

Conséquences de la forêt méditerranéenne sur les écoulements de crue

par Claude COSANDEY, Jacques LAVABRE,
Claude MARTIN et Nicolle MATHYS

***Il est aussi faux de penser
que la forêt n'a pas d'influence
sur les crues, que d'affirmer
qu'elle les réduit
systématiquement !
Les auteurs nous montrent ici
la complexité de la question.
En effet, un grand nombre
de facteurs interviennent :
les relations pluies-débit,
la nature des formations
superficielles, les conditions
climatiques, les caractéristiques
de la végétation...
Cependant, malgré la difficulté,
un certain nombre
d'enseignements peuvent être
tirés de cette synthèse
très instructive.***

Introduction

Le rôle régulateur de la forêt sur les crues, s'il est largement admis par l'opinion publique, suscite encore bien des interrogations parmi les hydrologues, surtout en ce qui concerne les plus fortes d'entre elles. Il est vrai que ce rôle dépend d'un grand nombre de facteurs, ce qui explique la disparité – lorsque ce n'est pas la divergence – des résultats observés.

Dans le sud de la France, trois sites de BVRE (Bassin versant de recherche expérimentaux) permettent de conduire cette recherche en climat méditerranéen humide. Ces sites diffèrent par leurs conditions pédologiques et géomorphologiques, mais tous sont soumis à de fortes pluies d'automne, et parfois d'été.

La diversité des réponses observées conduit à essayer de dégager les mécanismes qui permettent de rendre compte des conséquences de la présence de la végétation sur la formation des écoulements de crue.

Sites d'étude et conditions d'expérimentation

Les trois sites pris en compte sont : celui de Draix, situé dans les marnes noires de la région de Digne, dans l'arrière pays provençal ; celui du Réal Collobrier, très proche de la côte méditerranéenne ; celui du Mont-Lozère enfin, sur les contreforts sud-est du Massif Central (Cf. Fig. 1). Les caractéristiques des bassins versants considérés dans cette étude sont portées dans le tableau I.

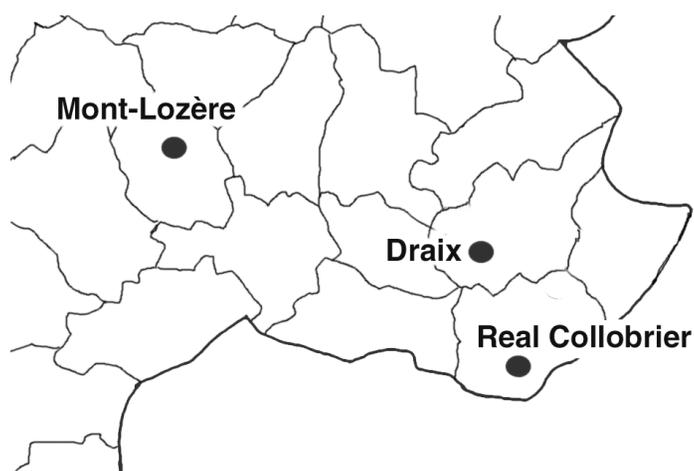


Fig. 1 :
Les sites de recherche
en hydrologie forestière
en France
méditerranéenne.

Conséquences de la forêt sur les crues

Les résultats concernant les conséquences de la présence de la forêt sur les crues (pointe ou volume) sont très différents d'un site à l'autre.

A Draix

Le dispositif expérimental comporte un bassin reboisé à la fin du XIX^e siècle (Le Brusquet) et un bassin non reboisé (Laval), dont le taux de couverture végétale est faible (Cf. Tab. I). Les pluies annuelles sont de l'ordre de 940 mm, avec des maxima journaliers décennaux de 80 mm, et de fortes intensités lors d'orage d'été et d'automne.

Le premier effet du couvert végétal, est l'augmentation du seuil minimal de pluie nécessaire à l'apparition d'un écoulement : les crues du bassin boisé sont moins fréquentes [1]. Pour des crues produites par des

pluies analogues, les pointes de crue sont retardées d'au moins une demi-heure dans le bassin boisé.

