

Impact de la forêt sur les débits d'étiage

Impact of forest on low water discharge

par Mark Robinson

Centre for Ecology and Hydrology, Wallingford, OX10 8BB, R-U
E-mail : mr@ceh.ac.uk

Claude Cosandey

Laboratoire de Géographie Physique, URA 141 du CNRS,
1, place A. Briand, 92190 Meudon
E-mail : cosandey@cnrs-bellevue.fr

The results of the FOREX project (FOrests and EXtreme flows) are presented. This study uses basins at many sites across Europe. Results were obtained for conifers, mixed hardwood forests, open forests and eucalyptus plantations. These studies showed the largest impacts were in cool temperate climates and for eucalyptus plantations in southern Europe.

I ■ INTRODUCTION

Le taux de couverture forestière de l'Union européenne (actuellement de l'ordre de 30 %) continue d'augmenter en fonction de pressions financières et politiques. Rentrent en compte la réforme de la Politique Agricole Commune (pour réduire la surproduction agricole) comme des soucis de gestion environnementale. Lors de trois conférences essentielles (à Strasbourg en 1990, à Helsinki en 1993 et à Lisbonne en 1998), les ministres européens en charge de la forêt ont défini les orientations générales d'une gestion des forêts d'Europe placée dans le cadre d'un développement durable, et se sont entendus pour encourager le maintien de la forêt, le reboisement des parcelles défrichées et de nouveaux boisements [1].

L'augmentation des surfaces forestières est susceptible de modifier le fonctionnement hydrologique des régions concernées. S'il est généralement admis que la forêt joue un rôle modérateur sur les inondations [2] — même si ce rôle est loin d'être simple [3], ses conséquences sur les étiages sont beaucoup moins claires [4]. On peut penser qu'une évaporation globalement plus forte pompe davantage dans les réserves en eau du sol, diminuant d'autant la quantité d'eau disponible pour les soutiens d'étiage ; mais d'autres auteurs considèrent au contraire que la forêt améliore la structure du sol, favorisant l'infiltration et les écoulements souterrains aux dépens des écoulements rapides superficiels, générateurs de crues et d'inondations. La question n'est pas vraiment tranchée, et il se trouve des organismes de gestion forestière pour affirmer qu'un boisement soutient les débits d'étiage — au moins à court terme [5], tandis que d'autres considèrent que la croissance de forêt réduira ces mêmes débits [6].

La modification des débits d'étiages peut avoir un certain nombre d'effets indésirables :

- Les réductions des débits d'étiage risquent d'affecter les ressources en eau pendant la période où ces ressources sont particulièrement faibles.
- Une plus forte irrégularité des rythmes d'écoulement peut sérieusement gêner la production d'hydroélectricité.
- Des débits d'étiage trop faibles peuvent avoir des conséquences graves sur les conditions de vie des populations aquatiques.

Il est difficile de mesurer les coûts économiques d'une diminution des débits d'étiages qui, au contraire des inondations, sont des événements progressifs induisant des surcoûts de coût plus diffus. Une méthode objective pour une telle estimation pourrait être de calculer le surcoût résultant de la recherche de sources alternatives d'approvisionnement tels des pompages à partir d'autres bassins, des forages, ou encore des installations de traitement et de transport. Ces coûts varient bien évidemment en fonction des conditions locales, mais une estimation de la Thames Water PLC (dans les plaines du Sud de l'Angleterre, où les pluies sont faibles), et de l'United Utilitie PLC, (dans les reliefs du NO de l'Angleterre, avec de fortes pluies) conclut que le coût d'une baisse de rendement de 1 % d'un bassin de 10 000 km² peut atteindre 15 à 20 millions d'euros.

