



HAL
open science

Impact de la forêt sur l'évolution des ressources en eau en moyenne montagne alpine depuis le milieu du XIXe siècle (massif de Chartreuse, France)

Dominique Dumas

► **To cite this version:**

Dominique Dumas. Impact de la forêt sur l'évolution des ressources en eau en moyenne montagne alpine depuis le milieu du XIXe siècle (massif de Chartreuse, France). *Revue de Géographie Alpine / Journal of Alpine Research*, 2011, 99 (4), pp.1-14. 10.4000/rga.1555 . halshs-00691935

HAL Id: halshs-00691935

<https://shs.hal.science/halshs-00691935>

Submitted on 27 Apr 2012

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.

Dominique Dumas

Impact de la forêt sur l'évolution des ressources en eau en moyenne montagne alpine depuis le milieu du XIX^e siècle (massif de Chartreuse, France)

Avertissement

Le contenu de ce site relève de la législation française sur la propriété intellectuelle et est la propriété exclusive de l'éditeur.

Les œuvres figurant sur ce site peuvent être consultées et reproduites sur un support papier ou numérique sous réserve qu'elles soient strictement réservées à un usage soit personnel, soit scientifique ou pédagogique excluant toute exploitation commerciale. La reproduction devra obligatoirement mentionner l'éditeur, le nom de la revue, l'auteur et la référence du document.

Toute autre reproduction est interdite sauf accord préalable de l'éditeur, en dehors des cas prévus par la législation en vigueur en France.

revues.org

Revues.org est un portail de revues en sciences humaines et sociales développé par le Cléo, Centre pour l'édition électronique ouverte (CNRS, EHESS, UP, UAPV).

Référence électronique

Dominique Dumas, « Impact de la forêt sur l'évolution des ressources en eau en moyenne montagne alpine depuis le milieu du XIX^e siècle (massif de Chartreuse, France) », *Revue de géographie alpine* [En ligne], 99-4 | 2011, mis en ligne le 10 février 2012, consulté le 21 février 2012. URL : <http://rga.revues.org/1555> ; DOI : 10.4000/rga.1555

Éditeur : Association pour la diffusion de la recherche alpine

<http://rga.revues.org>

<http://www.revues.org>

Document accessible en ligne sur :

<http://rga.revues.org/1555>

Document généré automatiquement le 21 février 2012.

© Revue de géographie alpine/Journal of Alpine Research

Dominique Dumas

Impact de la forêt sur l'évolution des ressources en eau en moyenne montagne alpine depuis le milieu du XIX^e siècle (massif de Chartreuse, France)

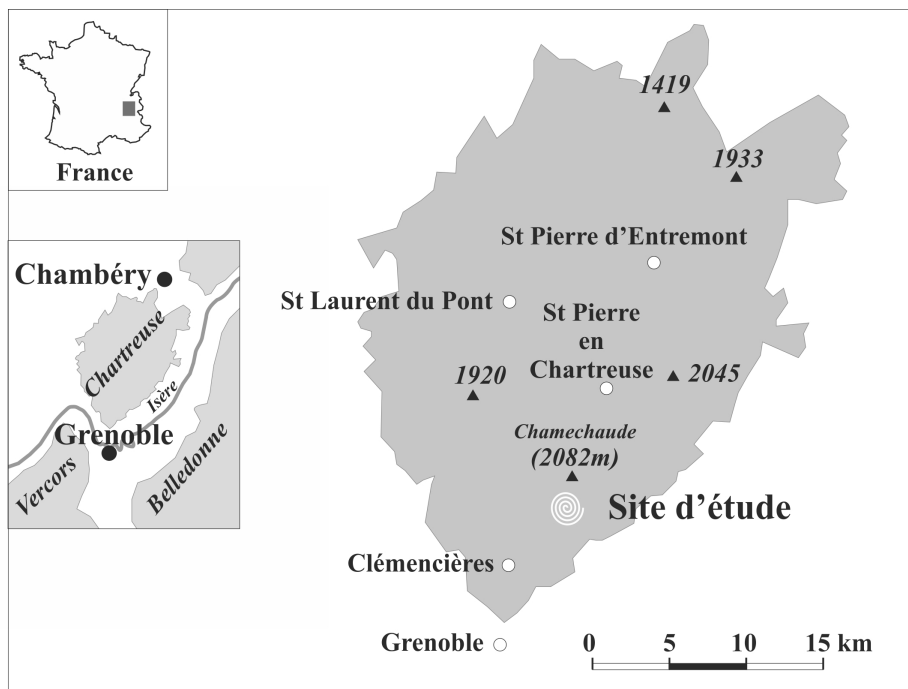
L'auteur remercie le Parc Naturel Régional de Chartreuse pour son appui financier dans le cadre d'un programme de recherche.

- 1 Une gestion cohérente des eaux d'un massif montagneux nécessite une connaissance précise des précipitations arrivant au sol. Or, la forêt intercepte et retient un pourcentage plus ou moins élevé des pluies sur son feuillage, diminuant du même coup la quantité d'eau réellement reçue par le sol. Une partie de cette eau interceptée est ensuite évaporée, diminuant la quantité d'eau réellement reçue par le sol, et ainsi l'eau susceptible de se retrouver dans le réseau hydrographique, ou dans les aquifères karstiques (Llorens et Gallart, 2000). L'eau disponible pour l'écoulement (Boulangeat, 1978 ; Bultot *et al.*, 1990), ou pour les réserves souterraines, est donc plus réduite que celle définie à partir des seuls relevés météorologiques (Aussenac, 1975, 1981 ; Saugier *et al.*, 1985 ; Carlyle-Moses, 2004 ; Pieffer *et al.*, 2005). Cette étude tente justement d'évaluer et de cerner la perte en eau liée à l'interception forestière à l'échelle d'un massif, celui de Chartreuse, depuis le milieu du XIX^e siècle. Sur le massif de Chartreuse, l'influence de la couverture forestière sur les précipitations, fortement présente dans le paysage, reste pourtant encore mal appréciée.
- 2 L'objectif de cette étude, venant à la suite d'un premier travail sur l'interception des pluies par la forêt (Dumas, 2008), vise plus directement à cerner l'influence de l'extension de la couverture forestière, depuis le milieu du XIX^e siècle, sur les précipitations arrivant réellement au niveau du sol. La détermination antérieure des taux d'interception moyens des précipitations par la couverture arborée de Chartreuse (Dumas, 2008) permet d'évaluer l'influence respective, sur les ressources en eau, de l'extension de la couverture forestière en Chartreuse et des modifications éventuelles des précipitations depuis le milieu du XIX^e siècle.