Les pointes de crue sont très fortes pour le bassin non reboisé, où elles ont atteint 23 m³/s/km² lors d'un épisode pluvieux de 53 mm. Elles sont en moyenne cinq fois plus faibles pour le bassin reboisé. Un exemple est fourni par la crue du 27 mai 1988 (Cf. Fig. 2).

Une averse de 21 mm provoque une pointe de crue six fois plus forte dans le bassin non reboisé du Laval (1,3 m³/s/km²) que dans celui reboisé du Brusquet (0,2 m³/s/km²), soit dans un rapport de 1 à 6,5.

La limitation des volumes de crue est moins importante que celle des pointes parce que la crue est plus longue dans le bassin boisé. Le rapport est généralement de 1 à 2 [1].

Dans les bassins du Réal Collobrier

Les pluies annuelles sont de l'ordre de 1200 mm, avec des pluies journalières décennales de 150 mm, et toujours de fortes pluies d'automne.

Un incendie de forêt, durant l'été 1990 a détruit 80 % environ du bassin du Rimbaud, dont les débits étaient mesurés depuis 25 ans. L'automne qui a suivi cet incendie, le comportement du ruisseau du Rimbaud est devenu fortement impulsif. Le débit maximal a atteint 5 m³/s/km², pour des précipitations ne présentant aucun caractère exceptionnel, ni par leur abondance ni par leur intensité. Les montées de crue ont souvent demandé moins de cinq minutes, et les décrues ont été elles-mêmes très rapides. Le

Nom du bassin	Superficie	Occupation du sol	Pente	Période d'étude
DRAIX (04)				
Laval	86 ha	22 % bosquets ; 10 % herbe ; 68 % sols nus	58 %	1983-2000
Brusquet	108 ha	87 % bois ; 13 % sols nus	53 %	1987-2000
REAL COLLOBRIER (83)				
Rimbaud	146 ha	maquis ; feu ; repousse	20 %	1966-1990 ; 1990-2000
Valescure	930 ha	maquis		1966-2000
MONT LOZERE (48)				
Latte	19,5 ha	épicéas ; coupe ; repousse	20 %	1981-1987 ; 1987-1999
Cloutasses	81 ha	pelouse pâturée	10 %	1981-1999

Tab. I :
Principales
caractéristiques
des bassins étudiés.

caractère excessif pris par les réactions du cours d'eau aux précipitations s'explique par la production d'un ruissellement sur les versants mis à nu par l'incendie [2].

Une modélisation "pluie-débit" au pas de temps journalier, permet de comparer les débits observés avec ceux simulés, sur une même période, par le modèle calé sur les données recueillies avant l'incendie [3] (Cf. Fig. 3).

Cette figure fait clairement ressortir les effets de la disparition du couvert végétal pendant les périodes pluvieuses, qui correspondent aux pluies d'automne et de printemps.

