



HAL
open science

Le couvert forestier et l'hydrologie des bassins versants

Antoine Hurand, Vazken Andréassian

► **To cite this version:**

Antoine Hurand, Vazken Andréassian. Le couvert forestier et l'hydrologie des bassins versants. Rendez-vous Techniques de l'ONF, 2003, 2, pp.37-41. hal-02581808

HAL Id: hal-02581808

<https://hal.inrae.fr/hal-02581808>

Submitted on 17 Jan 2024

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Le couvert forestier et l'hydrologie des bassins versants

Les relations entre l'eau et la forêt constituent un domaine d'étude complexe, où interfèrent les débats d'idées, les difficultés méthodologiques liées à l'interaction de paramètres multiples, et la nécessité de fonder les analyses sur de longues séries de données difficiles à recueillir. La synthèse de données expérimentales permet une mise au point des connaissances.

Le rôle des forêts, réputées atténuer les crues, est admis depuis longtemps, mais il a nourri de longs débats, suscité de nombreuses expérimentations depuis un siècle et demi. La conviction que la forêt régularise le régime des eaux a fondé ou justifié l'action de gestionnaires au travers des politiques publiques, forestières ou de l'eau, dans de nombreux pays : en France, cela s'est traduit par la politique de restauration des terrains en montagne (RTM), qui a conduit à partir de 1860 à reboiser environ 300 000 ha de terrains le plus souvent dégradés.

L'opinion publique a intégré de manière confuse ces connaissances sur le contrôle des crues par la forêt, mais des idées reçues et erronées restent encore tenaces, comme celles qui incriminent de manière trop catégorique la déforestation, l'enlèvement des haies ou les coupes rases lorsqu'un épisode dévastateur survient. De même, les massifs forestiers de montagne sont-ils souvent considérés comme des châteaux d'eau, censés soutenir les étiages et permettre une alimentation importante en eau des rivières qui en sont issus.

Pour tenter d'y voir plus clair dans ce rôle régulateur, qui n'est simple qu'en apparence, nous nous proposons ici d'analyser les données expérimentales qui tentent de mettre en évidence l'in-

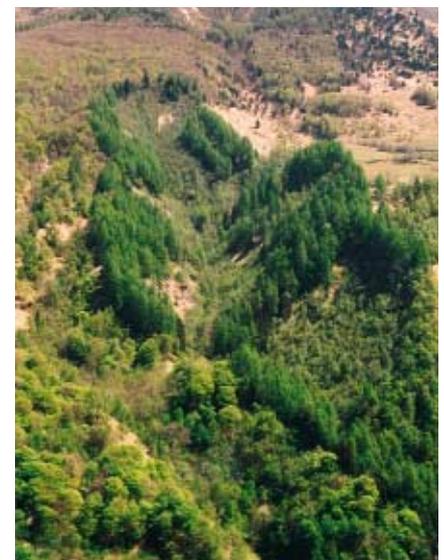
fluence du couvert forestier et de sa gestion sur le comportement hydrologique des bassins versants.

Quelles données expérimentales ?

La formation des écoulements et des crues résulte de nombreux paramètres : cumul et répartition des pluies, capacité d'infiltration et nature du substrat du bassin versant, état hydrique initial, répartition et nature des divers types d'occupation du sol, interception par la végétation, configuration et pentes des versants... La présence de peuplements forestiers dans

une partie d'un bassin versant ne constitue qu'un de ces paramètres, difficile à isoler quand on veut analyser les transferts entre pluie et débit.

Les bassins versants de montagne, où les situations sont plus contrastées, se prêtent mieux que ceux de plaine à l'analyse des processus en jeu, en comparant par exemple des bassins versants à l'occupation du sol différente. Aussi n'est-il pas étonnant d'y trouver davantage d'études, qu'il s'agisse de suivis de bassins versants expérimentaux ou, plus récemment, d'analyses de données hydrométriques permettant des modélisations.



