eau fossile » (Abd El Samie & Sadek 2001) et l'on assimile son extraction à une forme d'exploitation « minière » des eaux souterraines. Comme les ressources minérales telles que le pétrole, l'eau fossile est une ressource exploitable ayant une durée de vie limitée.

Satisfaire la demande en eau : le potentiel des eaux souterraines

Souvent, les agriculteurs préfèrent l'eau souterraine pour l'irrigation des cultures car ils contrôlent directement la ressource. Cependant, la surexploitation (lorsque l'extraction excède la recharge à long terme), souvent pour des gains à court terme, est responsable de l'abaissement de la nappe phréatique et de problèmes graves en Chine, en Europe méditerranéenne et en Inde. Dans le nord de la Chine, par exemple, il y avait 2,6 millions de puits fin 1997, ce qui a entraîné un abaissement de la nappe phréatique de 42 mètres en 30 ans (Brown 2000). Dans une bonne partie de l'Afrique subsaharienne, les roches cristallines dures ne présentent qu'un potentiel limité de receler des eaux souterraines.

Dans les bassins de Koufra et de Syrte, en Libye, les eaux souterraines ont été rechargées pour la dernière fois il y a plusieurs millénaires, lors d'une période plus humide. Cependant la ressource est vaste, exploitée depuis 30 ans pour irriguer les cultures et continuera de fournir de l'eau pour plusieurs décennies encore (Wright *et al.* 1982).

Comment et pourquoi la demande d'eau et de stockage d'eau change-t-elle?

Ces dernières années, le débat sur le stockage de l'eau s'est animé en raison des changements économiques, démographiques et climatiques régionaux et mondiaux qui affectent le moment, l'emplacement et l'ampleur des demandes en eau et, partant, la nécessité de disposer d'un plus grand nombre ou de nouvelles solutions de stockage de l'eau.

Changements démographiques et sociaux affectant la demande en eau

La population mondiale devrait passer de 7 milliards aujourd'hui à 9 milliards en 2042 (DESAPD 2006), ce qui aboutira à une demande accrue d'aliments obtenus de l'agriculture irriguée et d'eau potable. Déjà l'irrigation engloutit plus de 70% de toute l'eau exploitée et pourtant, l'eau pour la sécurité alimentaire pose un problème de plus en plus aigu (Hanjra & Qureshi 2010).

Malgré les progrès des objectifs du Millénaire pour le développement (OMD), près de 900 millions de personnes n'ont toujours pas accès à de l'eau potable. Il ne fait aucun doute que les efforts déployés par les gouvernements et les organisations dans le but d'élargir l'accès à l'eau pour satisfaire les besoins de base des populations humaines devront s'appuyer sur des sources d'eau fiables (Sullivan *et al.* 2003).

De plus en plus, les politiques régionales en faveur de la sécurité alimentaire deviendront des questions d'importance mondiale. Certains pays comme le Koweït et l'Arabie saoudite achètent des terres dans d'autres pays (p.ex., au Soudan, au Pakistan) pour y produire des biens alimentaires, créant de nouvelles pressions sur les ressources en eau et de nouveaux problèmes politiques.

Les changements climatiques affectent la demande en eau

L'intensification du cycle hydrologique amplifiera la variabilité des précipitations, de même que la gravité des

Les changements sociaux portent-ils les germes de conflits pour l'eau?

Plus de la moitié de la population mondiale vit désormais en milieu urbain et l'on s'attend à ce que la croissance démographique future concerne surtout les villes (FNUAP 2007). D'ici 30 ans, les populations des villes africaines et asiatiques devraient doubler, posant de graves problèmes d'approvisionnement en eau. Les changements dans le régime alimentaire, par exemple des légumes à la viande en Chine, peuvent aussi avoir un impact, même si les augmentations récentes de la demande de viande ont été satisfaites par la production nationale (Ray 2008).

Certains commentateurs craignent que, dans les 25 prochaines années, la concurrence pour l'eau ne devienne un catalyseur des conflits, lorsque les pays lutteront pour avoir accès à une ressource de plus en plus rare (Mason *et al.* 2007). Toutefois, à ce jour, le nombre de conflits directs pour des ressources d'eau partagées reste faible et d'autres commentateurs voient, quant à eux, les questions relatives à l'eau servir de catalyseur à la coopération (Grey & Sadoff 2007, par exemple).

inondations et des sécheresses extrêmes (Meehl *et al.* 2007, Burke *et al.* 2006). On considère que les régions très peuplées, proches de l'Himalaya et des Andes, sont particulièrement vulnérables aux effets de la retraite des glaciers (Barnett *et al.* 2005). Dans les zones de recharge marginales, le stockage de l'eau souterraine pourrait devenir non renouvelable. Les bouleversements dans les modes d'occupation des sols peuvent aussi affecter les cycles atmosphériques à grande échelle. Ainsi, il est probable que le déboisement de l'Amazonie change le régime des précipitations en Europe méditerranéenne (Gedney *et al.* 2008). L'imprévisibilité accrue de l'eau disponible augmente la nécessité d'un stockage supplémentaire de l'eau.

Les changements économiques affectent la demande en eau

Au deuxième semestre de 2008 le prix du pétrole est passé d'USD30 à USD140 le baril, donnant un nouvel élan au développement de sources d'énergie renouvelables, comme l'énergie hydroélectrique, les biocarburants et l'énergie éolienne n'utilisant pas de combustibles fossiles (bien que la crise économique et financière ait entraîné une baisse de 2% de la demande d'énergie mondiale en 2009 (IEA 2010)). Certains pays, comme en Amérique latine, sont déjà fortement tributaires de l'énergie hydroélectrique (Millan 1999). Il est possible de produire de l'énergie hydroélectrique grâce à des centrales au fil de l'eau qui ont une incidence lim-

L'infrastructure hydraulique et la richesse

Dès les années 1930, avec la création de la Tennessee Valley Authority, les États-Unis ont massivement investi dans les barrages polyvalents. Les barrages Hoover et Glen Canyon, sur le Colorado ont soutenu le développement économique du sud-ouest du pays. Beaucoup de pays européens ont investi leur richesse dans la construction de barrages, par exemple pour l'énergie hydroélectrique en Norvège et en Suisse et pour l'agriculture irriguée en Espagne. En Australie, l'infrastructure hydraulique, en particulier dans le bassin Murray-Darling, a joué un rôle majeur dans la croissance industrielle et dans le développement de l'agriculture et de l'élevage.