Influence de la forêt sur les quantités d'eau arrivant au sol

- 3 Avec des altitudes s'échelonnant entre 300 m et plus de 2000 m, une altitude moyenne proche de 1060 m, le massif de la Chartreuse reste un massif préalpin de faible étendue ; sa superficie est d'environ 400 km² (Fig. 1). Il est limité à l'est par la vallée du Grésivaudan, au sud et au nord, par les cluses de Grenoble et de Chambéry, et à l'ouest par les collines du Bas-Dauphiné. Comme sur l'ensemble des massifs préalpins, le massif de Chartreuse se caractérise par une forêt fortement présente dans le paysage. Elle occupe près de 260 km², et couvre ainsi environ 65% de sa superficie (IFN, 2006).

Figure 1. Localisation du massif de Chartreuse et du site d'étude sur l'interception des pluies par la forêt. Les limites retenues pour définir le massif sont celles du Parc naturel régional de Chartreuse.



- 4 L'étagement de la végétation est bien marqué, et se distingue principalement par une vaste série climacique, une hêtraie-sapinière, relayée, au-dessus de 1500 m, par une pessière (Tonnel et Ozenda, 1964 ; Richard et Pautou, 1982). Avec près de 66% de la couverture arborée totale, la hêtraie-sapinière, où l'épicéa et le sapin se mêlent progressivement aux hêtres, est la plus présente sur l'ensemble du massif. Plus bas, la hêtraie « pure » y représente presque 10% (Tonnel et Ozenda, 1964 ; Richard et Patou, 1982 ; IFN, 2006). Plus en altitude, la pessière, composée essentiellement de *Picea excelsa* et d'*Abies alba*, est la seconde série forestière du massif. Elle représente environ 33% des espèces arborées de Chartreuse.
- 5 La présence de la forêt complique considérablement l'arrivée de l'eau au niveau du sol, par un processus d'interception qui retient une fraction variable des pluies, susceptible ensuite de s'évaporer plus ou moins rapidement (Bultot *et al.*, 1972 ; Aussenac, 1975). L'évaluation de l'interception des pluies à partir d'une cinquantaine de pluviomètres installés sur un site expérimental, au niveau de la commune du Sappey-en-Chartreuse, a déjà donné suite à une première publication qui décrit plus précisément la part respective des différentes composantes de la pluie en milieu forestier (Dumas, 2008). Ces observations ont montré que la variabilité de l'interception sous le couvert forestier est largement tributaire de l'importance des précipitations incidentes. Le taux d'interception est maximal pour des précipitations très faibles, et diminue lorsque les épisodes pluvieux deviennent plus marqués. Pour des épisodes pluvieux d'une faible intensité journalière (une averse inférieure à 5 mm), l'interception peut dépasser 50% quelle que soit la formation arborée considérée. Ceci peut paraître considérable, mais rejoint les valeurs proposées dans la littérature (Aussenac, 1981 ; Petit et Kalombo, 1984 ; Nizinski et Saugier, 1988 ; Gash *et al.*, 1995). L'interception diminue ensuite assez rapidement lorsque l'épisode pluvieux devient plus marqué (à partir de 15 mm), pour atteindre 10% dans la hêtraie-sapinière, et environ 20% dans la pessière (Dumas, 2008).
- 6 La connaissance de ces relations a permis d'évaluer, au cours d'une année moyenne, la part des précipitations perdue par l'interception, et d'en dégager l'interception moyenne. Une évaluation de l'interception annuelle a été donnée dans une publication antérieure (Dumas, 2008) pour les trois principales formations arborées du massif. A l'échelle annuelle, les principaux résultats concernant les taux d'interception ont alors été évalués :

- pour une hêtraie-sapinière, l'interception annuelle moyenne est de 130 mm, soit 15,6% des pluies incidentes annuelles,

- pour une hêtraie, la lame d'eau interceptée est en moyenne de 164 mm, soit 19,7 % des précipitations annuelles,
- et pour une pessière, l'interception, plus marquée, est de 320 mm, soit 38,5% des pluies annuelles.

7 Ces résultats nous permettent aujourd'hui d'apprécier l'impact de l'extension de la forêt sur les ressources en eau depuis le milieu du XIX^e siècle. Au préalable, il convient de préciser sur cette même période l'évolution corrélative des précipitations annuelles reçues à l'échelle du massif.

Les précipitations en Chartreuse et leur évolution depuis 1850

8 Dans les Alpes du Nord, le massif de la Chartreuse est une zone à fortes précipitations. Cette forte pluviosité observée est liée à la position externe du massif de la Chartreuse, qui en fait un véritable rempart opposé aux vents humides d'ouest. Depuis le milieu du XIX^e siècle, il est possible de suivre les précipitations dans la région grenobloise à partir de plusieurs séries pluviométriques longues.

9 Pour cerner au mieux ces quantités d'eau précipitées sur plus d'un siècle, et sur l'ensemble du massif, cinq stations météorologiques, situées à proximité, voire à l'intérieur du massif de la Chartreuse, et possédant des données sur une période suffisamment longue, ont été retenues (Tab. 1).

Tableau 1. Localisation des stations pluviométriques utilisées

Station	Longitude	Latitude	Altitude	Période d'observation
Grenoble	5°47'	45°10'	210 m	1847 - 1953 1970 - 2000
St Genis-Laval	4°47'	45°42'	290 m	1881 - 1972
St Laurent du Pont	5°44'	45°23'	415 m	1907 - 2000
St Pierre d'Entremont	5°52'	45°25'	644 m	1920 - 1991
St Pierre de Chartreuse	5°49'	45°20'	945 m	1921 - 2000