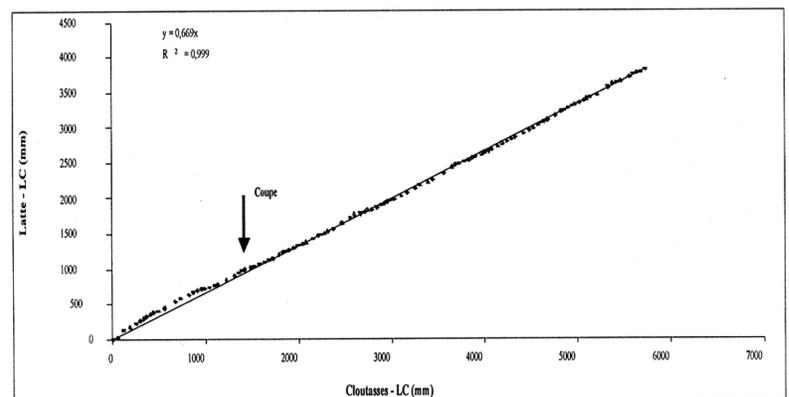
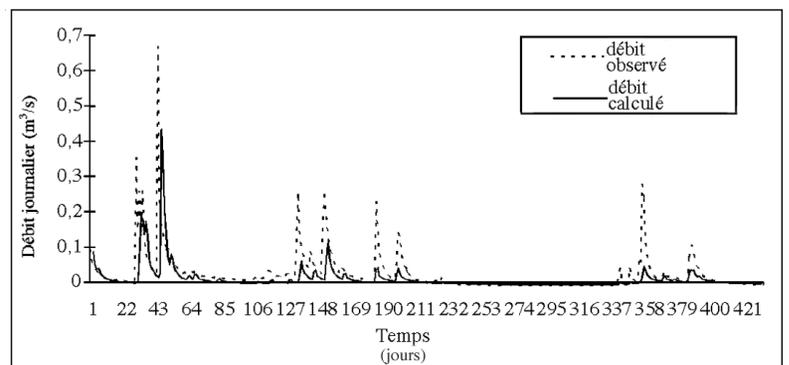
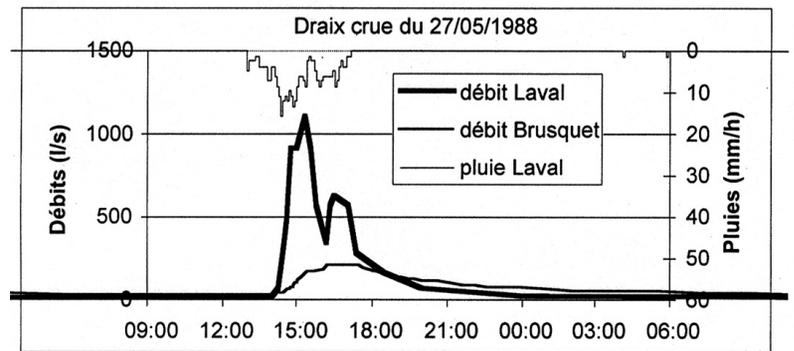
Sur le Mont-Lozère

Le dispositif expérimental se compose de deux bassins, l'un en pelouse pâturée et l'autre en épicéas. Après six années de suivi, une attaque parasitaire du bassin en épicéas a conduit à sa coupe à blanc. Les données obtenues sur ce bassin avant et après la coupe, sont comparées à celles du bassin témoin des Cloutasses. Les pluies sont très abondantes : les précipitations annuelles moyennes avoisinent 1950 mm et les abatements d'eau en 24 heures peuvent atteindre 400 mm.

Les conditions de travail très difficiles qui prévalent lors des pluies cévenoles gênent la vérification des courbes de tarage théoriques pour les débits les plus forts. D'après la comparaison entre les pointes de crue observées sur les deux bassins, le débit de pointe annuel serait plus faible dans le bassin boisé ($1 \text{ m}^3/\text{s}/\text{km}^2$) que dans celui en pelouse ($1,45 \text{ m}^3/\text{s}/\text{km}^2$), mais la tendance s'inverserait avec les débits décennaux, puisque ceux-ci s'élèveraient à $3,15 \text{ m}^3/\text{s}/\text{km}^2$ pour le bassin forestier et à $3 \text{ m}^3/\text{s}/\text{km}^2$ seulement pour celui en pelouse [4].

Au sujet des volumes de crue, qui sont bien mieux connus, un simple graphique de double cumul établi à partir des volumes journaliers écoulés par les bassins de La Latte (avant et après la coupe) et des Cloutasses (considéré comme témoin) lors des fortes crues est déjà informatif. A ce sujet, la figure 4 ne montre pas de cassure qui indiquerait un changement de fonctionnement du bassin de La Latte en relation avec la coupe.

Ce résultat se retrouve en utilisant un seuil plus faible, puisqu'une étude du même type, menée sur des débits dépassant



De haut en bas :

Fig. 2 :
La crue du 27 mai 1988 dans les bassins du Brusquet (reboisé) et du Laval.

Fig. 3 :
Comparaison des débits journaliers mesurés après l'incendie avec les valeurs reconstituées à partir des informations recueillies avant le feu (la période représentée démarre le 26 octobre 1990 ; le temps est en jours).

Fig. 4 :
Double cumul des lames d'eau écoulées par les bassins de La Latte et des Cloutasses lors des très fortes crues – Q Cloutasses >30 mm/jour (des écoulements de cette importance se produisent en moyenne moins de 8 fois par an, mais assurent plus du cinquième des écoulements (21,8 % [7]).

