

L'utilisation et la gestion durables des ressources en eau douce: le rôle des forêts

Le développement humain durable est tributaire d'un approvisionnement fiable en eau douce, ainsi que de l'aptitude à faire face à une pénurie ou à une abondance excessives d'eau. Les mises en garde lancées à la fin du XX^e siècle à propos de la raréfaction des ressources en eau douce (par exemple, Falkenmark, 1989; Kundzewicz, 1997; Vorosmarty *et al.*, 2000) s'avèrent exactes, à tel point que le manque d'eau menace aujourd'hui la sécurité alimentaire, les moyens d'existence et la santé humaine (voir ONU, 1992; IFPRI, 2001). A l'échelle mondiale, l'eau douce assure environ 40 pour cent de la production vivrière par le biais de l'irrigation; elle compte pour 12 pour cent dans la consommation de poissons par les êtres humains et assure 20 pour cent de la production d'énergie électrique (Johnson, Revenga et Echeverria, 2001). Outre l'impact direct de la pénurie d'eau douce, la détérioration de sa qualité en réduit les possibilités d'utilisation.

Plus de 3 milliards de personnes dans le monde n'ont pas accès à l'eau potable; le problème est particulièrement aigu dans les pays en développement, où 90 pour cent des eaux usées sont déversés sans traitement dans les cours d'eau (Johnson, Revenga et Echeverria, 2001). Sur plus de 3 millions de décès attribués chaque année à l'eau polluée et aux mauvaises conditions sanitaires, plus de 2 millions concernent les enfants des pays en développement (van Damme, 2001). En outre, les glissements de terrain, les inondations et les torrents provoqués par les pluies font chaque année de nombreuses victimes et affectent la productivité économique, dans les pays développés comme dans les pays en développement. Les ressources en eau et leur gestion revêtent donc une importance stratégique pour les économies et le bien-être des populations, et la gestion de l'eau est devenue l'un des grands défis de notre siècle. A mesure

que cette ressource se raréfiera, de nouveaux conflits entre les utilisateurs surgiront, ce qui rend impérative une action sur plusieurs fronts.

Les technologies permettant de faire face à la raréfaction de l'eau et, dans une certaine mesure, aux conséquences des extrêmes hydrométéorologiques existent (Brooks *et al.*, 1997). Si l'on veut les utiliser pour résoudre les problèmes, il faudra surmonter plusieurs obstacles, y compris la pénurie de terres et l'inadéquation des politiques et des institutions qui freinent une action efficace (Kundzewicz, 1997; Rosegrant, 1997; Scherr et Yadav, 1996). Bien que l'utilisation des terres et l'eau douce soient indissociables, elles sont rarement gérées ensemble. Or l'utilisation de l'eau et des terres en amont peut affecter les communautés en aval de même que leur utilisation de l'eau, et réciproquement. Ces liens sont faciles à observer dans le cadre des bassins versants, mais ils ne sont pas toujours pleinement pris en compte lors de l'élaboration de mesures aux niveaux local, national et international.

L'Année internationale de la montagne – 2002 (Internet: www.mountains2000.org) a permis d'attirer l'attention du monde entier sur l'utilisation des terres et de l'eau dans les bassins versants de montagne. A l'origine de tous les grands fleuves du monde, ces bassins, souvent boisés aujourd'hui comme dans le passé, sont un élément clé de la gestion de l'eau douce. Si l'on veut réussir à mieux gérer les forêts, de manière à obtenir une productivité durable des hautes terres sans affecter les populations humaines, ni les sols et l'eau dont elles dépendent, il convient de bien comprendre la relation qui existe entre les forêts et l'eau douce, dans les régions tropicales comme dans les régions tempérées. Pour augmenter les chances d'atteindre ces objectifs, il faut prévoir la gestion des bassins versants lors de la planification, du suivi et de la mise en œuvre des programmes de développement

Les bassins versants de montagne boisés assurent un approvisionnement fiable en eau douce (Suisse)

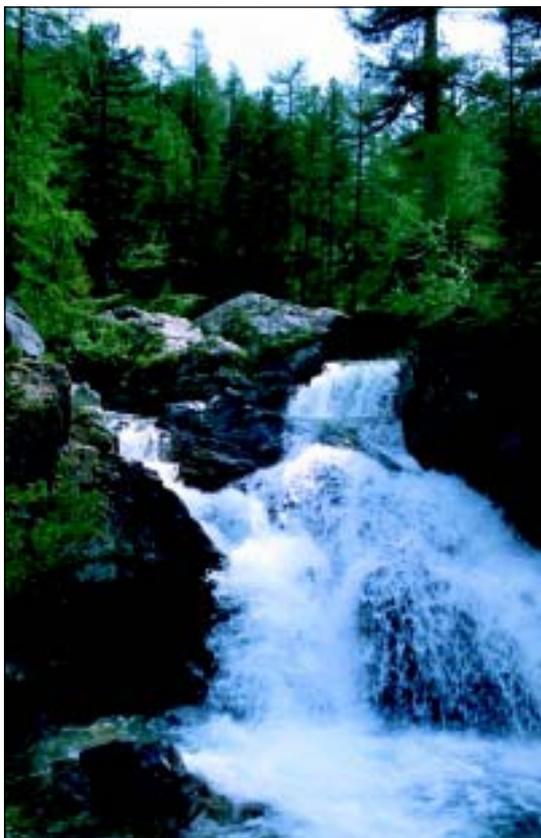
des forêts, des ressources en eau, de l'agriculture et des zones urbaines.

La perte de couvert forestier et la conversion des terres à d'autres utilisations risquent de nuire aux approvisionnements en eau douce et d'aggraver les catastrophes humaines résultant des extrêmes hydrométéorologiques. Il est possible d'améliorer les conditions des bassins versants et de faciliter la gestion des ressources en eau, à condition de gérer les forêts sans perdre de vue les objectifs hydrologiques. Sans être une panacée à tous les problèmes liés à l'eau, les forêts peuvent présenter de véritables avantages économiques et environnementaux, dont la manifestation intervient dans le cadre des bassins versants en amont et en aval.

Les forêts se trouvent dans les régions où l'eau abonde, normalement dans celles où les précipitations sont fortes, ou dans les zones riveraines où l'humidité du sol est élevée. Une meilleure compréhension de l'influence des forêts sur les ressources en eau a conduit à l'établissement du National Forest System, aux Etats-Unis, le couvert forestier étant jugé nécessaire au maintien du débit des cours d'eau (Lee, 1980). Il a été constaté plus tard que, contrairement à ce que l'on pensait, la plupart des forêts utilisent d'importants volumes d'eau. Le présent chapitre décrit brièvement l'impact des forêts sur les ressources en eau douce et suggère des modalités d'utilisation et de gestion des forêts contribuant à réaliser les objectifs de gestion des ressources en eau.