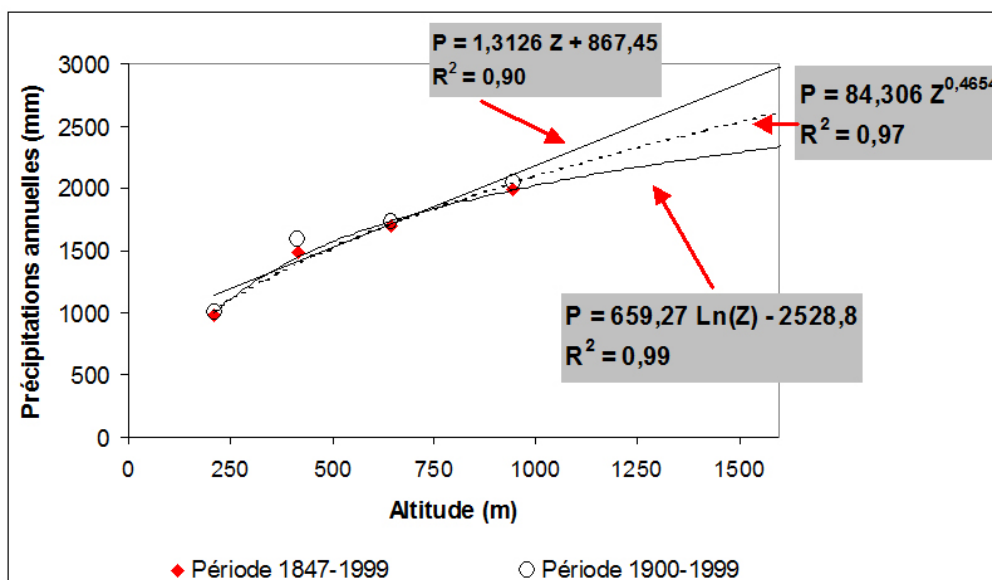
10 La station de Grenoble, bien que située à l'extérieur du massif, permet d'évaluer les précipitations à la base du massif. Les données ont été critiquées statistiquement, et les lacunes comblées afin d'obtenir des valeurs sur l'ensemble de la période 1845-2000 (Dumas, 2004). La station de Saint-Genis-Laval a été utilisée exclusivement pour la reconstitution des données lacunaires. Cette reconstitution, conduite au pas de temps annuel, a été également rendue plus facile par la bonne corrélation entre les valeurs. Par ailleurs, sur la période 1845-2000, les valeurs annuelles reconstituées ne modifient que faiblement les moyennes calculées à partir des séries initiales.

11 Ces quatre séries permettent ainsi de suivre sur plus d'un siècle les fluctuations annuelles de la pluviométrie sur le massif de Chartreuse. Naturellement, l'estimation de la pluie moyenne annuelle à l'échelle de l'ensemble du massif nécessiterait en toute rigueur de connaître pour chaque année la répartition des précipitations sur le massif. La répartition spatiale des pluies dans ces zones accidentées obéit à des lois difficilement déchiffrables dans le détail, qui se traduisent par une forte variabilité des quantités d'eau reçues sur des espaces rapprochés (gradients altitudinaux et longitudinaux élevés). Aussi, même à une échelle annuelle, il reste toujours délicat de cartographier avec précision les précipitations dans des zones montagneuses où généralement le réseau de mesure climatologique est insuffisant voire totalement absent. Et lorsque l'on souhaite suivre les pluies sur une période longue, le nombre de postes se raréfie encore davantage.

12 Cependant, dans le cadre de cette étude, notre objectif reste de cerner l'évolution de la pluviométrie annuelle sur plus d'un siècle, et non pas d'évaluer strictement les intensités pluviométriques. Cette démarche, où des modifications et éventuellement des tendances sont recherchées, implique nécessairement de pouvoir comparer les valeurs annuelles sur plus d'un siècle. Elle implique donc de pouvoir conserver tout au long de la période étudiée des valeurs homogènes, et obtenues selon une méthodologie identique.

- 13 Aussi, la détermination des pluies moyennes a été conduite à partir de la reconnaissance d'un gradient permettant ensuite d'appliquer d'une manière analogue et systématique à chaque année une extrapolation des mesures pluviométriques observées. De nombreuses régionalisations des précipitations annuelles s'appuient sur une hypothèse de relation linéaire entre l'augmentation des pluies et celle de l'altitude. Au pas de temps mensuel ou annuel, l'appréhension des pluies à une altitude donnée est fréquemment conduite à partir du gradient pluviométrique local. Utiliser des gradients, c'est d'ailleurs implicitement intégrer une relation linéaire entre les pluies et l'altitude.
- 14 Sur le massif de Chartreuse, la reconnaissance des gradients pluviométriques avec l'altitude à partir de quatre postes de mesure reste naturellement sommaire. Toutefois, la prise en compte d'un plus grand nombre de stations pluviométriques, dont les séries sont alors malheureusement plus courtes, engendrerait sur l'extrapolation des pluies en altitude des résultats relativement similaires, puisque Saint-Pierre-en-Chartreuse reste toujours la station pluviométrique connue la plus haute du massif. Pour cette raison, elle conditionne toujours très fortement les relations des pluies avec l'altitude, même si des observations complémentaires sont introduites.
- 15 L'analyse des données enregistrées, sur la tranche altitudinale allant de 200 m à presque 1000 m, donne un gradient pluviométrique annuel moyen de 131 mm pour 100 m d'élévation (Fig. 2 : relation linéaire, $P=1,31Z + 867$). Si ce taux de croissance des précipitations est intéressant à connaître, il reste en revanche à utiliser avec précaution dans les zones sommitales, et ce malgré un coefficient de corrélation qui pourrait donner illusion ($r^2 = 0,92$). En effet, une application stricte de cette relation donnerait des précipitations annuelles moyennes totalement improbables, de près de 3500 mm à 2000 m d'altitude (Fig. 2).
- 16 Certaines années, cette quantité d'eau peut, peut-être, parfois être observée ponctuellement dans les zones sommitales, elle reste cependant en moyenne plus proche de 2300-2500 mm par an (Dobremez, 2001 ; Arques, 2005). Les cartes des précipitations annuelles éditées par Météo France sur la région montrent toujours des valeurs proches de 2000 mm pour les zones sommitales du massif.

Figure 2. Croissance des précipitations annuelles avec l'altitude, et extrapolation des observations avec 3 modèles différents



- 17 En Chartreuse, la relation logarithmique semble donc la plus réaliste pour évaluer les précipitations à une altitude (Z en m) donnée. La relation retenue est la suivante :
- 18 $P \text{ (mm/an)} = 546,3 \ln(Z) - 1819,7$ $r^2 = 0,91$ **équation 1**
- 19 A partir de cette relation, les précipitations annuelles moyennes susceptibles d'être observées à une altitude donnée peuvent être estimées. La précision des valeurs reste naturellement réduite, mais largement suffisante pour dégager une estimation de l'influence de la forêt sur les précipitations incidentes. Afin de dégager des précipitations représentatives pour le massif, et

en utilisant les quatre séries pluviométriques exploitées précédemment, les précipitations sont estimées pour l'altitude médiane du massif, placée à 1065 m. Pour la suite des estimations, cette précision de l'altitude reste naturellement illusoire, elle présente néanmoins l'avantage d'afficher clairement la nature de la valeur, et éviter une éventuelle confusion avec une valeur que l'on pourrait croire fixée arbitrairement.