Torrent de Pontis (65) en 1896 puis en 1992 après travaux de génie civil et biologique

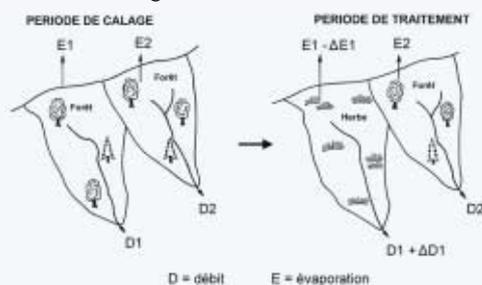
ONF RTM, Tarbes

Étude des bassins versants appariés

Le principe des bassins versants appariés consiste à sélectionner deux bassins versants géographiquement proches, aussi semblables que possible (notamment leur taille, leur géologie, leur climat et leur occupation des sols). Ce fort degré de similarité mène à penser que les bassins fonctionnent de la même façon, chacun ayant cependant ses particularités. Pour caractériser et comparer le comportement hydrologique de ces bassins, il est nécessaire de les suivre simultanément pendant une période préliminaire, si possible suffisamment variée au point de vue climatique.

À l'issue de cette période de calage, on peut procéder à la manipulation du couvert végétal de l'un des bassins. Ce dernier sera qualifié de « bassin traité », alors que l'autre, laissé dans son état initial et stable pendant la période d'étude, sera le « bassin de contrôle ». La relation, qui a été établie avant traitement entre les comportements hydrologiques des bassins, sera utilisée pour reconstituer ce qu'aurait été la production du bassin traité sans traitement. Ceci permettra une évaluation directe de l'impact du traitement sur le comportement hydrologique du bassin considéré.

L'approche des bassins versants appariés permet de s'affranchir des deux problèmes majeurs que sont la variabilité climatique (on peut à tout moment, grâce au bassin de contrôle, reconstituer ce qu'aurait été la réponse du bassin) et la variabilité entre bassins, balisée au cours de la période de calage. Une approche qui n'utiliserait qu'un bassin (avant et après traitement), serait difficilement interprétable en raison de la variabilité climatique, et une approche qui comparerait deux bassins (l'un forestier et l'autre pas) ne serait pas interprétable faute d'étalonnage entre les bassins.



Dans le cadre d'une synthèse des expérimentations publiées dans la littérature scientifique, nous avons pu rassembler au total 113 expériences, dont 94 relatives à l'impact du déboisement sur l'hydrologie des bassins versants et 19 relatives à l'impact du reboisement. Cet échantillon mondial couvre une large gamme de situations climatiques et de types de couverts forestiers, mais porte en majorité sur des bassins de petites tailles.

Détaillons les enseignements recueillis au moyen des bassins versants appariés, en les complétant par des considérations fournies par l'analyse des processus.

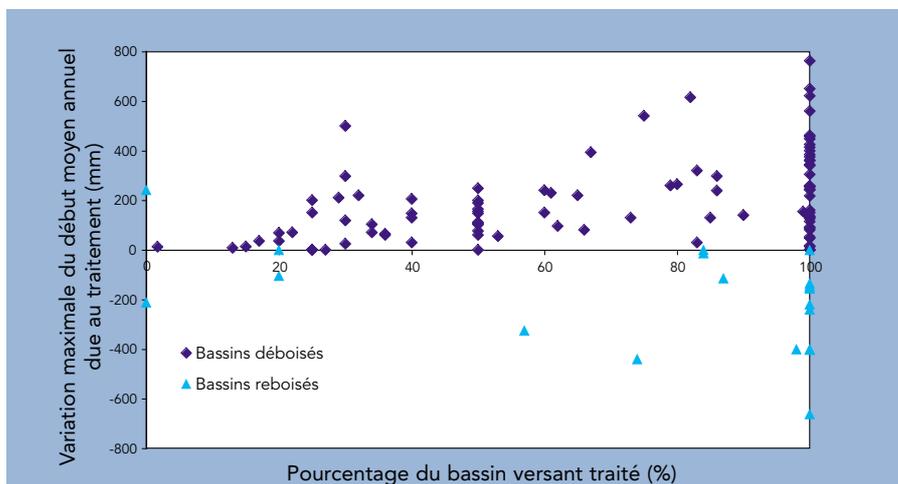
Déboisement, reboisement : un effet net sur l'écoulement annuel

La façon la plus classique d'interpréter les résultats issus d'expérimentations sur des bassins versants appariés consiste à les présenter en mettant en relation le pourcentage du bassin versant « traité » (c'est à dire déboisé ou reboisé suivant les cas) avec la variation du débit moyen annuel constatée à partir du dispositif apparié (voir figure ci-dessous).