Les bassins versants boisés sont des systèmes hydrologiques d'une stabilité exceptionnelle. Contrairement à d'autres utilisations des terres, les forêts en bonne santé:

- influencent fortement le volume d'eau des bassins versants;
- fournissent une eau de la meilleure qualité;
- donnent, pour un volume établi de précipitations, des pointes et des volumes inférieurs de déversement torrentiel;
- atténuent les fluctuations de débit entre les crues et les étiages au cours de l'année;



DEPARTEMENT DES FORÊTS DE LA FAO/FO-0339/T. HOJER

- donnent une stabilité maximale des sols et le niveau le plus faible de mouvement de la masse des sols, d'érosion des gorges et d'érosion des surfaces;
- déplacent vers l'aval une quantité minimale de sédiments.

FORÊTS, HUMIDITÉ ATMOSPHÉRIQUE ET RENDEMENT HYDRIQUE

La relation entre les forêts, l'humidité atmosphérique et le rendement hydrique est depuis longtemps un sujet controversé. Lee (1980) observe que la coïncidence naturelle entre le couvert forestier et l'accrétion des précipitations est responsable, au moins en partie, de l'idée largement répandue que les forêts augmentent ou attirent la pluie, avec pour corollaire que leur élimination réduirait sensiblement les précipitations. A l'échelle mondiale, tel n'est pas le cas; l'élimination de tout le couvert forestier ne réduirait les précipitations que de 1 à 2 pour cent tout au plus (Lee, 1980). Par ailleurs, Calder (1999a) ajoute que le déboisement n'a qu'une incidence minime sur les précipitations à l'échelle régionale, même s'il existe des exceptions dans les bassins où le volume des pluies dépend en grande partie de modalités de circulation liées à des mécanismes internes, comme dans le

bassin de l'Amazone. Même dans ces cas, on a estimé qu'un déboisement complet et le remplacement par une végétation non forestière réduiraient de moins de 20 pour cent les précipitations enregistrées dans le bassin (Brooks *et al.*, 1997).

Dans certaines circonstances, toutefois, les forêts interceptent le brouillard ou les nuages bas (forêts de brouillard), ajoutant au site concerné une humidité qui, autrement, demeurerait emprisonnée dans l'atmosphère. La relation entre les forêts et le rendement en eau douce varie selon qu'il s'agit de forêts de brouillard ou d'autres forêts.

Les forêts de brouillard et le rendement des ressources en eau douce

Les forêts de brouillard se situent dans les régions littorales des climats tempérés, ainsi que dans les régions montagneuses tropicales où le brouillard et les nuages bas sont fréquents. Les forêts interceptent l'humidité de l'atmosphère (précipitations horizontales), qui se condense sur le feuillage d'où elle s'écoule, augmentant l'humidité du sol. Les précipitations n'augmentent pas, mais les forêts produisent une humidité que l'on n'obtiendrait pas avec une végétation basse. Des exemples d'augmentation des ressources en eau douce par les forêts de brouillard sont donnés ci-après.

- Les forêts côtières de la ceinture de brouillard de l'ouest de l'Oregon, aux États-Unis, augmentent le volume d'eau disponible (Harr, 1982; Ingwersen, 1985). L'abattage des forêts de conifères anciennes du bassin versant municipal de Portland, dans l'Oregon, a réduit le débit estival des cours d'eau, mais la repousse de la végétation a normalisé le débit des cours d'eau en l'espace de cinq à six ans.
- L'augmentation du volume d'eau disponible due aux forêts de brouillard montagneuses tropicales varie en fonction de l'altitude, du site et de la saison (Bruijnzeel et Proctor, 1993). Il a été démontré que le rapport entre les précipitations horizontales et la pluviométrie annuelle variait de 4 à 85 pour cent, les valeurs les plus élevées correspondant aux saisons sèches, tandis que les précipitations horizontales moyennes variaient entre 0,2 et 4 mm par jour. Le débit annuel des cours d'eau provenant des forêts de brouillard montagneuses tropicales était supérieur, pour un volume de pluie donné, à celui des autres forêts tropicales. Les études sont peu nombreuses sur

la réaction du débit fluvial quand des forêts de brouillard montagneuses tropicales sont converties à d'autres utilisations des terres, mais des recherches se poursuivent en Amérique centrale (Calder, 1999b, repris par Kaimowitz, 2000).

Les forêts autres que de brouillard et la disponibilité d'eau douce

Hormis les régions de forêts de brouillard montagneuses tropicales, les forêts consomment en général d'importants volumes d'eau. Plus d'une centaine d'expériences conduites dans des bassins versants du monde entier ont montré que l'abattage des forêts fait augmenter le débit fluvial, dont le volume varie en fonction du climat et du type de forêt et diminue à mesure que les forêts se régénèrent (par exemple, Bari *et al.*, 1996; Bosch et Hewlett, 1982; Lesch et Scott, 1997; Verry, Hornbeck et Todd, 2000; Whitehead et Robinson, 1993). Lorsque les forêts sont remplacées par d'autres utilisations des terres, les augmentations de débit sont durables. A quelques exceptions près, les résultats indiquent ce qui suit.

- Par suite de l'élimination du couvert forestier, la masse d'eau disponible annuellement augmente de 60 à 650 mm. L'ampleur de l'augmentation est généralement proportionnelle au volume de la biomasse éliminée, et elle est plus importante dans les régions plus humides. Les effets observés sont limités dans les régions sèches où les précipitations annuelles sont inférieures à 400 mm.
- Le débit de saison sèche s'accroît généralement lorsque les forêts sont éclaircies ou abattues.
- Les forêts qui présentent un taux d'interception élevé (par exemple les conifères) ou un taux de transpiration élevé (par exemple les eucalyptus) produisent moins d'eau que celles dont le taux d'interception ou de transpiration est faible. On peut donc s'attendre à ce que le volume d'eau obtenu augmente lorsque les forêts de conifères sont remplacées par des forêts à feuillage caduc, et qu'il diminue quand ces dernières ou les couverts arbustifs ou encore les prairies sont remplacés par des conifères (voir encadré ci-contre).

