

les incidences de la (dé)forestation sur l'environnement dans les zones tropicales humides

Dr. L.A. BRUIJNZEEL

1. Introduction

Les estimations de l'étendue de l'espace forestier (naturel) et le rythme auquel les forêts disparaissent dans les zones tropicales humides varient considérablement selon les chercheurs. Ces écarts sont dûs, pour une part, aux différences de définition de ce que l'on entend par «forêt tropicale» ou par «déforestation» et, d'autre part, à l'utilisation de différentes collections de données. Cependant, que le rythme actuel de transformation des forêts soit de 9 à 15 ou même de 25 millions d'hectares par an, le sentiment général est que la disparition de la forêt tropicale humide constitue un problème écologique crucial pour l'humanité.

Par la diversité des espèces végétales et animales qu'elles renferment, les forêts tropicales sont une source formidable de nourriture, de fibres, de bois d'oeuvre, de

médicaments et de combustibles. De plus, elles remplissent certaines fonctions écologiques, culturelles et spirituelles pour les habitants des régions tropicales. Elles intéressent enfin l'économie mondiale dans son ensemble en ce qu'elles constituent un élément important du bilan du carbone planétaire ainsi qu'un capital génétique majeur que l'on commence tout juste à explorer, par exemple dans la recherche de produits pharmaceutiques pour combattre certaines des maladies les plus graves dont l'homme est victime.

La forêt des zones tropicales humides peut être utilisée à diverses fins. La première consiste à maintenir la forêt à l'abri de perturbations par l'homme pour la protection de réserves naturelles, de versants à fortes pentes, des régions à relief instable, etc... La deuxième est la gestion des forêts naturelles dans la durée en vue d'une production régulière de bois ou d'autres produits et pour remplir des fonctions de conservation du sol et de l'eau, de la flore et de la faune sauvages, des ressources génétiques, celle de lieux de détente etc... La troisième possibilité consiste à défricher la forêt et en utiliser la terre pour la production agricole et l'élevage, pour les plantations et l'agroforesterie. La déforestation pour l'aménagement d'aires de peuplement, de routes, d'exploitations minières etc... appartient également à cette catégorie d'utilisations. Aider les décideurs à choisir entre ces possibilités engage la responsabilité de la communauté scientifique.

C'est pourquoi il importe de résumer ici ce que l'on sait du rôle des forêts tropicales (et des arbres) vis-à-vis du **climat**, du **sol** et de l'**eau**. On lit souvent que la déforestation dans les régions tropicales a pour résultat une érosion générale du sol entraînant la sédimentation des réservoirs, l'occurrence de crues, de graves sécheresses, la désertification, etc... Cependant, le terme générique de «**déforestation**» est utilisé de façon si ambiguë qu'il en a perdu son sens qui est de décrire le **changement d'utilisation de la terre**. Ainsi il qualifie parfois des activités aussi diverses que les cultures itinérantes, le ramassage du bois de chauffage et l'exploitation forestière industrielle. Or l'impact des coupes manuelles pour obtenir du bois de chauffage n'a rien à voir avec celui d'une exploitation forestière utilisant du matériel lourd. De même, l'impact de l'utilisation agricole des terres après enlèvement des souches d'arbres dépendra de la prise ou non de mesures de conservation du sol appropriées. Par conséquent, pour évaluer convenablement l'impact de la «déforestation» tropicale sur l'environnement, il faut décrire avec précision les changements d'utilisation de la terre ou les activités envisagées.

Dans les chapitres suivants, sera évoquée la manière dont l'eau et le sol répondent aux principales transformations de la forêt que sont les cultures itinérantes, l'exploitation commerciale, la reconversion en plantations d'arbres forestiers et arbustives en pépinières, la reconversion en prairies, la reconversion en cultures annuelles, l'agroforesterie, le reboisement.

On s'intéressera particulièrement à l'impact de ces modifications sur les précipitations, le régime des cours d'eau, l'intensité et la fréquence des crues, l'érosion des sols en place, la production de sédiments et la régulation des substances nutritives du sol pour la végétation.

Après avoir présenté les faits scientifiques concernant l'impact environnemental des divers types de déforestation et de reboisement, on discutera des méthodes d'aménagement d'ensemble des bassins versants en tant qu'outils efficaces de planification de l'exploitation des ressources forestières.

2 Les incidences sur l'environnement

2.1. Les forêts et les précipitations

Dans maintes régions tropicales humides, la profonde érosion du sol consécutive au défrichement agricole de la forêt a produit de vastes étendues à végétation rare. Ceci conduit à penser que la suppression du couvert forestier est cause intrinsèque de sécheresse et de désertification. Mais en dépit de leur apparence ingrate, ces aires ne sont pas désertiques au sens fort du terme et reçoivent fréquemment plus de 2000 mm de précipitations par an. L'idée corrélatrice souvent rencontrée est que les forêts (et par conséquent la plantation d'arbres intensive) favorisent la pluie.

Les experts s'accordent à reconnaître qu'il n'y a pour l'instant aucune évidence permettant de conclure que les forêts des régions humides du globe aient un effet significatif sur la quantité totale des précipitations reçues sur des zones étendues ou même localement, si ce n'est dans des cas particuliers. Deux de ces cas, celui des forêts de l'Amazonie et celui des «forêts à nuages», demandent à être étudiés plus en détail.

2.1.1. Le cas de la forêt amazonienne

Le mesurage des concentrations d'oxygène - 18 et de deuterium dans les précipitations du bassin amazonien laisse à penser que le recyclage de la vapeur d'eau par évapotranspiration de la forêt peut constituer une source importante de l'humidité atmosphérique alimentant les chutes de pluie de la région. Un modèle, découpant le bassin amazonien central en bandes de 3° de longitude, a montré que le gradient des concentrations isotopiques observé pouvait s'expliquer en supposant que, dans chaque bande, les chutes de pluie provenaient par moitié du recyclage de l'évapotranspiration à l'intérieur même de la bande, et par moitié de la vapeur d'eau issue de la bande orientale voisine. La situation géoclimatique du bassin amazonien - plaine en forme de fer à cheval, ouverte aux alizés d'est chargés d'humidité et bien protégée à l'ouest, au nord et au sud par le relief et les hauts plateaux - suggère en effet cette hypothèse. A l'appui de cette thèse, les bilans hydrologiques régionaux montrent que 74 à 81% des précipitations reçues retournent dans l'atmosphère par évapotranspiration de la forêt, le reste rejoignant les cours d'eau.

