

# FORÊT • NATURE

OUTILS POUR UNE GESTION  
RÉSILIENTE DES ESPACES NATURELS

## Tiré à part de la revue **Forêt.Nature**

La reproduction ou la mise en ligne totale ou partielle des textes  
et des illustrations est soumise à l'autorisation de la rédaction

[foretnature.be](http://foretnature.be)

**Rédaction** : Rue de la Plaine 9, B-6900 Marche. [info@foretnature.be](mailto:info@foretnature.be). T +32 (0)84 22 35 70

Abonnement à la revue Forêt.Nature :  
**librairie.foretnature.be**

---

Abonnez-vous gratuitement à Forêt.Mail et Forest.News :  
**foretnature.be**

Retrouvez les anciens articles de la revue  
et d'autres ressources : **foretnature.be**

# IMPACTS DU CLIMAT ET DES DÉFICITS HYDRIQUES STATIONNELS SUR LA CROISSANCE RADIALE DU HÊTRE, DU CHÊNE, DE L'ÉPICÉA ET DU DOUGLAS EN WALLONIE

TANGUY MANISE – CAROLINE VINCKE

Hêtraie du site de Vielsalm



*La gestion de la ressource en eau en forêt est un enjeu majeur pour l'avenir. En effet, le réchauffement planétaire induit une modification du cycle de l'eau, en particulier une augmentation de la fréquence et de l'intensité des sécheresses estivales. Dans ce contexte, il est crucial de documenter la vulnérabilité des différentes espèces ligneuses. En effet, les contraintes hydriques peuvent, outre leurs effets directs (chute des feuilles, diminution de croissance) induire des dépérissements et des mortalités.*

**L'étude** présentée ici évalue la vulnérabilité au stress hydrique de peuplements représentatifs de la forêt wallonne. Pour chacun des vingt et un peuplements étudiés, les stress hydriques édaphiques des quarante dernières années sont quantifiés par modélisation. Ensuite, la croissance radiale des arbres sur cette même période est caractérisée et analysée en fonction des contraintes hydriques rencontrées.

---

## QUELLES ANALYSES SUR QUELS SITES ?

---

### Peuplements étudiés

Vingt et un peuplements ont été sélectionnés, (figure 1) dans trois régions climatiques (l'Ardenne, la Lorraine belge et

la région « Fagne-Ardenne »). Les quatre essences forestières principales en Wallonie, à savoir le hêtre, le hêtre, l'Épicéa et le Douglas, sont représentées à raison de cinq à six sites par essence. Ces sites présentent des sols à réserve en eau utile maximale (*EUM*, la quantité d'eau maximale réellement disponible pour l'arbre) différente, allant de 34 à 227 mm\*.

### Modélisation des stress hydriques édaphiques

Le modèle de bilan hydrique *Biljou*<sup>03</sup> calcule les principaux flux d'eau du bilan hydrique (transpiration des arbres, interception des pluies, réserve en eau utile, etc.) en valeurs journalières, ainsi qu'un indice de stress hydrique annuel (équation 1). Pour fournir des résultats fiables

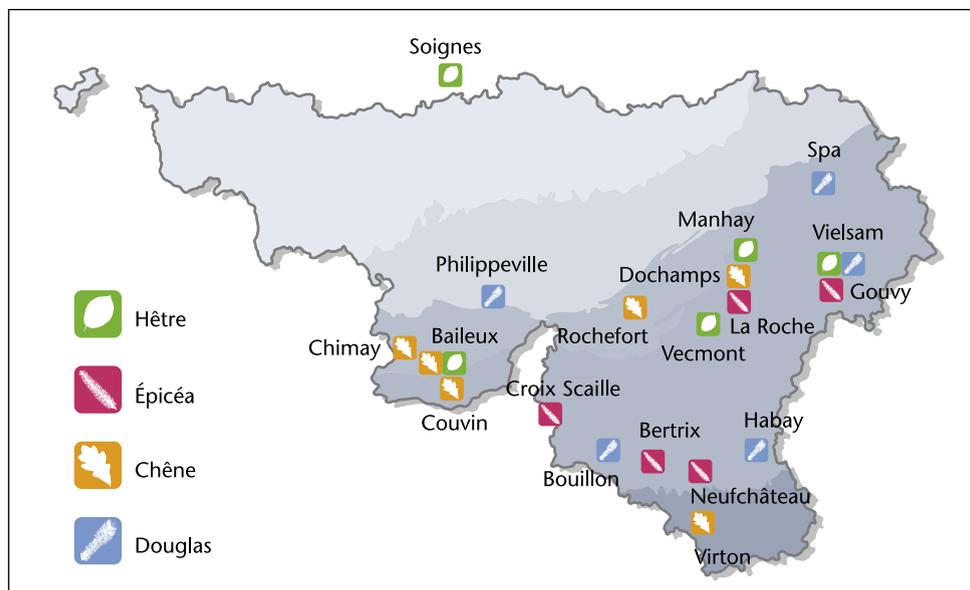
\* 1 mm correspond à 1 litre par mètre carré de sol.