FORÊTS, INONDATIONS ET FLUX DE DÉBRIS

En raison de leur taux élevé d'infiltration, du couvert protecteur du sol, de la consommation élevée d'eau contenue dans les sols et de la forte résistance des racines à la rupture par traction, les forêts sont à l'origine

Une leçon en provenance des îles Fidji

A Fidji, le boisement a réduit le rendement hydrique d'un réservoir d'approvisionnement en eau (Drysdale, 1981).

Sur le versant exposé aux vents des principales îles Fidji, 60 000 ha de *Pinus caribaea*, plantés pour développer l'industrie du bois, ont remplacé une végétation d'arbustes. Six ans après la plantation de la forêt, les flux de saison sèche en direction d'un réservoir d'approvisionnement en eau situé en aval avaient diminué de 50 à 60 pour cent. Les zones plantées ne se trouvaient pas dans un environnement de forêts de brouillard. Si les ressources en eau douce avaient été prises en considération dans le plan de boisement, on aurait

préféré aux conifères des espèces présentant des taux d'interception et de transpiration peu élevés.

L'expérience de Fidji a convaincu le Bureau de la conservation des eaux de Beijing de renoncer à son projet de remplacement du caroubier par des pins dans l'aire de sédimentation du réservoir Miyun, l'une des principales sources d'approvisionnement en eau de la municipalité de Beijing. Les planificateurs avaient pensé à tort que le remplacement par des pins aurait augmenté le rendement hydrique du réservoir, alors qu'en fait ils auraient obtenu le résultat inverse.

L'abattage des arbres (en haut) et la construction de routes (en bas) dans les zones montagneuses peuvent provoquer une forte érosion des sols et des glissements de terrain (Népal)

de faibles niveaux d'écoulement liés aux intempéries et d'une stabilité des sols supérieure par comparaison à tout autre type de végétation. Ces caractéristiques sont particulièrement bénéfiques aux terrains montagneux sujets à des précipitations torrentielles. Dans ces régions, l'élimination de la forêt et la construction de routes posent un problème, car les glissements de terrain et les flux de débris sont alors plus fréquents et plus importants (Sidle, 2000). Cependant, la protection offerte par le couvert forestier présente des limites, comme il a été constaté à Taïwan Province de Chine (voir encadré p. 78), où la quasi-totalité des bassins versants montagneux sont boisés et gérés en vue de stabiliser les pentes et de maîtriser les torrents (Lu, Cheng et Brooks, 2001). A mesure que le volume des précipitations touche à l'extrême, l'aptitude des forêts à empêcher les glissements de terrain, les flux de débris et les crues diminue.

La question est souvent posée de savoir dans quelle mesure le couvert forestier influe sur les inondations. Dans le nord du Minnesota, aux Etats-Unis, on a vu



Typhons, glissements de terrain et flux de débris à Taïwan Province de Chine

Dans l'île montagneuse de Taïwan Province de Chine, les inondations, les glissements de terrain et les flux de débris provoqués chaque année par une moyenne de trois ou quatre typhons entraînent la perte de nombreuses vies humaines et d'importants dégâts. L'île compte environ 53 pour cent de pentes dépassant 21° d'inclinaison et une centaine de pics de plus de 3 000 m (Lee, 1981). Compte tenu de la minceur des sols qui recouvrent des formations géologiques faibles, fracturées et érodées, les glissements de terrain alimentent des canaux qui servent de conduits aux flux de débris.

Lors du passage du typhon Herb, particulièrement destructeur, en 1996, les précipitations ont dépassé 1 985 mm en 42 heures dans les zones d'altitude (Lu, Cheng et Brooks, 2001). Des glissements de terrain et des déversements de débris se sont produits sur l'ensemble de l'île, souvent le long des routes et des canaux de drainage où les forêts naturelles avaient été reconverties à la culture du thé, des légumes et de l'aréquier, mais aussi dans de nombreuses régions forestières. Compte tenu du volume et de l'intensité des précipitations, les déversements de débris et les inondations sont survenus indépendamment de l'utilisation des terres.

augmenter, par suite de l'élimination de 70 pour cent du couvert forestier d'un petit bassin versant, le niveau maximal de déversement lié aux précipitations, qui a atteint l'intervalle de récurrence (RI) de 25 à 30 ans (Lu, 1994; Verry, 2000). Des crues plus importantes (RI > 100 ans) n'ont pas été affectées par l'élimination du couvert forestier, ce qui conforte la thèse de Hewlett (1982), selon laquelle les modifications du couvert forestier n'ont que peu d'effets sur les crues de grande ampleur touchant des fleuves importants. Il convient de noter que les pointes de déversement correspondant à un RI de 1,5 à 2 ans ont plus que doublé avec l'élimination du couvert forestier.

Les événements hydrologiques extrêmes sont la conséquence de processus naturels d'érosion et de mouvements sédimentaires qui interagissent avec les systèmes d'implantation humains (Davies, 1997). Lorsque, par suite du manque de terres, les populations et leur habitat sont concentrés dans des zones dangereuses, des catastrophes se produisent, que les terres situées en amont soient densément boisées ou non. Telle est la situation à Taïwan province de Chine, où la densité démographique atteint presque 600 habitants par kilo-

mètre carré, et où les populations installées sur des pentes raides, à l'embouchure de petits bassins de drainage et dans des plaines alluviales sont forcément vulnérables. La mise sur pied d'un programme coordonné de gestion des bassins versants entre agences gouvernementales a été proposée, de manière à faire face à cette menace pour les communautés situées en amont et en aval (Lu, Cheng et Brooks, 2001).

Il conviendra d'identifier les régions dangereuses et d'adopter des politiques institutionnelles, afin d'inciter les populations à les éviter. L'analyse de terrain basée sur les systèmes d'information géographique (SIG) offre les moyens de marquer les terrains dangereux dans les bassins versants de montagne (Gupta et Joshi, 1990; Sidle, 2000), et les méthodologies de circonscription des plaines de décrue et de définition des zones en fonction du type et du degré de risque sont aujourd'hui bien maîtrisées (Bedient et Huber, 1988). Le Federal Flood Insurance Program des Etats-Unis est un exemple d'initiative incitant les populations à modifier leur comportement, en l'occurrence par une gradation des primes d'assurance en fonction de l'acuité du risque dans les régions adjacentes aux cours d'eau.

FORÊTS ET SÉDIMENTATION

Etant donné que les bassins versants occupés par des forêts saines sont le type de couvert qui produit les plus faibles niveaux de sédiments (Brooks *et al.*, 1997), il n'est pas surprenant que les forêts soient souvent considérées comme un moyen de réduire les niveaux de sédiments en aval des réservoirs d'approvisionnement en eau.