Il existe des exemples clairs de pays ayant une variabilité hydrologique élevée mais une capacité de stockage de l'eau limitée et une économie moins performante, comme l'Éthiopie et le Yémen. La capacité de stockage de l'eau de l'Éthiopie n'est que de 165 millions de m³ par habitant (y compris le nouveau barrage de Tekeze sur le fleuve Atbara) alors que celle de l'Australie, un pays à la variabilité climatique très semblable, s'élève à 4 milliards 500 millions de m³. Moins de 6% des terres irrigables de l'Éthiopie sont irriguées alors qu'au Soudan voisin, 14% des terres sont irriguées (FAO 1987).

itée sur le régime hydraulique. Cependant, les centrales hydroélectriques les plus productives sont associées à de grands barrages qui modifient profondément le régime hydraulique. Dans un nouveau Rapport technique Ramsar (Anderson & MacKay en prép.) préparé en appui à un projet de résolution communiqué à la COP11, *Les zones humides et l'énergie*, on trouvera une discussion détaillée des incidences possibles, sur les zones humides, des politiques, plans et activités relatifs à l'énergie (Convention de Ramsar 2012).

Les liens complexes entre l'infrastructure hydraulique, la sécurité de l'eau et le développement économique

En général, c'est dans les régions du monde où les risques d'insécurité liée à l'eau sont les plus élevés que l'accès à l'infrastructure hydraulique tend à être le plus faible (PNUD 2006). Les raisons de cette situation ne sont pas toujours très claires. Grey & Sadoff (2007) prétendaient que bien des pays, parmi les plus riches du monde, ont aussi amélioré considérablement la sécurité de l'eau en investissant dans des ouvrages de stockage de l'eau. Toutefois, les relations directes de cause à effet ne sont pas claires: il se peut que la richesse nationale permette un bon stockage de l'eau mais il se peut aussi que le stockage de l'eau soit la source de cette richesse nationale.

S'il existe un stockage naturel disponible – par exemple dans les eaux souterraines – et que l'économie d'un pays ne repose pas sur des secteurs gourmands en eau, la prospérité économique ne dépend pas nécessairement de l'investissement dans l'infrastructure hydraulique. Au Moyen-Orient, beaucoup de pays comme l'Arabie saoudite et les Émirats arabes unis, ont toujours eu suffisamment d'eaux souterraines pour leurs besoins et s'en remettaient au revenu du pétrole pour acheter des biens alimentaires à d'autres pays; aujourd'hui ce-

pendant, ils louent des terres en Afrique, par exemple en Éthiopie, pour produire des denrées alimentaires (Economist 2009). Les réserves d'eau fossile et de pétrole s'épuisant, la donne économique pourrait changer. En outre, dans de nombreuses zones rurales, la sécurité de l'eau continuera d'être limitée par l'accès plutôt que par la disponibilité physique dans un avenir prévisible (Sullivan *et al.* 2003).

Les coûts et avantages moins évidents du développement de l'infrastructure n'apparaissent pas toujours dans les statistiques économiques nationales comme le PIB ou le coefficient gini de l'ONU (Gini 1912). Par exemple, la production hydroélectrique du barrage de Manantali, au Mali, a permis d'améliorer l'approvisionnement en électricité de zones urbaines du Sénégal, du Mali et de la Mauritanie mais les zones rurales n'ont été que peu électrifiées et la population rurale a souffert de la perte d'importants autres services écosystémiques comme la pêche, en raison de la modification du régime hydrologique en aval du barrage (Acreman 1996).

Potentiel de croissance de la capacité de stockage de l'eau de surface

Alors que la Chine et l'Inde, en particulier, ont entrepris de grands programmes de construction de barrages, la plupart des pays en développement n'ont que peu exploité leur potentiel de stockage d'eau de surface fondé sur l'infrastructure; l'Asie, l'Afrique et l'Amérique latine n'ont développé que 22%, 7% et 33%, respectivement, de leur potentiel hydroélectrique (IHA 2008). En Afrique, 94% de l'agriculture est arrosée par les pluies. La Commission pour l'Afrique (2005) a souligné la pauvreté grave et l'absence de croissance économique dans de nombreuses régions d'Afrique et a recommandé d'investir dans l'infrastructure (y compris dans le stockage de l'eau) afin de doubler la superficie des terres irriguées.

D'aucuns prétendent que les grands projets liés aux ressources en eau stimulent la croissance économique générale au niveau régional, ce qui présente d'importants avantages directs et indirects pour les pauvres, en créant des emplois et en améliorant des services comme les routes et la santé mais d'autres préfèrent des technologies locales appropriées (p. ex., les pompes à pédale) certes moins intéressantes pour le PIB mais plus efficaces pour l'allègement direct de la pauvreté des communautés locales, et en particulier des plus démunis. La Banque mondiale soutient une optique de croissance économique nationale en tant que mécanisme descendant (du sommet à la base) pour sortir les gens de la pauvreté plutôt qu'une approche montante (de la base au sommet) fondée sur les moyens d'existence locaux.

Les barrages sont-ils la solution aux enjeux du stockage?

Beaucoup de grands barrages ont apporté des avantages économiques et sociaux importants. Les vastes liens entre le développement de l'infrastructure (y compris des barrages), la productivité agricole accrue et la croissance économique ont été largement documentés (Hussain & Hanjra 2004, Hanjra *et al.* 2009). Toutefois, essentiellement en raison de leurs impacts sociaux et environnementaux, les grands barrages sont controversés.

Depuis quelques décennies, on s'est rendu compte que les constructions à grande échelle, comme les barrages, peuvent être une approche rigide de la gestion de l'eau avec des coûts, directs et indirects qui, parfois, supplantent les avantages. La Commission mondiale des barrages (CMB 2000a) a conclu que les barrages ont apporté une contribution importante au développement humain mais que les coûts sociaux et environnementaux ont, dans de trop nombreux cas, été inacceptables et souvent inutiles. Cette constatation a directement entraîné un ralentissement dans la construction de barrages tandis que les conséquences du rapport de la Commission faisaient l'objet de débats.

D'autres craintes concernant les impacts des barrages ont été exprimées ces dernières années. Par exemple, des émissions élevées de méthane (CH₄) ont été relevées dans les réservoirs tropicaux peu profonds, de type plateau, où le cycle naturel du carbone est le plus productif (Delmas 2005), alors que les émissions des réservoirs profonds, situés à de basses latitudes semblables, tendent à être faibles. Une étude théorique des émissions de gaz à effet de serre par la création de

Barrages : le bon et le mauvais

Durant le projet Barrages et développement (suivi du Programme des Nations Unies pour l'environnement (PNUE) à la Commission mondiale des barrages (CMB)), l'International Rivers Network (IRN) a suivi les progrès de plusieurs barrages pour voir si les processus de la CMB étaient appliqués. Le réseau a conclu que des grands projets, tels que les barrages de Bui (Ghana), Lom Pangar (Cameroun), Epupa (Namibie), Bakun (Malaisie) et Mphanda Nkuwa (Mozambique) n'avaient pas suivi les lignes directrices de la CMB. Toutefois, ni les gouvernements, ni les associations pour les barrages n'ont rassemblé d'informations complémentaires à l'échelon mondial que l'on puisse comparer aux conclusions de l'IRN.