20 Dès lors, l'équation 1 permet de corriger les pluies enregistrées aux quatre stations en ramenant toutes les observations annuelles à l'altitude de 1065 m (Fig. 3). Pour chaque année, les relevés des stations de Grenoble, Saint-Laurent-du-Pont, Saint-Pierre-d'Entremont et Saint-Pierre-en-Chartreuse sont corrigées en tenant compte de la différence pluviométrique entre les pluies annuelles à l'altitude de la station et les pluies de cette même année calculées à 1065 m. Pour définir les pluies moyennes annuelles à l'échelle du massif, on calcule ensuite la moyenne issue des enregistrements des quatre stations ainsi corrigées. En intégrant de la sorte les quatre enregistrements, une nouvelle chronique pluviométrique, représentative des précipitations moyennes reçues sur l'ensemble du massif, est ainsi établie (Fig. 4).

Figure 3. Pluies mesurées aux différentes stations l'année, et correction à l'altitude moyenne du massif (les valeurs sont en mm)

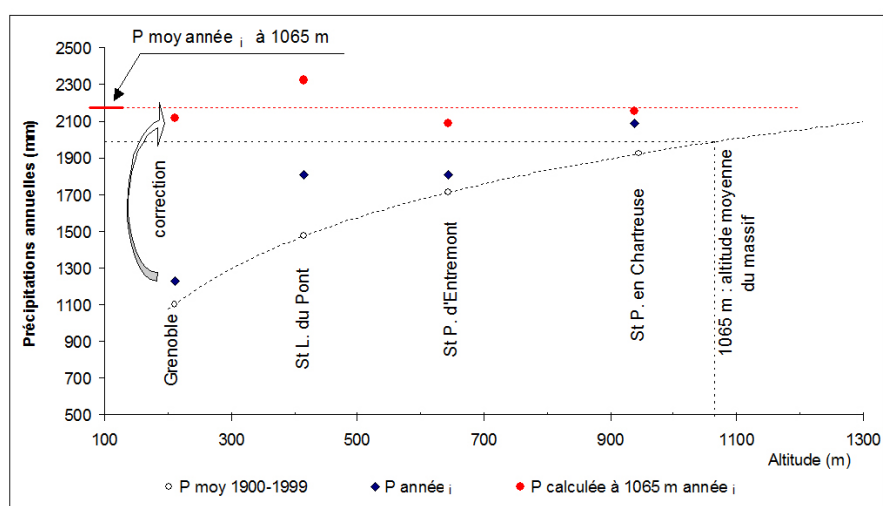
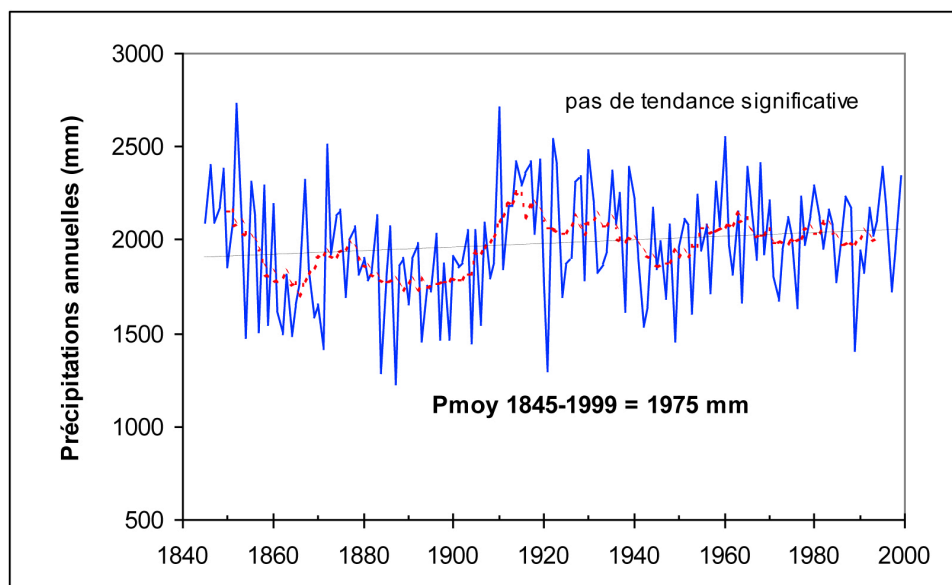


Figure 4. Evolution des précipitations annuelles moyennes du massif (à 1065 m d'altitude) calculées à partir des quatre stations retenues pour cette étude (courbe des moyennes mobiles à 7 jours)



- 21 Les précipitations enregistrées à Grenoble, St-Laurent-du-Pont, St-Pierre-d'Entremont et St-Pierre-en-Chartreuse, ne montrent pas une tendance significative de la pluviosité depuis le milieu du XIX^e siècle, et même au cours du XX^e siècle. On peut néanmoins observer des périodes plus arrosées, d'autres un peu plus sèches. On distingue notamment plusieurs grandes phases pluviométriques, avec :

trois périodes relativement bien arrosées ; 1840-1850, 1910-1940, et dans une moindre mesure 1960-1980,

trois phases plus sèches ; 1860-1870, 1890-1910 et 1940-1955.

- 22 Plusieurs phases pluviométriques apparaissent, mais les quantités d'eau reçues sur l'ensemble du massif de Chartreuse, reconstituées à partir de ces quatre stations, ne montrent pas pour autant une tendance significative à la hausse ou à la baisse, depuis le milieu du XIX^e siècle. Les changements climatiques qui s'opèrent actuellement à l'échelle de la planète ne semblent donc pas influencer la pluviométrie enregistrée sur le massif de Chartreuse. Les modifications observées dans les Alpes portent d'ailleurs essentiellement sur les températures, et guère sur les cumuls annuels des pluies (Durand *et al.*, 2009). Les quantités d'eau précipitées sur le massif peuvent être définies sur un plan statistique comme stables sur le siècle passé, sans tendance significative.
- 23 Pour autant, l'eau disponible pour l'écoulement a-t-elle diminué, et, dans cas, dans quelle proportion ? Pour cerner cette évolution, il faut maintenant essayer de retracer les grandes lignes de l'évolution de la couverture forestière depuis le milieu du XIX^e siècle.

