

2. Les forêts et la quantité d'eau

La transformation des précipitations en eaux souterraines et en cours d'eau est réduite à cause de leur interception par les forêts et de leur évaporation à partir du couvert forestier (voir figure 1). Elle diminue encore par la transpiration de l'humidité des sols à partir du feuillage. Ce sont en quelque sorte des pertes que subit le système d'eau utile, mais la production de bois, feuilles, fleurs, fruits et graines résulte cependant de cette utilisation de l'eau et de la photosynthèse. L'écosystème forestier, avec la flore et la faune qu'il abrite, est un grand consommateur d'eau, mais il procure en même temps d'immenses avantages à l'humanité. Grâce à sa diversité biologique, la forêt fournit une multitude de produits précieux, qui vont des oiseaux aux panneaux de bois et aux ours, du bois de feu aux médicaments, de la fixation du carbone aux orchidées et aux châtaignes. Elle offre aussi un milieu récréatif et la beauté de ses paysages, ainsi qu'un niveau élevé de protection contre l'érosion des sols et, lorsque les conditions s'y prêtent, contre le risque d'avalanche.

Les sociétés humaines se soucient de l'impact positif ou négatif des forêts sur la quantité d'eau, car il y a parfois trop d'eau (inondations) et parfois pas assez. Ces préoccupations naissent des nombreux mythes et malentendus, d'une désinformation et d'une interprétation erronée (Hamilton, 1985). Ainsi, l'exploitation forestière et le défrichement des terres dans l'Himalaya, au Népal, ont été tenus à tort pour responsables des inondations catastrophiques qui se sont produites dans les plaines du Gange en Inde, et on a prétendu que la restauration des forêts pouvait rétablir l'écoulement des rivières asséchées, et atténuer de ce fait la sécheresse (*World Water*, 1981). Ces interprétations inexactes persistent aujourd'hui encore.

TROP D'EAU?

Il a été prouvé que la suppression totale ou partielle du couvert forestier entraîne une augmentation du débit total dans les bassins versants, en raison principalement de la réduction de l'évapotranspiration par les arbres, qui agissent comme des «pompes à eau» profondément enracinées (Hamilton et King, 1983; Bruijnzeel, 1990). L'augmentation du débit persiste tout au long de l'année, et c'est au cours de la saison sèche qu'on enregistre la hausse la plus forte en pourcentage (souvent le double du débit observé avant l'élimination du couvert forestier). Une légère coupe d'écrouissage ou l'extraction de produits forestiers non ligneux ont peu d'effet, voire aucun, sur le débit de l'eau; l'effet s'accroît avec la quantité d'arbres abattus, jusqu'à la coupe rase (Bruijnzeel, 1990). L'augmentation du débit semble souhaitable durant les faibles écoulements de la saison sèche, mais il peut poser un problème durant la saison pluvieuse, car le gonflement des flux accentue le risque

d'inondation. Les effets sur l'écoulement se font ressentir à proximité de la zone forestière déboisée, mais seulement lorsque les épisodes pluvieux sont de courte durée et de faible intensité (ce qui est généralement le cas le plus fréquent).

À mesure que la durée ou l'intensité des précipitations augmentent et qu'on s'éloigne vers l'aval du bassin versant et du bassin fluvial, d'autres facteurs interviennent et réduisent ou annulent les effets constatés à proximité de la zone déboisée. Ces facteurs incluent la superficie et la morphométrie du bassin, les phénomènes affectant d'autres affluents, la trajectoire de l'orage, et l'intensité et la durée des précipitations. Ives et Messerli (1989) ont décrit ce phénomène dans de petits bassins versants (<50 km²), des bassins moyens (de 50 à 20 000 km²) et de grands bassins (>20 000 km²). Dans les petits bassins, les pratiques d'utilisation des terres peuvent avoir une incidence sur le débit de l'eau et sur la charge sédimentaire, en fonction de la profondeur des sols et de la variabilité des précipitations. Dans les bassins moyens, les conséquences en aval des activités forestières et d'autres utilisations des terres sont probablement atténuées par la forte intensité et la grande variabilité des phénomènes naturels, et par les apports provenant d'autres bassins versants. Dans les grands bassins, ce sont moins les interventions humaines que les processus naturels intéressant le bassin versant supérieur qui provoquent les inondations et les taux élevés de sédimentation. Hewlett (1982) a analysé les conclusions de recherches internationales portant sur des bassins versants et n'a pu établir aucun lien de cause à effet entre l'élimination du couvert forestier en amont et les inondations dans le bassin inférieur. Depuis plus de 20 ans, aucune information contradictoire n'a été publiée.