Larson et Albertin (1984) ont recommandé le reboisement pour renverser la tendance d'un triplement de la sédimentation dans le réservoir Alhajuela, à Panama, suite à un déboisement de 18,2 pour cent du bassin versant. Les études de ce type sont rares, ce qui explique que, selon certains, les avantages présentés par le couvert forestier en matière de protection des réservoirs aient été surestimés (Kaimowitz, 2000). Ce scepticisme tient notamment aux raisons suivantes:

- suivi insuffisant, d'où un manque de preuves pour établir le lien entre les modifications du couvert forestier et les niveaux de sédimentation des réservoirs;
- faible superficie des bassins versants concernés par les changements de couvert forestier et le nombre limité d'effets observés;
- distance entre les projets intéressant les bassins versants en amont et les réservoirs situés en aval, facteur qui masque les effets;

- constatation que d'autres éléments, tels que l'utilisation non forestière des terres, peuvent augmenter les débits de pointe et affecter la sédimentation.

L'apport sédimentaire en aval est influencé tant par les modifications du débit provenant des bassins versants en amont que par les modifications des zones riveraines longeant les cours d'eau (Rosgen, 1994; Tabacchi *et al.*, 2000). Les niveaux de sédimentation des cours d'eau sont déterminés à la fois par la disponibilité de sédiments et par le débit. Le débit le plus efficace pour le transport des sédiments sur une période donnée est celui de la pleine capacité, à savoir lorsque le lit du cours d'eau est plein mais ne déborde pas, ce qui correspond généralement à la pointe annuelle du débit moyen. Lorsque l'utilisation des terres entraîne une augmentation de ces débits, le lit du cours d'eau devient instable et le niveau des sédiments augmente, indépendamment de la réduction éventuelle des taux d'érosion. Les forêts riveraines saines peuvent également réduire le niveau des sédiments en filtrant les apports d'érosion des canaux et en maintenant la stabilité des rives. Ainsi, la dégradation des forêts des hautes terres et celle des forêts riveraines peuvent se conjuguer pour augmenter l'apport de sédiments aux réservoirs.

FORÊTS ET QUALITÉ DE L'EAU

La pollution de l'eau entrave son utilisation en aval et affecte gravement la santé humaine. La qualité exceptionnelle de l'eau dispensée par les bassins versants forestiers explique, pour l'essentiel, que la préférence soit accordée aux forêts protégées pour les bassins versants municipaux. En effet, les forêts intègrent efficacement les nutriments et les éléments chimiques, tout en réduisant le volume des sédiments exportés, ce qui revient à réduire les effluents tels que le phosphore et certains métaux lourds. En outre, la réduction du ruissellement des eaux de pluie allège la quantité de nutriments et de polluants entrant de façon générale dans les masses d'eau et les cours d'eau.

Dans de nombreux pays en développement, les besoins en nourriture et en ressources des pauvres des campagnes, conjugués à la pénurie de terres et aux carences institutionnelles, entravent les efforts d'approvisionnement en eau des municipalités. Cependant, les difficultés liées à la pollution de l'eau potable et aux maladies connexes mettent en péril le bien-être des populations rurales comme celui des communautés urbaines. Dans de nombreuses régions, il existe un manque criant d'installations de stockage et de trans-

port de l'eau, mais aussi un besoin de meilleures conditions sanitaires et de traitement de l'eau. Une bonne gestion des bassins versants boisés situés en amont des réservoirs peut réduire considérablement le besoin de traitement de l'eau. Echavarría et Lochman (1999) ont observé qu'en dépensant, sur une période de 10 ans, 1 milliard de dollars EU pour améliorer la gestion des bassins versants alimentant la ville de New York, on pourrait éviter de déboursier de 4 à 6 milliards de dollars au titre de nouvelles installations de traitement de l'eau.

Les forêts riveraines

Les tampons forestiers et les systèmes agroforestiers situés le long des cours d'eau améliorent encore la qualité de l'eau. Longtemps négligées et souvent exploitées, les forêts riveraines aident à stabiliser la berge des cours d'eau, réduisent l'incidence des eaux usées et des déversements chimiques provenant de l'amont et abaissent la température de l'eau, contribuant ainsi à une meilleure dissolution de l'oxygène dans l'eau (Brooks *et al.*, 1997). C'est là une façon d'améliorer la qualité de l'eau destinée à la consommation humaine et, partant, d'améliorer non seulement les conditions de santé et de productivité, mais aussi la diversité des écosystèmes aquatiques, y compris dans les forêts de mangrove. En outre, des forêts salubres sont une source de meilleure production piscicole.

Les systèmes riverains sont fortement mis à contribution du fait de leur proximité de l'eau et de leur productivité élevée tant pour les pâturages que pour l'agriculture; il est donc peu réaliste de les protéger contre toute utilisation. Cependant, une bonne gestion des forêts riveraines et des systèmes agroforestiers, parallèlement à celle des masses d'eau et des cours d'eau, peut atténuer les effets nocifs des nutriments, des produits chimiques et des déchets humains. En même temps, ces systèmes peuvent fournir du bois, du fourrage et d'autres produits utiles aux pauvres des campagnes.

LES BASSINS VERSANTS: PRISE EN COMPTE DES CORRÉLATIONS AMONT-AVAL

Les ordres de grandeur et les effets cumulatifs

Une bonne gestion des forêts de zones montagneuses et riveraines s'accompagne généralement d'une meilleure qualité de l'eau douce dans les régions situées en amont, mais la gestion peut également viser des objectifs spécifiques liés à l'eau douce. Dans les

deux cas, les avantages risquent d'être masqués par des considérations liées à l'espace, par exemple: l'emplacement et le caractère diffus des pratiques d'utilisation des terres et de leurs effets; l'envergure des activités, selon la taille du bassin versant; enfin, le temps nécessaire pour obtenir des avantages. Les modifications concernant les terres ont parfois des effets cumulatifs qui, bien que difficilement perceptibles pris individuellement, peuvent marquer considérablement l'ensemble du bassin versant, notamment sur une période donnée. Cette complexité a gêné la perception des responsables de décisions dans de nombreuses parties du monde, affaiblissant leur engagement à l'égard de la gestion des bassins versants. Toutefois, il convient de tenir compte de ces effets cumulatifs lors des évaluations environnementales et économiques.