En revanche, il y a de nombreux exemples de construction de barrages qui démontrent de bonnes pratiques par rapport aux critères de durabilité. Par exemple, le projet de Bumbuna d'une capacité de 50 MW, en Sierra Leone, est considéré comme un bon modèle de partage des avantages avec la communauté locale, dans le cadre duquel un fonds d'affectation spéciale a été mis sur pied, soutenu par la Banque mondiale, avec un conseil d'administration pluriacteurs qui a donné aux communautés locales le pouvoir de décider de l'utilisation des fonds. Les problèmes et l'expérience relatifs aux barrages, depuis 2000, viennent d'être revus par Moore *et al.* 2010.

réservoirs pour la production d'énergie hydroélectrique en Inde (Banque mondiale 2007) a conclu que les émissions seraient faibles parce que les réservoirs indiens sont, dans une large mesure, situés dans des régions où les conditions naturelles limitent les processus qui favorisent les émissions de méthane.

La quantité d'eau qui s'évapore des réservoirs est supérieure à celle qui est consommée par les êtres humains (PNUE 2008) et, aux États-Unis, la production hydroélectrique consomme plus d'eau par kilowatt/heure que la production de combustible fossile (Torcellini *et al.* 2003).

Les barrages fournissant une importante capacité de stockage de l'eau peuvent être multifonctionnels; par exemple, ils peuvent jouer un rôle important dans la réduction des inondations en aval. Le barrage des Trois-Gorges sur le Yangtsé produit de l'énergie hydroélectrique mais il est aussi conçu pour réduire la fréquence des grandes inondations en aval d'une tous les 10 ans à une tous les 100 ans et il a sauvé plusieurs centaines de vies en 2010. Les États-Unis ont plus de 1000 barrages destinés purement à la gestion des crues et 1000 autres barrages polyvalents qui comprennent aussi la gestion

des crues tandis qu'aucun des barrages indiens enregistrés dans le Registre mondial des barrages ICOLD (http://www.icold-cigb.net/GB/World_register/world_register.asp) n'a de fonction de contrôle des crues car l'Inde n'a pas particulièrement visé le contrôle des crues par la régulation, préférant utiliser des digues pour ce faire.

Il existe de nombreux exemples de barrages aux effets positifs. Au Cameroun, le barrage de Waza fonctionne de manière à libérer de l'eau dans la plaine d'inondation du Logone pour optimiser les services écosystémiques tels que la pêche, l'agriculture de récession et l'élevage après les crues (Loth 2004). On pourrait dire que le stockage de l'eau dans les barrages offre une sécurité contre les sécheresses et les grandes inondations qu'une plaine d'inondation fournirait de façon moins optimale. Les barrages créent une retenue d'eau qui peut avoir de nombreuses caractéristiques semblables à celles des lacs naturels, notamment accueillir des espèces de poissons et d'oiseaux précieuses. En fait, un certain nombre de retenues ont été inscrites sur la Liste de Ramsar – par exemple Rutland Water au Royaume-Uni – souvent pour leurs populations d'oiseaux d'eau, bien qu'elles soient généralement moins diverses et plus dominées par des espèces communes que les lacs naturels équivalents (Davidson & Delany 1999).

Les effets socio-économiques et environnementaux positifs et négatifs des barrages sont bien connus et peuvent être atténués tandis que les effets d'autres options de stockage de l'eau sont relativement inconnus (Alhassan 2009). Les pressions sur les ressources en eau, y compris les changements climatiques et les demandes croissantes de protection contre les inondations, de biens alimentaires et d'énergie, conduiront inévitablement à la construction de nouveaux barrages.

Réduire les effets des barrages sur les écosystèmes des zones humides

L'International Hydropower Association est une organisation influente qui a, par exemple, collaboré avec le WWF pour produire des lignes directrices sur la durabilité (IHA 2004) et un protocole d'évaluation des barrages hydroélectriques (IHA 2006). La Banque mondiale a publié des critères pour évaluer les éventuels impacts négatifs des barrages sur l'environnement (Ledec & Quintero 2003) et a également adopté le concept de flux environnementaux dans le cadre de ses mesures de sauvegarde relatives à l'infrastructure hydrologique

Les orientations Ramsar portent sur des moyens de planifier et de gérer les impacts des barrages sur les écosystèmes de zones humides :

- Résolution VIII.1 (*Commission mondiale des barrages*);
- Manuel 9, 4^e édition (*Gestion des bassins hydrographiques*);
- Manuel 10, 4^e édition (*Attribution et gestion de l'eau pour maintenir les fonctions écologiques des zones humides*);
- Manuel 11, 4^e édition (*Gestion des eaux souterraines*);
- Manuel 16, 4^e édition (*Études d'impact*).

(Brown & King 2003, Acreman 2003) dont l'application est une condition de l'octroi de prêts par la Banque mondiale.

En fait, les législations sur l'eau adoptées récemment par plusieurs pays tiennent compte des besoins en flux environnementaux pour maintenir les services écosystémiques des cours d'eau et des zones humides associées se trouvant en aval : c'est le cas au Costa Rica (Jiménez *et al.* 2005, Le Quesne *et al.* 2010), en Afrique du Sud (Rowlston & Palmer 2002) et en Tanzanie (Acreman *et al.* 2006). Il y a par ailleurs de nombreuses initiatives régionales, par exemple, celle du Mékong, et des études de barrages particuliers. Cependant, la mise en œuvre des flux environnementaux reste floue compte tenu de l'information limitée sur les éventuels compromis (Acreman & McCartney 2000) et l'absence de volonté politique de changer les droits historiques à l'eau, de reprendre l'eau actuellement utilisée pour l'approvisionnement public, l'agriculture et l'industrie et, dans certains cas, payer des compensations. Concevoir ou réaménager des vannes et évacuateurs de crues de grande taille pour gérer les libérations d'eau peut être très coûteux.

Lorsqu'il s'agit de flux environnementaux, obtenir une bonne qualité de l'eau est aussi un défi majeur. La température des eaux libérées peut être différente de celle de l'eau naturelle, en particulier si la retenue est profonde. L'eau peut aussi contenir des substances toxiques comme du sulfure d'hydrogène (Petts 1998). En outre, il se peut qu'un stockage supplémentaire soit nécessaire pour retenir assez d'eau à libérer en plus de satisfaire d'autres besoins du barrage, en particulier si le système doit être résistant au climat futur. Il faut des justifications convaincantes pour attirer des investissements supplémentaires pour ces adaptations même si elles peuvent aider à réduire les impacts des barrages sur les écosystèmes de zones humides.

Les zones humides peuvent-elles être des solutions réalistes de stockage de l'eau?