Même à l'échelle locale, tout dépend en grande partie de la profondeur des sols et du type de précipitation. Avant d'arriver à saturation, les sols profonds peuvent retenir une grande quantité d'eau, et les essences à enracinement profond rendent le manteau pédologique plus apte à absorber l'eau déversée par un nouvel épisode pluvieux. Les précipitations antécédentes et la teneur en eau du sol ont une forte influence sur la génération des eaux de ruissellement. Ainsi, en cas de précipitations fréquentes de courte durée ou de faible intensité, les sols forestiers peuvent réduire ou prévenir les crues soudaines au niveau local. En revanche, dans les cas plus rares de précipitations de longue durée ou de forte intensité, une fois que la couche du sol est saturée, l'eau ruissellera, même si le couvert forestier est entier et non perturbé. Sur des sols peu profonds, notamment lorsqu'ils sont pentus, la capacité de rétention d'eau est beaucoup plus faible, et le bassin versant est plus vulnérable à des crues soudaines; les arbres, comme d'autres types de végétation ou d'utilisation des terres, n'ont pratiquement aucun effet sur la retenue des écoulements rapides de surface ou hypodermiques.

Les informations erronées persistent toutefois. En Thaïlande, l'exploitation forestière a été interdite après que les inondations dévastatrices de novembre 1988 dans le sud du pays ont été attribuées à tort à cette pratique (Rao, 1988). Les inondations catastrophiques qui ont touché le Bangladesh la même année ont été imputées sans raison au déboisement des montagnes de l'Inde et du Népal, où le Gange et le Brahmapoutre prennent leur source. La communauté internationale

avait ainsi une excellente raison de ne pas prendre des décisions difficiles concernant l'occupation des plaines d'inondation et l'aménagement des fleuves et rivières dans le bassin inférieur (Hamilton, 1988). On pourrait citer beaucoup d'autres exemples de ce type d'informations erronées, pourtant très répandues. Récemment, une publication phare portant sur les processus hydrologiques dans les grands bassins fluviaux (Hofer et Messerli, 2006) s'appuie sur de solides preuves scientifiques pour démontrer qu'il faut abandonner le mythe selon lequel le déboisement pratiqué dans les montagnes de l'Himalaya est à l'origine des fortes inondations dans les plaines du Gange et du Brahmapoutre. Une publication de la FAO et du Centre pour la recherche forestière internationale (FAO et CIFOR, 2005) fait l'observation suivante:

Les forêts jouent un certain rôle dans le retard et la réduction des débits maximaux des eaux de crue à l'échelle locale, mais, d'après les données scientifiques, il est incontestable qu'elles ne peuvent pas maîtriser les inondations catastrophiques à grande échelle, souvent provoquées par de graves phénomènes météorologiques [...] Cela ne compromet en rien la nécessité d'aménager et de préserver de manière adéquate les forêts des hautes terres, mais souligne l'importance cruciale d'adopter des approches intégrées pour aménager les bassins hydrographiques, qui vont au-delà des «solutions» simplistes fondées uniquement sur la forêt.

Cependant, les apports de sédiments et de débris dans le lit des cours d'eau, provenant des glissements de terrain et des éboulements généralement déclenchés par les précipitations qui donnent lieu à des crues, aggravent les inondations et leurs dégâts. Selon Scatena, Planos-Gutiérrez et Schellekens (2005), les épisodes pluvieux de forte intensité et de courte durée seraient à l'origine des glissements superficiels et des coulées de débris, tandis que les épisodes pluvieux de faible intensité et de longue durée produiraient des avalanches de débris et des affaissements beaucoup plus importants et plus profonds. Les recherches montrent que les racines renforcent sensiblement les sols et la protection contre les glissements de terrain et les coulées de débris (O'Loughlin, 1974). Ainsi, même si le couvert forestier ne réduit pas sensiblement le volume d'eau déversé dans les cours d'eau après un violent épisode pluvieux, il peut limiter la gravité de l'inondation et les dégâts occasionnés.