Evolution de la couverture forestière

- 24 Depuis la révolution industrielle, en liaison avec les progrès de l'agriculture à haut rendement des plaines, mais aussi des mutations socio-économiques des régions de montagne, une grande partie des terres a été abandonnée. En France, la forêt s'étend alors au rythme de 20 à 30000 ha par an, au détriment des landes et des prairies (Périgord, 1996). Cette tendance générale sur l'ensemble des massifs français se vérifie également en Chartreuse. La photographie 1, avec un paysage très peu forestier à la fin du XIX^e siècle, illustre ponctuellement cette évolution : aujourd'hui environ un cinquième de cet espace est occupé par des formations arborées.

Photo 1. Vue de Chamechaude, sommet culminant de Chartreuse, au niveau de la commune du Sappey en Chartreuse, vers 1880-1890 (source ASFAMM)



Photo 2. Vue similaire en 2003 (cliché de R. Binard)



- 25 La prédominance de résineux (sapins et épicéas) sur le massif s'explique par l'exploitation ancienne de la forêt pour le charbon. Dans cette optique, les feuillus étaient plus recherchés que les résineux. Les coupes régulières de feuillus ont laissé place progressivement au développement des résineux. Puis, au XX^e siècle, les forestiers menèrent une politique de reboisement favorable à l'implantation des résineux : leur repousse est plus rapide, les besoins en charbon ayant diminué.
- 26 En utilisant des documents photographiques, des documents cadastraux (1820 et 1994) et des cartes de la végétation (1956 et 1993), il est possible de retracer les grandes tendances de l'évolution de la couverture forestière du massif. Afin d'évaluer cette évolution au cours du XX^e siècle, et dans le cadre de cette première étude, il a été retenu de suivre plus attentivement le secteur positionné autour du Sappey en Chartreuse, entre le massif de Chamechaude, du

St Eynard et de l'Écoutoux. La zone représente une superficie de plus 3 000 ha. On retrouve dessus successivement les étages collinéen, montagnard et subalpin du massif de la Chartreuse (Dumas, 2008). Cette première étude, conduite notamment dans le cadre d'un mémoire de Master (Binard, 2003), permet d'estimer les grandes lignes de la dynamique forestière.

27 Sur cet espace, les cartes de la végétation des années 1956 et 1993 montrent clairement l'évolution progressive du paysage forestier. En 1956, la forêt représente plus de 70% du secteur d'étude. En seulement 37 ans, la tendance à la fermeture du paysage se confirme nettement. Entre ces deux dates, la forêt gagne du terrain, et augmente d'environ 4%. Les documents cadastraux et les photographies aériennes complètent et confirment cette évolution. Ils mettent en évidence la descente de la végétation sur les versants et l'apparition de bosquets dans les zones plus planes. Les haies se sont également fortement développées au cours du XX^e siècle.

28 Les grandes lignes de l'occupation forestière peuvent être ainsi retracées (Tab. 2). Bien sûr, les valeurs calculées ne sont qu'indicatives, et ne présentent que la tendance générale de l'évolution forestière du massif. Par ailleurs, il est évident que l'évolution du paysage, en presque deux siècles, n'a pas été totalement homogène sur l'ensemble du massif. Il conviendra par la suite de regarder l'évolution de la couverture arborée plus en détail sur l'ensemble du massif et non plus seulement sur une zone témoin.

Tableau 2. Pourcentage estimé des principales séries forestières sur la zone étudiée, et extrapolation des superficies à l'échelle du massif (d'après Binard, 2003)

	1820	1900	1950	2000
<i>Estimation sur la zone étudiée</i>				
Couverture forestière	59%	67%	69%	70%
<i>Hêtre-sapinière</i>	46%	49%	54%	58%
<i>Hêtre</i>	44%	24%	13%	8%
<i>Résineux</i>	10%	27%	33%	34%
<i>Extrapolation à l'échelle du massif (en km²)</i>				
Couverture forestière sur le massif	235	269	278	280
<i>Hêtre-sapinière</i>	108	133	150	162
<i>Hêtre</i>	103	64	36	22
<i>Résineux</i>	24	72	92	95

29 A partir de ces premiers résultats, et par interpolation entre les dates renseignées, il est possible de retracer annuellement l'évolution de la couverture arborée, et ainsi de la mettre en relation avec les précipitations. La répartition des séries forestières selon les tranches altitudinales s'est appuyée sur plusieurs sources documentaires et cartographiques contemporaines (Tonnel et Ozenda, 1964 ; Richard et Patou, 1982 ; Pache, 2000 ; Girard, 2003 ; Binard, 2003 ; IFN, 2006) et à l'aide d'un modèle numérique de terrain. Pour l'année 2000, les valeurs ont été ensuite affinées, puis calées aux superficies récemment proposées par l'IFN (2006) pour les différentes séries arborées du massif de Chartreuse.

Evolution des quantités d'eau arrivant au sol à partir du milieu du XIX^e siècle

30 La méthode développée pour évaluer l'interception, et les intensités moyennes des composantes de la pluie à l'échelle du massif de Chartreuse, ont été précisément décrites dans une publication antérieure (Dumas, 2008). Les estimations avaient alors été établies pour une année moyenne, calculée à partir des valeurs pluviométriques observées sur la période 1900-1999, et d'une répartition moyenne de la couverture forestière sur cette même période (Tab. 3). Afin de mieux cerner et définir l'évolution des ressources en eau sur plusieurs décennies, les intensités de l'interception pour les trois formations arborées sont maintenant regardées annuellement depuis 1845.

31 Ainsi, pour chaque tranche altitudinale du massif, dont la superficie est connue (SZ), il est possible de calculer annuellement les précipitations reçues au sol (Ps), en tenant compte des surfaces (S_{fai}) respectives des différentes formations arborées (fai), et de leur taux d'interception (Infai). Les pluies moyennes reçues au sol (Tab. 3) sont ainsi calculées pour chaque tranche altitudinale par pondération des surfaces, avec la formule suivante :

$$P_{sol} = \left(\frac{S_{non\ arboree}}{S_{zalt}} \right) P_{meteo} + \sum_{i=1}^3 \left[\left(\frac{S_{fa_i}}{S_{zalt}} \right) (P_{meteo} - Int_{fa_i}) \right]$$

32 A l'échelle du massif, les précipitations moyennes, calculées sur la période 1900-1999, sont de 1951 mm par an. Les quantités d'eau reçues au sol sont moindres avec 1634 mm par an (Tab. 3). Sur une année moyenne, la perte moyenne d'eau sur l'ensemble du massif par l'interception forestière est proche de 300 mm. Cette valeur de l'interception reste cependant relativement modeste au regard des apports en eau, qui sont considérables à l'échelle du massif.