L'effet hydrologique des coupes est le plus souvent éphémère : divers exemples montrent que l'écoulement

Le développement des bassins versants de recherche sur de bonnes bases expérimentales doit être mis au crédit des forestiers américains : ce sont eux qui, pour la première fois en 1910, ont mis en œuvre le principe des bassins versants appariés, qu'ils ont ensuite massivement et systématiquement repris des années 1930 aux années 1970 sur l'ensemble du territoire des États-Unis. En 1930, le grand hydrologue français Maurice Pardé écrivait d'ailleurs à ce sujet : « *L'influence hydrologique du boisement est depuis longtemps fort controversée. Par malheur [...] les contradicteurs prennent pour preuve des faits mal observés, sinon inexacts ou susceptibles d'interprétations diverses. Un seul moyen existe de contrôler avec certitude l'influence de la forêt sur le régime des eaux : la mise en comparaison détaillée et scrupuleuse de deux bassins identiques [...] mais l'un boisé et l'autre déboisé.* »

puleuse de deux bassins identiques [...] mais l'un boisé et l'autre déboisé. »



Le déboisement a pour effet d'augmenter le débit moyen annuel, et le reboisement a pour effet de le diminuer. Cependant les résultats sont extrêmement dispersés, ce qui rend difficile la prévision de l'impact hydrologique d'une coupe.

retrouve son niveau habituel après une période comprise entre 7 et 25 ans, voire pour certains bassins, que le rendement en eau est significativement inférieur à ce qu'il était avant traitement. Les modifications du volume annuel écoulé sont en effet étroitement liées à la capacité d'évaporation des peuplements forestiers, souvent plus forte que celle d'autres types d'occupation du sol ; une coupe rase diminue rapidement l'évapotranspiration potentielle (ETP), mais les peuplements jeunes qui se reconstituent deviennent rapidement de forts consommateurs d'eau, plus que les peuplements âgés ou, en cas d'afforestation, que les formations herbacées ou les landes qu'ils remplacent.

Impact sur les crues

La réduction des crues par la forêt semble un fait acquis. Ainsi, dans le cas des bassins sur marnes noires de Draix (Alpes-de-Haute-Provence), les débits de pointe sont réduits par la forêt d'au moins 80 % et les volumes de crue d'au moins 50 % ; ces résultats sont obtenus sur des bassins de l'ordre du km² aux conditions très opposées, l'un (Laval) sans végétation et soumis à l'érosion, l'autre (Brusquet) reboisé en pins noirs à la fin du 19^e siècle.

On a cependant souvent trop tendance à opposer la forêt à d'autres types d'occupation du sol ; en réalité, les différences de réponses hydrologiques se situent d'abord entre des bassins versants végétalisés (landes, pelouses alpines, forêt, ...) et des bassins versants sans végétation (rochers, terrains en érosion ou artificialisés, ...). Les différences créées par la nature de la végétation, si elle couvre correctement le sol, apparaissent plutôt comme de second ordre dans le domaine des crues.

L'état de saturation du sol avant l'épisode pluvieux joue un rôle important pour la genèse des crues. C. Cosandey (CNRS) l'a mis en évidence sur les bassins versants expérimentaux du mont Lozère, où les réponses (hydrogrammes de crues) peuvent être très différentes pour des pluies semblables selon les conditions initiales, ou au contraire semblables malgré des pluies très différentes.

Érosion et transports solides

Les crues, dans le cas de nombreux bassins versants, s'accompagnent de forts transports solides : produits de l'érosion des versants ou de l'affouillement des berges, phénomènes de reprise et de dépôt dans le fond des lits, flottants, ...

Ces transports solides participent à la dynamique normale des cours d'eau, mais leurs excès lors des crues peuvent être néfastes : divagation sur les cônes de déjection torrentiels, atterrissements et débordements, envasement de retenues hydrauliques, obstruction des ouvrages d'art...