Si la forêt amazonienne alimente elle-même une proportion importante des précipitations qu'elle reçoit, l'élimination en grand de ce couvert forestier à des fins agricoles peut avoir des conséquences climatiques importantes, tant locales que régionales. En bref, les phénomènes s'enchaîneraient comme suit. La réduction de la capacité d'infiltration du sol perturbé produit un accroissement du ruissellement de surface et cette eau est ainsi détournée du mécanisme de recyclage décrit ci-dessus. L'évapotranspiration continue à alimenter l'atmosphère en humidité, mais à une cadence ralentie dès lors que cette humidité provient d'un moindre emmagasinement d'eau dans le sol. Il finit donc par se produire une diminution de la quantité d'eau recyclée et, partant, une réduction du couvert nuageux local et des précipitations correspondantes.

On a tenté maintes fois d'estimer les effets climatiques de la déforestation de l'Amazonie : les résultats en ont été contradictoires, dûs en partie aux modèles utilisés et en partie aux hypothèses faites. D'après les simulations paraissant les plus fiables, une reconversion à grande échelle de la forêt amazonienne en pâturages entraînerait une diminution des précipitations annuelles d'environ 220 mm, soit 11% de la moyenne à long terme. Or la période de sécheresse que vient de subir l'Amazonie centrale représente déjà le maximum que puisse supporter l'écosystème de la forêt. Toute prolongation de la saison sèche ou toute diminution des précipitations sur

d'autres périodes de l'année pourrait provoquer des changements de végétation irréversibles et accroître également les risques d'incendie.

Dans la mesure où la reconversion totale de l'immense bassin amazonien à l'agriculture a peu de chances de se réaliser, les changements climatiques inférés seront probablement moins dramatiques que ceux prédits ci-dessus. On a estimé que les transformations de 10, 20 et 40% de la forêt en plantations et cultures entraîneraient respectivement une diminution des précipitations d'environ 2, 4 et 6%. Bien qu'approximatifs, ces résultats laissent à penser que les effets régionaux de transformations (limitées) des forêts sur les précipitations annuelles n'atteindront pas un point de gravité catastrophique.

Les changements du régime thermique planétaire étaient presque insignifiants dans les simulations précédentes dont les modèles ne prenaient en considération que les modifications primaires de la surface du sol, tels que le changement d'albedo. Les effets secondaires, comme l'impact de la déforestation sur le bilan global du CO² atmosphérique, n'étaient pas inclus bien qu'ils puissent avoir de sérieuses conséquences. Aussi, tant que la prise en compte des mécanismes faisant intervenir la couverture du sol dans les modèles de climat ne sera pas améliorée, il est vain d'espérer obtenir des conclusions fermes sur les incidences climatiques possibles de la déforestation dans les zones tropicales. Un travail fondamental s'impose, à mener en étroite concertation par les météorologues et les hydrologues.

2.1.2. Le cas des «forêts à nuages»

Dans les «forêts à nuages», on constate une augmentation significative des précipitations atteignant la surface du sol, comparées à celles des forêts voisines «sans nuages». Ces forêts se rencontrent sur des sites à conditions physiques et climatiques particulières, tels que zones cotières à bancs de brumes ou altitudes élevées fréquemment ennuagées. Elles couvrent cependant environ 500.000 km² soit presque 5% de la surface totale des forêts tropicales humides.

En raison de leur situation spécifique, les «forêts à nuages» reçoivent davantage de précipitations par un processus de déchirure des couches de brouillard et de nuages par les arbres, dénommé «précipitations horizontales». Cet apport supplémentaire peut être considérable autour d'arbres isolés ou de rangées d'arbres.

L.A. BRUIJNZEEL

Bien qu'il paraisse être moindre dans les forêts denses en raison de la protection que les arbres se portent mutuellement, plusieurs évaluations récentes font état d'apports très importants (de centaines de mm par an) dûs aux égouttures de brouillard dans les forêts naturelles exposées à des brouillards persistants et aux nuages amenés par les vents. Des valeurs typiques de ces apports en zones tropicales humides vont de 7 à 18% des précipitations habituelles de la saison des pluies à plus de 100% de celles de la saison sèche.

La reconversion des «forêts à nuages» en terres agricoles dans les zones tropicales humides provoquerait donc une diminution notable et souvent irréversible de l'écoulement de surface et de la réalimentation des nappes phréatiques. Ceci, et le fait que de telles forêts constituent des écosystèmes tout à fait particuliers («forêts moussues», «forêts de contes de fées»), plaide en faveur de leur conservation.

2.2. Les forêts et les ressources en eau

Il est communément admis que le complexe des sols, des racines et de l'humus forestiers agit comme une éponge, absorbant l'eau pendant les pluies et la restituant de façon régulée en période sèche. Bien que le sol des forêts ait généralement une plus grande capacité d'infiltration et d'accumulation que les sols moins riches en matières organiques, la majeure part de l'eau absorbée est réemployée par la forêt plutôt que restituée à l'écoulement du réseau hydrographique. D'autre part, des quantités appréciables de pluie (environ 20%) sont interceptées par la voûte foliaire des forêts tropicales et réévaporées dans l'atmosphère. Les études mentionnées sur le bilan hydrologique en Amazonie centrale l'illustrent : la transpiration plus l'évaporation de l'eau interceptée représenteraient 74 à 81% des précipitations reçues (environ 1.800 mm par an) et l'écoulement 19 à 26% seulement, soit une proportion de 3 à 4 pour 1.