20 mm/jour dans le bassin de La Latte, aboutit à des conclusions identiques [6] : la coupe des épicéas n'a pas entraîné d'augmentation des écoulements lors des fortes crues. Cette observation, qui serait surprenante dans d'autres conditions [2], s'explique ici par la forte perméabilité des sols et les processus spécifiques de formation des crues [7].

Que conclure du rôle de protection sur les crues de la forêt en climat méditerranéen ?

Complexité des résultats

A Draix, les volumes de crue du bassin forestier sont inférieurs de moitié à ceux du bassin non couvert. Les débits de pointe sont encore plus affectés, puisqu'ils sont réduits, on l'a vu, dans un rapport de 5 à 1.

Sur le Réal Collobrier, l'incendie du bassin du Rimbaud a entraîné une augmentation très nette des débits de pointe de crue les premières années après la coupe.

Sur le Mont-Lozère, en revanche, aucune modification des débits maximaux n'a été mise clairement en évidence après la coupe pour les fortes crues.

Ainsi synthétisés, les résultats obtenus peuvent apparaître peu concordants, voire contradictoires, et amener à penser qu'il est bien difficile de conclure quant au rôle de la forêt sur les crues. En fait, ils sont complémentaires et les apparentes contradictions ne font que mettre en évidence la complexité des relations pluies-débits. Ils ne peuvent se comprendre sans prendre en compte les rôles spécifiques que jouent la nature et l'épaisseur des sols, le type de végétation (lorsque le bassin de référence n'est pas forestier), les conditions climatiques... qui déterminent les processus hydrologiques à l'origine de la forme comme du volume des crues.

Rôle de la végétation forestière sur les écoulements de crue ; considérations théoriques

Processus de genèse des crues

Les crues sont liées à une circulation rapide de l'eau sur les versants, que cette circulation soit strictement superficielle (on parle de ruissellement) ou par transmission de pression dans l'épaisseur du sol et exfiltration rapide de la nappe dans le cours d'eau [10].

On distingue classiquement deux types de ruissellement : d'une part, le ruissellement

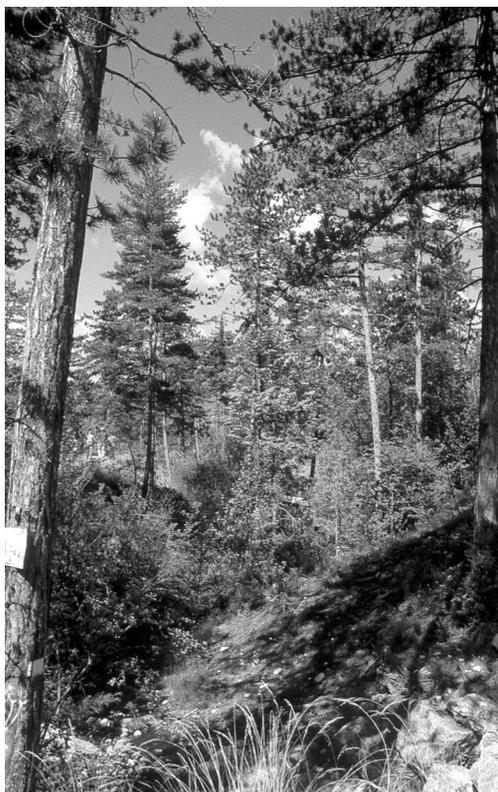


Photo 1 (à gauche) :
La bassin versant boisé du Brusquet

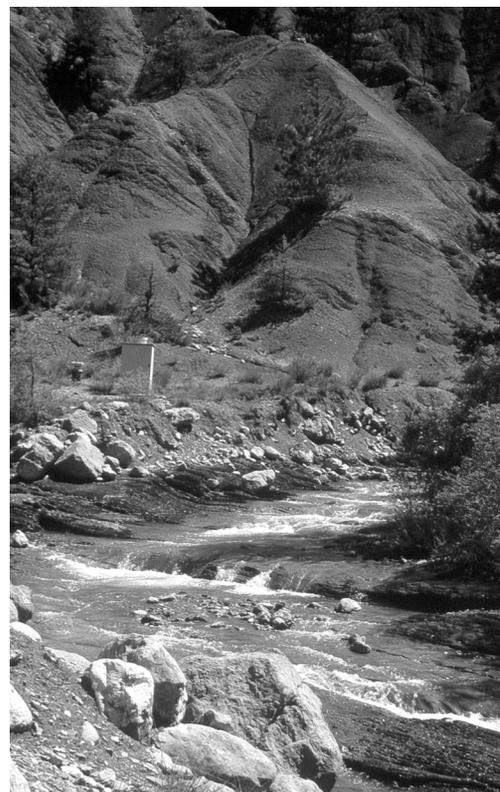


Photo 2 (à droite) :
La bassin versant du Laval
Photos D.A.