La perception erronée selon laquelle les reboisements pratiqués dans les bassins versants sont un moyen efficace de prévenir ou d'éliminer le risque d'inondation perdure. Une nouvelle fois, rien ne prouve que cela soit le cas, sauf au niveau local, sur quelques centaines d'hectares. Il existe un grand nombre d'excellentes raisons de remettre en état les bassins versants (limiter les pertes de sols, réduire les apports de sédiments dans les cours d'eau, maintenir la production agricole et conserver les habitats de la faune sauvage), mais la réduction significative du risque d'inondation n'en est pas une (Hamilton et Pearce, 1987).

L'encadré 2 récapitule les incidences habituelles des modes d'utilisation des terres, y compris des forêts, sur le débit des eaux d'orage et sur les inondations au niveau local.

ENCADRÉ 2

Débits d'orage et inondations résultant de l'utilisation des terres

Les incidences des modes d'utilisation des terres sur les débits d'orage et les inondations à l'échelle locale sont les suivantes:

- Lorsqu'on élimine la couverture végétale ou qu'on remplace des plantes qui ont un taux annuel de transpiration et de perte par interception élevé, par des variétés où ces processus sont plus faibles, les débits d'orage et de pointe risquent d'augmenter. Ces pratiques peuvent aussi accroître la superficie des sources d'écoulement. Après un épisode pluvieux, le taux d'humidité du sol et le niveau des nappes phréatiques augmentent généralement, ce qui réduit la capacité de rétention des précipitations ultérieures, et les zones sources s'agrandissent.
- Les activités qui réduisent la capacité d'infiltration des sols, telles que le surpâturage, la construction de routes et l'exploitation forestière, peuvent augmenter le ruissellement des eaux de surface. Plus le volume des précipitations converties en écoulements superficiels augmente, plus le débit réagit rapidement aux épisodes pluvieux, ce qui engendre une hausse des débits de pointe. Les activités favorisant l'infiltration devraient avoir l'effet inverse.
- L'aménagement de routes, tranchées de drainage et pistes de débardage, et les altérations du lit des rivières, bouleversent le système de transport de l'eau dans un bassin versant. Ils déterminent généralement une augmentation du débit de pointe, due à la diminution du temps de parcours des flux jusqu'à la sortie du bassin versant.
- Une augmentation de l'érosion et de la sédimentation peut diminuer la capacité de retenue des cours d'eau, tant en amont qu'en aval. Les eaux, jusque-là confinées par les rives, risquent alors de déborder.

Dans le cas de précipitations dont la durée et l'intensité ne présentent pas de caractère exceptionnel, ces incidences peuvent sensiblement modifier le volume des eaux d'orage, ainsi que l'amplitude et le délai du débit de pointe. Au fur et à mesure que les précipitations augmentent en intensité et en durée, l'influence du système sol-plantes sur le débit d'orage diminue. Le couvert végétal n'a donc qu'un effet minime lors des épisodes pluvieux très importants, qui sont souvent à l'origine des grandes inondations.

Source: Brooks *et al.*, 1991.

PAS ASSEZ D'EAU?

