

Influence de la forêt sur le cycle de l'eau

Conséquences d'une coupe forestière sur le bilan d'écoulement annuel

Claude COSANDEY (1)

RÉSUMÉ

Des études menées dans deux petits bassins-versants expérimentaux présentant des couverts végétaux différents (pelouse paturée et forêt d'épicéas) cherchent à préciser le rôle de la forêt sur le déficit d'écoulement dans cette région de moyenne montagne méditerranéenne recevant des pluies abondantes.

Après 4 années de mesures, les données sont modifiées par la coupe à blanc de la forêt. Les travaux durent trois étés. La méthode des bilans hydrologiques, qui est utilisée, ne permet pas de proposer avec certitude une valeur pour la différence d'évaporation entre les deux types de couvert végétal. Mais en contrepartie, il semble qu'on puisse conclure avec une certaine sécurité que la coupe à blanc de la forêt augmente l'écoulement annuel d'environ 130|150 mm.

Cette valeur proposée de 130|150 mm représente l'effet du déboisement, qui inclue les perturbations du milieu dues aux passages des engins forestiers. Elle n'est évidemment pas assimilable à la différence d'évaporation entre la forêt et un autre type de couvert végétal.

L'intérêt et les limites de l'outil bassin-versant pour ce type d'étude est également discuté.

MOTS CLÉS : Coupe forestière — ETR — Rôle hydrologique de la forêt — Bilans d'écoulement — Bassins versants.

ABSTRACT

INFLUENCE OF FOREST ON THE WATER CYCLE : EFFECT OF TIMBER CUTTING ON ANNUAL RUNOFF

The main subject of this paper is an attempt to estimate the impact of forest on evaporation and water yield. The experimental site consists of two small basins (81 ha and 19.5 ha), one covered with grass and the other one with a 70 — years old spruce forest. Both basins are located on the southern slopes of the Mont Lozère mountain. Average annual precipitation reaches 1900mm and ETP is about 640 mm.

After 4 years measurements, the forested basin began to be clearcut in 1987. Timber cutting activities continued during the two following summers.

The results of our measurements show that the water balance method is not accurate enough in the estimation of the differences in ETR and water yield to relate these to the differences in the vegetation. More significantly, the estimation about the consequences of the timber cutting seems to be responsible for an approximate 130|150 mm increase in streamflow.

This last value reflects the impact of the forest clearance, including the harvest operations which severely disturbed the forest floor. It cannot be accepted as representative of the difference in the vegetation cover (i.e. between grass and forest).

KEY WORDS : Logging — Actual evapotranspiration — Forest hydrology — Water balance — Experimental basin.

(1) Laboratoire de géographie physique Pierre Birot, CNRS, 1 place Aristide-Briand, 92190 Meudon.

L'estimation du rôle hydrologique de la forêt est une des questions difficiles actuellement posées à l'hydrologie et à laquelle, dans l'état actuel des connaissances, il est bien difficile de répondre tant les résultats des études sont divers et même parfois contradictoires.

Les recherches menées dans ce cadre sont nombreuses. Si, globalement, il apparaît bien que la forêt a tendance à augmenter l'évaporation et à réduire l'écoulement, la dispersion des résultats est grande (LOUP, 1971 ; COSANDEY, 1984 ; GHIO, 1987) ; elle n'est toutefois pas surprenante lorsqu'on envisage la diversité des processus hydrologiques responsables des crues, des étiages et du déficit d'écoulement : l'influence de la forêt sur le cycle de l'eau dépend entre autres de la pluie (hauteur, mais aussi répartition dans l'année), des possibilités de stockage et d'utilisation des réserves en eau du sol (qui peuvent dépendre de l'enracinement, donc du type de végétation, mais aussi de la géomorphologie du bassin, de son exposition, de la nature et de l'épaisseur des sols, du substrat), des températures et de leur répartition dans l'année... Elle est donc extrêmement variable d'une région à l'autre et même, pour une région donnée, d'un substrat à l'autre.

Les études menées en BVRE demeurent l'approche expérimentale la plus largement utilisée. Si les résultats ainsi acquis sont fondamentaux — seuls des bilans en bassin-versant permettent la quantification — ils sont parfois difficiles à interpréter avec finesse, et plus encore à transposer d'un bassin à l'autre (BOSCH et HELWETT, 1982 ; VEEN & DOLMAN, 1989).

Le but de la recherche dont les résultats sont exposés ici est de montrer l'intérêt et les limites de l'outil bassin versant pour préciser l'impact de la forêt sur le déficit d'écoulement. Elle est basée sur l'étude du bilan hydrologique de deux petits bassins versants expérimentaux, l'un en pelouse (le bassin des Cloutasses), l'autre en épicea (le bassin de la Latte), situés dans le sud du Massif central. Après une période de mesures de 4 années, le bassin forestier est attaqué par un parasite et les arbres dépérissent. La décision d'une coupe à blanc est prise, et les travaux durent trois étés.