Les peuplements forestiers jouent un rôle positif pour contrôler l'érosion des versants ; en fixant les sols, ils rendent plus difficiles ou retardent la formation de rigoles qui petit à petit déclenchent un processus d'érosion par ravinement, d'autant plus que la pente et la sensibilité des terrains s'y prêtent. La situation très tranchée des bassins versants de Draix illustre bien la réduction par la forêt de la charge sédimentaire liée à l'érosion des marnes noires : ramenée à la surface dégradée des bassins, elle se situe dans un rapport de 1 à 35. Mais d'autres types de végétation, comme les landes ou les pelouses alpines, peuvent contrôler aussi bien l'érosion, parfois même mieux que certains peuplements forestiers sans sous-étage, comme par exemple des pessières âgées et très fermées.

Sur les berges, les arbres ont un rôle positif de fixation et limitent les affouillements. En négatif, des arbres vieux ou dépérissants peuvent être arrachés et contribuer à la formation d'embâcles et à l'obstruction des ouvrages.

L'image du réservoir illustre bien le rôle hydrologique de la forêt : tout se passe comme si l'ensemble sol-forêt constituait un réservoir ; lorsque le seuil de stockage de ce réservoir est dépassé, l'excès de pluie participe directement à l'écoulement de crue. Au crédit de la forêt, on soulignera que, toutes choses égales par ailleurs, le niveau de ce seuil est un peu plus élevé que pour d'autres types de végétation, parce que l'implantation de peuplements permet petit à petit la création d'horizons superficiels du sol, augmentant sa capacité de stockage. Dans le cas d'épisodes pluvieux de faible ou moyenne durée de retour, le seuil n'est pas facilement atteint ou est peu dépassé ; ainsi, les bassins forestiers atténuent fortement les crues courantes, jusqu'à un ordre de grandeur décennal voire cinquantennal. Par contre, la forêt devient « transparente » pour les événements extrêmes, ceux qui doivent servir de référence pour la cartographie des aléas ; le niveau de seuil se trouve alors généralement largement dépassé.

Quel est l'impact hydrologique du déboisement ?

Les études américaines sur bassins versants appariés ont montré que le déboisement pouvait avoir pour effet

d'augmenter à la fois les pics de crue et le volume des crues, de quelques dizaines de % en moyenne. Cependant, cet effet est bien plus variable que l'effet du déboisement sur l'écoulement annuel, et peut même s'inverser certaines années. À l'opposé, les rares études de reboisement montrent un faible impact sur les crues, qui devient nul pour les crues les plus rares (c'est à dire les plus importantes).

En France, C. Cosandey a étudié l'impact d'une coupe forestière sur le petit bassin versant expérimental du mont Lozère, et n'observe aucun changement de comportement du bassin quant aux crues cévenoles. Sa conclusion rejoint celle de J.M. Fritsch (IRD, ex-ORSTOM) en 1990 : « à l'échelle des bassins versants étudiés, les causes essentielles de l'augmentation de l'écoulement ne sont pas directement créées par la suppression de l'écosystème végétal forestier, mais par les conditions de cette suppression ».

En réalité, pour ces auteurs, l'effet des travaux d'exploitation, par tassement des sols, concentration des eaux sur les dessertes ou reprises d'érosion, constitue une raison importante de l'augmentation observée des crues après déboisement.

Après l'incendie ?

C'est un autre cas de déboisement brutal. J. Lavabre (Cemagref) a montré, qu'immédiatement après incendie d'un petit bassin versant de 150 ha du Var, on pouvait observer jusqu'à un triplement des pics de crue, et de 30 à 40 % d'augmentation des volumes de crue. Mais cet effet est peu durable, et le bassin retrouve son comportement initial en quelques années. Le souci principal, après incendie, est la fragilité des versants vis à vis des processus d'érosion.

Le boisement réduit les débits d'étiage

L'affirmation selon laquelle la forêt se comporterait comme une éponge, restituant lentement l'eau des pluies et soutenant les étiages, résiste mal à l'analyse du fonctionnement hydrologique des bassins versants.