Tableau 3. Superficies, occupation contemporaine du sol, interception annuelle des pluies, et précipitations annuelles moyennes (1900-1999) par tranches altitudinales. Les précipitations Pi sont calculées à partir de l'équation 1.

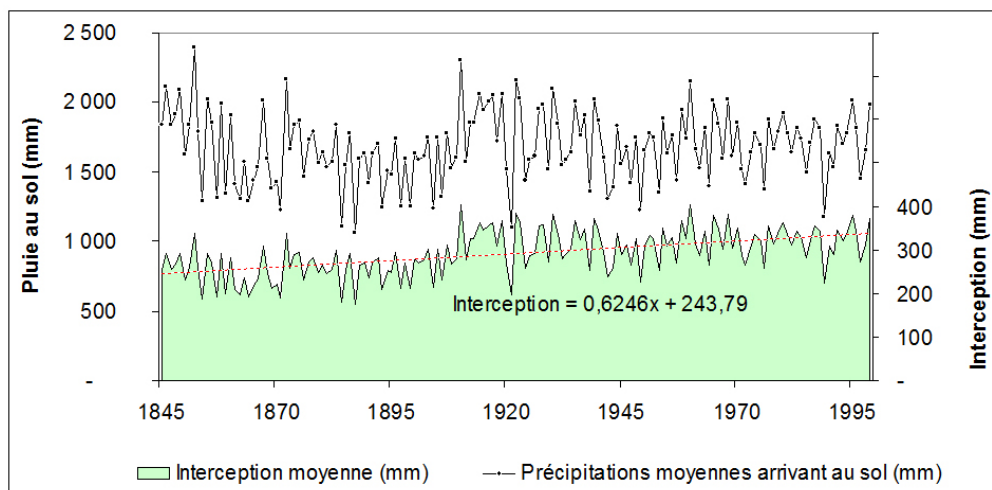
Tranche altitudinale	S _z (km ²)	Précipitations Pi (mm)	Hêtraie-Sapinière		Hêtraie		Pessière		Précipitations au sol (mm)
			Sfa ₁ (km ²)	interception 15,6 % (mm)	Sfa ₂ (km ²)	interception 19,7 % (mm)	Sfa ₃ (km ²)	interception 38,5 % (mm)	
[200 - 400]	11,5	1296	0		0		0		1296
[400 - 600]	37,2	1575	0		0		0		1575
[600 - 800]	49,1	1759	6	274	10	347	0		1655
[800 - 1000]	63,4	1896	38	296	7	374	0		1678
[1000 - 1200]	94,2	2006	73	313	0		0		1764
[1200 - 1400]	72,8	2097	37	327	0		26	807	1643
[1400 - 1600]	42,7	2176	0		0		39	838	1411
[1600 - 1800]	23,6	2244	0		0		22	864	1439
[1800 - 2000]	4,3	2305	0		0		0		2305
[2000 - 2100]	1,2	2346	0		0		0		2346
Total	400		154		17		87		
Moyenne pondérée par les surfaces		1951		311		358		835	1634

33 La valeur de 300 mm masque aussi un prélèvement en eau assez variable en fonction des formations forestières concernées. La hêtraie-sapinière et la hêtraie soustraient au cycle hydrologique respectivement 311 mm et 358 mm d'eau par an. Malgré une occupation plus réduite, la pessière intercepte et retient une part des pluies sur son feuillage nettement plus élevée, avec 835 mm d'eau par an. Cette caractéristique est consécutive à la fois à un taux d'interception annuel plus important sur les résineux, et à des précipitations plus abondantes sur cette série, liées à sa position plus en altitude. Aujourd'hui, avec ces 300 mm d'eau prélevés par l'interception, la perte en eau par l'interception forestière représente environ 16% des précipitations annuelles moyennes reçues sur l'ensemble du massif. Cette valeur a-t-elle toujours été la même depuis le milieu du XIX^e siècle ?

34 La connaissance annuelle des précipitations du massif depuis 1845, les estimations de l'interception des précipitations, puis les grandes lignes de l'évolution de la couverture forestière, permettent maintenant d'estimer à l'aide du modèle établi à l'échelle annuelle, les quantités d'eau réellement reçues au niveau du sol depuis le milieu du XIX^e siècle. En intégrant l'évolution différentielle des séries forestières et notre connaissance de l'interception pour les trois principales formations forestières du massif, il est possible de retracer et de modéliser à l'échelle annuelle les précipitations arrivant au sol, et les valeurs associées de l'interception (Fig. 5).

Figure 5. Evolution des précipitations arrivant au sol et de l'interception depuis 1845.

Les valeurs représentées sont obtenues à partir des précipitations incidentes annuelles calculées pour l'ensemble du massif, et des superficies des trois formations arborées, calculées annuellement par interpolation entre les quatre dates renseignées (1820-1900-1950 et 2000).



- 35 Depuis 1845, avec l'extension de la couverture forestière, on observe une légère hausse de l'interception (Fig. 5). La variabilité interannuelle de cette interception reste cependant très marquée, avec des fluctuations interannuelles de l'ordre de 100 mm. Sur l'ensemble de la période étudiée, la première décennie de la série montre une interception moyenne de 260 mm, et de presque 330 mm sur la dernière décennie. Dans la mesure, où les précipitations ne montrent pas une tendance significative, cette augmentation de la perte en eau par le processus d'interception est directement liée à l'extension de la forêt sur l'ensemble du massif.
- 36 Afin d'éliminer un éventuel biais lié à une légère augmentation des pluies observées, mais qui ne serait pas significative sur un plan statistique, la quantité d'eau arrivant au sol depuis 1820 a été également simulée à partir de précipitations annuelles constantes, et dont la valeur représente la moyenne des pluies enregistrées sur la période 1845-1999. Les résultats précédents montrant une perte en eau moyenne de l'ordre de 100 mm sont également confirmés (Tab. 4).