Deux questions sont étudiées successivement :

— d'une part peut-on, à partir de la seule étude des bilans annuels, estimer valablement la part revenant à la différence de végétation dans la différence de comportement hydrologique des bassins ?

— et d'autre part est-il possible d'estimer avec précision les conséquences de la disparition de la forêt sur le bilan d'écoulement ?

Les résultats ainsi obtenus sont discutés pour définir dans quelle mesure ils permettent de préciser le rôle de la forêt sur le déficit d'écoulement.

1. MILIEU PHYSIQUE, DISPOSITIF EXPÉRIMENTAL ET MÉTHODE D'ÉTUDE

1.1. LES DONNÉES DU MILIEU NATUREL

Les bassins-versants étudiés sont localisés dans la partie méridionale du Massif central français, sur le versant sud du mont Lozère, à une altitude variant de 1 290 à 1 488 m. (DUPRAZ, 1984 ; fig. 1).

La roche-mère est constituée par le granite dit « du pont de Monvert », considéré comme homogène ; celui-ci est recouvert par des sols minces, de type ranker ou brun ocreux humifère, développés sur une arène elle-même généralement peu profonde (DURAND, 1989). La texture grossière de ces sols (sables grossiers, 50 à 60 % ; sables fins, 14 à 16 % ; limons 20 % ; argiles 2 à 7 % ; BOUDJEMLINE, 1987) les rend particulièrement filtrants.

La pluviosité annuelle est élevée, variant pour la période d'étude de 1 437 à 2 809 mm (pour une moyenne annuelle de l'ordre de 1 900 mm ; DIDON, 1985), l'enneigement étant de 10 à 40 % selon les années. La répartition des pluies est typiquement bimodale, traduisant une influence méditerranéenne, avec de fortes précipitations en automne et au printemps, ces dernières étant toutefois globalement moindres (fig. 2).

À l'abondance des pluies s'ajoute le fait que la hauteur des précipitations lors d'un même épisode pluvieux peut être considérable : par exemple, il a été relevé plus de 400 mm en 48 h. entre le 6 et le 8 novembre 1986.

Des températures basses (moy. de janvier : - 1.5 °), de fréquentes alternances gel/dégel, des gelées précoces et tardives, des vents violents, occasionnellement des neiges lourdes, des périodes de sécheresse en été dont les conséquences sont accentuées par la faiblesse des réserves hydriques (généralement inférieures à 100 mm) constituent des conditions rudes pour la végétation dont la croissance est lente.

L'évapotranspiration moyenne, estimée selon la formule de Turc, est de 640 mm (MOUNKALA, 1988).

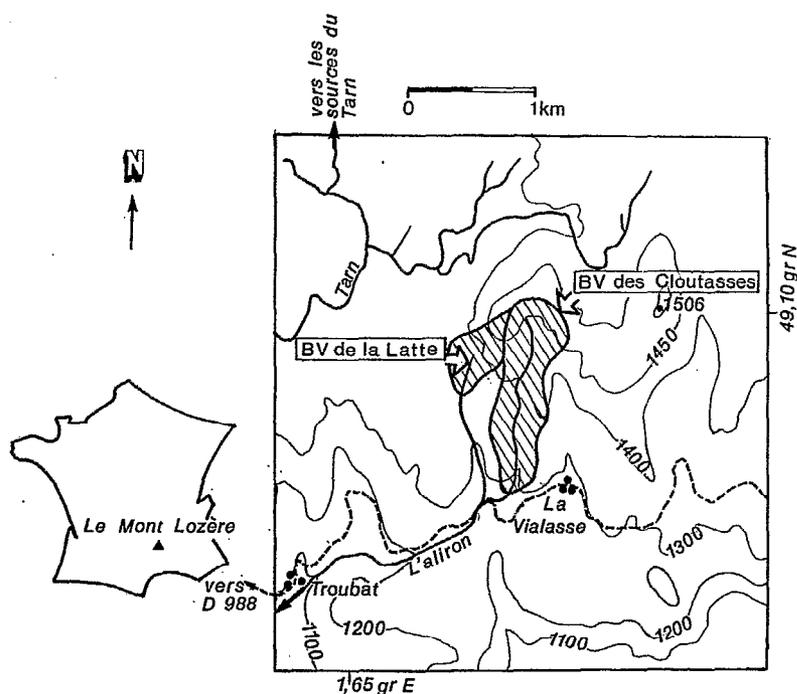


FIG. 1. — Situation géographique des bassins versants expérimentaux des Cloutasses et de la Latte (extrait simplifié de la carte au 1/50 000° de Génolac).