par refus d'infiltration d'un sol non saturé (dépassement d'un seuil d'infiltration) et, d'autre part, le refus d'infiltration d'un sol saturé (dépassement d'un seuil de saturation). Cette distinction présente pourtant l'inconvénient de ne pas faire la différence entre le ruissellement dit « hortonien », lié à une très faible perméabilité intrinsèque des sols, et le ruissellement résultant de l'évolution – parfois très rapide – de l'état de surface de sols mal protégés par la végétation, sous l'impact des gouttes de pluie.

Il faut par ailleurs noter que la forêt influence les caractères hydrodynamiques des sols en agissant, de manière directe ou indirecte, sur leur structure et leur stabilité. Les sols n'évoluant que lentement, les effets d'un boisement ou d'un déboisement peuvent ne pas être immédiatement sensibles. Une déforestation, si elle ne s'accompagne pas de mise en culture ou d'érosion des sols, ne provoque donc pas forcément une aggravation significative des crues, surtout lorsque la revégétalisation est rapide. C'est bien ce qui s'observe sur le Mont-Lozère, il est vrai dans des conditions assez particulières : précipitations très abondantes qui minimisent le rôle de l'interception des pluies et sols extrêmement filtrants qui empêchent l'apparition du ruissellement par dépassement du seuil d'infiltration.



Conséquences de la végétation forestière sur les volumes de crue

Lorsque le ruissellement générateur des crues présente un caractère hortonien, avec des sols très peu perméables, la forêt modifie la structure du sol, améliorant ses capacités d'infiltration. Mais ces caractéristiques restent acquises indépendamment du couvert végétal, et le sol peut les conserver longtemps après déboisement.

Lorsqu'il s'agit de ruissellement généré par des évolutions des états de surface, les arbres et leurs litières ne protègent pas mieux que d'autres types de végétaux couvrant bien le sol. En revanche, si la coupe de la forêt laisse le sol à nu (ce qui n'a pas été le cas sur le Mont-Lozère) ou si l'incendie détruit complètement la végétation (ce qui a été le cas pour le Rimbaud), le sol mal protégé est soumis à une modification de son état de surface, ce qui peut favoriser le déclenchement d'un ruissellement qui ne se produisait pas avant. Le fonctionnement très impulsif du bassin du Rimbaud immédiatement après l'incendie pourrait s'expliquer, au moins en partie, par ce type d'évolution.

Lorsqu'il s'agit de ruissellement par saturation à partir d'une remontée de nappe, le type de couvert n'intervient pas directement

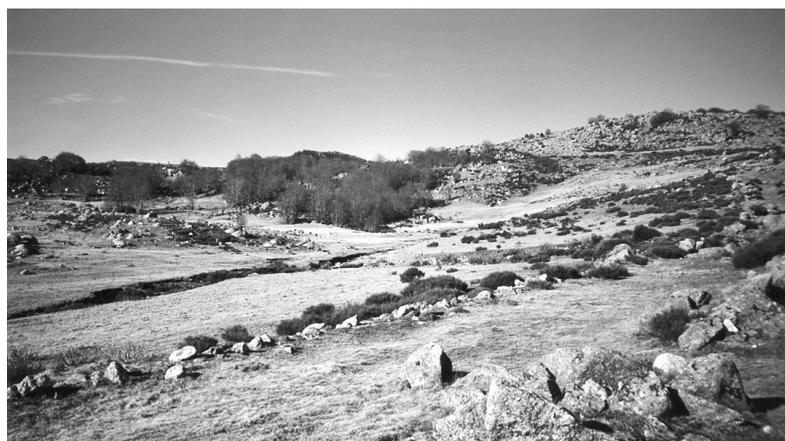


Photo 3 (à gauche) :

Etat du couvert végétal sur le bassin versant de La Latte en 2001
Photo Claude Martin

Photo 4

(ci-contre) :

Le ruisseau de La Latte en crue le 4 novembre 1994
Photo Jean-François Didon-Lescot

Photo 5

(ci-dessous) :

La pelouse dans la partie inférieure du bassin versant des Cloutasses
Photo C.M.