il est paramétré avec des données relatives au peuplement, qui concernent soit la végétation (l'indice foliaire par exemple), soit le sol (eau utile maximale, profils racinaires, etc.) et des données climatiques doivent lui être fournies. Le rapport entre les réserves en eau utile réelle (*RU*) et maximale (*EUM*) s'appelle la réserve en eau utile relative (*REW*) et lorsque celui-ci chute sous 40 % (seuil critique, *REW<sub>c</sub>*), la plupart des essences sont considérées en stress hydrique.

Les données météorologiques sont issues des stations de l'Institut Royal Météorologique (IRM, Uccle) sélectionnées de façon à être représentatives des sites étudiés.

Dans chaque peuplement, les paramètres du modèle ont été évalués sur une surface de 50 ares. L'indice foliaire maximal, la phénologie, les profils racinaires, et les ca-

Figure 1 – Localisation des sites et des essences associées en Wallonie et région Bruxelloise.



## ÉQUATION 1

$$I_s = \sum SWD / EUM$$

$$\text{avec } SWD = \underbrace{(0,4 \times EUM)}_{REWc} - RU$$

$SWD$  = déficit d'eau dans le sol (en millimètre)

caractéristiques hydriques et porales des sols ont fait l'objet de mesures spécifiques. La réserve en eau utile maximale ( $EUM$ ) a été calculée précisément sur toute la profondeur des profils.

### La croissance radiale des arbres

Sur quinze arbres dominants à codominants de chaque peuplement, deux carottes distantes de  $90^\circ$  ont été prélevées par arbre, à 1,3 mètre de hauteur. Sur chaque carotte, les largeurs de cerne ont été me-

surées. Les différentes étapes d'analyse de ces largeurs de cerne sont détaillées ci-dessous et illustrées dans la figure 3.

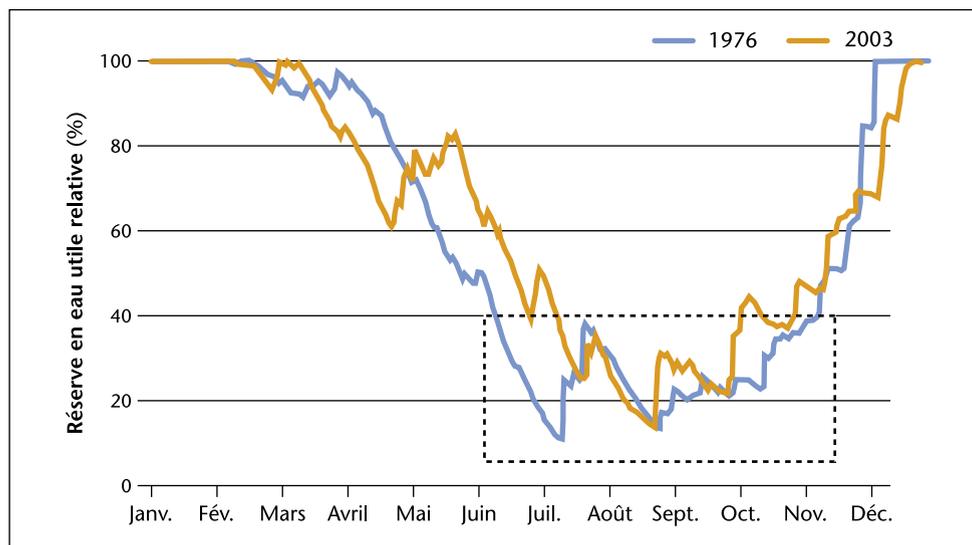
### Calcul des années caractéristiques

Les années caractéristiques correspondent aux années durant lesquelles on observe une tendance nette à l'augmentation ou à la diminution de la croissance des arbres d'un peuplement, relativement à l'année précédente. Une année est dite caractéristique négative lorsque l'écart relatif de croissance radiale entre les années  $n$  et  $n-1$  de plus de 70 % des arbres est négatif, et inversement pour une année caractéristique positive (équation 2<sup>1</sup>).