II ■ CONDITIONS DE L'ÉTUDE

Le projet de FOREX a été financé par l'Union Européenne. Il a rassemblé des scientifiques de France, de Grande-Bretagne, d'Allemagne, d'Irlande et du Portugal. Les travaux

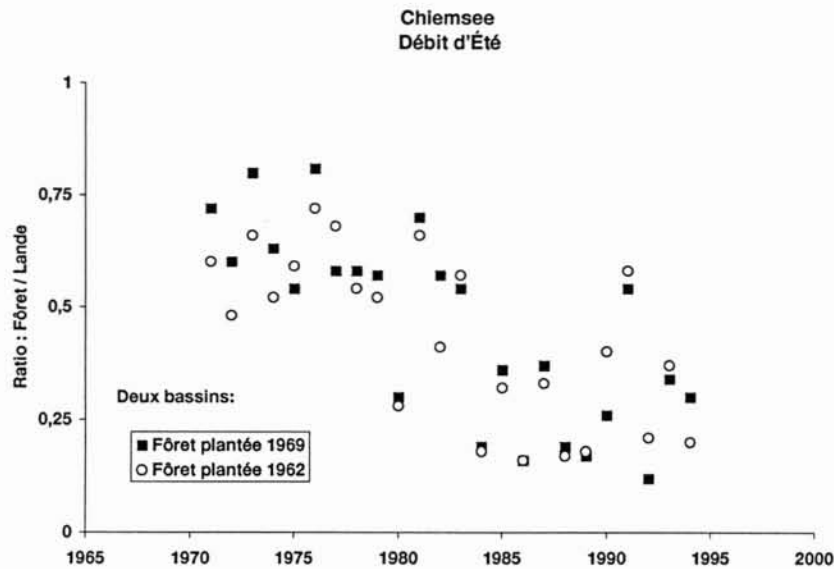


Figure 1 : Réduction des écoulements d'été en fonction de la croissance de forêt. (*Picea abies*, Chiemsee, pré-Alpes allemandes).

ont été menés à partir de données obtenues dans des bassins versants représentatifs de la plupart des situations forestières qui se rencontrent à travers l'Union, considérées comme pertinentes du point de vue de leurs conséquences hydrologiques. Celles-ci incluent différentes étapes de la vie de la forêt (plantation, croissance, et coupe) comme différentes essences forestières (conifères, feuillus de bois durs et eucalyptus).

Les sites d'étude sont situés selon des gradients climatiques basés sur la classification biogéographique de zones d'EU [7]. La classification finale s'est faite en trois groupes :

- « atlantique » qui comprend l'Europe occidentale du Nord, à dominance de forêt de conifères
- « continental » comprenant l'Europe centrale où dominent les forêts mixtes de bois durs
- « méridional » qui concerne l'Europe méridionale avec des forêts de résineux ou de hêtres à faible productivité et des plantations d'eucalyptus à vocation commerciale.

III ■ PRINCIPAUX RÉSULTATS

Les résultats des études menées dans le cadre du projet FOREX [8] [9] ont montré que l'idée courante selon laquelle la forêt diminuait les débits d'étiage est trop simpliste, et qu'il faut la nuancer en fonction d'un certain nombre de facteurs spécifiques, dont la nature et le type de forêt pris en compte. Par ailleurs, le rôle de la forêt sur les étiages ne peut être appréhendé que par comparaison avec un autre mode d'occupation du sol, et les résultats peuvent dépendre de cet autre type d'occupation (par exemple, sol nu, culture ou prairie permanente).

● III.1 En Europe Occidentale du Nord

Les plantations commerciales de conifères à croissance rapide sont répandues dans les régions humides du nord de l'Europe occidentale, avec des révolutions de l'ordre de 40 à 60 ans. La préparation du sol est essentielle pour permettre une bonne reprise des plantations. Elle comprend généralement des opérations de drainage importantes, avec le creusement de sillons et de fossés d'évacuation, dont le rôle

hydrologique peut être considérable. A l'opposé la croissance de la forêt augmente les pertes par évaporation [9] réduisant d'autant les débits d'étiage (fig. 1).

Les opérations de drainage qui ont précédé les plantations augmentent les débits d'étiages d'une jeune forêt. Ce processus peut être très sensible pour de petits cours d'eau en tête de vallon, dont les débits d'étiage sont naturellement très faibles. La présence de fossés permet le drainage gravitaire d'une épaisseur de sol beaucoup plus grande que celle qui aurait été susceptible de se ressuyer dans des conditions naturelles. Cette augmentation des débits d'étiage diminue avec le temps, à la fois parce que les drains ont tendance à se combler (initialement par les mauvaises herbes, puis lorsque la canopée est fermée par les feuilles mortes et les débris végétaux) et parce que la forêt elle-même assèche le sol, du fait de plus grands prélèvements pour l'évaporation qui peuvent faire descendre le niveau de la nappe au-dessous du niveau des drains. Il se peut que cette augmentation des débits de base résultant du drainage soit faible en valeur absolue ; mais du fait des faibles débits naturels de ces petits cours d'eau de tête de vallon, l'augmentation relative peut être importante.