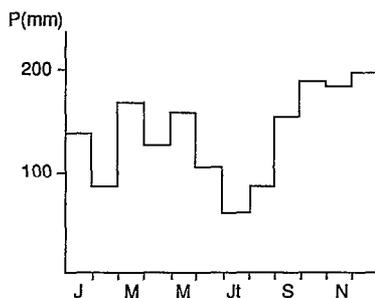


FIG. 2. — Précipitations moyennes mensuelles à la station Pont de Montvert (Normale 1921-50).

1.2. DISPOSITIF EXPÉRIMENTAL

Le dispositif expérimental utilisé est essentiellement constitué par deux petits bassins-versants expérimentaux.

Le bassin-versant des Cloutasses, d'une surface de 81 ha, est occupé à 75 % par une pelouse (*Nardus stricta*), à 10 % par une lande à genêts, avec quelques bosquets de hêtres (5 %) et des tourbières en chapelet le long du talweg (5 %) (DUPRAZ, 1984). Le feu pastoral continue d'y être pratiqué, et la lande est régulièrement brûlée pour maintenir le milieu ouvert et permettre le pâturage des ovins qui y transhument chaque été. Une station de jaugeage, dite des Cloutasses hautes délimite un sous-bassin de 36 ha, plus semblable en taille au bassin en forêt.

Le bassin-versant de la Latte, contigu à celui des Cloutasses, mais de surface moindre (19,5 ha) est occupé à 85 % par une forêt de résineux (*Epicéa* — *Picea Excelsa* — dominant et pin à crochets) plantés vers 1937 ; une lande à genêts et un lambeau de hêtraie occupent l'espace à la hauteur de la station de jaugeage.

La mesure des précipitations est assurée par 4 pluviographes, trois étant situés sur les bassins et un à l'extérieur, complétés par des tubes totalisateurs dont le nombre a pu varier de 6 à 10 suivant les années et les problèmes étudiés.

La lame d'eau moyenne pour chacun des bassins est calculée après l'établissement d'un coefficient de pondération pour chaque pluviographe, différent pour chacun des bassins, déduit des isohyètes (DUPRAZ, 1984).

Une station météo mesurant les températures complète le dispositif expérimental (fig. 3)

Les deux stations de jaugeage principales sont équipées d'un seuil à paroi mince, avec un déversoir triangulaire permettant une bonne connaissance des débits jusqu'à environ 143 l/s. Au delà de ce seuil, la mesure est beaucoup plus approximative, puisque dans le bassin de la Latte il n'y a pas de jaugeages en crue, et dans celui des Cloutasses, pas de mesure au dessus de 600 l/s (alors que les pointes de crue, très brèves, sont estimées à plus de 2 700 l/s).

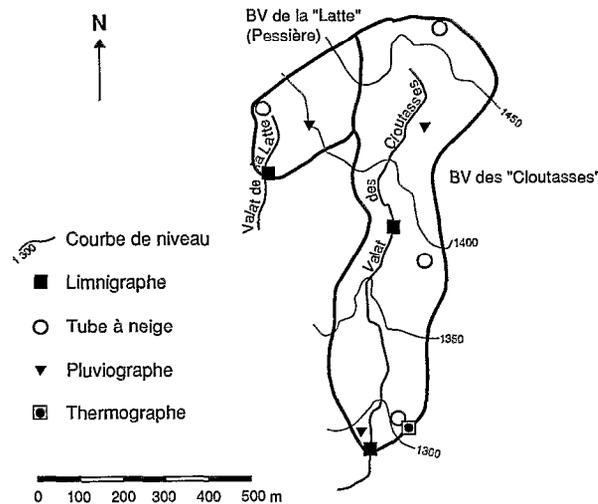


FIG. 3. — Dispositif expérimental et équipement.

1.3. MÉTHODE D'ÉTUDE

L'estimation de l'ETR est basée sur la méthode des bilans hydrologiques. La mesure des pluies et des débits est menée conjointement dans les deux petits bassins expérimentaux.

Les mesures commencent en juillet 1981. Quatre années plus tard, les résineux subissent une attaque parasitaire (dendroctone) qui les fait dépérir, et conduit à la décision d'une coupe à blanc de la forêt. Les opérations de coupe, commencées durant l'été 1987, ont suivi le calendrier suivant : durant l'année 1987 : 35 % de la superficie du bassin est déboisée ; 1988 : 65 % ; 1989 : 80 % déboisée, et les travaux sont achevés. Il demeure environ 5 % de forêt, notamment en lisière amont, le reste du bassin étant occupé par une lande à genêts et myrtilles et quelques bosquets de hêtres. L'entrepreneur procède alors à la mise en andains des branchages et à la plantation de jeunes arbres qui, pour une part, ne reprennent pas en raison de conditions climatiques défavorables.