Photo 6 (en haut) :

La parcelle de mesure de l'érosion du bassin versant du Rimbaud en septembre 1990
Photo C.M.

Photo 7 (ci-dessus) :

Une vue du bassin versant du Rimbaud en octobre 1991
Photo C.M.



Photo 8 (ci-contre) :

Le ruisseau du Rimbaud en crue le 27 septembre 1992
Photo Eric Béguin



sur la progression des surfaces saturées pendant la durée des pluies. Mais le type de couvert peut jouer sur l'état des réserves hydrologiques par l'intermédiaire de l'interception, laquelle est susceptible de réduire la quantité d'eau qui s'infiltre jusqu'à la nappe.

Quel que soit le processus générateur des crues, l'interception d'une partie de la pluie incidente par la végétation forestière (interception plus importante que pour tout autre type de végétation) diminue d'autant la pluie qui arrive au sol. Mais l'interception est proportionnellement plus faible lors de fortes pluies, qui sont justement celles qui provoquent les crues : dans le cas du Mont-Lozère, l'effet de la forêt est limité pour les très fortes crues, alors qu'il semble avéré pour les écoulements plus faibles.

Conséquences de la végétation forestière sur les pointes de crue

Pour un bassin versant donné, l'importance des pointes de crue dépend de la vitesse de circulation de l'eau sur les versants. Or l'on considère souvent que la végétation forestière freine le ruissellement, et accroît donc les temps de concentration. Ce ralentissement n'est pourtant pas plus efficace, sinon moins, que celui exercé par d'autres types de végétation, prairie notamment. Là encore, la différence essentielle se situe entre sol nu et sol végétalisé, plus qu'entre un type de végétation et un autre.

Lorsque les transferts d'eau résultent essentiellement de processus de sub-surface, on peut penser que les sols forestiers, généralement très perméables en raison de leur structure, peuvent favoriser les transmissions de pression et/ou permettre des circulations rapides de l'eau dans le sol. Cependant tous les auteurs ne sont pas d'accord sur ce point [11].

Rôle de la végétation forestière sur les écoulements de crue ; discussion

Des considérations qui viennent d'être exposées, il ressort que si, dans certaines conditions, la forêt diminue les débits de pointe de crue, elle n'a pas toujours d'effet perceptible par comparaison avec un autre type de végétation en bon état et couvrant bien le sol. Il est alors facile de comprendre la diversité des résultats obtenus.

Tout d'abord, il importe de noter que le protocole expérimental n'est pas le même

dans les trois bassins. Dans les cas du Mont-Lozère et du Réal Collobrier, il s'agit de déboisement, ce qui veut dire que le sol forestier initial existe, et continue de jouer un rôle hydrologique. Ce sol forestier n'existe pas pour le bassin non boisé de Draix. Enfin, un incendie de forêt n'est pas une coupe : le premier laisse le sol complètement nu et peut en outre s'accompagner de modifications de la surface du sol résultant des fortes températures ; le second laisse un sol protégé par les branchages des arbres coupés, dont seuls les troncs ont été exportés. Un ruissellement superficiel, résultant de la fermeture de la surface du sol sous l'impact des gouttes de pluie, peut se produire dans le premier cas. Il n'a guère de facilités pour le faire dans le second.

Ensuite, les pluies et les crues ne sont pas les mêmes. En dépit d'abats d'eau beaucoup plus forts sur le Mont-Lozère (les maximums journaliers observés approchent 400 mm ; ils n'atteignent que 150 mm sur le Réal Collobrier et 80 mm à Draix pour des pluies décennales), les pointes de crue du bassin des Cloutasses, sous pelouse, restent bien en deçà des débits enregistrés sur les bassins déboisés du Rimbaud (Réal Collobrier) et du Laval (Draix). La raison en est que les sols très filtrants et bien protégés par la végétation ne permettent la formation d'un ruissellement que lorsqu'ils sont totalement saturés : le fonctionnement hydrologique d'un bassin sous pelouse n'est donc pas différent de celui d'un bassin forestier. Dans ces conditions, on comprend que la coupe des arbres du bassin de La Latte n'ait pas changé grand chose aux écoulements de crue.