La croissance des arbres entraîne l'augmentation des pertes par interception, comme du déficit hydrique des sols pendant l'été (tableau 1).

Ceci retarde d'autant la réhumidification des sols en automne, la capacité de rétention est atteinte plus tardivement, et la quantité d'eau susceptible de recharger la nappe et de

Tableau 1. Profondeur de la nappe phréatique en cm (moyenne et écart type) pour deux micro bassins à Coalburn (Angleterre, Nisbet en prep.) La nappe est plus profonde et les conditions sont plus sèches au dessous des épicéas (*Picea sitchensis* - 25 ans).

Végétation	1997/98	1998/99	1999/00
Epicéas	22,9 (9,2)	16,8 (7,3)	17,2 (8,2)
Prairie	12,0 (7,3)	7,6 (5,9)	7,8 (6,1)

soutenir les débits de base en période de déficit hydrique est réduite. Pourtant, là où le réseau de drainage est particulièrement efficace, les débits d'étiage peuvent demeurer supérieurs à ce qu'ils étaient avant la reforestation [10, 11].

Les propriétés du sol peuvent être modifiées par les racines des arbres, conduisant à l'augmentation de l'épaisseur de l'horizon superficiel, plus perméable, en relation avec le développement extensif d'un réseau de macropores. L'écoulement de l'eau vers les drains est facilité, ce qui contrebalance la tendance à la diminution des débits d'étiage qui accompagne « normalement » la croissance de la forêt. Les sols de ces régions sont le plus souvent tourbeux et très peu perméables, et l'assèchement des sols sous une forêt mature résulte davantage d'un drainage « biologique » (c'est à dire résultant à la fois d'une moindre alimentation en eau due à l'interception, et des prélèvements pour l'évaporation) que d'un drainage « technique » par un réseau de drains artificiels. Ceci a été confirmé par une expérience de reprise du réseau de drainage artificiel, qui a prouvé qu'approfondir des drains existants a un effet beaucoup plus modéré sur des débits d'étiage d'une forêt mature que sur ceux d'une prairie ; la raison en est que l'humidité du sol a déjà été fortement réduite par la végétation forestière. De même, des parcelles avec des drains de profondeurs différentes, occupées par des arbres matures montrent peu de différence dans les valeurs des débits d'étiage [12].

Les étiages des forêts drainées dépendent de l'équilibre entre les effets du drainage (qui commence par augmenter les débits de base quand les arbres sont absents ou petits) et la croissance de la forêt (qui réduit l'humidité du sol et les étiages). En général, des drains plus profonds aideront à accroître les écoulements de base, faisant contrepois au moins en partie aux réductions d'écoulement résultant de la végétation forestière. Les études en micro bassins mettent en évidence le fait que la croissance de la forêt réduit les écoulements d'étiage à des niveaux inférieurs à ceux qu'ils étaient avant la présence de la forêt ; ceci est en accord avec des mesures indépendantes montrant des pertes par interception plus importantes, et des teneurs en eau du sol plus faibles (tableau 2).

À l'échelle plus globale de petits bassins versants amont (plusieurs kilomètres carrés) il n'y a plus guère d'évidence d'un quelconque rôle de la forêt sur les débits d'étiage, ce qui montre que les systèmes aquifères peuvent être plus étendus, et moins sensibles aux influences strictement locales. Une partie de l'eau assurant le débit de base du cours d'eau peut provenir d'une zone au-delà de la forêt ; il peut également y avoir un temps de latence entre les changements de couverture végétale, affectant les conditions de recharge d'eaux

souterraines, et la modification des débits. Pour une occupation du milieu diversifiée (cultures, forêt et friches) les modifications des débits d'étiages résultant de la croissance de forêt à l'échelle locale peuvent être en partie compensées par ce qui se passe à l'échelle de l'ensemble du bassin. Des débits de base de bassins forestiers peuvent être ainsi peu différents, ou seulement légèrement moindres, que ceux de régions non forestières.