Qu'arrive-t-il à l'écoulement lors de la suppression du couvert forestier en climat tropical humide ? La centaine d'expérimentations effectuées sur des couples de bassins (dont quelques-uns en zone tropicale), pour évaluer les effets de la modification de la végétation sur le rendement en eau du bassin traité, a montré qu'aucune expérience de réduction délibérée du couvert végétal ne provoquait une réduction de rendement en eau et qu'aucun accroissement délibéré du couvert ne

causait un accroissement de ce rendement. En d'autres termes, la **suppression** du couvert forestier **augmente** l'écoulement de surface et le **reboisement** des terres naturelles le fait **diminuer**.

La réaction de l'écoulement de surface à la déforestation ou au reboisement dépend du type de déforestation, du climat et de la géologie de la région aussi bien que des précipitations pendant et après la mutation opérée.

On dispose à ce jour de peu d'informations pour quantifier les effets des transformations du couvert forestier dans les zones tropicales humides, car la plupart des études de bassins couplés entreprises au cours des dix dernières années, notamment en Malaisie, en Guyane française et en Indonésie, sont encore en cours.

Toutefois les conclusions provisoires suivantes peuvent être tirées des résultats publiés :

- quelques résultats, correspondant aux conditions des zones tropicales humides, indiquent que la suppression du couvert forestier naturel peut conduire à un accroissement d'écoulement considérable (jusqu'à 450 mm par an) ;

- quel que soit le type de transformation opéré, les accroissements les plus importants sont normalement observés dans l'année qui suit la transformation avec ensuite une baisse plus ou moins régulière (selon le régime des pluies) en relation avec l'établissement du nouveau couvert végétal;

- les écoulements de surface après traitement peuvent excéder ceux d'avant traitement (cas de prairies annuelles, de plantations de thé ou de conifères modérément denses en Indonésie), ne pas accuser de différence notable (cas de plantations de pins très denses en Afrique orientale d'environ 9 ans d'âge) ou même descendre en dessous des niveaux d'avant traitement comme le suggèrent des résultats obtenus à Madagascar avec les eucalyptus. En cas de régénération forestière annuelle, il peut s'écouler un laps de temps considérable avant que le niveau de l'écoulement de surface ne redevienne ce qu'il était à l'origine (Madagascar), bien que parfois le processus puisse être plus rapide (données recueillies à Taïwan).

- la reforestation de grandes étendues par des espèces à croissance rapide, comme les **pins** et les **eucalyptus**, prendra, de plus en plus d'importance dans un

proche avenir. Les informations sur les besoins en eau de ces espèces (un plus grand besoin impliquant une moindre disponibilité d'eau en tant que ressource et *vice versa*) présentent, par conséquent, un très grand intérêt pour les responsables de la planification des ressources en eau. Toutefois les résultats des expérimentations faites à Madagascar doivent être interprétés avec précautions car les comparaisons ont été établies entre bassins versants de tailles différentes : comme les petits bassins présentaient régulièrement des rendements en eau moindres que les grands bassins à couvert végétal analogue, on ne sait pas jusqu'à quel point le déficit moyen de production d'eau des petits bassins de recherche (couverts d'*Eucalyptus robusta*), indiqué comme étant lié à la reconversion de la forêt naturelle à l'eucalyptus, représente en fait des différences naturelles entre les bassins étudiés. Par ailleurs et en milieu subtropical - en Inde et en Afrique du Sud - on a constaté une baisse sérieuse de l'écoulement de surface après le reboisement de brousses et de prairies avec des *Eucalyptus grandis*, ces deux régions étant soumises à de longues saisons sèches. Enfin, les études effectuées n'ont pas comparé l'utilisation de l'eau par les forêts et par les eucalyptus de grande taille et, au stade actuel, leurs résultats pourraient être d'une applicabilité limitée.

- on a noté de la même façon d'importantes baisses de niveau des écoulements à la suite du reboisement de prairies en pins aux îles Fidji et en Afrique du Sud.

En conséquence, bien qu'il faille s'attendre à une diminution importante de la ressource en eau lorsque l'on reboise la brousse et les prairies, la situation est moins claire lorsqu'il s'agit de la reconversion de forêts naturelles en forêts plantées. Il est évident que les recherches doivent se poursuivre et l'on attend avec intérêt les résultats des études effectuées en Guyane française où sont comparés les effets de la reconversion de la forêt originelle des basses terres en plantations de pins et d'eucalyptus ou en prairies.

Une autre transformation importante est celle de la forêt en **arboriculture d'extraction** (palmier à huile ou caoutchouc). Après les premières observations sur lysimètre laissant entrevoir une utilisation d'eau par les jeunes palmiers à huile de Malaisie considérablement supérieure à celle que l'on impute généralement à la forêt humide des basses terres, une recherche comparative est en cours. Quant au caoutchouc, l'écoulement d'un bassin hydrographique forestier dans l'ouest de la Malaisie, dont 13% de la superficie est occupée par des plantations de caoutchouc,

ne présente pas d'écarts importants avec celui d'un bassin voisin entièrement forestier. Il se pourrait cependant que la zone plantée soit trop restreinte pour qu'apparaissent des différences : des comparaisons plus poussées seraient souhaitables.

L'absence presque complète de publications concernant l'impact des **cultures itinérantes** ou celui de la conversion des forêts naturelles en **cultures annuelles** sur l'écoulement est surprenante dans la mesure où ces deux activités sont en grande partie responsables de la destruction des forêts tropicales. La documentation disponible traite seulement des effets sur la capacité d'infiltration du sol, le ruissellement de surface et l'érosion in situ.

La comparaison de l'écoulement et de l'évapotranspiration d'un bassin forestier et d'un bassin agricole dans les hautes régions de Tanzanie, effectuée sur 11 années, a conduit à des constatations qui, bien qu'atypiques des zones tropicales humides (longues saisons sèches; intensité relativement faible des chutes de pluie allant de pair avec une grande capacité d'infiltration des sols volcaniques), n'en sont pas moins révélatrices :

- la consommation d'eau du bassin agricole (50% en cultures annuelles et 50% en pâturages) était en moyenne annuelle de plus de 400 mm par an, et inférieure à celle de la forêt de montagne.