Tableau 4. Précipitations arrivant au sol sur le massif de la Chartreuse en 1820 et au cours du XX^e siècle avec des précipitations incidentes supposées constantes (Pmoy₁₈₄₅₋₁₉₉₉ = 1975 mm).

	1820	1900	1950	2000	
Pluies moyennes (mm)			1975,0		
Volumes d'eau (en millions de m ³)			790,0		
	In (%)	Volume d'eau perdu par interception (en millions de m ³)			
Hêtraie-sapinière	14,0%	29,6	36,1	41,2	44,5
Hêtraie	17,6%	35,5	22,0	12,4	7,7
Résineux	38,7%	17,9	54,8	69,7	72,4
Total		83	113	123	125
Volume d'eau arrivant au sol		707	677	667	665
Pluies moyennes arrivant au sol (mm)		1767	1693	1667	1664
Interception (mm)		208	282	308	311

- 37 Le tableau 4, pour information, indique également les pertes annuelles en eau par l'interception forestière en volume d'eau. Ces pertes passent ainsi d'environ 80 Mm³ en 1820, à presque 125 Mm³ à la fin du XX^e siècle. Il est clair qu'indépendamment des variations pluviométriques interannuelles, c'est bien la fermeture du paysage par la forêt, sur l'ensemble du XX^e siècle, qui produit cette diminution des apports en eau au niveau du sol, à hauteur d'environ 100 mm (Tab. 4).

Conclusion

- 38 La forêt est un élément primordial du massif de Chartreuse, aussi bien du point de l'économie que de l'écologie du paysage. Les résultats permettent déjà d'apprécier un peu mieux l'influence de la forêt du massif de la Chartreuse sur le cycle de l'eau. Avec une perte d'eau pour l'ensemble du massif de plus de 100 Mm³ par an, la connaissance de cette interception demeure importante si l'on cherche, par exemple, à évaluer le renouvellement de la ressource en eau des aquifères et éventuellement à optimiser la gestion de cette ressource. Ou encore,

si l'on souhaite apprécier le lien, parfois modélisé avec des algorithmes complexes, entre les entrées d'eau et les écoulements de surface.

39 Cette étude souligne que les forêts, par les influences qu'elles exercent sur le cycle de l'eau, diminuent notablement en quantité la ressource en eau des bassins versants. En effet, cette eau interceptée est en grande partie soustraite du cycle hydrique. Il semblerait qu'une très faible proportion de l'eau interceptée soit absorbée par le couvert végétal, et que la plus grande partie de l'interception soit évaporée (Aussenac, 1981). D'ailleurs, les études actuelles montrent que la majeure partie de l'interception doit être considérée comme une perte dans le bilan hydrique (Morton, 1984 ; Bultot *et al.*, 1990 ; Humbert et Najjar, 1992 ; Carlyle-Moses, 2004 ; Pieffer *et al.*, 2005 ; Cosandey, 2006). L'interception des précipitations intègre des processus complexes, qui restent encore de nos jours peu étudiés. Elle résulte de l'interaction de nombreux facteurs : l'influence de l'essence, la capacité de saturation du feuillage, le degré de défoliation, le ruissellement le long des troncs, la distribution spatiale, le type de précipitation et la saison. La combinaison de tous ces facteurs, et leur interrelation, détermine la quantité d'eau parvenant finalement au sol.

40 Depuis la révolution industrielle, en liaison avec les progrès de l'agriculture à haut rendement des plaines, mais aussi des mutations socio-économiques des régions de montagne, une grande partie des terres a été abandonnée au profit notamment des formations arborées. A partir des valeurs de l'interception estimées dans cette étude, l'extension de la couverture forestière en Chartreuse, depuis le milieu du XIX^e siècle, aurait ainsi accru de presque 100 mm cette interception, soit l'équivalent d'environ 40 Mm³ d'eau sur l'ensemble du massif. Cette valeur, non négligeable, montre bien l'intérêt dans les approches hydroclimatiques d'une prise en compte de l'interception des pluies par la forêt, notamment sur ces espaces de moyenne montagne souvent fortement boisés. Le bilan hydrologique est modifié, avec une quantité d'eau éventuellement disponible pour l'écoulement, ou les réserves souterraines, plus réduite que celle définie traditionnellement à partir des relevés météorologiques. Cependant, sur le massif de Chartreuse, les quantités d'eau reçues annuellement, avec en moyenne environ 2 000 mm par an, demeurent considérables, et rendent peu perceptibles, voire imperceptibles, cette faible augmentation du prélèvement en eau induite par ce processus d'interception et l'extension de la forêt depuis le milieu du XIX^e siècle.

Bibliographie

ARQUES S., 2005. – *Géodynamique, colonisation végétale et phytodiversité des talus d'éboulis dans le massif de la grande chartreuse (Préalpes françaises du nord). Caractéristiques géo-écologiques et sensibilité aux changements environnementaux*. Thèse, Université Joseph-Fourier, Grenoble.

AUSSENAC G., 1975. – *Couverts forestiers et facteurs du climat : leurs interactions, conséquences écophysiological chez quelques résineux*. Thèse Doct. Sci. Nat., Univ. Nancy.

AUSSENAC G., 1981. – « L'interception des précipitations par les peuplements forestiers ». *La Houille Blanche*, 7/8, 531-536.

BINARD R., 2003. – *L'interception des précipitations par la forêt sur le massif de la Grande Chartreuse sur l'ensemble du XX^e siècle*. Mémoire de maîtrise, Institut de Géographie Alpine, Univ. Joseph Fourier, Grenoble.

BOULANGEAT C., 1978. – *Influence de la forêt sur le cycle de l'eau : étude comparative de l'interception et de l'évapotranspiration d'un peuplement feuillu (Fagus silvatica) et de quatre peuplements de Douglas (Pseudotsuga)*. Mémoire ENITEF, Nancy.

BULTOT F., DUPRIEZ G., BODEUX A., 1972. – « Interception de la pluie par la végétation forestière ; estimation de l'interception journalière à l'aide d'un modèle mathématique ». *J. of Hydrol.*, XVII, 3, pp. 193-223.

BULTOT F., DUPRIEZ G., GELLENS D., 1990. – « Simulation of land use changes and impacts on the water balance. A case study for Belgium ». *J. of Hydrol.*, 114, pp. 327-348.

CARLYLE-MOSES D.E., 2004. – « Measurement and modelling of growing season canopy water fluxes within a mature mixed deciduous forest stand southern Ontario, Canada ». *Agricultural and Forest Meteorology*, 124, pp. 281-284.