Une première approche de l'ETR peut se faire à partir de bilans hydrologiques annuels, qui permettent rapidement un certain nombre d'observations. Cette méthode présente toutefois le risque majeur d'intégrer toutes les erreurs de mesures, aussi bien sur les données (pluies et débits) que sur les surfaces des bassins ; le risque est d'autant plus grand ici que d'une part, pluies et débits sont importants par rapport à l'évapotranspiration et que, d'autre part, les surfaces des bassins sont petites. Il faudra prendre avec une certaine réserve les valeurs absolues des différences ainsi observées, et garder en mémoire que, par exemple, une erreur de 5 % sur les surfaces de l'un ou l'autre des bassins induirait une erreur *systématique* moyenne de 75 mm sur l'estimation des différences d'écoulement, donc de l'ETR. D'où le risque d'erreur d'interprétation si on attribue ces différences à une différence de fonctionnement hydrologique, notamment liée à la végétation....

Il s'agira donc d'interpréter avec précautions les estimations des ETR déduites des seuls bilans annuels, et d'en préciser les limites à l'aide d'approches plus fines. En effet, seule la *compréhension* de la façon dont la végétation intervient sur le cycle de l'eau, qui peut être abordée par l'étude des bilans à un pas de temps plus fin, permet une meilleure approche du rôle effectif du type de couverture végétale sur le cycle de l'eau (COSANDEY, 1978).

En revanche, *les tendances dans les différences* entre les bassins, qui peuvent apparaître au cours de la période d'étude seront beaucoup plus simples à interpréter, puisqu'elles s'affranchissent de l'erreur systématique sur les surfaces, et partiellement au moins des erreurs sur les débits et les pluies.

Pour toute période du cycle hydrologique, il est possible d'écrire :

$$\text{ETR} = P - \text{Le} - \Delta R :$$

l'évapotranspiration réelle (ETR) est égale à la différence entre les pluies (P) et les débits, exprimés en lame d'eau écoulée (Le), corrigée de la variation des réserves en eau du sol et du sous-sol (ΔR , soit la somme des réserves utile Ru et hydrologique Rh).

Afin de minimiser l'erreur sur l'estimation des réserves, le calcul annuel se fait en choisissant pour bornes la période de l'année où ces réserves sont le moins différentes d'une année sur l'autre, ou le moins difficiles à estimer. C'est en général, soit la période de fin d'été, lorsque les réserves sont au minimum, soit en hiver, lorsqu'elles sont au maximum. La période de fin d'été, d'abord envisagée, n'a pas été retenue : en effet les premières pluies d'automne, qui en marquent la fin, se produisent dans une fourchette de temps qui peut aller de fin août (en 1984) à début octobre (en 1985) : d'où une difficulté supplémentaire introduite dans les comparaisons par la prise en compte d'années hydrologiques de longueurs inégales. La date de fin décembre, période qui ne connaît généralement pas de pluies importantes (les grosses averses se produisent toujours avant début décembre, puis après février) et à laquelle la réserve utile est toujours reconstituée, a alors été préférée. A cette date, il est possible de négliger les différences de valeur de la réserve hydriques (Ru), et d'écrire :

$$\text{ETR A} = (P \text{ A} + \text{Rh au 1 Janv.}) - (\text{Le A} + \text{Rh au 31 Déc.})$$

P (la pluie) et Le (lame d'eau écoulée) sont mesurées ou déduites des mesures. Rh, la réserve hydrologique, est estimée à partir du calcul des paramètres de la courbe de tarissement selon la loi de Maillet et les valeurs du débit au 31 décembre à minuit (avec correction éventuelle en cas de crue). Ru n'intervient pas dans le calcul puisqu'elle est à cette date à sa valeur maximum, qui correspond à la capacité de rétention en eau des sols. En contrepartie, la présence éventuelle d'un stock neigeux sera pris en compte.

2. DIFFÉRENCE DE FONCTIONNEMENT HYDROLOGIQUE EN FONCTION DU TYPE DE VÉGÉTATION

2.1. L'ETR DES DEUX BASSINS ET LEURS DIFFÉRENCES

Les résultats, établis sur une période de 9 ans d'après les données de l'annexe, sont les suivants :

TABLEAU I
ETR (mm) dans les bassins de la Latte (pessière) et des Cloutasses (pelouse)

ANNÉE	ETR (mm)		DIFFÉRENCE (pessière-pelouse)	MODIFICATION dans la pessière
	pessière	pelouse		
1982	527	468	59	
1983	563	409	154	
1984	671	471	200	
1985	502	404	98	début de la maladie
1986	453	399	54	
1987	466	452	14	début de la coupe
1988	438	524	- 86	
1989	527	523	4	fin de la coupe
1990	611	593	18	

Ce tableau permet deux types d'observations :

— il existe une différence marquée entre les ETR Pelouse et Pessière, pendant les trois premières années de mesures, pendant lesquelles la forêt était en bonne santé ;

— cette différence s'estompe jusqu'à pratiquement disparaître à partir du moment où les arbres sont malades, puis coupés ;

une observation rapide de ces chiffres conduirait à conclure que la différence d'évaporation entre la forêt bien portante et la pelouse doit être de l'ordre de 130 mm, et que la forêt coupée évapore comme la pelouse.