C'est dans les îles, sur un espace limité à quelques kilomètres, que l'on peut le mieux observer les effets cumulatifs de l'utilisation des terres sur l'écoulement des eaux en aval, l'accumulation de sédiments et les polluants. A titre d'exemple, le déboisement et les pratiques agricoles dans les îles des Caraïbes et du Pacifique ont été liés à la dégradation des estuaires, des bancs de corail et des pêches qui en dépendent. Dans l'est de la Jamaïque, le remplacement des forêts par des plantations de café situées en altitude a aggravé l'érosion des sols ainsi que l'exportation d'éléments chimiques, ce qui a contribué à la dégradation des bancs de corail (K. Eckman, communication personnelle, 2002). Ces corrélations apparaissent clairement dans les bassins versants, alors que dans les systèmes plus étendus il faut parfois attendre des décennies, voire plus, pour en observer l'impact, lequel peut être masqué par d'autres pratiques d'utilisation des terres. On en trouve un exemple dans le tarissement de l'oxygène dans le golfe du Mexique, dont la responsabilité est attribuée en partie à la pollution agricole du bassin du Mississippi aux Etats-Unis. Les Etats du Midwest s'attachent à restaurer les forêts et les marécages riverains et à améliorer l'utilisation agricole des terres, de manière à réduire le plafond des déversements quotidiens dans le Mississippi, conformément à la législation fédérale invitant tous les Etats à restaurer la situation des cours d'eau affectés. A cette fin, des programmes urbains et périurbains de traitement des forêts et des arbres sont élaborés et encouragés, afin de lutter contre la pauvreté et l'insécurité alimentaire, mais aussi pour soutenir la protection et l'utilisation durable des ressources foncières.

Considérations économiques

Il importe de justifier, sur le plan économique, la gestion forestière et les autres améliorations apportées aux bassins versants en vue de protéger et de gérer les ressources en eau douce. L'adoption d'une perspective axée sur les bassins versants aide à déterminer avec plus de clarté la valeur économique des forêts servant à cette fin. Johnson, White et Perrot-Maître (2001) ont mis en valeur l'importance économique des avantages que présentent les forêts pour l'écosystème hydrologique. Cependant, des analyses économiques prenant en compte de façon globale l'ensemble de ces avantages n'ont pas encore été entreprises par suite d'un certain nombre de difficultés, notamment la carence de suivi et d'évaluation des avantages que présentent les activités de foresterie pour les bassins versants, la difficulté à assigner une valeur précise à de nombreux services – en particulier ceux qui ne font pas l'objet d'échanges commerciaux –, et les subventions aux ressources hydriques. Dans de nombreuses parties du monde, l'eau bénéficie d'importantes subventions, et on la considère souvent comme un bien gratuit. Or sa rareté conduit de nos jours à déterminer de façon plus réaliste la valeur de l'eau douce. En revanche, il n'existe pas de quantification véritable des avantages économiques découlant d'une bonne gestion ou protection des forêts, qui permette d'éviter entre autres l'érosion des sols, les déversements de débris, la sédimentation et les inondations.

Ainsi, la raréfaction de l'eau pourrait induire une meilleure étude économique des bassins versants, et l'on voit apparaître ce que certains appellent une nouvelle économie mondiale de l'eau, dans laquelle l'eau douce est considérée davantage comme une marchandise que comme une ressource relevant de la gestion publique (Anderson, 2002). A titre d'exemple, dans le sud de la Californie, aux Etats-Unis, les agriculteurs paient 8,11 dollars pour 1 000 m³ d'eau, contre 1 622 dollars versés par la municipalité de Santa Barbara. Etant donné que l'eau devient alors plus coûteuse que les cultures soumises à irrigation, certains agriculteurs la revendent aux municipalités. Il semble que, dans certains cas, la gestion des bassins versants boisés aux fins de l'approvisionnement en eau se justifie sur le plan économique.

La nouvelle économie de l'eau se heurte à des obstacles dans les pays en développement, où l'eau a souvent été traitée comme un bien gratuit, du fait de pratiques et de croyances religieuses qui remontent loin dans le temps (Rosegrant et Cline, 2002). Une allo-

cation plus efficace de l'eau et des politiques de prix novatrices peuvent encourager la gestion forestière à des fins d'approvisionnement en eau. Les politiques qui continuent à considérer l'eau comme un bien gratuit, ou celles qui tendent à la subventionner généreusement, ne feront que perpétuer le gaspillage dans les pays développés comme dans les pays en développement. Johnson, White et Perrot-Maître (2001) ont proposé des mécanismes financiers propres à renforcer la restauration, l'entretien et l'amélioration des avantages que présentent les bassins versants boisés pour les ressources hydrologiques.

Dans la plupart des cas, il existe d'ores et déjà une méthodologie pour effectuer l'analyse nécessaire sur le plan financier et économique. Les données concernant l'amont et l'aval, qui manquent parfois cruellement, sont transformées en avantages et en coûts que l'on peut opposer sous une même rubrique, en fonction de la présence ou de l'absence de conditions spécifiques (FAO, 1987). Cette approche a été utilisée pour évaluer les projets consacrés aux bassins versants au Maroc et en Chine et qui comprennent, de façon non exhaustive, les modifications du couvert forestier et de sa gestion (Brooks *et al.*, 1981; Shuhuai *et al.*, 2001). Dans les deux cas, l'amélioration des bassins versants, y compris les forêts et l'agroforesterie, a été jugée viable sur le plan économique (avec des taux de rendement de 10 à 16 pour cent), quand les avantages concernant la production et les ressources en eau étaient combinés.

Il est possible d'utiliser des modèles informatiques pour étudier les répercussions d'origine humaine sur les bassins versants. Ainsi, l'évolution du rendement des ressources hydrologiques, des inondations et du transport des sédiments, par exemple, se prête à des simulations et à la corrélation à des sites spécifiques présentant un intérêt en matière d'avantages économiques et de coûts. Les effets cumulatifs du développement agricole, la disparition des forêts riveraines dans les plaines alluviales et le drainage des terres marécageuses ont été simulés aux États-Unis pour un bassin versant du Minnesota River, à l'aide du modèle Hydrocomp Simulation Program – Fortran (HSPF) (Miller, 1999). Les modifications de l'utilisation des terres ont augmenté le débit annuel et les débits de pointe, qui peuvent être rattachés à une «perte de capacité de stockage» dans le bassin. Hey (2001) a déterminé que les dommages créés en aval par une récente inondation importante pourraient avoir été fortement réduits grâce à la restauration de surfaces

suffisantes de couvert forestier riverain, de plaines fluviales et de marécages appartenant au bassin. Il conclut que les agriculteurs pourraient prétendre à un dédommagement pour de telles conversions des terres, du fait de la réduction des pertes économiques causées à l'avenir par les inondations. Il conviendra de renforcer ce genre d'approche novatrice et d'en envisager l'application aux bassins versants tropicaux ainsi qu'aux pays en développement, en mettant l'accent sur l'élaboration de modèles de simulation informatisée.