De nombreuses études scientifiques ont démontré le rôle clé que jouent les zones humides dans le cycle hydrologique et la grande valeur économique résultante des zones humides en tant qu'infrastructure hydraulique (Emerton & Bos 2005). Toutefois, la description de ce rôle a conduit à des généralisations suggérant que toutes les zones humides accomplissent toutes les fonctions et apportent les mêmes services et valeurs, au même degré.

Il est vrai que les zones humides peuvent réduire les crues si elles ont une capacité de stockage disponible, par exemple lorsque de fortes précipitations coïncident avec le moment où la nappe phréatique est basse et que l'eau peut être absorbée rapidement et stockée. Mais dans bien des zones humides d'amont, les sols sont presque toujours saturés, ce qui signifie qu'il y a peu de capacité de stockage disponible; en réalité, les zones humides d'amont sont souvent qualifiées de « zones de contribution » par les hydrologistes parce qu'elles tendent à générer un ruissellement des crues, écoulant rapidement l'eau. Mais beaucoup de choses dépendent de la gestion de ces zones humides et des mesures telles que le drainage inversé ou le reboisement de zones défrichées ont une énorme capacité de réduction du ruissellement.

Par ailleurs, les plaines d'inondation ont souvent de très grandes capacités de stockage superficiel et l'on connaît de multiples exemples de plaines d'inondation qui réduisent considérablement les risques d'inondation en aval (Acreman *et al.* 2003). Les zones humides qui ont une longue hydropériode sont donc capables de stocker beaucoup d'eau. La capacité de stockage dépend aussi du type de sol car des sols saturés peuvent contenir une quantité d'eau variant entre 20% et 80%.

Il est reconnu depuis longtemps que les zones humides couvertes de végétation, comme le Sudd (Hurst 1933), évaporent de grands volumes d'eau pouvant surpasser le taux d'évaporation de masses d'eau ouvertes telles que les réservoirs compte tenu de l'immense superficie feuillue des plantes des zones humides (Blaney & Muckel 1955). Toutefois, dans certains cas, l'eau évaporée est recyclée localement dans les systèmes météorologiques locaux. L'évaporation des zones humides dans le delta intérieur du Niger nourrit les précipitations locales qui entretiennent les terres à pâturage dans les zones arides environnantes (Taylor 2009). Une analyse semblable pour le Sudd suggère que les précipitations induites

Toutes les zones humides ne stockent pas l'eau

Les malentendus naissent en partie du fait que le terme « zones humides » (selon la Convention de Ramsar) couvre une large gamme de types d'habitats, des récifs coralliens aux lacs souterrains et l'on a présumé, à tort, que les fonctions et services fournis par un type de zone humide sont également fournis par tous les autres types (voir Bullock & Acreman 2003).

Par exemple, on dit couramment que « les zones humides agissent comme des éponges », absorbant l'eau durant les précipitations (et réduisant ainsi le risque d'inondation) et la libérant lentement durant les périodes sèches (augmentant ainsi les flux de faible intensité). Dans certaines zones humides, le niveau de la nappe phréatique s'élève et s'abaisse de manière saisonnière; c'est ce que l'on appelle l'hydropériode (Mitsch & Gosselink 2007). Une élévation de la nappe phréatique signifie qu'il y a une absorption d'eau pour le stockage; une baisse de la nappe phréatique indique qu'il y a une évacuation d'eau stockée.

par évaporation sont faibles par rapport à l'échelle du bassin versant du Nil (Mohamed *et al.* 2005) mais peuvent être tout à fait importantes au niveau local.

Cependant, pour qu'une solution de stockage soit viable, il ne suffit pas de stocker une quantité suffisante d'eau : l'eau stockée doit aussi être de qualité adéquate. Certaines zones humides ont aussi d'importantes fonctions de maintien de la qualité de l'eau. Par exemple, les marécages à papyrus de Nakivubo, en Ouganda, reçoivent des eaux usées semi-traitées et des eaux pluviales extrêmement polluées de Kampala (Kansiime & Nalubega 1999). Durant le passage des effluents dans la zone humide, les matières solides sont absorbées et les concentrations de polluants considérablement réduites de sorte que l'eau peut être exploitée pour l'approvisionnement public. Les services écosystémiques varient de façon significative selon les zones humides : les écosystèmes des zones humides peuvent être facilement surchargés de polluants et on ignore souvent leur niveau de tolérance.

Améliorer le stockage naturel en créant des zones humides artificielles pour remplir les fonctions hydrologiques constitue un autre moyen d'utiliser la capacité de stockage des zones humides. Par exemple, la recharge gérée des aquifères est largement pratiquée en Inde (CGWB 2005) où des millions de petites structures captent les précipitations de la mousson à la surface et leur permettent de s'infiltrer dans les aquifères qui ont souvent une faible capacité de stockage. Dans le projet

Les questions de stockage de l'eau ne connaissent pas de frontières politiques ni écologiques

De plus en plus, le développement économique est considéré comme une question à évaluer à l'échelle du bassin hydrographique. Exemple : si l'Éthiopie développe des utilisations consommatrices, comme l'irrigation, il y aura des incidences hydrologiques sur le Soudan et l'Égypte. L'énergie hydroélectrique n'est pas une utilisation consommatrice d'eau et ne peut que modifier la périodicité des flux mais cela peut avoir des effets aussi bien positifs que négatifs : la production d'énergie hydroélectrique, en réduisant les flux en saison humide et en les augmentant en saison sèche, peut être utile à l'irrigation au Soudan. En outre, stocker l'eau en amont où les pertes par évaporation sont plus faibles semble plus sensé que la stocker en aval. Mais quel que soit l'ouvrage d'infrastructure, la véritable question est de bâtir la confiance entre les États riverains dans les bassins hydrographiques partagés. L'Initiative pour le bassin du Nil, soutenue par la Banque mondiale, encourage le partage des avantages issus de l'eau plutôt que le partage de l'eau elle-même (Sadoff & Grey 2002).

Même si les cours d'eau ne sont pas transfrontières, les avantages peuvent l'être – p. ex., l'énergie hydroélectrique peut être exportée au-delà des frontières nationales. Le Népal a une capacité hydroélectrique qui excède la demande interne mais les projets à grande échelle d'énergie hydroélectrique tels que le projet Hydro du moyen Marsyangdi, d'une capacité de 70 MW, ne sont réalisables au Népal que si l'Inde est prête à acheter de l'électricité au prix commercial et à partager les avantages obtenus (WECS 2002). En République démocratique du Congo, deux barrages hydroélectriques (Inga I et II) ont été construits sur le Congo et ont une capacité combinée de 1775 MW (IWPDC 2008). Il est maintenant question de construire de nouveaux barrages, Inga III (4320 MW) et Grand Inga (40 GW), qui seront les plus grands projets hydroélectriques du monde avec des lignes à haute tension proposées vers l'Égypte, le Nigéria et l'Afrique australe. La sécurité énergétique dépendra de la stabilité politique régionale.

de Shiquma, au nord de la bande de Gaza, un petit barrage a été construit pour créer un réservoir qui retient les eaux de crue. L'eau est alors pompée vers de grandes dépressions (bassins d'infiltration) dans les dunes de sable proches de la côte où elles percolent dans le sol pour recharger l'aquifère dunaire. Dans de nombreuses régions de l'Inde, des réservoirs d'eau sont, depuis des siècles, la principale source d'eau d'irrigation. Formés de digues de terre basses, construites dans une vallée peu profonde, ces réservoirs retiennent les eaux de la mousson.