### Standardisation des données

Afin de mettre en évidence l'influence du climat sur les largeurs de cernes, les séries dendrochronologiques ont été « standardisées »<sup>4</sup> afin d'en retirer les effets liés aux

Figure 2 – Évolution de la réserve en eau utile relative en 1976 et 2003 pour un peuplement de la hêtraie de Soignes. Le cadre pointillé identifie la période durant laquelle l'indice de stress est calculé en 1976 puisque le seuil  $REWc$  est dépassé.



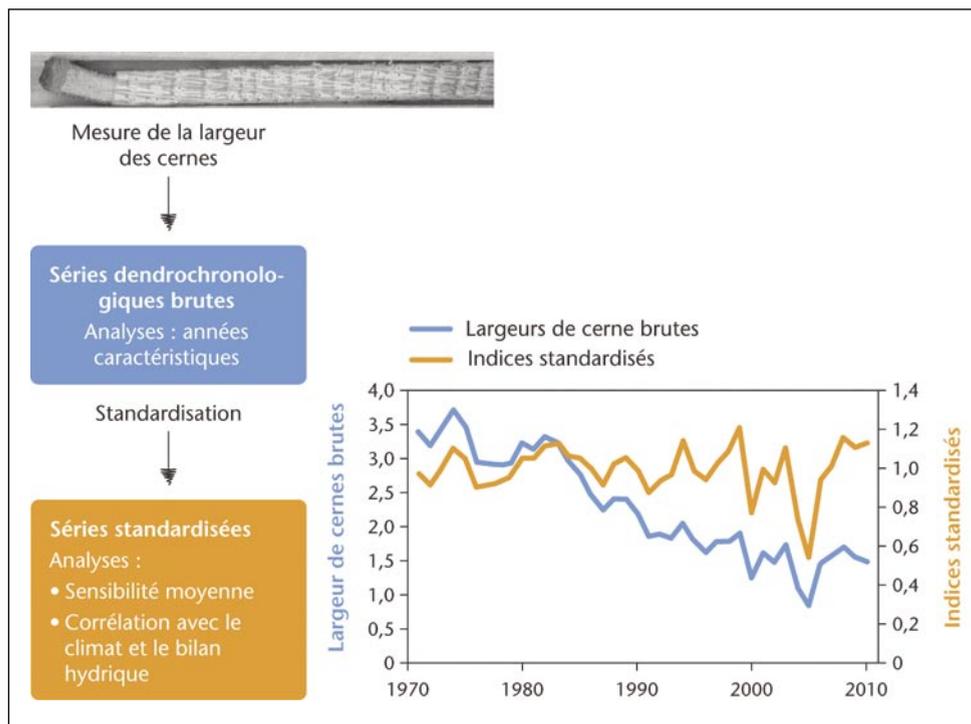


Figure 3 – Étapes de l'analyse dendrochronologique. La carotte montrée en exemple provient d'un chêne du peuplement de Virton.

pratiques sylvicoles, à l'âge de l'arbre, à la compétition, etc. Ce sont les indices obtenus à partir de cette opération qui sont étudiés par la suite et corrélés aux paramètres climatiques et hydriques.

L'indice de réaction au climat (appelé aussi sensibilité moyenne) est un paramètre statistique qui définit la variation moyenne entre deux épaisseurs de cernes successives sur les courbes standardisées et, par conséquent, quantifie la sensibilité des arbres au climat. Cet indice permet d'appréhender l'intensité et le mode de réponse des arbres aux facteurs du milieu, en particulier climatiques<sup>2</sup>.