Considérations liées aux institutions et aux politiques

Une meilleure gestion des forêts et des ressources hydrologiques en vue d'améliorer le bien-être des êtres humains nécessite plus que de simples connaissances techniques. Alors que les informations à caractère technique fournissent le socle d'une évaluation des corrélations amont-aval et des analyses économiques, il faut, pour transformer ces informations en pratiques de gestion, la participation effective des intéressés, afin que se développe un consensus et que soient fournies les incitations nécessaires à l'exécution (Eckman, Gregersen et Lundgren, 2000). Un cadre de politique doit donc être créé pour soutenir, plutôt qu'entraver, l'intégration de la gestion des terres et de l'eau.

La configuration des bassins versants et les frontières politiques se recoupant rarement, la coordination de la gestion des ressources en terres et en eaux dépend de la capacité des organisations à trouver des solutions aux problèmes transfrontaliers et aux différends portant sur l'utilisation de l'eau. Aux États-Unis, la nécessité d'un cadre organisationnel efficace au niveau des bassins versants ou des bassins fluviaux a conduit à la formation de plus de 1 500 districts de bassins fluviaux au cours des années 90, afin de traiter les problèmes de relations amont-aval (Lant, 1999). Les pays appartenant au bassin du Nil ont constitué un partenariat de neuf pays riverains pour résoudre les questions transfrontalières et évoluer vers un développement plus durable (Baecher *et al.*, 2000). Dans cette région, la répartition inéquitable de l'eau se trouve amplifiée du fait que plus de 80 pour cent des eaux du cours inférieur du Nil, dont dépendent le Soudan et l'Égypte, ont pour origine l'Éthiopie au relief montagneux. Il est donc évident que, sans coopération et sans coordination, on risque de voir apparaître des différends liés à l'utilisation de l'eau et au développement.

Il faut donc parvenir à une meilleure compréhension du processus et des approches nécessaires à la gestion des grands bassins fluviaux, et l'Année internationale de l'eau douce (2003) offrira aux parties prenantes l'occasion d'un partage d'expériences tournées vers l'identification des choix possibles pour l'avenir.

CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS

La pénurie d'eau douce est un problème mondial dont la solution nécessite une gestion plus efficace de l'eau, depuis les bassins versants locaux jusqu'aux principaux bassins fluviaux. L'Année internationale de l'eau douce, en 2003, peut contribuer à attirer l'attention, au niveau de la planète, sur les problèmes et les solutions, mais aussi sur la nécessité d'adopter une démarche globale pour faire face à la pénurie comme aux excédents. Les forêts peuvent jouer un rôle important dans l'approvisionnement en eau douce, mais leur gestion doit compléter celle des ressources en eau. La technologie existe pour l'essentiel, mais la mise en œuvre nécessite des politiques et des institutions pour promouvoir le dialogue international et la coopération. Les paragraphes qui suivent proposent quelques démarches en vue d'un renforcement mutuel de la gestion des forêts et de l'eau.

En premier lieu, les bassins versants boisés des régions montagneuses requièrent une attention particulière car ils représentent les régions les plus élevées fournissant l'eau douce de notre planète, mais aussi le point de départ des glissements de terrain, des torrents et des inondations. Les populations qui occupent les régions des cours supérieurs, de même que celles qui vivent dans les basses terres en aval, dépendent de l'eau douce provenant des hautes terres et subissent en outre les effets des extrêmes hydrométéorologiques. Pour prévenir ou atténuer les désastres frappant les terrains montagneux, il faudrait notamment:

- maintenir un couvert forestier sain dans les bassins versants de montagne exposés aux pluies torrentielles;
- élaborer des programmes associant la protection des forêts au zonage, à la gestion des plaines alluviales et à la mise en place d'ouvrages de génie protégeant la population contre les glissements de terrain, les flux de débris et les inondations.

Deuxièmement, les forêts peuvent être gérées de manière à augmenter l'approvisionnement en eau douce, mais en tant que composante de programmes

de gestion de l'eau de grande envergure et polyvalents. Il convient de reconnaître la valeur économique de l'eau et des régions qui en abritent les sources. Réduire les subventions dont l'eau fait l'objet et la considérer comme une marchandise plutôt qu'un bien gratuit peut amener à adopter des mesures économiques incitatives qui se traduisent par une meilleure gestion, comme indiqué ci-après.

- Le rendement hydrique des bassins versants municipaux dans des conditions de forêts autres que de brouillard peut augmenter, si l'on remplace les essences d'arbres à forte consommation par des essences à faible consommation, ou si l'on éclaircit ou récolte de façon périodique les peuplements forestiers.
- Dans les conditions de forêts de brouillard, les forêts arrivées à maturité ou anciennes doivent être protégées et gérées de manière à soutenir le débit des cours d'eau en période sèche.
- Les forêts riveraines doivent être gérées de façon à protéger la qualité de l'eau, ce qui peut améliorer la capacité productive des écosystèmes aquatiques, de même que la santé et le bien-être des populations locales. En outre, il convient d'utiliser pleinement les systèmes tampons d'agroforesterie qui contribuent à ces objectifs tout en fournissant des aliments, du fourrage et des produits ligneux.
- Il faudrait élaborer des systèmes agroforestiers tournés vers les bassins versants d'altitude, de manière à exploiter les avantages offerts par les forêts sur le plan hydrologique, tout en renforçant la production vivrière et celle de ressources naturelles à l'intention des ruraux pauvres.

En troisième lieu, il est possible d'atténuer les dégâts économiques engendrés par les inondations et les mouvements sédimentaires, grâce à une gestion des forêts couvrant les hautes terres, les zones riveraines et les plaines alluviales. Bien que les inondations les plus importantes et dévastatrices des grands fleuves ne soient pas influencées par l'étendue du couvert forestier, l'abattage des forêts peut accentuer les inondations de faible envergure et localisées. La dégradation des forêts s'accompagne de nombreux effets indésirables pour les flux et la qualité de l'eau. En revanche, la présence de forêts saines de type montagneux ou riverain peut contenir le niveau d'apport de sédiments aux cours d'eau, aux lacs et aux réservoirs.