- pendant la saison des pluies, l'utilisation d'eau par la forêt, les terres cultivées ou les pâturages était du même ordre, mais de grandes différences apparaissent au cours de la saison sèche;

- durant les 11 années observées, et à la grande surprise du chercheur lui-même, aucune détérioration de l'environnement ne s'est produite dans le bassin agricole.

On peut par conséquent conclure que le **défrichement à des fins agricoles** peut sauvegarder de grandes quantités d'eau et **n'aboutit pas nécessairement à une dégradation de l'environnement**. Il faut cependant faire remarquer que, **dans la plupart des cas où cette dégradation se produit, de mauvaises pratiques de conservation du sol sont à mettre en cause**. Même si la faible érodibilité du sol dans l'expérimentation mentionnée en explique les résultats exceptionnels, ils démontrent qu'une gestion de l'eau en milieu tropical est possible si, en même

temps que l'on modifie le couvert végétal, l'on prend des mesures adéquates de conservation du sol.

2.3 Les forêts et les écoulements en saison sèche

Après avoir discuté des forêts et des ressources en eau considérées dans leur globalité, il n'est pas surprenant de constater que c'est pendant la saison sèche que l'on a pu observer les augmentations relatives les plus importantes de l'écoulement de surface après défrichement de la forêt ou, le cas échéant, les diminutions les plus considérables après reboisement de la brousse, de pâturages ou de terres incultes. Ces différences des taux d'écoulement de saison sèche entre les zones boisées et les zones non boisées ont toutes chances de s'accuser au fur et à mesure que la saison sèche s'intensifie.

Comme ces observations concernent des bassins de recherche sans dégradation du sol après transformation, les conclusions générales relatives aux zones tropicales ne sont malheureusement pas aussi favorables. La diminution de l'infiltration a généralement pour résultat une augmentation du ruissellement direct durant les périodes de pluie. L'eau ainsi perdue ne peut contribuer à l'infiltration en profondeur, et le résultat en est une diminution de l'écoulement en saison sèche.

2.4 Les forêts et les crues

On estime que la destruction des forêts dans les zones tropicales montagneuses est cause principale de crues sévères dans le nord de l'Inde, la Chine ou les Philippines. En même temps, l'opinion courante veut que la solution à ce problème crucial soit la reforestation des hauts bassins.

On a pu montrer que l'exploitation forestière par engins mécaniques ne pouvait être suspectée d'accroître les volumes du ruissellement d'averses dans les **grands** cours d'eau mais que, néanmoins, de faibles mais indéniables augmentations pouvaient s'observer dans les cours d'eau de moindre importance et être attribuées à la partie déboisée de l'aire d'alimentation. Ce type de réaction aux précipitations reflète l'état du sol, généralement plus humide lorsque la végétation a été supprimée,

joint à une contribution directe accrue de zones imperméabilisées - telles que les routes d'exploitation forestière et autres - au ruissellement. Les niveaux de crues des rivières principales résultent de l'intégration des apports de nombreux bassins élémentaires. Ces contributions s'additionnent en se propageant vers l'aval, bien que leurs effets soient tempérés par le décalage dans le temps des flots de crue des divers affluents et/ou par une désynchronisation liée aux variations, dans l'espace et dans le temps, de l'intensité des précipitations. Comme les travaux d'exploitation de routine n'affectent en même temps qu'un **espace forestier limité**, leurs effets locaux iront en s'amenuisant au fur et à mesure que la crue se déplace vers l'aval.

On reconnaît cependant "qu'un défrichement **étendu** des forêts tropicales et la mise en culture consécutive de ces zones peuvent avoir des effets cumulatifs sur l'inondation des vallées et le débordement des rivières, allant bien au-delà de la portée des effets que peuvent avoir les travaux d'exploitation forestière sur les crues".

Qu'apportent les recherches menées en zones tropicales à cet égard ?

Les effets sur le ruissellement de la conversion de plusieurs centaines d'hectares de forêts montagneuses en plantations de thé ont été étudiés en Afrique Orientale. Du fait de la nature **très perméable** du sol volcanique sous-jacent, le volume annuel des écoulements dans la région était peu important, aussi les effets de cette conversion ont-ils été faibles en valeur absolue. De plus, le phénomène a été de courte durée et a disparu lorsque les théiers ont atteint leur maturité. Aucune différence n'a été constatée entre les ruissellements d'averses provenant d'un bassin forestier et d'un bassin cultivé, constitués l'un et l'autre de sols volcaniques en Tanzanie, malgré l'absence totale de mesures de conservation du sol dans le second. Ce résultat est attribué à l'importance inhabituelle de la capacité d'infiltration du sol, combinée à une intensité modérée des précipitations. D'autres études n'ont pas réussi à déceler de grandes différences entre les volumes de ruissellement d'averses avant et après défrichement transformant la forêt en pâturages dans le Queensland en Australie. Dans cette expérience, les sols peu profonds et facilement saturés par les précipitations intensives de la saison humide produisaient des écoulements d'averse au taux étonnamment élevé de 47% établi sur une base annuelle.

Il semble donc, d'après ces expériences, que le milieu **climatique** et **géomorphologique** plutôt que l'utilisation des terres conditionne au premier

chef les écoulements de crues. Cependant, si l'on en juge par l'état déplorable de bien des bassins de rivières tropicales, il faut considérer les cas susmentionnés comme étant l'exception plutôt que la règle.

En effet, une augmentation du ruissellement de surface avec érosion du sol associée est fréquemment signalée après substitution des cultures à la forêt naturelle. Cependant, la présence ou l'absence de végétation forestière a peu d'effet sur l'intensité des très grandes crues dues principalement à un excès de pluie ou de fonte des neiges se produisant sur un laps de temps très court. L'agriculture ou l'élevage à grande échelle, générateurs de dégradations du milieu, peuvent aggraver les crues mais en aucun cas être tenus pour responsables des phénomènes extrêmes. L'importance des inondations dépendra en grande partie de la géométrie des bassins et des lits de cours d'eau, de l'état d'entretien des digues, de l'apport des zones urbanisées, etc...