Une fois les données standardisées, celles-ci peuvent être corrélées avec des paramètres climatiques simples (température, pluviométrie...), ou avec des indices plus complexes comme des indices de stress hydrique. Cela permet d'étudier le déterminisme des variations interannuelles des courbes dendrochronologiques.

#### ÉQUATION 2

$$Ic = \text{Écart relatif de croissance annuel} \\ = [Lc(n) - Lc(n-1)] / Lc(n-1)$$

où  $Lc(n)$  représente la largeur de cerne d'une année  $n$  et  $Lc(n-1)$  la largeur de cerne de l'année précédente.

---

QUELS ONT ÉTÉ  
LES STRESS HYDRIQUES  
SUR LA PÉRIODE 1971-2010 ?

---

De nombreux stress hydriques ont été simulés par le modèle et, par souci de simplification, seuls les plus fréquents ou les plus intenses ont été repris dans le tableau 1.

Pour tous les sites, l'année 1976 est de loin l'année la plus stressante au niveau hydrique, suivie de l'année 2003. L'indice de stress de 1976, qui varie de 0 à 73 en fonction des sites, est par ailleurs systématiquement supérieur à l'indice de stress de 2003, qui varie de 0 à 51,4. Cette différence s'explique essentiellement par la précocité de la sécheresse de 1976 (figure 2).

Les peuplements feuillus, et particulièrement les hêtraies, présentent des indices de stress moyen plus élevés que les peuplements résineux. Cela s'explique entre autres par leur surface foliaire plus élevée et une réserve en eau utile maximum moyenne plus faible, ces paramètres étant déterminants dans le calcul de l'indice de stress.

En comparant les indices de stress modélisés avec la croissance radiale des peuplements, il est apparu que pour un indice de stress annuel supérieur à 40, 43 % des peuplements sont affectés. Ce seuil de stress a été observé pour huit sites et de une à dix-huit fois selon le site. Pour ces huit sites, l'indice de stress de 1976 est systématiquement supérieur à 40.

---

QUELLES ONT-ÉTÉ  
LES CRISES DE CROISSANCE ?

---

Les largeurs moyennes de cernes sont de 1,5 mm pour les chênes, 2,2 mm pour les hêtres, 3 mm pour les épicéas et 4,5 mm pour les douglas. Lors d'années défavorables, les hêtres produisent un cerne minimum de 1 à 1,5 mm/an, cette largeur minimum étant de 0,75 à 1,25 mm/an pour les chênes.

L'analyse des années caractéristiques a montré que sur les 40 ans étudiés, seule 1976 a été défavorable l'année en cours pour la majorité des sites. La canicule et la sécheresse de 2003 (et les épisodes secs de 2004 et 2005) ont engendré des pertes de

*Tableau 1 – Années durant lesquelles l'indice de stress modélisé est supérieur à 10 (seuil à partir duquel il devient conséquent) pour au moins deux sites feuillus et au moins un site résineux.*

Essence	1971-1980	1981-1990	1991-2000	2001-2010
Hêtre	1971, 1973, 1975, 1976, 1978	1982, 1983, 1984, 1986, 1989, 1990	1991, 1993, 1994, 1995, 1996, 1997, 1998, 1999	2002, 2003, 2005, 2006, 2009
Chêne	1971, 1973, 1976	1983, 1984, 1989, 1990	1991, 1994, 1995, 1996	2003, 2006
Douglas	1973, 1976		1994	2006
Épicéa	1976			