● III.2 En Europe continentale

On trouve essentiellement des vieilles forêts à feuilles caduques d'essences variées qui occupent de grandes surfaces, et qui ne sont exploitées que localement et sur de petites surfaces [13]. Les coupes concernent généralement des arbres d'au moins 100 ans d'âge, ce qui fait qu'il n'existe pas d'étude portant sur toute une révolution.

Des études conduites à Krofdorf en Allemagne centrale [14] portant sur un suivi de plus de 20 ans de la croissance d'une forêt mature montrent peu de modifications dans le rapport entre l'écoulement de base et l'écoulement total, en dépit d'une diminution sensible de ce dernier. Des coupes sombres dans la forêt ont pour conséquences une diminution moins rapide des débits après des orages d'été, et aussi une réhumectation plus rapide des sols à l'automne. L'effet global à l'échelle du bassin est pourtant faible. Ceci peut s'expliquer par le fait que les sols forestiers ont une plus grande possibilité de retenir l'eau, au-delà de leur capacité de rétention, que la zone éclaircie, d'où davantage d'eau s'échappe rapidement par écoulement hypodermique. Ceci pourrait être dû à la diminution de la matière organique dans le sol et au tassement superficiel résultant des opérations de coupe.

● III.3 En Europe méridionale

Deux types très différents de forêt ont été étudiés. Des plantations commerciales d'eucalyptus au Portugal, et des forêts semi-naturelles d'épicéas et de hêtres dans le sud de la France

Au Portugal central l'eucalyptus croît très rapidement, avec une révolution de 10 ans [15]. Dans l'un des bassins étudiés, la coupe des arbres a conduit à une augmentation sensible mais éphémère (1 à 2 ans) des débits d'étiage, alors qu'il ne s'est produit que peu de modifications dans un autre bassin, probablement à cause de conditions hydrogéologiques superficielles différentes. L'analyse des modifications des débits d'étiages a été limitée par l'absence de permanence d'un débit de base (l'écoulement de surface ne s'observe que pendant ~ 30 % de l'année). Globalement, il a été possible de conclure que la sylviculture d'eucalyptus a eu comme conséquence une diminution des débits étiages, ce qui est en accord avec la

Tableau 2. Comparaison des débits d'étiage (< 0,1 mm en lame d'eau écoulée) de deux bassins forestiers à Glenturk (Irlande) pendant l'été (du 1^{er} avril au 30 septembre). (McDonnell, 1999). Avant et après la coupe de la forêt.

Année	Age de la forêt (ans)	Jours de pluie < 0,2 mm	Nombre de jours où le débit est < 0,1 mm	
			Bassin (A)	Bassin (B)
1972	8	70	106	106
1979	15	87	120	116
1999	35	63	0 (coupe)	107

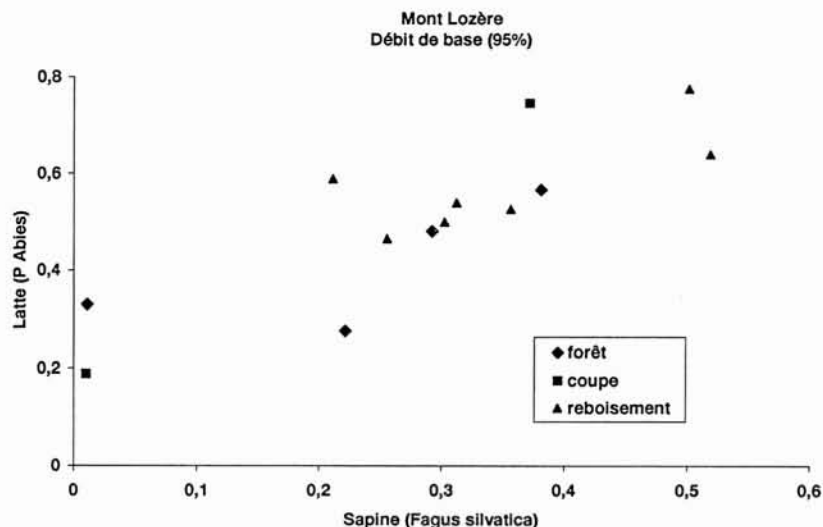


Figure 2 : Dans le Sud de la France (Mont-Lozère) La coupe de la forêt ne modifie pas sensiblement les débits d'étiage

littérature qui met en évidence les fortes consommations d'eau de cette espèce, particulièrement lorsque la nappe est peu profonde et accessible aux racines.