Des diminutions considérables du ruissellement à la suite d'améliorations du couvert végétal ont été constatées lors d'expériences à petite échelle menées au nord de l'Inde. Il serait cependant peu sage, à la lumière des considérations précédentes, d'escompter une **élimination totale** des inondations par le reboisement de terres dégradées dans les bassins versants tropicaux. D'autant plus que les gestionnaires de bassins courent le risque de perdre leur **crédibilité** auprès des hommes politiques et du public lorsque les inondations continuent à se produire après reboisement, avec les graves conséquences que cela implique lorsqu'il s'agira de décider de l'utilisation des terres dans le futur.

2.5. Les forêts et l'érosion des sols en place

Contrastant avec les idées fausses concernant l'influence des forêts sur les précipitations, l'écoulement et les crues importantes qui viennent d'être évoqués, l'opinion courante, selon laquelle les arbres (particulièrement lorsqu'ils sont disposés en rideau) préviennent l'érosion du sol, est largement corroborée par des faits scientifiques.

Pour bien comprendre le problème, il est bon de distinguer l'érosion naturelle de celle causée par l'homme. On a enregistré de fait les taux d'érosion les plus forts dans des zones de forêts humides soumises à des mouvements tectoniques et à

des précipitations intenses : dans de telles circonstances, l'homme pourra faire peu de chose pour modifier ces taux. Cependant, dans les régions où le taux naturel d'érosion est peu ou moyennement important, l'action de l'homme peut être considérable, aussi bien pour l'accroissement de ce taux par une mauvaise gestion de la terre, que pour sa diminution par des mesures de conservation des sols et/ou le reboisement. Pour évaluer les effets locaux des forêts sur l'érosion, distinguera l'érosion par impact des gouttes de pluie ou en nappe dite «érosion superficielle», les pertes de sol en masse et l'érosion ravinante dès lors que la capacité des forêts à contrôler ces différents types d'érosion est éminemment variable.

Pour ce qui concerne le rapport entre les arbres et l'érosion superficielle, on se référera au **tableau 1** qui résume les conclusions d'environ 80 études effectuées dans les forêts tropicales et différents systèmes de cultures arbustives. Bien que les données réunies soient de qualité variable et reflètent des situations pédologiques diverses, il apparaît que l'érosion superficielle est minime dans les écosystèmes où la surface du sol est convenablement protégée de l'impact des gouttes de pluie par un humus et une couche d'herbe bien développés (n° 1 à 4). La suppression du sous-étage végétal peut amener un léger accroissement du taux d'érosion (n° 5), mais il s'intensifie de façon spectaculaire lorsque l'on supprime ou détruit la couche d'humus (n° 7 à 9). L'effet initial après transformation de la forêt est encore faible en raison de l'influence des matières organiques résiduelles sur la stabilité totale du sol et sa capacité d'infiltration (n° 7), mais le caractère persistant de la perturbation créée conduit à des conséquences beaucoup plus sérieuses (n° 8 et 9). Il apparaît ainsi que les formations arborescentes ne peuvent réduire l'érosion superficielle que lorsqu'on ne les modifie pas. Paradoxalement, les gouttes d'eau en coalescence, atteignent en chute libre depuis la voûte de la forêt, des énergies cinétiques plus importantes que la pluie non interceptée qui tombe en dehors de la forêt. Tant que les couches d'herbe et d'humus ne sont pas perturbées, elles résistent efficacement à cette énergie de frappe accrue, mais leur suppression est source de problèmes.

Il est inutile de souligner que le ramassage de l'humus (par exemple comme succédané combustible au bois) et le brûlage des forêts sont des pratiques indésirables qui doivent retenir l'attention des gestionnaires des bassins hydrographiques. L'effet bénéfique du fumage des terres agricoles est connu depuis longtemps et, dans des systèmes agricoles tropicaux utilisant des techniques de fumage, on observe des taux d'érosion, voisins de ceux des zones forestières.

Tableau I**L'érosion superficielle observée en zone tropicale
dans diverses forêts et écosystèmes arboricoles ou non**

(d'après WIERSUM, 1984)

Types de forêts et d'écosystèmes	Pertes en terre exprimées en tonnes par hectare et par an		
	minimum	moyenne	maximum
1 forêts naturelles (18/27) *	0.03	0.3	6.2
2 cultures itinérantes (période de jachère) (6/14)	0.05	0.15	7.4
3 forêts plantées non perturbées (14/20)	0.02	0.6	6.2
4 plantations d'arbres étagées (4/4)	0.01	0.06	0.14
5 cultures arbustives avec couverture végétale au sol (culture/paillis) (9/17)	0.10	0.75	5.6
6 cultures itinérantes (période de récolte) (7/22)	0.4	2.8	70.0
7 cultures dérochées sous de jeunes plantations forestières (3/6)	0.6	5.2	17.4
8 cultures arbustives avec désherbage total du sol (10/17)	1.2	47.6	182.9
9 plantations forestières avec humus supprimé ou brûlé (7/7)	5.9	38.4	104.8

* (a/b) a = nombre de sites b = nombre de cas observés

- L'influence du couvert forestier sur les **pertes en masse** (glissements de terrains, ravinements etc...) est variable. Elle est négligeable s'il s'agit de glissements profonds mais devient considérable dans le cas des glissements superficiels. Certains des taux d'érosion (naturelle) les plus élevés dans les zones de forêts humides sont causés principalement par des pertes en masse. Les taux de risque de glissements de terrain superficiels au sein des différentes formations géologiques peuvent être cartographiés à partir des déclivités et du relief. Ce type d'information - associé à des données sur la fréquence et la durée des précipitations - permet d'identifier les zones à haut risque requérant une attention spéciale au moment de l'affectation des terres à divers usages.

La plantation de **Pinus radiata** en Nouvelle Zélande a eu un effet bénéfique sur l'occurrence des ruptures de pentes et son efficacité s'est manifestée 5 ou 10 ans après la création du couvert forestier. Cet effet stabilisateur a été attribué au réseau de racines qui a renforcé la résistance de la pente aux glissements superficiels. Les arbres, cependant, n'ont pas été en mesure d'empêcher des affaissements plus importants, ni de contrôler la rétrogression de l'effondrement autour des parois frontales des couloirs d'érosion actifs.