Cette conclusion peut toutefois surprendre. En effet, il est curieux qu'un bassin déboisé, qui n'est pas encore recolonisé par la végétation, évapore autant qu'une pelouse pérenne, dont les racines colonisent l'ensemble du sol. Il faut peut-être regarder les résultats avec davantage d'esprit critique.

2.2. LIMITES DE LA MÉTHODE DES BILANS ANNUELS

L'étude fine des estimations d'ETR amènent à mettre en doute certaines valeurs annuelles. En 1988, notamment, le bassin en pelouse aurait évaporé 86 mm de plus que le bassin coupé, ce qui n'est pas surprenant en soi, mais plutôt en contradiction avec les résultats des autres années. L'année 1982 présente également une anomalie apparente qui, bien que moins grande, conduit à poser la question de la fiabilité des résultats des bilans annuels.

Ces remarques montrent qu'il ne faut pas perdre de vue qu'une grande incertitude demeure sur les données de base. Notamment, les valeurs proposées pour le bassin des Cloutasses sont probablement sous-estimées, comme cela peut s'observer sur le bilan hydrologique de périodes d'« hiver » (soit lorsque $P > ETP$, et que donc se reconstituent les réserves en eau du sol et du sous-sol) :

En effet, si on écrit :

$$P(\text{hiver}) = Le(\text{hiver})$$

$$+ ETP(\text{hiver})$$

$$+ \text{eau mise en réserves à la fin de l'hiver}$$

d'où : réserves = $P(\text{hiver}) - Le(\text{hiver}) - ETP(\text{hiver})$

on peut calculer, par exemple de sept. 1982 à mai 1983 :

$$\text{réserves} = 2079 \text{ mm} - (1765 \text{ mm} + 239 \text{ mm}) = 75 \text{ mm}.$$

Or, on sait que les réserves constituées pendant l'hiver assurent pendant l'été à la fois un complément d'alimentation en eau de la végétation (à partir de la réserve utile), et la quasi-totalité des débits (à partir de la réserve hydrologique), les pluies « efficaces » étant exceptionnelles, et de très faible rendement (COSANDEY, 1991). Durant l'été 1983, l'écoulement est de 72 mm, ce qui suppose que la réserve utile n'aurait pratiquement pas été réalimentée par les pluies d'hiver, ce qui n'est pas vraisemblable.

Une situation du même type se retrouve l'année suivante ; de septembre 1983 à mai 1984, le bilan s'écrit :

$$\text{réserves} = 1\ 381 \text{ mm} - (1\ 064 \text{ mm} + 286 \text{ mm}) = 31 \text{ mm} ; \text{ or le seul écoulement d'été est déjà de } 95 \text{ mm}...$$

Ces résultats montrent qu'on doit conserver une attitude critique en face de données acquises dans des conditions climatiques très dures. Il faut conclure que, soit les débits sont surestimés, soit la surface du bassin est sous-estimée (ce qui conduit à surestimer Le , la lame d'eau écoulée), soit les précipitations sont sous-estimées. Il est à noter, qu'un sous-bassin des Cloutasses, dit des Cloutasses hautes, également occupé par une pelouse, plus semblable à la fois comme forme, comme surface et comme tranche d'altitude au bassin de la Latte, mais qui n'a été suivi que pendant 3 ans, présente des débits spécifiques sensiblement plus faibles que ceux de la station aval. Ces mesures conduisent à des estimations de l'ETR très proches de celle de la Latte. On obtient en effet sur les 3 années connues les résultats suivants :

TABLEAU II
ETR dans les bassins de la Latte et des Cloutasses Hautes (en mm)

ANNÉE	ETR Latte (pessière)	ETR Cloutasses htes (pelouse)	Différence
1983	563	564	- 1
1984	671	614	57
1985	502	480	22

L'examen du tableau II montre une faible différence d'évaporation entre le bassin en pelouse et le bassin en forêt, sensiblement moindre que celle calculée précédemment (tabl. I) ; la différence de fonctionnement entre les deux bassins en pelouse est difficile à interpréter, et encore plus à attribuer aux différences de couvert végétal.