Il est indiscutable que la suppression, même partielle, des forêts détermine une augmentation du débit global. Les forêts naturelles et les forêts établies par l'homme consomment plus d'eau que la plupart des autres types de végétation de remplacement, notamment les cultures agricoles et fourragères. Ainsi, les hausses de débit signalées au cours de la première année qui suit le déboisement dans les régions tropicales humides sont de l'ordre de 110 à 825 mm, en fonction

ENCADRÉ 3

Incidences de la manipulation des forêts sur le débit de l'eau

- Une coupe d'écrémage légère et attentive n'aura qu'un effet limité ou nul sur le débit, dont l'augmentation est fonction de la quantité de bois prélevée.
- L'ensemble des données concernant les régions tropicales humides conforte les conclusions générales de Bosch et Hewlett (1982), selon lesquelles l'élimination du couvert forestier naturel détermine une forte augmentation initiale du débit (jusqu'à 800 mm par an), et cet effet est probablement plus sensible dans les régions exposées à de fortes précipitations, en fonction principalement du volume de pluies reçu après l'intervention.
- Selon le régime pluviométrique, on constate un déclin assez irrégulier du gain en débit dans le temps, qui est corrélé à l'établissement d'un nouveau couvert. Aucune donnée n'a été publiée sur le nombre d'années nécessaires pour retrouver les débits totaux antérieurs à la coupe dans le cas d'une régénération naturelle, mais cela peut prendre plus de huit ans.
- Après maturation de la nouvelle couverture végétale, le débit peut rester supérieur au débit total initial en cas de conversion à des cultures annuelles, à des prairies ou à des plantations de thé; retrouver sa valeur initiale (plantation de pins après fermeture complète de la canopée); ou rester inférieur à sa valeur initiale (reboisement d'herbages avec des pins ou des eucalyptus). Une réjuvenilisation des eucalyptus après 10 ans se traduit par des réductions encore plus marquées pendant deux ans.

Source: Tiré de Bruijnzeel, 1990.

de la pluviométrie locale (encadré 3). Les pertes dues à l'évaporation et à la transpiration sont plus importantes dans les forêts sempervirentes que dans les forêts caducifoliées; la perte par évaporation est également moins élevée lorsque le climat est plus sec et moins venteux, les feuilles étant en général plus étroites et plus petites dans les climats secs (Nisbet et McKay, 2002).

L'étude, ancienne mais toujours d'actualité, réalisée par Bosch et Hewlett (1982) sur près de 100 comparaisons par paire menées dans des bassins versants du monde entier, indique que les débits totaux ont augmenté dans tous les bassins où la forêt a été supprimée. Des études plus récentes (par exemple, Grip, Fritsch et Bruijnzeel, 2005) ne démentent pas cette constatation, qui ne s'applique pourtant pas dans le cas de la coupe ou de l'élimination des forêts montagneuses de nuages (voir chapitre 4). Dans les forêts de conifères, où la neige est la principale source d'apport d'eau, les forêts à canopée fermée ou légèrement ouverte peuvent retarder la fonte de la neige. Les basses terres en aval ont ainsi plus de temps pour éliminer les écoulements, ce qui peut atténuer le risque d'inondation et augmenter le temps durant lequel la fonte de la neige procure de l'eau pour des usages en aval. Une

légère coupe d'écrouissage peut entraîner une augmentation du volume de neige sur le sol, en réduisant la neige accrochée aux cimes et son évaporation.

Faudrait-il donc supprimer les arbres ou les forêts parce qu'ils consomment beaucoup d'eau? Cette proposition, qui a parfois été avancée durant les périodes de sécheresse, conduirait cependant à une dégradation ou à la perte des nombreux biens et services que procure la forêt, dont la faune et la flore forestières, la réduction de l'érosion, l'amélioration de la qualité de l'eau (chapitre 3), les loisirs et l'attrait esthétique, la fixation du carbone, ainsi que la fourniture continue de produits forestiers. Dans les zones exposées à la salinité, les sels risqueraient de remonter à la surface (chapitre 4, troisième section). Dans les forêts de nuages, l'apport en eau serait réduit dans le bassin versant (chapitre 4, première section). L'élimination des forêts peut effectivement conduire à une augmentation de la quantité d'eau, mais les utilisations des terres qui remplacent la forêt sont plus intensives en termes d'activités humaines et/ou animales, ce qui est un problème majeur.