On peut gérer les zones humides de manière à porter le stockage de l'eau à son maximum mais cela se ferait au détriment d'autres services écosystémiques comme la production agricole (Acreman *et al.* 2011) – il doit donc y avoir arbitrage entre les services et il convient de trouver des mécanismes d'incitation tels que des paiements versés par les bénéficiaires des services (Smith *et al.* 2006).

Pour se prémunir contre la variabilité future des précipitations, la planification intégrée, avec une utilisation et une gestion conjointes des eaux souterraines et des eaux de surface, est sans doute la meilleure stratégie (McCartney & Smakhtin 2010). C'est ainsi qu'un mélange entre de grands et de petits réservoirs s'est révélé particulièrement efficace pour fournir de l'eau d'irrigation dans le sud de Sri Lanka (Keller *et al.* 2000).

La science qui sous-tend la capacité de stockage des zones humides doit être revue et l'on doit définir des conclusions faciles à défendre, honnêtes sur ce que chaque type de zone humide peut offrir comme solution viable de stockage de l'eau. Une partie du défi à relever consiste à convaincre les gestionnaires de l'eau qui sont souvent des ingénieurs, d'où l'importance particulière de la terminologie choisie. Pour se faire comprendre, il sera sans doute plus efficace d'employer des termes tels que « infrastructure naturelle » que d'utiliser le langage écologique tel que « biodiversité », « écosystèmes » ou « services écosystémiques ».

Qui influence les décisions en matière de stockage de l'eau?

Des autorités de bassins hydrographiques voient le jour dans de nombreuses régions, que ce soit dans les frontières nationales comme les sept autorités établies en Tanzanie, ou des autorités transfrontières telles que la Commission du Mékong. Le concept de gestion intégrée des ressources en eau et l'élaboration de plans pour les bassins hydrographiques sont présentés comme des clés pour réaliser les objectifs du Millénaire pour le développement relatifs à l'eau, une approche soutenue par le Partenariat global pour l'eau. Les autorités de bassins hydrographiques deviennent de plus en plus des références pour les décisions concernant l'attribution de l'eau ainsi que le développement et la gestion de l'infrastructure. Dans certaines régions du

monde, l'intégration économique ou des organes de coordination jouent des rôles importants dans la gestion de l'eau et l'infrastructure hydraulique et sont en train d'être renforcés par la communauté des donateurs. Le Marché commun d'Afrique de l'Est et australe (COMESA), la Communauté d'Afrique australe pour le développement (SADC), la Commission économique des Nations Unies pour l'Afrique (CEA) et la Communauté économique des États d'Afrique de l'Ouest (ECOWAS) sont des exemples d'organismes de ce type qui fonctionnent ainsi, à différents degrés.

Les bailleurs de fonds de grands projets d'infrastructure peuvent aussi beaucoup influencer les décisions sur l'eau et le stockage de l'eau. Ces dernières années, on a vu une diversification importante du cadre institutionnel de financement des grands ouvrages d'infrastructure.

- Les banques multilatérales sont revenues sur la scène des barrages après 10 à 15 ans d'absence suite au rapport de la Commission mondiale des barrages; toutefois, bien que ces banques dirigent souvent la phase d'étude, elles ne financent pas nécessairement l'investissement lui-même. La Banque mondiale ne participe aujourd'hui qu'à 5% des barrages dans les pays en développement et bien qu'elle applique des mesures de sauvegarde environnementales, celles-ci ne peuvent être efficaces que pour les barrages qu'elle finance.
- Les organismes de financement bilatéraux tendent à éviter de soutenir le développement des barrages à l'exception de l'Agence française de développement qui se dit intéressée au financement de barrages en Afrique centrale et de l'Ouest.
- Les organismes de crédit à l'exportation peuvent apporter leur appui si les mesures de sauvegarde de la Banque mondiale sont respectées.
- Le rôle des banques multilatérales est de plus en plus repris par des organisations d'investissement privées ou souveraines dont certaines n'imposent que très peu de conditions. Les gouvernements qui souhaitent construire des barrages sont de plus en plus en mesure de « faire leur marché » entre les groupes d'éventuels bailleurs de fonds/donateurs ou de mettre eux-mêmes sur pied leurs propres paquets financiers.

Qui finance la construction des barrages?

La Banque mondiale ayant refusé une demande de financement pour le barrage de Tucuruí au Brésil qui prévoit de produire 8370 MW et d'assurer la navigation, Eletronorte et des institutions brésiliennes comme Eletrobrás, BNH, Banco do Brasil, Caixa Econômica Federal et FINAME ont apporté le financement (CMB 2000b). Sur les 19 barrages prévus pour le cours principal du Mékong au Cambodge, au Laos, en Thaïlande et en Chine, la plupart sont financés par des compagnies d'électricité provinciales et des banques chinoises. Un financement chinois est fourni pour 59 barrages au Myanmar (bien que certains projets soient en attente ou classés), y compris le barrage de Tasang (7100 MW) sur le fleuve Salween qui coûtera USD 9 milliards et qui sera financé par China Power Investment Co (Burma Rivers Network 2008). Les fonds du Golfe et la Banque islamique de développement sont également devenus d'importants financiers des barrages.

Réagir aux questions de changement dans le stockage de l'eau : recommandations pour la Convention de Ramsar

Fournir une justification scientifique solide des fonctions et capacités de stockage de l'eau de différents types de zones humides

Il est nécessaire :

- d'examiner la base scientifique permettant de quantifier les fonctions de stockage de différents types de zones humides; et
- de garantir qu'il y ait un suivi de vérification clair, depuis les déclarations de politique jusqu'aux documents et rapports scientifiques.

Ainsi, Ramsar pourra développer des arguments solides concernant non seulement la mesure dans laquelle les zones humides peuvent assurer le stockage de l'eau, réguler le flux d'eau et fournir des ressources en eau dans le cadre de leur infrastructure naturelle mais aussi la variabilité de la capacité entre les types de zones humides et les emplacements géographiques. Il conviendra d'en tenir compte lors de l'élaboration future d'orientations sur l'évaluation des services écosystémiques.