Ces quelques observations permettent d'insister sur le danger qu'il y aurait à assimiler trop rapidement le déficit d'écoulement annuel, même corrigé des variations de réserves, qui intègre toutes les erreurs d'estimation des bilans hydrologiques (erreurs de mesures, auxquelles s'ajoutent les incertitudes sur la surface du bassin, et d'éventuelles pertes souterraines profondes ou par sous-écoulement) à l'ETR. Le risque d'erreur est multiplié par deux lorsqu'on compare les valeurs de deux bassins versants...

Seule une étude à un pas de temps plus fin, à partir de laquelle il serait possible d'appréhender le cycle hydrologique dans son déroulement annuel, permettrait d'approcher les différences de comportements hydrologiques, notamment au niveau de la reconstitution et de l'utilisation des réserves (COSANDEY, 1978). Il serait alors plus aisé de faire la part des incertitudes de mesures de celle revenant aux différences d'évaporation du couvert végétal.

2.3. MODIFICATION DE L'ÉVAPOTRANSPIRATION INDUITE PAR LA COUPE FORESTIÈRE

S'il est difficile de conclure quant à la valeur de la différence d'évapotranspiration — donc d'écoulement — entre deux bassins en fonction de la couverture végétale au seul vu des bilans annuels, il est toutefois possible de proposer une estimation des conséquences de la coupe de la forêt sur ce même écoulement annuel.

En effet, si au lieu de travailler sur les valeurs absolues des ETR, on travaille sur leurs différences, les résultats obtenus s'affranchissent de l'essentiel des sources d'erreurs, dans la mesure où celles-ci sont le plus souvent systématiques et affectent de la même façon l'ensemble des données, avant comme après la coupe forestière.

On compare alors les différences moyennes d'évapotranspiration entre les bassins pour la période 1982-1985, avant le début des opérations de coupe et la maladie des arbres, avec celles de la période 1987-1990, soit après le début des opérations de coupe. L'année 1986, durant laquelle le dépérissement des épicéas est sensible, a été éliminée pour éviter d'introduire un biais :

— pour la période 1982-1985, l'écart moyen d'évaporation entre les deux bassins est de 138 mm ;

— pour la période 1987-1990, les résultats diffèrent quelque peu suivant qu'on élimine ou non l'année 1988, qui présente des valeurs sensiblement différentes des trois autres années.

Dans le premier cas, la différence moyenne d'évaporation entre les deux bassins est de 9 mm : la maladie, puis la coupe de la forêt paraissent augmenter l'écoulement d'environ 130 mm. Dans le second cas, en intégrant l'année 1988, la différence moyenne d'évaporation est de 12 mm, mais avec une évaporation plus forte pour le bassin des Cloutasses : l'écart relatif entre les deux périodes d'étude devient alors de 150 mm ; l'ordre de grandeur demeure le même pour des résultats dont la précision ne doit pas faire illusion.

On peut noter que dans le New Hampshire, avec des conditions d'écoulement plus faibles (600/800 mm) HORNBECK *et al.* (1987) ont trouvé respectivement 175 et 71 mm de réduction d'écoulement pour la première et la deuxième année suivant une coupe à blanc. Par ailleurs, J. LAVABRE *et al.* (1991) proposent des valeurs tout à fait comparables pour le supplément d'écoulement résultant de la destruction de l'écosystème forestier par un incendie dans le bassin du Rimbaud (massif des Maures) : 150 mm.

L'heureuse convergence de ces résultats ne doit toutefois pas faire illusion : la valeur de 130/150 mm pour l'augmentation de l'écoulement après la coupe à blanc de la forêt n'est que le résultat d'une expérimentation qui de plus, s'est produite dans des conditions climatiques particulières (les années 1989 et 1990 ont été particulièrement sèches). Cette estimation peut peut-être avoir une signification locale, voire régionale — et encore cela pourra dépendre de la nature et de l'épaisseur des sols — mais n'a certainement pas de valeur générale. L'augmentation de l'écoulement faisant suite à la disparition de la forêt dépend d'un trop grand nombre de facteurs pour qu'une simple extrapolation de résultats soit possible sans étude spécifique des modalités de cet écoulement (SCHULZE & GEORGE, 1987 ; VEEN & DOLMAN, 1989 ; FRITSCH, 1992).