C'est d'abord l'opposition "sol nu / sol couvert", plus que celle "forêt / autre type de végétation" qui détermine des processus hydrologiques très différents.

Conclusion

Les études menées en France sur l'hydrologie forestière sous climat méditerranéen ont montré la complexité du rôle de la forêt sur les écoulements. Il est aussi faux de considérer que la forêt n'a pas d'influence sur les crues que d'affirmer qu'elle les réduit systématiquement !

La complexité des relations pluies-débits fait qu'il n'est pas possible de prévoir les conséquences d'un boisement ou d'un déboisement sans comprendre le fonctionnement hydrologique du milieu considéré. Celui-ci

dépendra – entre autres – de la nature des formations superficielles, des conditions climatiques, des caractéristiques de la végétation.

Par ailleurs, il n'est pas inutile d'attirer l'attention sur le fait que les incertitudes sur les données de base (pluies et débits) à partir desquelles on raisonne sont probablement souvent du même ordre de grandeur que les effets des paramètres que l'on veut estimer : ici le rôle de la végétation. Et quant à ces incertitudes s'ajoutent les hypothèses des modèles...

Il est pourtant possible de tirer de cette synthèse un certain nombre d'enseignements :

– d'abord, l'opposition est avant tout entre sol nu et sol couvert par la végétation (quel que soit le type de végétation), bien plus qu'entre un type de couvert végétal et un autre. Si les défrichements provoquent généralement de fortes perturbations du milieu, c'est parce que la forêt est le plus souvent remplacée par des cultures, et que ces cultures laissent le sol à nu une grande partie de l'année. Les effets de l'incendie du Rimbaud sur les crues se sont atténués dès que le sol a été largement recolonisé par une végétation buissonneuse ou arbustive. Il n'y a guère de différence de fonctionnement sur le Mont-Lozère entre le bassin en pelouse et ceux en forêt. A l'opposé, le bassin très mal couvert du Laval, à Draix, présente un comportement hydrologique radicalement différent du bassin boisé du Brusquet ;

– ensuite, il faut noter l'importance du sol forestier. Son maintien après la disparition de la forêt peut expliquer les faibles conséquences de la disparition des arbres. Mais le sol forestier doit être considéré comme une création de la forêt, même s'il demeure comme une entité indépendante après la disparition de celle-ci.

Ainsi le rôle de la forêt sur les crues, s'il peut s'avérer considérable dans certaines conditions, est loin d'être toujours et partout très sensible.

C.C., J.L., C.M., N.M.

Cet article a été publié dans le numéro 3/2002, p38-42 de la revue *La Houille blanche*, revue internationale de l'eau. Cet article faisait suite à une communication lors du colloque "Forêts et Eau", Nancy, septembre 2001.

Contact : *La Houille Blanche*, Société hydrotechnique de France
25 rue des Favorites 75015 Paris Tél. 01 42 50 91 03

Claude COSANDEY
Laboratoire
de géographie
physique, UMR 8591
du CNRS, 1 Place
Aristide Briand
92190 Meudon
Courriel : cosandey@
cnrs-bellevue.fr

Jacques LAVABRE
Cemagref B.P. 31
Le Tholonet 13612
Aix-en-Provence
cedex 1
Courriel :
jacques.lavabre@
cemagref.fr

Claude MARTIN
UMR 6012 "ESPACE"
Equipe GVE
Département
de géographie
98 Bd Edouard
Herriot BP 3209
06204 Nice cedex 3
Courriel : mar-
tincl@infonie.fr

Nicolle MATHYS
Cemagref
2 Rue de la Papeterie
BP 76 38402
Saint-Martin-d'Hères
Courriel :
nicolle.mathys@
cemagref.fr