Définir un message Ramsar clair sur les zones humides et la question du stockage de l'eau et utiliser le langage juste pour se faire comprendre

Ramsar devrait définir un message clair sur les questions de stockage de l'eau et les tendances futures de la mesure dans laquelle elles affectent les zones humides en utilisant un langage adapté au public cible. Tous les secteurs ont leur propre langage. La communauté écologique a élaboré un certain nombre de concepts tels que l'approche par écosystème et les services écosystémiques qui font encore l'objet de débats jusqu'au sein de cette communauté. Si les ingénieurs hydrauliques sont le public cible, il vaut mieux utiliser des concepts tels que « infrastructure naturelle » qu'ils comprennent mieux que « services écosystémiques ».

Même si les « flux environnementaux » font désormais partie du langage courant pour la communauté de la conservation, c'est un concept nouveau et obscur pour beaucoup de monde en dehors de cette communauté. Après de nombreuses années (décennies) de sensibilisation, l'évaluation d'impact sur l'environnement, malgré tous ses défauts, est largement comprise et acceptée (quelle que soit la bonne ou mauvaise qualité des EIE réalisées). Les autorités de gestion des bassins hydrographiques fonctionnent selon des approches telles que la GIRE (gestion intégrée des ressources en eau) ou la GIBH (gestion intégrée des bassins hydrographiques) de sorte que les orientations Ramsar doivent être traduites dans le langage de ces approches.

Identifier les publics cibles les plus importants pour ce message et élaborer des stratégies ciblées pour communiquer à ces publics les informations pertinentes sur les zones humides

Groupes cibles prioritaires :

- Ceux qui participent, directement ou indirectement, aux processus politiques mondiaux sur l'eau, notamment le Partenariat global pour l'eau, le Conseil mondial de l'eau, l'Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO), le PNUE, le Programme des Nations Unies pour le développement (PNUD) et l'Organisation météorologique mondiale (OMM). Collaborer avec ce groupe offre l'occasion de promouvoir le rôle des zones humides dans les questions de l'eau, au plus haut niveau stratégique, en particulier lorsqu'on traite de questions importantes comme l'adaptation aux changements climatiques et l'atténuation de ces changements, la sécurité alimentaire et la réaction à des phénomènes majeurs tels que les inondations et les sécheresses. Les zones humides doivent trouver une place dans les déclarations, décisions et

programmes d'action internationaux sur l'eau et l'infrastructure, y compris les informations données aux délégations gouvernementales à l'occasion de différentes réunions internationales. C'est tout particulièrement important pour l'application de la *Déclaration de Changwon sur les zones humides et le bien-être humain* (Résolution Ramsar X.3, 2008) qui énonce des étapes de réalisation pour certains des objectifs de durabilité environnementale les plus importants du monde.

- Les services et agences nationaux de l'environnement, qui sont souvent politiquement faibles et ne dirigent pas de processus clés de planification et de prise de décisions du point de vue du stockage de l'eau, sont cependant souvent consultés au niveau statutaire. La Convention de Ramsar fournit déjà des orientations soutenant certains ministères pour les aider à participer au processus de planification et de gestion de l'eau.
- Les autorités de bassins hydrographiques infranationaux et internationaux. De plus en plus, la planification des infrastructures et de l'eau, sans doute souvent transfrontière, fait partie des activités des autorités de gestion des bassins hydrographiques.
- Les institutions de planification stratégique. La communauté des zones humides en particulier doit participer à la planification du stockage de l'eau dans les processus où les solutions de stockage sont envisagées pour la planification stratégique de l'énergie (hydroélectrique, entre autres), la planification de l'approvisionnement en eau (en particulier à destination urbaine et agricole), les transports et la maîtrise des crues. Des orientations supplémentaires peuvent être nécessaires, par exemple sur la cogestion.
- Les institutions du secteur de l'énergie. L'interaction doit aussi être accrue avec les organisations associées à l'industrie de l'énergie, comme l'International Hydropower Association (IHA). L'IHA a collaboré avec le WWF pour publier des lignes directrices sur la durabilité (IHA 2004) et un protocole d'évaluation pour les barrages hydroélectriques (IHA 2006).
- Les institutions du secteur privé. Le secteur privé, en particulier les banques et les compagnies d'énergie, devient de plus en plus influent et offre des sources de financement aux barrages du monde entier. Les entités du secteur privé qui sont des utilisateurs importants de l'eau ont généralement intérêt à pro-

téger leur approvisionnement en eau, par exemple dans l'industrie des boissons et peuvent influencer aussi bien la gestion des zones humides que des ressources en eau.

Références

- Abd El Samie, S. & Sadek, M. 2001. Groundwater recharge and flow in the Lower Cretaceous Nubian Sandstone aquifer in the Sinai Peninsula, using isotopic techniques and hydrochemistry. *Hydrogeology Journal* 9: 378-389.
- Acreman, M.C. 2001. Ethical aspects of water and ecosystems. *Water Policy Journal* 3: 257-265.
- Acreman, M.C. 1996. Environmental effects of hydroelectric power generation in Africa and the potential for artificial floods. *Water and Environment Journal* 10: 429-435.
- Acreman, M.C. 2003. *Case studies of managed flood releases. Environmental Flow Assessment Part III*. World Bank Water Resources and Environmental Management Best Practice Brief No 8. World Bank, Washington DC.
- Acreman, M.C. & McCartney, M.P. 2000. Framework guidelines for managed flood releases from reservoirs to maintain downstream ecosystems and dependent livelihoods. International Workshop on Development and Management of Floodplains and Wetlands. Beijing, China 5-8 September, 2000. 155-164.
- Acreman, M.C., Booker, D.J. & Riddington, R. 2003. Hydrological impacts of floodplain restoration: a case study of the river Cherwell, UK. *Hydrology and Earth System Sciences* 7,1, 75-86.
- Acreman, M.C., King, J., Hirji, R., Sarunday, W., Mutayoba, W. 2006. Capacity building to undertake environmental flow assessments in Tanzania. *Proceedings of the International Conference on River Basin Management, Morogoro, Tanzania, March 2005*. Sokoine University, Morogoro. Available at: www.iwmi.cgiar.org/Research_Impacts/Research_Themes/BasinWater-Management/RIPARWIN/Outputs.aspx.
- Adhikari, S., Liyanarachchi, S., Chandimala, J., Nawaratne, B.K., Yahiya, Z., Bandara, R. & Zubair, L. 2010. Rainfall prediction based on the relationship between rainfall and El Niño Southern Oscillation (ENSO). *Journal of the National Science Foundation* 38, 4.
- Alhassan, H.S. 2009. Butterflies vs hydropower: reflections on large dams in contemporary Africa. *Water Alternatives* 2, 1, 148-160.
- Anderson A. & MacKay H.M. 2012 (in prep). Wetlands and energy issues: a review of the possible implications of policies, plans and activities in the energy sector for the wise use of wetlands. Ramsar Technical Report, Ramsar Convention on Wetlands.
- Banque mondiale. 2007. *Review of greenhouse gas emissions from the creation of hydropower reservoirs in India*. World Bank, Washington, DC
- Barnett, T.P., Adam, J.C. & Lettenmaier, D.P. 2005. Potential impacts of a warming climate on water availability in snow-dominated regions. *Nature* 438 7066, 303-309.
- Blaney, H.F. & Muckel, D.C. 1955. Evaporation and evapotranspiration investigations in the San Francisco Bay area. *Trans. Am. Geophys. Un.* 36, 813-820.
- Brown, C. & King, J. 2003. Environmental flow: concepts and methods. Water Resources and Environment, Technical Note C1. World Bank, Washington D.C., USA.
- Brown, C. & Lall, U. 2009. Water and economic development: the role of variability and a framework for resilience. *Natural Resources Forum* 30, 306-317.
- Bullock, A. & Acreman, M.C. 2003. The role of wetlands in the hydrological cycle. *Hydrology and Earth System Sciences* 7,3, 75-86.
- Burke, E.J., S.J. Brown & N. Christidis. 2006. Modelling the recent evolution of global drought and projections for the 21st century with the Hadley Centre climate model. *J. Hydrometeorol.*, 7, 1113-1125.
- Burma Rivers Network. 2008. Tasang dam: www.burmariversnetwork.org/dam-projects
- Commission pour l'Afrique. 2005. *Our common interest*. Commission for Africa. www.commissionforafrica.info/
- Commission mondiale des barrages. 2000a. *Dams and development*. Earthscan, London.
- Commission mondiale des barrages. 2000b. *Tucuruí Hydropower Complex Brazil*. WCD case study www.dams.org/docs/kbase/studies/csbrmain.pdf.
- Convention de Ramsar. 2012. Résolution XI.10 (Les zones humides et l'énergie) adoptée par la 11^e Session de la Conférence des Parties contractantes. www.ramsar.org/pdf/cop11/doc/cop11-dr10-f-energy.pdf.