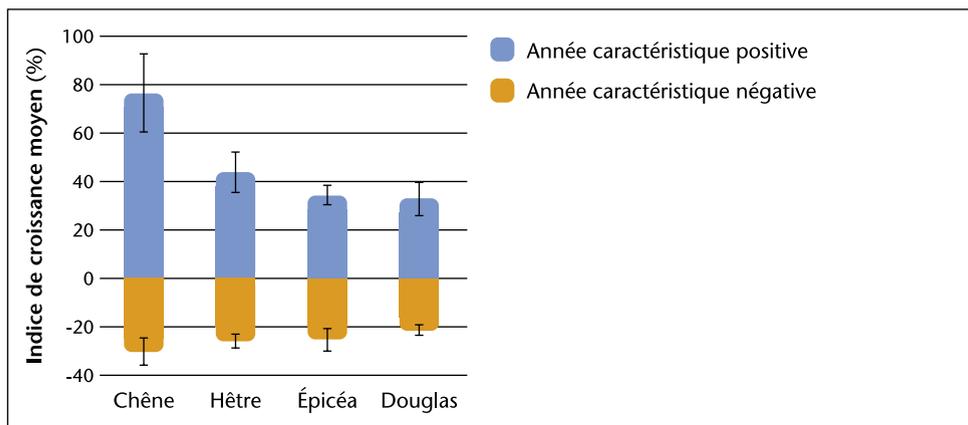


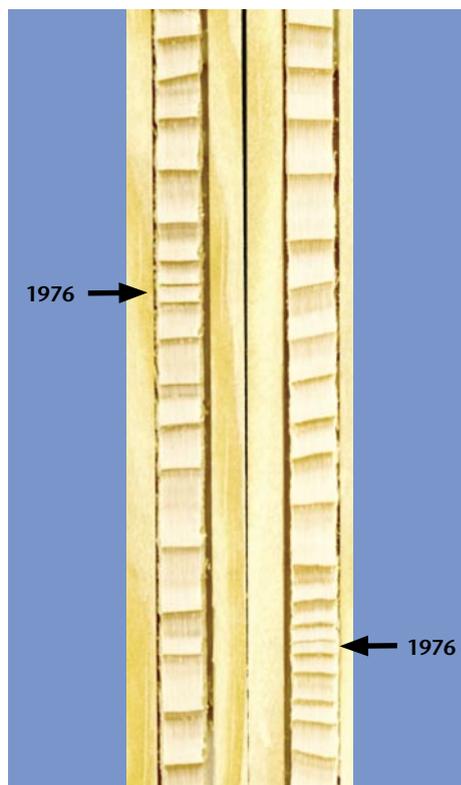
Figure 4 – Gain et perte de croissance moyens en cas d'années caractéristiques positives et négatives.

croissance en 2003 pour les douglas, sur la période 2004-2005 pour les sites feuillus et en 2006 pour les épicéas. On retrouve aussi des épisodes défavorables propres à tous les sites d'une même espèce : 1983-1984 (sécheresse), 1995-1996 pour les chênaies (accident biotique et année sèche) et 2000 pour les hêtraies.

Au niveau quantitatif, en cas d'année caractéristique négative, les pertes de croissance varient de 11 à 60 %, que ce soit en comparaison inter-sites ou interannuelle. Les plus fortes pertes de croissances (plus de 40 %) s'observent chez les feuillus.

En moyennant l'indice de croissance (qui correspond au pourcentage de diminution ou d'augmentation de croissance) par espèce en cas d'année caractéristique, on observe que les hêtres sont les plus réactifs : plus affectés en cas d'année défavorable, ils récupèrent leur niveau de croissance d'avant le stress (figure 4). À l'inverse, le douglas est l'espèce la moins réactive.

Impact de la sécheresse de 1976 sur la largeur de cerne de deux épicéas de Bertrix.



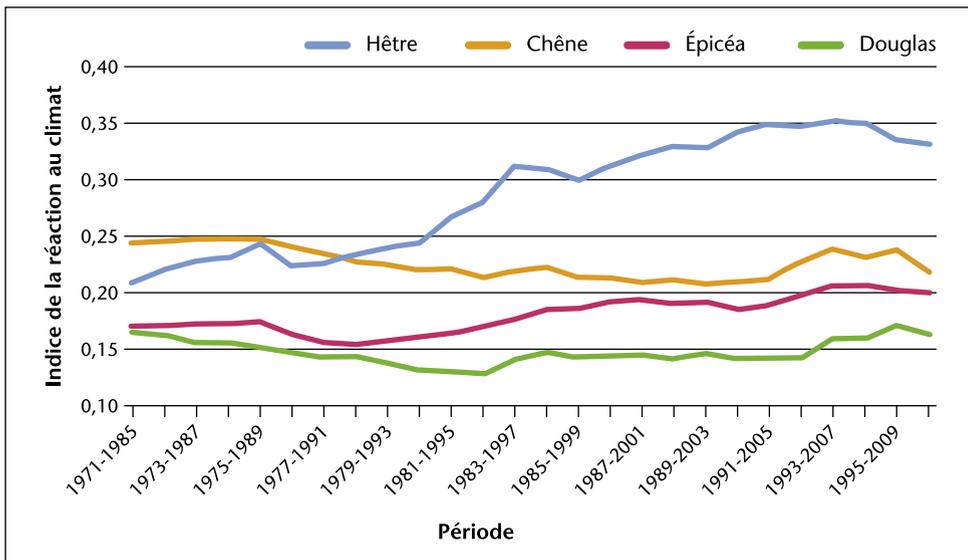


Figure 5 – Évolution de la sensibilité au climat pour les quatre essences durant la période étudiée.