Les plantes herbacées constituent une couverture de bassin versant adéquate pour améliorer le débit, mais elles présentent deux principaux points faibles: d'une part, les terrains exposés aux glissements sont dépourvus d'arbres, et les racines ne peuvent donc plus renforcer la stabilité des pentes; d'autre part, le surpâturage est généralement toléré et entraîne la compaction des sols, voire leur érosion, ce qui augmente les débits de pointe, peut provoquer le déversement de sédiments dans les cours d'eau et même une réduction de l'infiltration si importante que les flux de base diminuent (Hamilton et King, 1983). L'exploitation forestière, par le biais d'une coupe partielle ou d'une régénération de la forêt, maintient le site sous couvert forestier (ce qui ne serait pas le cas s'il était converti à d'autres utilisations) et elle permet d'accroître temporairement le débit tout au long de l'année. Toutefois, les pistes de débardage, de transport, de treuillage et d'atterrissage aménagées pour extraire le bois altèrent en général la qualité de l'eau, car leur construction accélère l'érosion tant que l'état initial n'est pas rétabli. L'augmentation du débit sera plus particulièrement prononcée sur des sols plus épais, où les arbres profondément enracinés exploitent davantage l'humidité des sols. Thang et Chappell (2005) présentent un ensemble de directives mises à jour pour réduire l'impact hydrologique de l'exploitation forestière en Malaisie.

Les effets du boisement ou du reboisement sur le débit sont généralement l'inverse des effets obtenus par l'élimination de la forêt (Hamilton et Pearce, 1987). Ils varient selon l'état de santé hydrologique des terres ou leur dégradation due à une utilisation non durable pendant de nombreuses années. Localement, dans le cas d'épisodes pluvieux de courte durée et de faible intensité, les crues soudaines devraient diminuer lorsque les sols sont épais. Le débit d'étiage diminue aussi en général, surtout lorsque des essences à croissance rapide et à forte consommation d'eau sont utilisées (étude de cas 1). Ainsi, après que la Commission des îles Fidji a mis en œuvre un programme de boisement en pins des Caraïbes dans les prairies de la zone sèche, le débit de saison sèche a diminué de 65 pour cent (Kammer et Raj, 1979). Il existe de nombreux exemples de réduction des débits suite à la plantation d'eucalyptus, ce qui a conduit la FAO à publier une brochure intitulée *Le dilemme*

de l'eucalyptus (FAO, 1988b). Scott, Bruijnzeel et Mackensen (2005) ont passé en revue les expériences et les recherches menées sur le sujet. Le reboisement dans les montagnes où des brouillards et nuages persistants sont poussés par le vent

ÉTUDE DE CAS 1

Les plantations forestières dans les zones semi-arides d'Afrique du Sud

L'Afrique du Sud est un pays où l'eau est rare. Les précipitations, dont le volume annuel est de l'ordre de 500 mm, sont mal réparties. Avec environ 1 400 m³ d'eau par personne et par an, l'Afrique du Sud est classée parmi les pays dont la disponibilité en eau est l'une des plus faibles du monde. Les forêts à canopée fermée (principalement des plantations d'essences exotiques à vocation de bois d'œuvre de pins, d'eucalyptus et d'acacia) recouvrent seulement un peu plus de 1 pour cent des terres, mais elles sont situées dans les parties supérieures des bassins versants qui fournissent 60 pour cent de l'eau douce du pays. Presque toutes les plantations ont été aménagées sur d'anciennes prairies naturelles. Dans certains cas, le débit de l'eau diminue deux ans après la plantation. Les réductions du débit maximal se produisent assez vite dans ces plantations à croissance rapide, puis diminuent. L'Afrique du Sud n'est pas le seul pays à se préoccuper du volume d'eau prélevé par les plantations forestières, mais il est le seul à avoir imposé des redevances sur les plantations.