- Ceci indique déjà que l'influence des arbres sur l'**érosion ravinante** est limitée. La protection des parois des couloirs d'érosion par des arbres à croissance rapide et par des herbages nécessite souvent des mesures stabilisatrices complémentaires par moyens mécaniques et la construction de collecteurs protégés pour détourner l'eau du front de ravinement. Afin de minimiser les effets de ce type d'érosion en aval, il peut s'avérer nécessaire de disposer des petits barrages de contrôle en série. Ainsi spécialistes des sciences de la terre, ingénieurs et forestiers devront travailler de concert pour rendre efficace la lutte contre le ravinement. Les techniques de restauration sont connues mais, s'agissant d'opérations complexes et onéreuses, il importe autant que possible de prévenir la formation de telles dégradations. Des ravinements en formation le long des routes forestières et des voies de glissement sont fréquemment signalés dans les forêts tropicales après les coupes qui peuvent perturber des aires importantes du sol forestier, d'où de graves détériorations de structure pour la terre végétale associées à une érosion superficielle.

Inversement, dans la zone des forêts humides du sud-ouest de l'Inde où

l'on emploie les éléphants pour transporter le bois, des coupes sélectives sont opérées sans qu'il y ait érosion du sol. On n'a pas non plus constaté de déperditions de terre importantes durant la première année de cultures sans labours après défrichement de la forêt au Nigéria si l'on utilise les méthodes traditionnelles : lorsque le défrichement est effectué par lames tranchantes l'érosion est moyenne, mais elle devient importante avec l'utilisation de machines spéciales. Ces constatations viennent étayer les conclusions tirées du **tableau 1**, à savoir que l'exploitation forestière doit le moins possible perturber les couches d'humus et la terre végétale.

Plusieurs pays tropicaux ont édicté des **directives** détaillées pour minimiser les effets érosifs des coupes de bois. Ces directives exigent la planification, avant coupe, de l'ensemble des équipements à utiliser, la reconnaissance des surfaces que l'on sait productrices de sédiments tels que les chemins de transport forestier, les voies de glissement et de débardage, les passages de cours d'eau ou les gués, les fossés etc... On a beaucoup insisté sur la conservation de bandes forestières tampons le long des cours d'eau pour retenir les sédiments avant déversement dans le réseau hydrographique. Mais on a observé qu'une telle zone tampon le long d'un cours d'eau n'avait qu'une efficacité relative pour retenir de (grandes) quantités de sédiments car, dans ce cas, la majeure part des sédiments produits sur le versant traversait la bande tampon par des ravinements primaires rejoignant le cours d'eau. Là encore, une planification soigneuse du tracé des routes et une réduction au minimum de l'écoulement de l'eau dans ces ravinements s'avèrent nécessaires.

2.6 Les forêts et la charge en sédiments des cours d'eau

L'érosion accélérée du sol crée non seulement des problèmes locaux tels que le déclin de la fertilité et de la productivité du sol : elle peut aussi avoir de très graves conséquences en aval. Un surcroît de sédiments transportés par les cours d'eau et leur dépôt dans les réservoirs et dans les estuaires perturbera non seulement les écosystèmes correspondants mais il écourtera la longévité des réservoirs utilisés pour lutter contre les inondations, pour la production d'électricité, la fourniture d'eau etc... La navigation fluviale et l'accès aux ports peuvent aussi être perturbés, tandis que l'exhaussement du lit accroît les risques d'inondation. On ne s'étonnera donc pas si les incitations à la reforestation intensive des hautes régions tropicales dégradées se font de plus en plus pressantes.

Il ne fait aucun doute qu'un couvert végétal adéquat réduit l'érosion des versants dans les régions où le taux d'érosion naturelle est moyennement important. Cependant, pour évaluer les bienfaits espérés de la reforestation et des programmes de conservation des sols, il faut faire la distinction entre bénéfices obtenus sur place et ceux à l'extérieur de la zone traitée.

Il est généralement admis que les mesures de conservation prises sur les lieux mêmes d'exploitation ont des conséquences bénéfiques locales plus ou moins immédiates, par exemple un accroissement de la productivité agricole, mais les améliorations à l'aval sont souvent plus difficiles à démontrer, en particulier pour les bassins hydrographiques dépassant 50 à 100 km².

Le processus d'érosion des berges, le dépôt et la remobilisation des sédiments dans les lits fluviaux obéissent à des mécanismes complexes qui ne sont pas encore bien maîtrisés, surtout lorsqu'il s'agit de grands bassins. En raison d'effets d'emménagement des sédiments, des modifications du taux d'érosion en amont se traduiront en aval, des dizaines d'années plus tard, par des diminutions de charge en sédiment dans les grands cours d'eau. Les résultats récents relatifs au réaménagement du Fleuve Jaune en Chine indiquent que l'on peut espérer dans environ 20 ans une diminution de 30% de la production de sédiments en provenance de vastes aires d'alimentation (de 1000 à 100.000 km²). En conclusion, si l'on dit souvent que le reboisement des hautes terres résoudra beaucoup de problèmes en aval, il faut bien spécifier le **facteur temps** impliqué.

2.7. Les forêts et l'économie des nutriments

Les forêts tropicales humides, établies sur des sols pauvres en substances nutritives, présentent souvent des cycles nutritifs extrêmement tendus. Elles ont donc développé tout un éventail de mécanismes de conservation de ces substances pour maintenir leur biomasse à un niveau élevé en dépit du manque général de nutriments dans le sol. La suppression de la forêt à des fins agricoles ou autres peut donc entraîner l'extraction massive de substances nutritives de l'écosystème, et par là gravement compromettre les utilisations futures de la terre.

Les divers bouleversements dont les forêts sont victimes peuvent perturber ces mécanismes de conservation, et provoquer ainsi des déperditions de nutriments.