Cette tendance s’observe également si on calcule l’indice de réaction au climat sur des périodes plus larges : la sensibilité au climat est de plus en plus forte pour les hêtraies alors qu’elle est plutôt constante pour les trois autres espèces (figure 5).

#### SENSIBILITÉ DES ARBRES AU CLIMAT

Les courbes standardisées ont mis en évidence un phénomène interpellant, à savoir une uniformisation (ou un synchronisme) du comportement des arbres d’une espèce donnée quel que soit le site (exemples à la figure 6). Ce phénomène s’observe dès 1993 pour les pessières, dès 1986-1988 pour les hêtraies et dès 1994 pour les chênaies. Pour les douglasaies, cette tendance n’apparaît que légèrement.

Sur les sites feuillus, les crises de croissance les plus fortes sont comprises dans

la période au cours de laquelle cette uniformisation apparaît (1996 et 2004-2005 pour les chênes ; 1989-1990, 1995-1996 et 2004 pour les hêtres). Les causes potentielles seront évoquées plus loin.

La réserve en eau utile maximale du sol (EUM) influence de manière déterminante cette sensibilité au climat. En effet, la corrélation entre l’EUM et la sensibilité au climat est négative, et pratiquement identique pour les quatre essences : les arbres présents sur des sols à plus faible EUM sont plus sensibles au climat que ceux présents sur des sols à plus forte EUM (figure 7).

L’étude des corrélations a montré par ailleurs que la pluviométrie durant les périodes automnales et hivernales exerce une influence marquante sur la croissance de l’année suivante pour les feuillus. Des températures estivales élevées provoquent une croissance à la baisse l’année suivante

pour toutes les espèces sauf le douglas, qui lui est favorisé par des températures hivernales plus élevées. Les résultats montrent également qu'un bilan hydrique du sol déficitaire dès le début de l'été de l'année en cours influence négativement la croissance des arbres. Plusieurs auteurs ont souligné l'importance du bilan hydrique du début d'été, que ce soit pour le hêtre<sup>11</sup>, pour le chêne<sup>6,9,10</sup> ou pour l'épicéa<sup>7</sup>.

## CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS

### Caractérisation de la dynamique de croissance des essences

Une différence de comportement a été observée entre les quatre essences mais surtout entre les sites feuillus et résineux. En effet, les sites feuillus, et plus particulière-

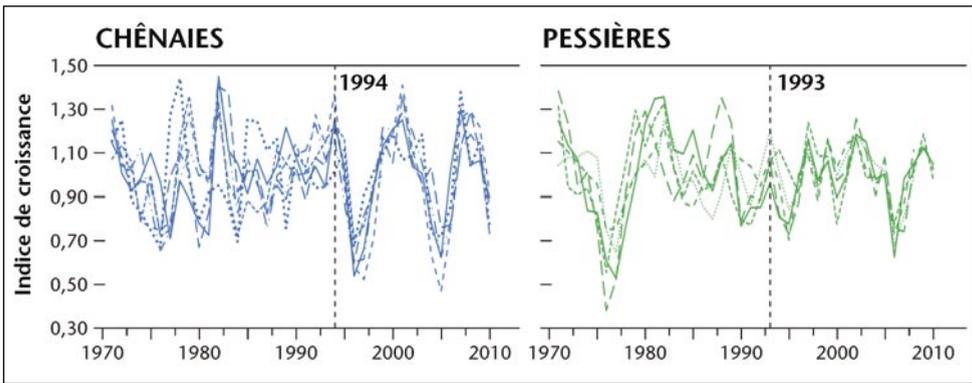
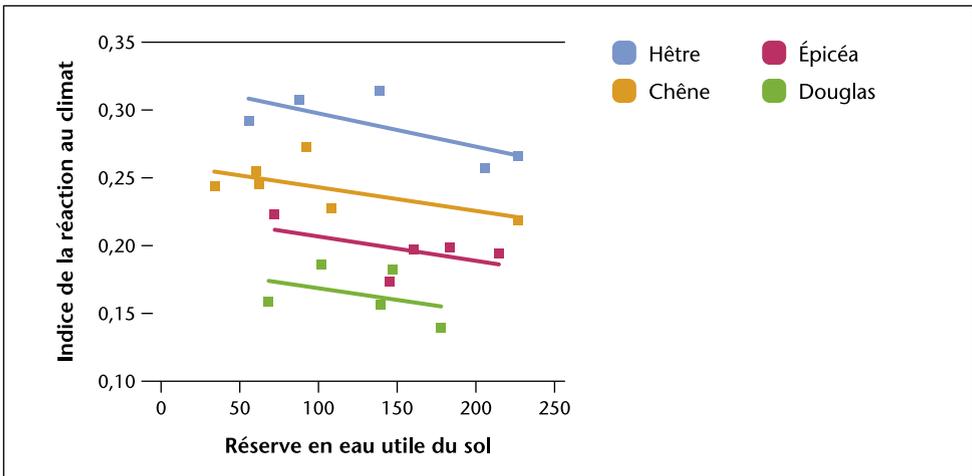