- COSANDEY C., 2006 – « Conséquences des forêts sur l'écoulement annuel des cours d'eau ». *Revue forestière française*, LVIII, 4, pp. 317-327.
- DOBREMEZ J.-F., 2001. – « La montagne du biologiste ». – *Revue de Géographie Alpine*, n°2, pp. 93-100.
- DUMAS D., 2004. – *Rôle des changements climatiques et influence de l'extension de la forêt sur les ressources en eau dans le massif de la Chartreuse, depuis le milieu du XIX^e siècle*. Rapport Parc Naturel Régional de Chartreuse, Université Joseph Fourier, Grenoble, Institut de Géographie Alpine.
- DUMAS D., 2008. – « Estimation de l'influence de la couverture forestière sur les pluies en montagne : exemple du massif de la Chartreuse ». *Revue Forestière Française*, LX, 6, pp. 711-726.
- DURAND Y., LATERNER M., GIRAUD G., ETCHEVERS P., LESAFFRE B., MÉRINDOL L., 2009. – « Reanalysis of 44 Yr of climate in the French Alps (1958-2002): methodology, model validation, climatology, and trends for air temperature and precipitation ». *J. of Applied Meteorology and Climatology*, vol. 48, pp. 429-449.
- GASH J.H.C., LLOYD C.R., LACHAUD G., 1995. – « Estimating spars forest rainfall interception with an analytical model ». – *J. of Hydrol.*, 170, pp. 79-86.
- GIRARD R., 2003. – *L'interception des précipitations par une couverture forestière : exemple de la Chartreuse*. Mémoire de DEA, Institut de Géographie Alpine, Univ. Joseph Fourier, Grenoble.
- HUMBERT J., NAJJAR G., 1992. – *Influence de la forêt sur le cycle de l'eau en domaine tempéré. Une analyse de la littérature francophone*. Rapport, Univ. Louis-Pasteur, Strasbourg.
- Inventaire Forestier National (IFN), 2006 – *Département de l'Isère ; résultats du troisième inventaire forestier*. 1997. Rapport, Min. de l'Agriculture et de la Pêche, Paris.
- LLORENS P., GALLART F., 2000. – « A simplified method for forest water storage capacity measurement ». *J. of Hydrology*, 240, pp. 131-144.
- MORTON F.I., 1984. – « What are the limits of forest evaporation ? ». *J. of Hydrol.*, 74, pp. 373-398.
- NIZINSKI J., SAUGIER B., 1988. – « Mesures et modélisation de l'interception nette dans une futaie de chênes ». *Acta Oecologica, Oecol. Plant.*, 9 (3), pp. 311-329.
- PACHE G., 2000 – *Guide simplifié de typologie de stations forestières. Massif de la Chartreuse et chaînons calcaires du pays « entre Jura-Savoie »*. Laboratoire des Ecosystèmes Alpains, Univ. Joseph Fourier, Grenoble.
- PERIGORD M., 1996. – *Le paysage en France*. Presses Univ. de France, coll. Que sais-je ? Paris.
- PETIT F., KALOMBO K., 1984. – « L'interception des pluies par différents types de couverts forestiers ». *Bull. Soc. Géogr. Liège*, 20, pp. 99-127.
- PIEFFER M., LE GOFF N., NYS C., OTTORINI J.-M., GRANIER A., 2005. – « Bilan d'eau, de carbone et croissances comparées de deux hêtraies de plaine ». *Revue forestière française*, LVII, 2, pp. 201-215.
- RICHARD L., PAUTOU G., 1982. – *Carte de la végétation de la France au 200 000^e. Alpes du Nord et Jura méridional*. Notice détaillée des feuilles 48-Annecy, 54-Grenoble. Ed. CNRS.
- SAUGIER B., HALLDIN S., PONTAILLER J.Y., NIZINSKI G., 1985. – « Bilan hydrique des forêts de chêne et de hêtre à Fontainebleau. Mesures et modélisation ». *Revue Palais Découverte*, Paris, 13, (130), 187-200.
- TONNEL A., OZENDA P., 1964. – *Documents pour la carte de la végétation des Alpes*. Laboratoire de Biologie Végétale de Grenoble et du Lautaret, Univ. de Grenoble, Faculté des Sciences.

Pour citer cet article

Référence électronique

Dominique Dumas, « Impact de la forêt sur l'évolution des ressources en eau en moyenne montagne alpine depuis le milieu du XIX^e siècle (massif de Chartreuse, France) », *Revue de géographie alpine* [En ligne], 99-4 | 2011, mis en ligne le 10 février 2012, consulté le 21 février 2012. URL : <http://rga.revues.org/1555> ; DOI : 10.4000/rga.1555

À propos de l'auteur

Dominique Dumas

Maître de conférences à l'Université Joseph Fourier, Laboratoire PACTE-CNRS.

Droits d'auteur

© Revue de géographie alpine/Journal of Alpine Research

Résumé

Depuis la révolution industrielle, une grande partie des terres des espaces de moyenne montagne a été abandonnée au profit d'une extension de la couverture forestière. Or, la forêt intercepte et retient un pourcentage plus ou moins élevé des pluies sur son feuillage, diminuant du même coup la quantité d'eau réellement reçue par le sol. Le transfert de l'eau atmosphérique en une eau utilisable comme ressource a donc été progressivement modifié au cours de ces dernières décennies par la transformation progressive du paysage. Dans cette étude, conduite à l'échelle du massif de Chartreuse, la pluviométrie annuelle, le rôle de la forêt dans l'interception des pluies et l'extension de la forêt, sont appréciés tour à tour. L'impact de l'extension de la forêt depuis le milieu du XIX^e siècle sur les quantités d'eau perdues pour l'écoulement et les réserves souterraines peut ainsi être évalué. Cette étude montre que, depuis le milieu du XIX^e siècle, l'extension de la couverture forestière en Chartreuse aurait accru de presque 100 mm les pertes en eau par les processus d'interception. Et, sur cette même période, cette quantité d'eau perdue n'a pas été compensée par une hausse des précipitations. Au total, le bilan hydrologique a donc été notablement modifié, avec une quantité d'eau disponible pour l'écoulement, ou les réserves souterraines, plus réduite que celle définie traditionnellement à partir des uniques relevés météorologiques.

Mots clés : évolution, changement climatique, Forêt, précipitations, interception, massif Chartreuse, France