- Davidson, N.C. & Delany, S. 1999. *Biodiversity impacts of large dams: waterbirds*. Appendix to: McAllister, D.E., Craig, J., Davidson, N. & Seddon, M. *Large dam impacts on freshwater biodiversity*. Report from IUCN – The World Conservation Union to the World Commission on Dams.
- Delmas, R. 2005. Long term greenhouse gas emissions from the hydroelectric reservoir of Petit Saut (French Guiana) and potential impacts. *Global Warming and Hydroelectric Reservoirs*, CDD 363.73874, 117-124.
- Department of Economic and Social Affairs Population Division. 2006. *World population prospects*. United Nations. pp. 37-42. www.un.org/esa/population/publications/wpp2006/WPP2006.
- Economic Commission for Africa. 2008. *Africa Review Report on drought and desertification* Economic Commission for Africa, Addis Ababa.
- Economist. 2009. Buying land abroad. Outsourcing's third wave. *Economist* May 2009.
- Emerton, L. & Bos, E. 2004. *Value: counting ecosystems as water infrastructure*. Water and Nature Initiative, IUCN – The World Conservation Union.
- Fonds des Nations Unies pour la population. 2007. *State of world population: peering into the dawn of an urban millennium*. www.unfpa.org
- Gedney, N., Cox, P.M., Betts, R.A., Boucher, O., Huntingford, C. & Stott, P.A. 2006. Detection of a direct carbon dioxide effect in continental river runoff records. *Nature* 439: 835–838.
- Gini, C. 1912. Variabilità e mutabilità (*Variability and Mutability*), C. Cuppini, Bologna, 156 pages. [Reprinted in *Memorie di metodologica statistica* (ed. Pizetti E, Salvemini, T). Rome: Libreria Eredi Virgilio Veschi (1955).]
- Gleick, P.H., ed. 1993. *Water in crisis: a guide to the world's fresh water resources*. Oxford University Press, Oxford.
- Grey, D. & Sadoff, C. W. 2007. Sink or swim? Water security for growth and development. *Water Policy* 9: 545–571.
- Hanjra, M.A., Ferede, T., Gutta, D.G. 2009. Pathways to breaking the poverty trap in Ethiopia: investments in agricultural water, education and markets. *Agricultural Water Management*, 96, 11, 2-11.
- Hurst, H.E. 1933. The Sudd region of the Nile. *J. Roy. Soc. Arts* 81, 721-736.
- Hanjra, M.A. & Qureshi, M.E. 2010. Global water crisis and future food security in an era of climate change. *Food Policy* 35, 365-377.
- Hussain, I. & Hanjra, M.A. 2004. Irrigation and poverty alleviation: review of the empirical evidence, *Irrigation and Drainage* 53, 1, 1–15.
- IEA. 2010. World Energy Outlook 2010. International Energy Agency, Paris. www.iea.org/weo/2010.asp
- IPCC. 2007. *Climate Change 2007: the physical science basis*. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 996 pp.
- International Hydropower Association. 2004. *Sustainability guidelines*. International Hydropower Association, London.
- International Hydropower Association. 2006. *Sustainability assessment protocol*. International Hydropower Association, London.
- International Hydropower Association. 2008. *Hydropower: making a significant contribution worldwide*. International Hydropower Association, London
- International Water Power & Dam Construction. 2008. www.waterpowermagazine.com/.
- Kansiime, F. & Nalubega, M. 1999. *Wastewater treatment by a natural wetland: the Nakivubo swamp, Uganda: processes and implications*. PhD dissertation, IHE Delft, The Netherlands
- Keller, A., Sakthivadivel, R. & Seckler, D. 2000. *Water scarcity and the role of storage in development*. IWMI Research Report 39. IWMI, Colombo.
- Ledec, G. & Quintero, J.D. 2003. *Good dams and bad dams: environmental criteria for site selection of hydroelectric projects*. World Bank Latin America and Caribbean Region Sustainable Development Working Paper 16. Washington, D.C.
- Le Quesne, T., Kendy, E., & Weston, D. 2010. The implementation challenge: taking stock of government policies to protect and restore environmental flows. WWF-UK and The Nature Conservancy.