Figure 6 – Uniformisation du comportement à partir de 1994 pour les chênaies et de 1993 pour les pessières. Les courbes représentent les valeurs de croissance standardisées.

Figure 7 – Influence de la réserve en eau utile maximale du sol sur la sensibilité des arbres au climat.



ment les hêtraies, présentent des pertes de croissance plus importantes que les sites résineux en cas d'année difficile. De plus, l'amplitude des courbes de croissance, indicatrice de la sensibilité au climat, est plus faible pour les sites résineux, les douglasaies étant les peuplements les moins sensibles.

Par contre, une fois ces années de faible croissance passées, les sites feuillus parviennent à retrouver leur niveau de croissance précédant le stress, vraisemblablement grâce à des conditions climatiques favorables. Les chênes et surtout les hêtres présentent donc une capacité de récupération après une période stressante<sup>5</sup>. Cependant, la question brûlante est de savoir si cette capacité de récupération va perdurer et si oui, jusqu'à quand. Car on observe également une augmentation constante de la sensibilité au climat pour les hêtres depuis 40 ans et un début d'augmentation pour les chênes. Les conditions climatiques futures, qui seront sans doute moins favorables, vont-elles affaiblir de plus en plus les peuplements feuillus ? Le suivi de la croissance des arbres étudiés serait utile pour pouvoir répondre à ces questions.

Une uniformisation (ou synchronisme) du comportement ces dernières années pour les chênes, les hêtres et les épicéas, qui débute à des périodes variables selon l'essence, a été mise en évidence. Plusieurs hypothèses peuvent être posées, non exclusives les unes des autres, parmi lesquelles :

- la levée d'un facteur limitant (par exemple l'augmentation des températures) ;
- un impact différé du stress de 1976 ;
- l'effet des dépôts azotés ;
- des effets indirects issus des interactions entre facteurs climatiques, sylvicoles et

stationnels (par exemple des effets de compaction des sols).

Ce phénomène particulier suggère une augmentation de la réactivité des arbres vis-à-vis du climat, quel que soit le site sur lequel ils sont implantés, ce qui pourrait également être lié à une augmentation de la fréquence des stress hydriques<sup>10</sup>.

### Indicateurs de vulnérabilité au stress hydrique

En raison du nombre faible d'années climatiques très défavorables telles que 1976, il est difficile d'identifier des indicateurs de vulnérabilité au stress hydrique par essence. Néanmoins, pour les années durant lesquelles l'indice de stress est supérieur à 40, près d'un peuplement sur deux a connu une baisse de croissance.

L'influence déterminante de la réserve en eau utile maximale du sol, toutes espèces confondues, est confirmée par d'autres études sur des hêtraies<sup>5</sup>, des chênaies<sup>8</sup> et des pessières françaises<sup>8</sup>, avec un seuil critique estimé, selon le cas, de 100 à 120 mm.