À Coshocton (Ohio, USA), les hydrologues américains ont montré que la différence en étiage entre un bassin agricole de référence et un bassin reboisé avait tendance à s'accroître au cours du temps : le boisement a pour effet de réduire les débits d'étiage. Cette observation est confirmée par toutes les expériences de reboisement disponibles dans la littérature, les plus démonstratives étant sans doute celles où le reboisement conduit à l'arrêt total de l'écoulement sur un petit bassin versant ; c'est le cas d'un exemple situé en Afrique du Sud, où l'on a également mis en évidence l'impact du déboisement, dans la mesure où les eucalyptus plantés ont été abattus après seize ans. Le déboisement a eu pour effet de permettre une réapparition des écoulements et un retour

La forêt intervient-elle sur les pluies ?

L'idée que la forêt augmenterait les pluies n'est pas nouvelle. Mais l'étude du rôle de la forêt sur le climat n'est pas simple et la principale conclusion des climatologues, loin d'être d'accord sur cette question, est l'importance de l'échelle : la forêt n'a pas de conséquence sur la pluviométrie locale (certains travaux avancent cependant une augmentation de quelques % en climat tempéré, par effet thermique et par captation de brouillard), ce qui peut ne pas être vrai pour des surfaces beaucoup plus grandes (milliers ou millions de km²) pour lesquelles on s'accorde à dire que la pluviométrie augmente notablement.

des étiages à leur niveau passé, après une période de transition de cinq ans pendant laquelle ils sont restés très faibles.

Pour conclure

Les débats, déjà anciens, sur le rôle régulateur de la forêt sur le régime des eaux, ne sont sans doute pas clos.

Si la compréhension des processus et de l'influence des divers types d'occupation des sols des bassins versants a, ces dernières années, réalisé de larges progrès grâce au suivi de bassins versants expérimentaux et à l'utilisation de modèles de simulation, les connaissances acquises mettent aussi en évidence un réel besoin de recherche concernant l'impact du reboisement et de la densification des espaces forestiers, comme on l'observe dans le Massif central depuis un demi-siècle. Les recherches, pour être utiles, devront concerner des bassins versants suffisamment grands pour être intéressants du point de vue du gestionnaire de la ressource en eau.

Les avancées récentes de l'hydrologie forestière soulignent l'importance des effets intégrateurs et de l'état initial

d'humidité des versants, le rôle tampon joué par la forêt sur des changements de comportement des bassins versants dont l'origine est souvent difficile à déterminer, et dans le domaine des crues la nécessité de longues échelles de temps pour que ces changements soient significatifs.

Le débat sur l'évolution possible du climat est là pour nous rappeler l'intérêt que représentent les longues séries de données hydrologiques sur des bassins versants forestiers, afin de pouvoir détecter au travers des bassins versants d'éventuels effets du réchauffement planétaire sur le bilan en eau des peuplements forestiers... et la ressource en eau potable qui en sont souvent issus.

Antoine HURAND

ONF, délégation RTM
antoine.hurand@onf.fr

Vazken ANDRÉASSIAN

Cemagref, Antony
vazken.andreassian@cemagref.fr

Bibliographie

ANDRÉASSIAN V., 2002. Impact de l'évolution du couvert forestier sur le comportement hydrologique des bassins versants. Thèse de doctorat, Université Pierre et Marie Curie, Paris, 781 p.

COLLECTIF, 2001. Forêts et eau. Comptes rendus du colloque de Nancy, Société Hydrotechnique de France, Paris, 185 p.

COSANDEY C. et ROBINSON M., 2000. Hydrologie continentale. Armand Colin, Paris, 360 p.

Conséquences du développement de la forêt

Depuis un siècle et demi, la superficie forestière a plus que doublé en métropole : quels en sont les effets sur le régime des eaux ? Très globalement, en se méfiant des effets d'échelle, on retiendra que ce développement conduit aux tendances suivantes :

- sur les crues, ceci va dans le sens de la sécurité (réduction des crues moyennes, contrôle de l'érosion), mais l'impact est marginal pour les crues extrêmes,
- une forte réduction des transports solides,
- une diminution de l'écoulement annuel issu des bassins versants,
- une réduction des débits d'étiage.