La coupe d'une forêt d'épicéas de 70 ans d'âge dans les bassins expérimentaux du Mont Lozère n'a pas sensiblement modifié les débits d'étiage [16, 17]. La comparaison des courbes de durée d'écoulement d'étiage avec ceux d'un bassin de référence n'a montré aucun changement à la suite de la coupe. Ceci a été confirmé par l'utilisation d'un modèle Pluies-Débits appliqué successivement aux données avant et après la coupe, qui n'a montré aucun changement dans la forme des courbes de récession. L'explication proposée est que les écoulements d'étiage sont davantage commandés par la géométrie de la nappe et sa capacité globale d'emmagasinement que par le type de végétation (fig. 2). Une étude portant sur la séparation des écoulements, basée sur l'utilisation de l' ^{18}O qui permet de connaître le temps de séjour de l'eau qui apparaît dans le cours d'eau, a montré que les écoulements d'été pouvaient provenir d'un réservoir profond dans lequel le temps de séjour de l'eau était d'environ 12 mois [18, 19], ce qui va dans le sens des remarques ci-dessus.

IV ■ CONCLUSION

A partir des études menées dans le cadre du programme FOREX, il est possible de conclure que les conséquences de la forêt sur les débits d'étiage sont particulièrement sensibles dans le Nord Ouest de l'Europe, dont les forêts, constituées de conifères, sont artificiellement drainées, et en Europe du sud avec des plantations commerciales d'eucalyptus à croissance très rapide. En Europe du Nord-Ouest, la croissance de la forêt réduit les débits d'étiage, mais cet effet est contrebalancé par les conséquences du drainage, particulièrement lorsque la forêt est jeune. Dans les régions de forêts mélangées peu aménagées d'Europe continentale et méridionale, les conséquences de la forêt sur les débits d'étiages ne sont guère sensibles.

Dans les cas où un effet local notable s'observe, cet effet risque de ne plus guère être sensible à l'échelle de plus grands bassins, dans lesquels la couverture forestière n'est plus que

partielle. Des techniques de gestion forestière peuvent être mises en œuvre pour soutenir les débits d'étiage. Par exemple :

- limiter la taille des unités de gestion forestière, de telle sorte que de trop grandes surfaces ne soient pas traitées de la même façon en même temps.
- mélanger les arbres de différents stades de croissance dans un même bassin.
- fixer un seuil maximum pour le taux de couverture forestière dans un bassin donné.
- contrôler les techniques d'exploitation forestière : routes, modes de débardages, pour réduire les risques d'érosion.

● IV.1 Participants au programme Forex

L'exposé ci-dessus est une synthèse des travaux menés dans le cadre du projet Forex par les équipes suivantes :

FRANCE : Dr Vincent Marc, Dr Yves Travi, Dr Anne-Laure Cognard-Plancq, Université d'Avignon et des Pays de Vaucluse ; Claude Martin and Jean Francois Didon-Lescot, Institut de Géographie Physique, Nice ; Dr Claude Cosandey, CNRS, Meudon.

GERMANY : Dr Hans Führer, Carsten Jacobsen, Hessisch Landesanstalt für Forsteinrichtung Waldforschung und Waldökologie, Hann. Münden ; Dr Alois Zollner, Bayerische Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft, Freising.

IRELAND : Dr Michael Rodgers, Mr Michael McDonnell, Mr John Mulqueen, School of Engineering, National University of Ireland, Galway ; Dr Richard McCarthy, Dr Philip O'Dea, Irish Forestry Board (Coillte), Dublin.

PORTUGAL : Prof Jorge David, M. Henriques, Departamento de Engenharia Florestal, Universidade Técnica de Lisboa.