Il importe par ailleurs d'insister sur le fait que la valeur de 130/150 mm, telle qu'elle vient d'être établie, représente la réduction d'évapotranspiration résultant de la coupe forestière, avec tout ce que ces opérations supposent de perturbations du milieu naturel, et en particulier des sols (tassements, ornières...) avec leurs conséquences hydrologiques (KING and TENNYSON, 1984 ; FRITSCH, 1987 ; BERNARD-ALLÉE *et al.*, 1989 ; COSANDEY, 1991). Il serait abusif de l'assimiler à un surplus d'évaporation qui aurait résulté de la végétation forestière. Par ailleurs, il ne faut pas perdre de vue le fait que la réduction d'écoulement qui suit la disparition de la forêt constitue une situation transitoire. Même si la forêt ne se reconstitue pas ensuite — que ce soit spontanément ou par plantation —, il y a dans les années qui suivent la coupe, une recolonisation par la végétation qui, progressivement, protège le sol, augmente l'évapotranspiration — et donc réduit ruissellement et écoulement. Il peut être intéressant de noter à ce sujet les résultats exposés par BOLIN & WARD (1987) : 2 ans après qu'un feu ait détruit 60 % d'une forêt de conifères couvrant un bassin de 43 km² au Nouveau Mexique, les écoulements sont redevenus normaux ; or il est peu probable que la végétation forestière ait été totalement reconstituée...

CONCLUSION

Les difficultés méthodologiques inhérentes à la mesure des termes du bilan hydrologique rendent difficiles l'estimation et l'interprétation des différences d'évapotranspiration entre deux bassins versants, même contigus. Une étude menée dans deux petits bassins versants, l'un couvert d'une pelouse pâturée et l'autre par une pessière de

reboisement n'échappent pas à ces difficultés, et il n'est pas possible d'attribuer avec certitude les différences de déficit d'écoulement mesurées aux différences de couvert végétal.

En contrepartie, cette méthode des bilans annuels permet de proposer une estimation pour la valeur de la réduction d'évaporation résultant de la coupe de la forêt : la maladie des arbres entraîne une augmentation d'écoulement qui, accentuée par les opérations de coupe serait de l'ordre de 130 à 150 mm dans l'exemple étudié ici, soit environ 10 % du débit moyen annuel.

Ce chiffre, qui représente les effets d'une coupe forestière, a peut-être une valeur locale, voire régionale, mais en aucun cas générale, puisqu'il dépend des conditions climatiques, géomorphologiques et pédologiques. La difficulté, voire l'impossibilité de transférer des valeurs chiffrées d'un bassin à un autre dont le climat, la morphologie ou les sols seraient différents, oblige à une double démarche : d'abord, bien évidemment, multiplier les approches quantitatives, afin de connaître les données locales, mais surtout, ensuite, *comprendre* le fonctionnement hydrologique du bassin, et donc la manière dont le couvert forestier peut intervenir sur le cycle de l'eau. Cette démarche est la seule, dans l'état actuel des recherches qui ont déjà fourni beaucoup de résultats chiffrés, qui permettra de progresser de façon significative dans l'estimation de l'influence de la forêt sur le cycle de l'eau.

REMERCIEMENTS

Cette étude a été réalisée dans le cadre de la recherche menée par les membres du programme Inter-équipe de l'URA-DO 141 (Responsable : A. GODARD), en collaboration avec les chercheurs du Gis « Bassins versants du mont-Lozère » (Responsable : F. LELONG) et le parc national des Cévennes. Il a été financé par le CNRS avec l'aide de La CEE (programmes « Deforpa » et « Recherche et développement dans le domaine de l'environnement »).

Les données de terrain ont été acquises par Jean-françois DIDON-LESCOT, et le calcul de la courbe de tarage en crue réalisée grâce à la collaboration de M. GHIO.

BIBLIOGRAPHIE

- BERNARD-ALLÉE (Ph.), VALADAS (B.), COSANDEY (C.), MUXART (T.), GODARD (A.), 1989. -- *Forest harvesting geomorphic effects in a submediterranean middle mountain. Mont Lozère, South of the Massif Central, France*. Comm. au 2e Congrès international de Geomorph. Frankfurt, Sept. 1989.
- BOUDJEMLINE (D.), 1987. — *Susceptibilité au ruissellement et aux transports solides de sols à textures contrastées. Étude expérimentale au champ sous pluies simulées*. Thèse de 3^e cycle, université d'Orléans, 266 p.
- BOLIN (S.B.), WARD (T.M.), 1987. — *Recovery of a New Mexico drainage basin from a forest fire. Forest hydrology and watershed management (proceedings of the Vancouver Symposium, August 1987)* IAHS publi. N° 167 : 191-198.
- BOSH (J.M.) and HEWLETT (J.D.), 1982. — *A review of catchment experiments to determine the effect of vegetation changes on water yield and evapotranspiration. Journal of hydrology*, 55 (1982) : 3-23, Amsterdam.
- COSANDEY (C.), 1978. — *Recherches sur le bilan hydrologique d'un bassin versant forestier*. Coll. inter. Ceneca — « la forêt dans le monde », Paris, mars 1978, 5p. + 2 fig.
- COSANDEY (C.) 1984. — *Recherches sur les bilans de l'eau dans l'ouest du massif Armoricaïn*. Thèse de Doctorat d'état, 511 p., université de Paris IV, Paris.
- COSANDEY (C.) et al., 1991. — *Rôle hydrologique de la forêt : étude des conséquences d'une coupe forestière sur les conditions d'apparition des crues et sur le déficit d'écoulement*. Rapport de fin de contrat CEE, Meudon.
- DIDON (J.F.), 1985. — *Contribution à l'étude de la variabilité spatio-temporelle des pluies sur le mont Lozère*. DEA, univ. de Montpellier.
- DUPRAZ (C.), 1984. — *Bilan des transferts d'eau et des éléments minéraux dans trois bassins-versants comparatifs à végétation contrastée (mont Lozère, France)*. Thèse de docteur-ingénieur, Orléans, 363 p. + annexes.
- DURAND (P.), 1989. — *Biogéochimie comparée de trois écosystèmes (pelouse, hêtraie, pessière) de moyennes montagnes granitiques (mont Lozère, France)*. Thèse de Doctorat, soutenue à l'université d'Orléans le 1^{er} décembre 1989.
- FRITSCH (J.M.), 1987. — *Écoulement et érosion sous prairies artificielles après défrichement de la forêt tropicale humide. Forest hydrology and watershed management (proceedings of the Vancouver Symposium, August 1987)* IAHS publi. N° 167 : 123-129.
- FRITSCH (J.M.), 1992. — *Les effets du défrichement de la forêt amazonienne et de la mise en culture sur l'hydrologie de petits bassins versants*. Études et thèses, Orstom, Paris.
- GHIO (M.), 1987. — *Y a-t-il aggravation des crues depuis quelques années ?* Journées de l'Afeid, Angers, mai 1987.