L'Acte relatif à l'eau de 1998 classe les plantations forestières parmi les activités entraînant une réduction du débit de l'eau; cette utilisation des terres est d'ailleurs la seule à être ainsi classée. L'une des raisons pour lesquelles les autres cultures sèches (maïs, blé, sorgho et canne à sucre) n'entrent pas dans cette catégorie est qu'on connaît moins bien la quantité d'eau qui leur est nécessaire. Les premiers permis de plantations à vocation de bois d'œuvre ont été délivrés en 1999. Les montants des permis sont calculés en fonction du budget de captage, qui comprend la surveillance et la gestion de l'eau, l'amélioration de la disponibilité en eau, les systèmes d'adduction d'eau et le financement des activités de préservation de l'eau. Chaque budget de captage est réparti selon le volume utilisé par chacun des secteurs économiques. Le volume affecté au secteur forestier a été fondé sur la moyenne pluviométrique dans la zone de captage en fonction des espèces, avec une référence de 60 mm de précipitations par an. En 2002, les redevances versées par le secteur forestier ont été de 2 à 6 rands sud-africains par hectare et par an. Les volumes utilisés par les divers secteurs sont actuellement réexaminés. L'absence d'un versement compensatoire ou d'une réduction des redevances pour les avantages que procurent les forêts en matière d'approvisionnement d'une eau de qualité est l'un des points faibles du programme. Les forêts interceptent les nutriments apportés par les précipitations et les recyclent; en réduisant l'érosion superficielle, elles diminuent aussi la quantité de sédiments nuisibles à la qualité de l'eau.

Source: Jacobsen, 2003.

devrait entraîner une augmentation du débit de saison sèche, mais aucune donnée scientifique ne conforte cette hypothèse (voir chapitre 4).

NIVEAU DES EAUX SOUTERRAINES

Le couvert forestier influe sur le niveau des eaux souterraines, des puits et des sources; il préserve également la qualité de l'eau. Foster et Chilton (1993) font l'observation suivante:

Dans les régions tropicales humides, les eaux souterraines doivent être considérées comme de précieuses ressources, mais potentiellement fragiles. Dans certains cas, ces régions sont extrêmement vulnérables à la pollution qui résulte de l'évacuation non réglementée des effluents liquides urbains et industriels, des déchets solides et de l'agriculture intensive, mais aussi de l'intrusion d'eau salée dans les régions côtières due à une surexploitation locale.

Cette observation ne s'applique pas uniquement aux régions tropicales humides. Un couvert forestier sur les sources d'eaux souterraines offre le degré de protection le plus élevé. Suite à l'exploitation ou à l'élimination des forêts, le niveau des eaux souterraines monte (Groupe de travail chargé d'étudier l'influence de l'homme sur le cycle hydrologique, 1972). Les sels contenus dans les couches supérieures du sol risquent d'atteindre la zone racinaire des végétaux et de produire des effets préjudiciables (voir au chapitre 4 l'expérience de l'Australie décrite dans la section consacrée aux forêts sur des sols sensibles à la salinité). Inversement, la plantation de forêts sur des terres inoccupées où la nappe phréatique affleure à la surface entraînera un abaissement du niveau des eaux souterraines, ce qui améliorera le drainage.

DIRECTIVES

L'élimination de la forêt, partielle ou totale, entraîne une augmentation du débit et du niveau des eaux souterraines. Ces effets se produisent surtout à l'échelle locale des petits bassins versants et ne doivent pas être extrapolés aux grands bassins, où les inondations ou l'insuffisance des débits de saison sèche posent un problème. Même au niveau local, ces effets peuvent être souhaités ou non. Ce ne sont pas les arbres qui retiennent l'eau, mais le sol, et les racines d'arbres jouent un rôle de pompe plutôt que d'éponge. La profondeur des sols et les caractéristiques des épisodes pluvieux modifient profondément la configuration générale. Des épisodes pluvieux de longue durée ou de forte intensité annulent généralement l'influence des forêts et de la manipulation des forêts sur le débit, à l'exception des effets produits dans le voisinage immédiat de la zone traitée. Les manipulations visant à accroître le débit doivent tenir compte d'une dégradation possible de la qualité de l'eau (voir chapitre 3) et d'autres valeurs, telles que la protection contre les glissements de terrain et les avalanches, la conservation de l'habitat de la faune et la préservation de la biodiversité.

En ce qui concerne la qualité de l'eau, le boisement ou le reboisement sur des terres inoccupées a généralement les effets inverses de ceux produits par l'élimination de la forêt. La charge sédimentaire peut parfois être sensiblement réduite, ce qui peut atténuer la gravité des inondations.