L.A. BRUIJNZEEL

Les changements de l'économie des nutriments dans le sol, suite aux transformations de la forêt tropicale vont de l'indécélable dans le cas de perturbations naturelles de peu d'importance et de courte durée comme les chutes d'arbres, au considérable dans le cas de conversions à grande échelle, par exemple, en prairies permanentes.

- Les **cultures itinérantes**, affectant une durée et un espace moyens, peuvent causer des déperditions temporaires de substances nutritives par disparition de produits, lixivation du sol, dénitrification et érosion superficielle. On attribue la diminution de productivité agricole, généralement observée durant la phase de récolte des cultures itinérantes, à l'action combinée des facteurs ci-dessus. On a cependant découvert que ces déperditions étaient plus ou moins compensées par un apport externe de substances nutritives en provenance de déchets de bois brûlés ou décomposés. Les réserves nutritives des sols, dans le cas de cultures itinérantes, sont souvent plus importantes que celles des forêts d'alentour et, lorsque les parcelles sont abandonnées, les végétations successives font généralement preuve d'une croissance vigoureuse. En d'autres termes, la végétation naturelle est apte à exploiter les réserves nutritives du sol tandis que les cultures agricoles ne le sont apparemment pas. On notera cependant que, si l'état des substances nutritives du sol peut ne pas être trop affecté par les cultures itinérantes, l'écosystème en subit une déperdition certaine qui ne peut être compensée que par des apports provenant des eaux de pluie, de l'altération des roches ou d'engrais. Mais on n'oubliera pas que la fertilisation est souvent limitée sous les tropiques pour des raisons économiques.

- La transformation de la forêt tropicale en **prairies** a des effets analogues à ceux énoncés plus haut. Après quelques années, la productivité diminue en général et l'on constate souvent une détérioration physique et une érosion du sol dues au surpâturage. Par contre, la productivité des pâturages peut se maintenir sur les sols argileux de l'Amazonie par une combinaison du pâturage modéré, de l'utilisation d'engrais phosphorés et l'introduction de légumineuses dans les herbages.

- La transformation de forêts tropicales, croissant sur des sols pauvres en substances nutritives, en **forêts plantées** se présente sous un jour différent en ce que les arbres nouvellement plantés consomment beaucoup plus de nutriments que les cultures agricoles. Dans ce cas, la déperdition peut conduire à une diminution de productivité des futurs assolements forestiers. On réduira la déperdition de

substances nutritives liée à l'exploitation des forêts plantées en laissant sur place des déchets riches en nutriments tels que feuilles, brindilles et écorces et en n'enlevant que les troncs dépouillés et les grosses branches. En outre, les bandes forestières tampons le long des cours d'eau peuvent intercepter une proportion considérable de nutriments lixiviés et les empêcher ainsi d'atteindre le cours d'eau. Toutes les mesures suggérées pour empêcher l'érosion du sol, pendant et après la transformation de la forêt, sont également utiles pour enrayer la déperdition de substances nutritives liée aux pertes de sol.

A la connaissance de l'auteur, il n'existe à ce jour aucun rapport publié signalant les changements intervenus dans la composition de l'eau de rivière à la suite d'une perturbation de la forêt tropicale et/ou de sa transformation pour une utilisation autre. Ainsi la pénurie constatée de données fiables sur les effets hydrologiques des modifications des forêts tropicales est encore plus patente en ce qui concerne les conséquences chimiques de ces opérations dont on ne sait toujours pas grand'chose...

3. Vers une gestion intégrée du bassin hydrographique

Ce rapport a été centré sur les impacts environnementaux de la transformation des forêts tropicales étroitement liés aux processus hydrologiques : c'est pourquoi le choix du **bassin versant** comme élément géographique fondamental de gestion s'impose tout à fait logiquement.

En général, la gestion des ressources régionales a pour objectif d'utiliser la productivité des systèmes naturels au bénéfice de la population, tout en s'efforçant de réduire au minimum le gaspillage de ces ressources et les nuisances pour l'environnement, à la fois dans et en dehors de la région. Tout développement implique une utilisation souvent intensive des ressources de la forêt, des terres et de l'eau : c'est encore dans le cadre du bassin hydrographique que se posent les principaux problèmes physiques et socio-économiques à prendre en considération, notamment lorsqu'il s'agit d'identifier et d'évaluer les effets «aval» d'activités «amont».

L'exploitation à long terme des terres et des ressources dépend de

l'interaction de toutes les activités dont le bassin est le siège. Le bassin offre ainsi aux planificateurs et aux gestionnaires de l'environnement un cadre dans lequel doivent s'intégrer les divers programmes sociaux, agricoles, forestiers, halieutiques et techniques, ayant pour objectif l'amélioration des conditions de vie des populations.

Les méthodes de gestion des bassins ne seront pas présentées ici : des directives détaillées sur la conservation de l'eau et des sols en relation avec l'exploitation forestière, avec la reconversion des forêts en pâturages, plantations arboricoles et culture à récoltes annuelles, ont été récemment publiées.

Les gestionnaires de l'environnement ne peuvent faire les bons choix que s'ils sont bien informés des effets de l'élimination de la forêt tropicale ou du reboisement. Comme on l'a déjà dit, les planificateurs et les gestionnaires de bassins perdront leur crédibilité auprès du public si les bénéfices escomptés des programmes de réaménagement des bassins sont utopiques. C'est pourquoi cet exposé tente de brosser un état des connaissances le plus à jour possible de l'influence des forêts sur le cycle hydrologique avec référence particulière aux zones tropicales humides, afin de contribuer à mieux faire comprendre une question malheureusement encore obscurcie de préjugés, résultant d'informations fausses, d'interprétations erronées, voire même encombrée de mythes.