Quatrièmement, il conviendrait d'incorporer la prise en compte des bassins versants à la planification

tion et à la gestion des forêts, de l'eau et de l'utilisation des terres urbaines et agricoles. Une telle perspective s'impose au niveau local, mais aussi au niveau gouvernemental le plus élevé, de manière à promouvoir des solutions durables.

Cinquièmement, il faudrait prévoir des incitations et des moyens permettant d'atteindre les objectifs en matière d'eau douce par le biais de politiques et d'institutions s'occupant de la gestion des forêts et des autres utilisations des terres, tant à l'échelon des bassins versants locaux qu'à celui des bassins fluviaux. Le dialogue et la coopération intersectoriels sont nécessaires pour atteindre les objectifs de gestion et résoudre les inégalités entre ceux qui pâtissent des changements apportés à l'utilisation des ressources situées en amont et en aval, et ceux qui en profitent. Il faudra élargir la portée de l'analyse économique pour mieux comprendre ces inégalités et les résoudre. La nouvelle économie de l'eau facilitera la justification des changements apportés à l'utilisation des terres pour améliorer les approvisionnements en eau. On devra envisager de rétribuer comme il se doit les habitants qui améliorent les forêts et les autres utilisations des terres, contribuant ainsi à réduire les pertes d'eau en aval. Le soutien institutionnel pourra prendre les formes suivantes:

- meilleure compréhension des processus et des approches nécessaires aux systèmes de gestion amont-aval dans le contexte d'une gestion plus efficace des ressources en eau et du développement durable;
- renforcement des programmes d'éducation et de formation destinés aux habitants des bassins locaux de même qu'aux responsables de décisions au plus haut niveau;
- meilleure compréhension et harmonisation du rôle des forêts dans la gestion de l'eau douce, l'accent étant mis sur les programmes de démonstration et de vulgarisation tournés vers les utilisateurs locaux des ressources en terres et en eaux;
- renforcement du suivi et de l'évaluation des projets, et amélioration des recherches portant sur les bassins versants boisés des pays en développement, étant donné que nombre des questions soulevées durant les années 70 et 80 à propos du rôle hydrologique des forêts tropicales restent en grande partie sans réponse ou ne sont pas suffisamment documentées.

Il convient de souligner les aspects socioéconomiques de même que les composantes techniques, afin que les

informations qui en résultent puissent constituer un socle pour l'élaboration de nouvelles technologies et de politiques visant à améliorer le bien-être des populations par le biais d'une gestion améliorée des forêts et de l'eau douce. ♦

RÉFÉRENCES

- Anderson, T.L.** 2002. Water: from a public resource to a market commodity. *Water Resources Impact*, 4(1): 4-5.
- Baecher, G.B., Anderson, R., Britton, B., Brooks, K. & Gaudet, J.** 2000. *The Nile Basin: environmental transboundary opportunities and constraints analysis*. Projet de rapport. Washington, International Resources Group, pour l'Agence des Etats-Unis pour le développement international (USAID).
- Bari, M.A., Smith, N., Ruprecht, J.K. & Boyd, B.W.** 1996. Changes in stream flow components following logging and regeneration in the southern forest of western Australia. *Hydrological Processes*, 10: 447-461.
- Bedient, P.B. & Huber, W.C.** 1988. *Hydrology and flood plain analysis*. Reading, Massachusetts, Etats-Unis, Addison-Wesley.
- Bosch, J.M. & Hewlett, J.D.** 1982. A review of catchment experiments to determine the effect of vegetation changes on water yield and evapotranspiration. *Journal of Hydrology*, 55: 3-23.
- Brooks, K.N., Ffolliott, P.F., Gregersen, H.M. & DeBano, L.F.** 1997. *Hydrology and the management of watersheds*. 2^e édition. Ames, Iowa, Etats-Unis, Iowa State University Press.
- Brooks, K.N., Gregersen, H.M., Berglund, E.R. & Tayaa, M.** 1981. Economic evaluation of watershed projects: an overview of methodology and application. *Water Resources Bulletin*, 18: 245-250.
- Bruijnzeel, L.A. & Proctor, J.** 1993. Hydrology and biogeochemistry of tropical montane cloud forests: what do we really know? In L.S. Hamilton, J.O. Juvik & F.N. Scatena (éds). *Tropical montane cloud forests*, p. 38-78. New York, Springer-Verlag.
- Calder, I.R.** 1999a. *The blue revolution, land use and integrated water resource management*. Londres, Earthscan.
- Calder, I. R.** 1999b. *Panama Canal watershed: hydrological study preparation*. (Polycopié)
- Davies, T.R.H.** 1997. Using hydrosience and hydrotechnical engineering to reduce debris flow hazards. In C. Chen (éd.). *Debris-flow hazards*