- Loth, P. 2004. *The return of the water: restoring the Wa-za-Logone floodplain in Cameroon*. IUCN, Gland, Switzerland. 153 pp
- Mason, S., Hagmann, T., Bichsel, C., Ludi, E., Arsano, Y. 2007. Linkages between sub-national and international water conflicts: the Eastern Nile Basin. In: Brauch H.G., Grin J. et al. (eds), *Facing global environmental change: environmental, human, energy, food, health and water security concepts*, Berlin, Springer-Verlag.
- McCartney, M. & Smakhtin, V. 2010. Water storage in an era of climate change. IWMI Blue Paper. IWMI, Colombo.
- Meehl, G.A., Stocker, T.F., Collins, W.D., Friedlingstein, P., Gaye, A.T., Gregory, J.M., Kitch, A., Knutti, R., Murphy, J.M., Noda, A., Raper, S.C.B., Watteron, I.G., Weaver, A.J. & Zhuo, Z.-C. 2007. Global Climate Projections. In: *Climate Change 2007: the physical science basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA
- Millan, J. 1999. *The future of large dams in Latin America and the Caribbean*. Inter-American Development Bank Energy Strategy. IDB, Washington, D.C.
- Millennium Ecosystem Assessment. 2005. *Ecosystems and human well-being*. Island Press, Washington, D.C.
- Mitsch, W.J., and J.G. Gosselink. 2007. *Wetlands*, 4th ed., John Wiley & Sons, Inc., New York
- Mohamed, Y.A., van den Hurk, B.J.J.M., Savenije, H.H.G. & Bastiaanssen W.G.M. 2005. Impact of the Sudd wetland on the Nile hydroclimatology, *Water Resour. Res.* 41, W08420.
- Molden, D., ed. 2007. *The Comprehensive assessment of water management in agriculture*. Earthscan, London, IWMI, Colombo
- Moore, D., Dore, J., Gyawali, D. 2010. The World Commission on Dams +10; revisiting the large dam controversy. *Water Alternatives* 3, 2. 3-13. www.water-alternatives.org
- Petts, G.E. 1984. *Impounded rivers: perspectives for ecological management*. John Wiley and Sons, Chichester, 326 pp.
- Programme des Nations Unies pour le développement. 2006. *Rapport sur le développement humain*. Macmillan, New York.
- Programme des Nations Unies pour l'environnement. 2008. *An overview of the state of the world's fresh and marine waters*. Second edition. UNEP, Nairobi.
- Ray, D.E. 2008. Data show that China's more meat-based diet is not the cause of ballooned international corn prices? Agricultural Policy Analysis Center, University of Tennessee, article 48. www.agpolicy.org/weekpdf/408.
- Rowlston, W.S. & Palmer, C.G. 2002. Processes in the development of resource protection provisions on South African Water Law. *Proceedings of the International Conference on Environmental Flows for River Systems*, Cape Town, March 2002.
- Sadoff, C.W., Grey, D. 2002. Beyond the river: the benefits of cooperation on international rivers. *Water Policy* 4, 389-403
- Smith, M., de Groot, D., Bergkamp, G. 2006. *Pay-establishing payment for watershed services*. IUCN, Gland, Switzerland. 109 pp.
- Sullivan, C.A., Meigh, J.R., Giacomello, A.M., Fediw, T., Lawrence, P., Samad, M. Mlote, S., Hutton, C., Allan, J.A., Schulze, R.E., Dlamini, D.J.M., Cosgrove, W., Delli Priscoli, J., Gleick, P., Smout, I., Cobbing, J., Calow, R., Hunt, C., Hussain, A., Acreman, M.C., King, J., Malomo, S., Tate, E.L., O'Regan, D., Milner, S., Steyl, I. 2003. The Water Poverty Index: Development and application at the community scale. *Natural Resources Forum* 27, 3, 25-41.
- Taylor, C.M. 2009. Feedbacks on convection from an African wetland. *Geophysical Research Letters* 37, L05406.
- Torcellini, P., Long, N. & Judkoff, R. 2003. *Consumptive water use for US power production*. National Renewable Energy Laboratory Technical report 550-33905.
- Touchon, R., Anchukaitis, K.L., Meko, D.M., Attalah, S., Baisan, C., & Aloui, A. 2008. Long term context for recent droughts in northwestern Africa. *Geophysical Research Letters* 35, L13705.
- Water & Energy Commission Secretariat. 2002. *Water resources strategy*. His Majesty's Government of Nepal, Kathmandu.
- Wright, E.P., Benfield, A.C., Edmunds, W.M. & Kitching, R. 1982. Hydrogeology of the Kufra and Sirte basins, eastern Libya. *Quarterly Journal of Engineering Geology & Hydrogeology* 15, 2, 83-103.

La Série de Notes d'Information

La série de notes d'information scientifique et technique est préparé par le Group d'Évaluation Scientifique et Technique (GEST) de la Convention de Ramsar, afin de partager avec un public plus large d'informations scientifiques et techniques par continent, crédible et intéressante au sujet des zones humides. Les informations sont examinées au niveau international par des membres du GEST et un petit groupe d'édition domestique, composé du Président du Groupe d'experts et le chef de la zone de travail thématique ou par le chef de la tâche à accomplir, avec l'aide du Secrétaire Général de la Convention.

Le Secrétariat de la Convention de Ramsar publie les notes d'information en anglais en format électronique (PDF). Lorsque les ressources le permettent, les notes d'information seront publiées en espagnol et en français (les deux autres langues officielles de la Convention) et sous forme imprimée.

Pour plus de détails sur les documents d'information ou pour demander des informations sur la façon de communiquer avec les auteurs, s'il vous plaît contacter le Secrétariat de la Convention de Ramsar à l'adresse suivante: stp@ramsar.org.

© 2012 Secrétariat de la Convention de Ramsar

Auteur: Mike Acreman, Head of hydro-ecology and wetlands, Centre for Ecology and Hydrology, UK (man@ceh.ac.uk). Responsable du domaine de travail thématique du GEST sur les ressources en eau, 2009-2012.

Citation: Acreman, M. C. 2012. *Les zones humides et le stockage de l'eau : tendances et problèmes actuels et futurs*. Notes de l'information scientifique et technique de Ramsar No. 2. Gland, Suisse: Secrétariat de la Convention de Ramsar.

Titre original: *Wetlands and water storage: current and future trends and issues* (2012). Traduction: Danièle Devitre. Mise en page : Dwight Peck.

Les opinions exprimées et les appellations dans ces publications sont celles des auteurs et ne représentent pas les avis officiels adoptés par la Convention de Ramsar ou de son Secrétariat.

Ceux-ci peuvent être reproduites à des fins éducatives ou non commerciales sans autorisation spéciale des propriétaires du droit d'auteur, à condition que la source soit mentionnée.

La Convention sur les zones humides (Ramsar, Iran, 1971) - connue sous le nom de Convention de Ramsar - est un traité intergouvernemental qui incarne les engagements de ses États membres à maintenir les caractéristiques écologiques de leurs zones humides d'importance internationale et à planifier "l'utilisation rationnelle," ou utilisation durable, de toutes les zones humides se trouvant sur leur territoire.

Secrétariat de Ramsar
Rue Mauverney 28
CH-1196 Gland, Suisse
Tel.: +41 22 999 0170
Fax: +41 22 999 0169
E-Mail: ramsar@ramsar.org
Site Web : www.ramsar.org