FRITSH J.-M., 1990. Les effets du défrichement de la forêt amazonienne et de la mise en culture sur l'hydrologie des petits bassins versants. Thèse de doctorat, Université des Sciences et Techniques du Languedoc, Montpellier, 392 p.

HEWLETT J.D., 1982. Principles of forest hydrology. The University of Georgia Press, Athens, 183 pp.

LAVABRE J. et ANDRÉASSIAN V., 2000. Eaux et forêts : la forêt, un outil de

gestion des eaux ? Cemagref éditions, Antony, 116 p.

ONF, 1999. L'eau et la forêt. Bulletin technique n°37, Paris, 234 pp.

synthèse

La compilation des résultats de la littérature, fondée sur les résultats de plus d'une centaine de bassins versants expérimentaux, nous a permis d'acquiescer plusieurs convictions.

■ Échelles de temps et d'espace

Les questions d'échelle d'espace et de temps sont importantes pour interpréter les résultats expérimentaux dans le cadre de nos forêts, les modifications observables aujourd'hui en France étant progressives et ne représentant que rarement une proportion importante de la surface des bassins versants.

En particulier, les résultats obtenus à l'échelle de l'arbre, de la parcelle ou du versant ne peuvent être extrapolés sans précaution à de plus grands bassins hydrographiques ; les effets de chaque paramètre peuvent se compenser mutuellement avec l'augmentation de la taille et de l'hétérogénéité du bassin.

■ Rendement en eau d'un bassin versant

L'influence de la forêt est un fait acquis : la forêt consomme en général plus d'eau qu'un autre type de couvert végétal ; le déboisement a habituellement pour effet d'augmenter la production d'eau d'un bassin versant, et le reboisement de la réduire.

Les conséquences du vieillissement ou de la densification d'un peuplement forestier à l'échelle d'un bassin versant, moins bien connues, sont progressives. Si un déboisement est toujours suivi d'une augmentation de l'écoulement du bassin versant, la période de recrû suivant un déboisement peut, selon les cas, être caractérisée par une réduction de l'écoulement.

Pour que l'influence forestière se manifeste sur le bilan en eau du bassin versant, il y a avant tout une condition pédologique : le sol doit être suffisamment profond pour que la forêt puisse avoir un avantage comparatif sur une végétation herbacée (un sol trop mince offrira la même réserve utilisable à une forêt et à une prairie).

Il faut aussi que le climat présente à la fois des périodes de déficit hydrique, faute de quoi la demande d'évaporation serait satisfaite, et qu'il ait en hiver des périodes de surplus permettant la reconstitution des réserves hydriques profondes que la forêt utilisera.

Enfin, les peuplements forestiers présentent des différences notables de capacité transpiratoire selon les espèces. Il a été montré, par exemple, que celle-ci est très élevée dans le cas des eucalyptus.

■ Influence de la forêt sur les crues

Elle n'est simple qu'en apparence, dans la mesure où toutes les expérimentations qui font intervenir le déboisement montrent un accroissement des pics de crue ; mais le reboisement de terres agricoles n'occasionne que de très faibles réductions des crues... En général, il semble que les crues exceptionnelles soient peu affectées par le déboisement ou le reboisement, et que la forêt intervienne dans la régulation des crues par le biais du sol forestier dont elle a permis la formation.

Par ailleurs, comme le notait déjà Poncet : « plus le sol est profond, les substrats perméables et les bassins versants importants, moins l'effet de la forêt sur les crues est grand ». Le rôle régulateur d'un sol profond devient en effet prédominant par rapport à celui de la forêt.

Le gestionnaire se méfiera des travaux d'exploitation mal contrôlés et du passage de l'incendie, qui ont une influence sur les crues.

Quoiqu'il en soit, le point important pour la réduction des crues reste d'abord une bonne couverture végétale afin de protéger le sol.

■ Influence de la forêt sur les étiages

C'est un fait acquis : le reboisement a tendance à réduire les débits d'étiage, et le déboisement à les accroître (dans la mesure où le déboisement ne s'accompagne pas d'une dégradation du sol forestier).