Une influence certaine du climat et du bilan hydrique stationnel sur la croissance des arbres a été mise en évidence. L'augmentation des températures et des stress hydriques plus fréquents, pourraient être dommageables pour les espèces forestières. Néanmoins, des facteurs de compensation existent, tels que la réserve en eau utile maximale ou l'indice foliaire. Un peuplement installé sur un sol profond à grande réserve en eau utile maximale et caractérisé par un indice foliaire modéré sera moins vulnérable aux aléas climatiques. Le gestionnaire forestier a donc plusieurs possibilités d'action pour

limiter le risque de stress hydrique. Il lui est vivement conseillé de veiller à l'adéquation essence-station afin de limiter les risques en cas de stress. Il faut privilégier des stations à bonne réserve en eau et, si le peuplement est déjà en place, ajuster la surface terrière du peuplement de façon à réduire sa surface foliaire totale et ainsi à optimiser les entrées et sorties d'eau. Il est important également de prêter une attention particulière aux problèmes sanitaires. Enfin, il faut éviter au maximum la dégradation du sol afin de ne pas endommager ses capacités de rétention d'eau et sa fonction de support à l'enracinement. ■

---

## BIBLIOGRAPHIE

---

- 1 BECKER M., BERT G.D., BOUCHON J., PICARD J.F., ULRICH E. [1994]. Tendances à long terme observées dans la croissance de divers feuillus et résineux du Nord-Est de la France depuis le milieu du XIX<sup>ème</sup>. *Revue Forestière Française* **46**(4) : 335-341.
- 2 FRITTS H.C. [1976]. *Tree Rings and Climate*. Academic Press, London, 567 p.
- 3 GRANIER A., BRÉDA N., BIRON P., VILLETTE S. [1999]. A lumped water balance model to evaluate duration and intensity of drought constraints in forest stands. *Ecol. Model.* **116** : 269-283.
- 4 LEBOURGEOIS F. [2005]. *Analyse des cernes. Partie I : Principes et méthodes de la dendrochronologie – Part II : Notices d'utilisation des programmes inter, cofecha, arstan et ppphalos*. Master FAGE (M2), Version 1, septembre 2005, 40 p.
- 5 LEBOURGEOIS F. [2005]. Approche dendroécologique de la sensibilité du hêtre (*Fagus sylvatica* L.) au climat en France et en Europe. *Revue Forestière Française* **57**(1) : 33-50.
- 6 LEBOURGEOIS F. [2006]. Sensibilité au climat des chênes sessile (*Q. petraea*) et pédonculé

(*Q. robur*) dans le réseau RENCOFOR. *Revue Forestière Française* **53**(1) : 29-44.

- 7 LEBOURGEOIS F. [2006]. Réponse au climat du sapin (*Abies alba* MILL.) et de l'épicéa (*Picea abies* KARST.) dans le réseau RENCOFOR. *Revue Forestière Française* **53**(6) : 419-432.
- 8 LEBOURGEOIS F., MÉRIAN P. [2011]. La sensibilité du climat des arbres forestiers a-t-elle changé au cours du XX<sup>ème</sup> siècle. *Revue Forestière Française* **63**(1) : 17-32.
- 9 MICHELOT A., BRÉDA N., DAMESIN C. AND DUFRÈNE E. [2012]. Differing growth responses to climatic variations and soil water deficits of *Fagus sylvatica*, *Quercus petraea* and *Pinus sylvestris* in a temperate forest. *Forest Ecology and Management* **265** : 161-171.
- 10 SCHARNWEBER T., MANTHEY M., CRIGEE C., BAUWE A., SCHRODER C. AND WILMKING M. [2011]. Drought matters - Declining precipitation influences growth of *Fagus sylvatica* L. and *Quercus robur* L. in north-eastern Germany. *Forest Ecology and Management* **262** : 947-691.
- 11 VAN DER MAATEN E. [2012]. Climate sensitivity of radial growth in European beech (*Fagus sylvatica* L.) at different aspects in southwestern Germany. *Trees* **26** : 777-788.

TANGUY MANISE

tanguy.manise@uclouvain.be

CAROLINE VINCKE

caroline.vincke@uclouvain.be

Environmental sciences,  
Earth and Life Institute,  
Université catholique de Louvain

Croix du Sud 2, L7.05.09  
B-1348 Louvain-la-Neuve