Bibliographie

- [1] Richard D., Mathys N., 1999 - Historique, contexte technique et scientifique des BVRE de Draix. Caractéristiques, données disponibles et principaux résultats acquis au cours des dix ans de suivi. *Actes du séminaire "Les bassins versants expérimentaux de Draix, laboratoire d'étude de l'érosion en montagne"* (Draix, Le Brusquet, Digne, 1997), Cemagref-Editions, coll. Actes de colloques, Mathys N. édit., pp 11-28.
- [2] Martin C., Lavabre J., 1997 - Estimation de la part du ruissellement sur les versants dans les crues du ruisseau du Rimbaud (massif des Maures, Var, France) après l'incendie de forêt d'août 1990. *Journal des Sciences Hydrologiques*, vol. 42, n° 6, pp 893-907.
- [3] Lavabre J., Sempere-Torres D., Cernesson F., 1993 - Hydrological consequences of fire : changes on the hydrological response of a little Mediterranean basin a year after the fire. *J. Hydrol.*, vol. 142, pp 273-299.
- [4] Lavabre J., Martin C., avec la collaboration de Didon-Lescot J.F., 1999 - *Appréciation de l'impact des coupes forestières sur l'hydrologie et l'érosion des sols. Cas de la forêt d'Altefage (commune du Pont-de-Montvert - 48)*. Rapport à la DDAF de Lozère, Edit. Cemagref, Aix-en-Provence, 28 p.
- [5] Martin C., Didon-Lescot J.F., avec la collaboration de Cosandey C., 2000 - Le rôle du couvert végétal sur le fonctionnement hydrologique des bassins versants expérimentaux du Mont-Lozère. *In : Etude intégrée du bassin versant du Haut-Tarn appliquée à la gestion des ressources en eau et des fonctionnements hydrobiologiques : contribution de l'UMR "ESPACE" à la connaissance des fonctionnements hydrologiques et hydrochimiques*, Rapport intermédiaire pour le Parc national des Cévennes et l'Agence de l'Eau Adour-Garonne, pp 34-53.
- [6] Cosandey C., avec la collaboration de Martin C. et Didon-Lescot J.F., 2000 - *Forêt et écoulements : étude des conséquences d'une coupe forestière sur le bilan d'écoulement annuel, les crues et les étiages*. Rapport sectoriel pour le rapport final du contrat européen FOREX, 34 p.
- [7] Cosandey C., 1994 - Formation des crues "cévenoles" dans des bassins élémentaires du Mont-Lozère. *Revue des Sciences de l'Eau*, vol. 7, pp 377-393.
- [8] Cosandey C., Robinson M., 2000 - *Hydrologie continentale*. Edit. Armand Colin, 360 p.
- [9] Rawlins B.G., Baird A.J., Trudgill S.T., Hornung M., 1997 - Absence of preferential flows in the percolating waters of a coniferous forest *Soil. Hydrol. Process*, vol. 11, pp 575-585.

Résumé

Trois ensembles de bassins expérimentaux permettent d'étudier, en France méditerranéenne, les conséquences de la forêt sur les crues. Les résultats diffèrent de façon considérable d'un bassin à l'autre, montrant la complexité des relations pluies-débits. Il est à noter que l'augmentation des crues extrêmes est loin d'être avérée dans tous les cas. Une réflexion sur le fonctionnement hydrologique des bassins permet de lever la contradiction apparente entre les résultats observés.

Summary

Consequences of Mediterranean forests on river flooding

Research on the effects of forests on river flooding in France's Mediterranean regions has been conducted based on experiments in three catchment areas. Results display considerable differences from one area to another, highlighting the complexity of the nexus rainfall-flowrates. It should be noted that an increase in extreme flooding is far from being clear in every case. Reflecting on overall hydrological behaviour in the catchment areas has enabled researchers to explain the apparent contradiction in the results obtained.

Riassunto

Conseguenze della foresta mediterranea sugli scorrimenti di piena

Tre insiemi di bacini sperimentali permettono di studiare, in Francia mediterranea, le conseguenze della foresta sulle piene. I risultati sono differenti in modo considerevole da un bacino all'altro, mostrando la complessità delle relazioni pioggia-portate. È da notare che l'aumento delle piene estreme è lontano dall'essere accertato in ogni caso. Una riflessione sul funzionamento idrologico dei bacini permette di togliere la contraddizione apparente tra i risultati osservati.