ROYAUME UNI : Dr Mark Robinson (Co-ordinator), Dr Robin Hall, Henry Gunston, Centre for Ecology and Hydrology, Wallingford ; Dr Tom Nisbet, Forestry Commission, Farnham.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] MAYER P. (2000). — Forest policy in Europe : achievements of the MCPFE and challenges ahead. Forest Policy and the Environment, 1 : 177-185.

- [2] RICHARD D. (2001). — Les Forêts et les Crues. 168^e Session du Comité Scientifique et Technique de la Société Hydrotechnique de France « Forêts et Eau ». Nancy. Sept. 2001.
- [3] HUMBERT J. & HAJAR G. (1992). — Influence de la forêt sur le cycle de l'eau en domaine tempéré : une analyse de la littérature francophone. Centre d'Études et de Recherches Éco-Géographiques, Université Louis Pasteur, Strasbourg.
- [4] COSANDEY C. (Rédacteur) et al. (2000). — Conséquences hydrologiques de la forêt méditerranéenne. Rapport sur les recherches menées en France. Contribution au projet CEE « RICA-MARE », Medenine, avril 2001.
- [5] FORESTRY COMMISSION (1993). — Forest and Water Guidelines. HMSO London.
- [6] TGA (1986). — Afforestation and Nature Conservation. Timber Growers Association. Edinburgh.
- [7] EEA (1995). — Europe's Environment : The Dobbris Assessment. European Environment Agency, Copenhagen.
- [8] FOREX (1999). — Impacts of Forestry on Extreme Flows. FOREX Project Brochure, Centre for Ecology and Hydrology, Wallingford, OX10 8BB, U.K. 4 pp.
- [9] COSANDEY C., ROBINSON M. (2000). — Hydrologie Continentale. Armand Colin, Paris. 368 pp.
- [10] ROBINSON M., MOORE R.E., NISBET T.R., BLACKIE J.R. (1998). — From Moorland to Forest : The Coalburn catchment experiment. Institute of Hydrology, Report No. 133.
- [11] ROBINSON M. (1998). — 30 years of forest hydrology changes at Coalburn ; water balance and extreme flows. *Hydrology and Earth System Sciences*, 2 : 233-238.
- [12] McDONNELL, M. (1999). — The drainage behaviour of afforested and clearfelled peatlands. Postgraduate thesis (M. Eng. Sc.) Galway University.
- [13] KENNEL M. (1998). — Modelling water and nutrient cycling of forest ecosystems – case studies : Forest hydrological research area, Krofendorf benchmark catchment'. Forstliche Forschungsberichte, Munich.
- [14] HLFWW (2000). — Main results of the Krofendorf Forest project — water quantity and quality studies. Hessian Forest Centre for Management Planning, Research and Ecology.
- [15] DAVID J.S., HENRIQUES M.O., DAVID T.S., TOMÉ J., LEDGER D.C. (1994). — Clearcutting effects on streamflow in coppiced Eucalyptus globulus stands in Portugal. *J Hydrology*, 162 : 143-154.
- [16] COGNARD-PLANCQ A.L., MARC V., DIDON-LESCOT, J.F., NORMAND M. (Submitted) — The role of forest cover on streamflows within submediterranean montane watersheds : a modelling approach. *J. Hydrology*.
- [17] COSANDEY C., DIDON-LESCOT, J.F., MARTIN C. (2000). — Consequences of forest on flows. The Mont Lozère experiment. ERB2000 : Conference on monitoring and modelling catchment water quantity and quality. European Network of Experimental and Representative Basins, Ghent, 27-29 September 2000.
- [18] MARC V., DIDON-LESCOT J.F., COUREN M. (Submitted). — Investigation of the hydrological processes using chemical and isotopic tracers in a small Mediterranean forested catchment during autumn recharge. *J. Hydrology*.
- [19] FEVRE Y., COGNARD-PLANCQ A.L., MARC V. (2000). — Modelling O¹⁸ variations in streamwater during a flood event within a small sub-Mediterranean mountainous basin. International. Conference on Tracers and modelling in hydrogeology, TRAM 2000, Liège.