- mitigation: mechanics, prediction, and assessment, p. 787-810. Proceedings of the 1st International Conference of the American Society of Civil Engineers. New York, American Society of Civil Engineers.
- Drysdale, P.J.** 1981. Status of general and forest hydrology research in Fiji. Document de travail. In *Country papers on the status of watershed forest influence research in Southeast Asia and the Pacific*. Honolulu, Hawaii, Etats-Unis, East-West Center.
- Echavarría, M. & Lochman, L.** 1999. *Policy mechanisms for watershed conservation: case studies*. Arlington, Virginie, Etats-Unis, Nature Conservancy.
- Eckman, K., Gregersen, H.M. & Lundgren, A.L.** 2000. Watershed management and sustainable development: lessons learned and future directions. In *Land stewardship in the 21st century: the contributions of watershed management*, p. 37-43. Proceedings, Rocky Mountain Research Station, RMRS-P-13. Fort Collins, Colorado, Etats-Unis, Service des forêts du Département de l'agriculture des Etats-Unis (USDA).
- Falkenmark, M.** 1989. The massive water scarcity now threatening Africa – why isn't it being addressed? *Ambio*, 18(2): 112-118.
- FAO.** 1989. *Guide pour l'évaluation économique des projets d'aménagement des bassins versants*, par H.M. Gregersen, K.N. Brooks, J.A. Dixon & L.S. Hamilton. Cahier FAO: Conservation n° 16. Rome.
- Gupta, R.P. & Joshi, B.C.** 1990. Landslide hazard zoning using the GIS approach – a case study from the Ramganga Catchment, Himalayas. *Engineering Geology*, 28: 119-131.
- Harr, R.D.** 1982. Fog drip in the Bull Run municipal watershed, Oregon. *Water Resources Bulletin*, 18(5): 785-789.
- Hewlett, J.D.** 1982. Forests and floods in the light of recent investigations. In *Proceedings of the Canadian Hydrology Symposium '82 on hydrological processes of forested areas*, p. 543-559. Ottawa, Canada, National Research Council of Canada.
- Hey, D.L.** 2001. Modern drainage design: the pros, the cons, and the future. Presentation at Annual Meeting of the American Institute of Hydrology. Bloomington, Minnesota, Etats-Unis, 14-17 octobre 2001.
- IFPRI.** 2001. *Overcoming water scarcity and quality constraints*. 2020 Focus, vol. 9 (disponible sur www.ifpri.org/2020/focus/focus09.htm).
- Ingersen, J.B.** 1985. Fog drip, water yield, and timber harvesting in the Bull Run municipal watershed, Oregon. *Water Resources Bulletin*, 21(3): 469-473.
- Johnson, N., Revenga, C. & Echeverria, J.** 2001. Managing water for people and nature. *Science*, 292: 1071-1072.
- Johnson, N., White, A. & Perrot-Maitre, D.** 2001. *Developing markets for water services from forests – issues and lessons for innovators*. Washington, Forest Trends / Institut mondial pour les ressources (WRI)/Katoomba Group.
- Kaimowitz, D.** 2000. *Useful myths and intractable truths: the politics of the link between forests and water in Central America*. San Jose, Costa Rica, Centre pour la recherche forestière internationale (CIFOR).
- Kundzewicz, Z.W.** 1997. Water resources for sustainable development. *Hydrological Sciences – Journal des sciences hydrologiques*, 42(4): 467-480.
- Lant, C.L.** 1999. Introduction, human dimensions of watershed management. *Journal of American Water Resources Association*, 35: 483-486.
- Larson, C.L. & Albertin, W.** 1984. Controlling erosion and sedimentation in the Panama Canal watershed. *Water International*, 9: 161-164.
- Lee, R.** 1980. *Forest hydrology*. New York, Columbia University Press.
- Lee, S.W.** 1981. Landslides in Taiwan. In *Problems of soil erosion and sedimentation*, p. 195-206. Proceedings of the South-East Asian Regional Symposium. Bangkok, 27-29 janvier 1981. Bangkok, Asian Institute of Technology.
- Lesch, W. & Scott, D.F.** 1997. The response in water yield to the thinning of *Pinus radiata*, *Pinus patula* and *Eucalyptus grandis* plantations. *Forest Ecology and Management*, 99: 295-307.
- Lu, S.** 1994. *Forest harvesting effects on streamflow and flood frequency in the northern lake states*. St Paul, Minnesota, Etats-Unis, University of Minnesota. (Thèse de doctorat)
- Lu, S.Y., Cheng, J.D. & Brooks, K.N.** 2001. Managing forests for watershed protection in Taiwan. *Forest Ecology and Management*, 143: 77-85.
- Miller, R.C.** 1999. *Hydrologic effects of wetland drainage and land use change in a tributary watershed of the Minnesota River basin: a modeling approach*. St Paul, Minnesota, Etats-Unis, University of Minnesota. (Mémoire de maîtrise)
- ONU.** 1992. Protection of the quality and supply of freshwater resources: application of integrated approaches to the development, management and use of water resources. *Agenda 21*, chapitre 18 (également disponible sur www.un.org/esa/sustdev/agenda21chapter18.htm).
- Rosegrant, M.W.** 1997. *Water resources in the twenty-first*

- century: challenges and implications for action. Food, Agriculture and the Environment Discussion Paper No. 20. Washington, Institut international de recherche sur les politiques alimentaires (IFPRI).
- Rosegrant, M.W. & Cline, S.** 2002. The politics and economics of water pricing in developing countries. *Water Resources Impact*, 4(1): 6-8.
- Rosgen, D.L.** 1994. A classification of natural rivers. *Catena*, 22: 169-199.
- Scherr, S.J. & Yadav, S.** 1996. *Land degradation in the developing world: implications for food, agriculture, and the environment in 2020*. Food, Agriculture and the Environment Discussion Paper No. 14. Washington, Institut international de recherche sur les politiques alimentaires (IFPRI).
- Shuhuai, D., Zhihui, G., Gregersen, H.M., Brooks, K.N. & Ffolliott, P.F.** 2001. Protecting Beijing's municipal water supply through watershed management: an economic assessment. *Journal of American Water Resources Association*, 37(3): 585-594.
- Sidle, R.C.** 2000. Watershed challenges for the 21st century: a global perspective for mountainous terrain. In *Land stewardship in the 21st century: the contributions of watershed management*, p. 45-56. Proceedings, Rocky Mountain Research Station, RMRS-P-13. Fort Collins, Colorado, Etats-Unis, Service des forêts du Département de l'agriculture des Etats-Unis (USDA).
- Tabacchi, E., Lambs, L., Guilloy, H., Planty-Tabacchi, A.M., Muller, E. & Decamps, H.** 2000. Impacts of riparian vegetation on hydrologic processes. *Hydrological Processes*, 14: 2959-2976.
- van Damme, H.** 2001. Domestic water supply, hygiene, and sanitation. *2020 Focus*, Vol. 9, Brief 3 (disponible sur www.ifpri.cgiar.org/2020/focus/focus09/focus09_03.htm).
- Verry, E.S.** 2000. Water flow in soils and streams: sustaining hydrologic function. In E.S. Verry, J.W. Hornbeck & C.A. Dolloff (éds). *Riparian management in forests*, p. 99-124. Boca Raton, Floride, Etats-Unis, Lewis.
- Verry, E.S., Hornbeck, J.W. & Todd, A.H.** 2000. *Watershed research and management in the Lake States and northeastern United States*, p. 81-92. Proceedings, Rocky Mountain Research Station, RMRS-P-13. Fort Collins, Colorado, Etats-Unis, Service des forêts du Département de l'agriculture des Etats-Unis (USDA).
- Vorosmarty, C.J., Green, P., Salisbury, J. & Lammers, R.B.** 2000. Global water resources: vulnerability from climate change and population growth. *Science*, 238: 284-288.
- Whitehead, P.G. & Robinson, M.** 1993. Experimental basin studies – an international and historical perspective of forest impacts. *Journal of Hydrology*, 145: 217-230. ♦