4. Résumé et conclusions

Bien que les estimations du taux et de l'importance de la déforestation (au sens ici de reconversion de la forêt en couvert végétal non forestier) dans les zones tropicales humides varient considérablement, tous les spécialistes s'accordent à reconnaître que le problème appelle une action immédiate. Dans le même temps, on constate une tendance de plus en plus accusée à croire qu'une plantation intensive d'arbres résoudra la plupart sinon tous les problèmes posés. C'est pourquoi, afin de pouvoir prendre des mesures efficaces, les décideurs doivent s'informer sérieusement des conséquences **réelles** des diverses formes de déforestation et/ou de reboisement. Le présent exposé rend compte, de façon critique, d'un certain nombre d'assertions souvent avancées à propos des forêts et de leur influence sur les composantes du cycle de l'eau que sont les précipitations, l'écoulement de surface, les crues et la production de sédiments.

- Les effets d'une déforestation à grande échelle sur les **précipitations** semblent très faibles. Cependant, il serait peu sage d'en tirer actuellement des conclusions définitives tant que la paramétrisation des processus prenant en compte le couvert végétal dans les modèles climatiques n'est pas améliorée. Une exception doit toutefois être faite pour les cas très spéciaux avec de occurrence fréquente de brouillard ou de nuages bas : la végétation forestière peut alors intercepter l'eau atmosphérique en grande quantité et alimenter ainsi l'humidité du sol. L'élimination de ces «forêts à nuages» peut donc conduire à une diminution de l'infiltration dans le sol et, par conséquent, de l'écoulement de surface. A ce jour, on ne dispose malheureusement d'aucune confirmation expérimentale et quantifiée du phénomène.

- Quant à l'influence des forêts sur la **ressource en eau** (écoulement total), il est certain que les forêts naturelles et celles créées par l'homme, parvenues au stade de maturité, utilisent davantage d'eau que la plupart des cultures agricoles. **La reforestation des terres dégradées amènera, par conséquent, une diminution de la disponibilité d'eau**, à moins que l'accroissement de l'évapotranspiration ne soit contrebalancé par un accroissement supérieur de la capacité d'infiltration du sol après reboisement (ce qui n'a pas encore été signalé). Inversement, **la suppression du couvert forestier se traduira généralement par une plus grande quantité d'écoulement total disponible.**

- Lorsque l'on évalue les effets de la présence ou de l'absence de couvert forestier sur **l'intensité des crues et sur la production de sédiments**, il faut tenir compte du contexte géologique et climatique ainsi que du type d'érosion (superficielle, ravinante ou en masse). On a vu certaines zones forestières tropicales produire de grandes quantités de ruissellement et/ou de sédiments. **Un couvert végétal continu** est relativement apte à réduire le ruissellement du bassin, encore qu'on ne répètera jamais assez **qu'il ne peut empêcher totalement les crues**, surtout les plus violentes. Il vaut mieux abandonner tout espoir vain à cet égard, sinon les planificateurs de l'environnement risquent de perdre leur crédibilité auprès du public et des politiques, au détriment d'une saine gestion prospective des ressources du bassin.

- Lorsque l'humus ou la sous-couche végétale sont stabilisés, **l'érosion superficielle** est généralement minime. De même lorsqu'un réseau racinaire s'est développé sur un versant, il s'ensuit une plus grande stabilité et par conséquent une plus grande résistance à **l'érosion massive**. La maîtrise de ces deux types d'érosion

contribuera aussi à réduire **l'érosion ravinante**, mais la mise en oeuvre de protections mécaniques de complément sera souvent nécessaire. Selon l'importance de la déforestation et les bouleversements de la surface du sol et du réseau racinaire qui lui sont liés, ces effets bénéfiques peuvent disparaître lors des défrichements. Le reboisement doit normalement réduire la quantité de sédiments transportée par les cours d'eau mais, du fait des dépôts dans les lits, des dizaines d'années pourront s'écouler avant que l'on n'observe une diminution notable de la charge en sédiments des cours d'eau à l'aval de bassins de plus de 50 à 100 km².

- La déforestation provoque généralement une **déperdition** de substances nutritives dans l'écosystème par élimination effective de nutriments dans les bois enlevés, par lixivation ou érosion du sol après défrichement. Même si des réserves de substances nutritives subsistent dans les sols autrefois forestiers, on observe souvent un déclin appréciable de productivité agricole, associé à une modification de la disponibilité de ces nutriments. Ainsi dans des cas de transformation de terres peu productives en forêts plantées à croissance rapide, on pourra observer des ralentissements de croissance après une ou deux rotations.

- Tout ceci conduit à constater que **les conditions défavorables à l'environnement, si souvent observées après la déforestation de zones tropicales humides, ne sont pas tant le résultat de la déforestation en soi que des mauvaises pratiques d'utilisation des terres après la déforestation.** Des expériences en Afrique orientale ont montré que la transformation des forêts n'entraîne pas nécessairement une détérioration de l'environnement, à condition que des mesures de conservation appropriées, pendant et après la transformation, soient mises en oeuvre (par exemple construction de routes et de ponceaux pour l'exploitation forestière, maintien de bandes forestières tampons riveraines, aménagement en terrasses des terres cultivables à flanc de coteau, surveillance des cours d'eau, etc...). **C'est précisément sur de telles mesures que les espoirs pour l'avenir sont fondés.**

- Le **bassin hydrographique**, considéré en tant qu'unité de planification, constitue un cadre naturel (qui lie amont et aval) dans lequel les activités de l'homme et leur impact sur l'environnement peuvent faire l'objet d'évaluations économiques en termes de productivité et de qualité de la ressource en eau. La gestion intégrée du bassin requiert alors la confrontation des ressources naturelles et des besoins de la population d'une manière qui soit économiquement et écologiquement raisonnable et socialement acceptable.

- Des progrès considérables ont été réalisés en matière de **gestion** des bassins hydrographiques tropicaux au cours des dix dernières années. Cependant, on manque toujours cruellement de données fiables et de qualité sur les conséquences hydrologiques de la transformation des forêts humides en plantations d'arbres à croissance rapide ou en pâturages amendés, ou encore de la suppression des «forêts à nuages», etc. Enfin les bases de données demeurent particulièrement pauvres sur tout ce qui concerne l'**aspect chimique** des conséquences de la (dé)forestation.

L.A. BRUIJNZEEL
Université Libre d'Amsterdam