- HORNBERCK (J.W.), FEDERER (C.A.), PIERCE (R.S.), 1987. — Effects of whole-tree clearcutting on streamflow can be adequately estimated by simulation. *Forest hydrology and watershed management (proceedings of the Vancouver Symposium, August 1987)* IAHS publi. N° 167 : 565-574.
- KING (J.G.) and TENNYSON (L.C.), 1984. — Alteration of streamflow characteristics following road construction in North Central Idaho. *Water Res. Res.*, vol 20, N° 8 : 1159-1163.
- LAVABRE (J.), SEMPÈRE-TORES (D.), CERNESSON (F.), 1991. — Etude du comportement hydrologique d'un petit bassin versant méditerranéen après la destruction de l'écosystème forestier par un incendie. Premières analyses. *Hydrol. continent.* 6 (2) : Paris.
- LOUP (J.), 1971. — *L'utilisation des ressources en eau d'un bassin versant*. RGA t.59 : 581-587, Grenoble.
- MOUNKALA (C.), 1988. — *Évaporation et bilans hydrologiques dans les bassins du mont Lozère*. Mémoire de DEA ; université de Paris I.
- SCHULZE (R.E.), GEORGE (W.J.), 1987. — Simulation of effects of forest on water yield with a dynamic process-based model. *Forest hydrology and watershed management (proceedings of the Vancouver Symposium, August 1987)* IAHS publi. N° 167 : 575-584.
- VEEN (A.W.L.), DOLMAN (A.J.), 1989. — Water dynamic of forest : one dimensional modeling. *Progress in Physical Geography*, 13, Norwick, G.B.

ANNEXE

Bilans hydrologiques et ETR

a) — Bassin versant de la Latte

Année	Pluie (mm)	Lame écoulee Le (mm)	Réserves* (mm)		ΔR (mm)	ETR = $P - Le - \Delta R$ (mm)
			1er janv.	31 déc.		
1982	2036	1590	132	51	- 81	527
1983	1629	965	51	152*	+101	563
1984	2476	1910	152	47	-105	671
1985	1146	625	47	66	+ 19	502
1986	2148	1710	66	51	- 15	453
1987	2011	1540	51	56	+ 5	466
1988	2146	1740	56	24	- 32	438
1989	1386	835	24	48	+ 24	527
1990	1417	830	48	24	- 24	611

* Réserves = réserve hydrologique (loi de Maillet) \pm stock neigeux (notamment en 1983)

b) — Bassin versant des Cloutasses

Année	Pluie (mm)	Lame écoulee Le (mm)	Réserves (mm)*		ΔR (mm)	ETR = $P - Le - \Delta R$ (mm)
			1er janv.	31 déc.		
1982	2076	1700	152	60	- 92	468
1983	1648	1165	60	134*	+ 74	409
1984	2477	2113	134	27	-107	471
1985	1129	668	27	84	+ 57	404
1986	2151	1794	84	42	- 42	399
1987	2039	1584	42	45	+ 3	452
1988	2190	1700	45	11	- 34	524
1989	1392	820	11	60	+ 49	523
1990	1420	865	60	22	- 38	593

* Réserves = réserve hydrologique (loi de Maillet) \pm stock neigeux