

## Faut-il adapter la gestion de la forêt aux sécheresses et si oui, comment ?

**Nathalie Bréda**

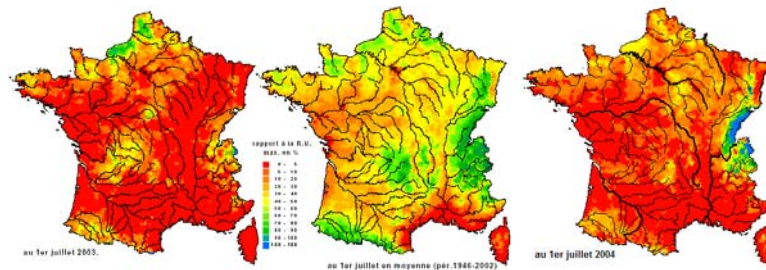
UMR1137 - INRA UHP Ecologie et Ecophysiologie forestières

Equipe Phytoécologie

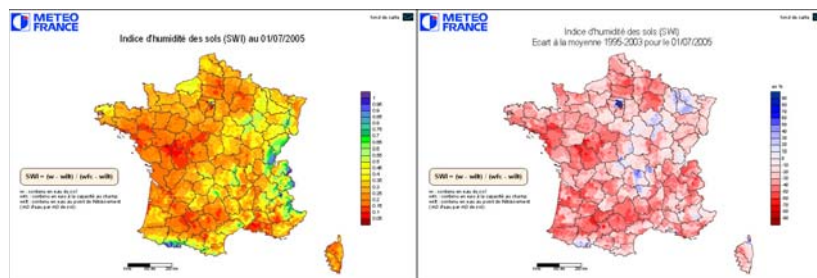
INRA Nancy

breda@nancy.inra.fr

Les médias ne cessent de le rappeler : la France est sèche, et cela depuis 2003. Trois années consécutives que des alertes sont publiées et que des restrictions d'usage de l'eau sont mises en place dans divers départements. Les premiers acteurs touchés par ces conditions hydriques difficiles sont les agriculteurs, qui s'inquiètent pour leurs cultures et remettent en question leur choix de production, voire leurs investissements dans des dispositifs d'irrigation. Qu'en est-il de la forêt, qui souffre en silence, manifestant des symptômes parfois spectaculaires comme en 2003, ou parfois plus discrets ...



**Figure 1 :** En haut : Cartes de déficit hydrique en France, au 1<sup>er</sup> juillet 2003, à la même date en moyenne sur la période 1964-2002 et en 2004. Cartes produites par le Réseau National des Données de l'Eau (RNDE). En 2005 (en bas), la carte a été établie par Météo France qui n'utilise par le même indice pour quantifier la sécheresse (1 = la réserve en eau du sol est complète, 0 = il n'y a plus d'eau extractible). La comparaison par rapport à l'état moyen à la date du 1<sup>er</sup> juillet est présentée sur la carte de droite (pour plus d'information, voire <http://www.eaufrance.fr/>)

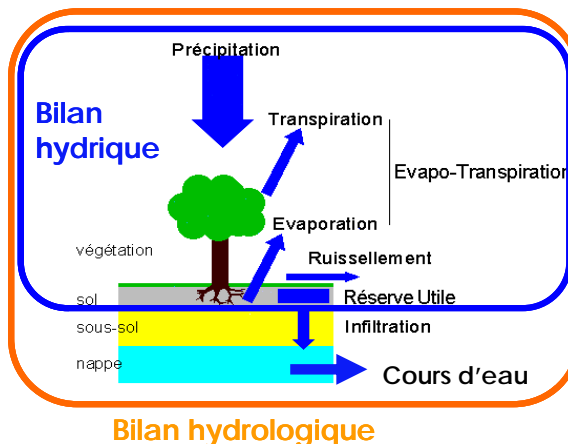


La sécheresse dont il s'agit ici est un évènement climatique caractérisé par un déficit en eau dans le sol qui affecte le fonctionnement optimal de la végétation. Nous ne nous intéressons ici qu'à la couche de sol prospectée par les racines des arbres, souvent de l'ordre de 1.5 à 2 m, parfois plus encore. Ici, nous ne considérons pas les ressources en eau que sont les nappes profondes, non accessibles par la forêt : c'est une des grandes différences entre un bilan hydrique et hydrologique (figure 2).

Pour établir le bilan hydrique d'une forêt, il faut connaître le climat (la pluie, le rayonnement, la température et l'humidité de l'air, la vitesse du vent), les propriétés du sol et la profondeur de l'enracinement. Connaissant de plus la phénologie (date d'apparition et de chute des feuilles, indice de surface foliaire), on calcule jour par jour la quantité d'eau dans le sol. Pour cela, partant d'un état de remplissage du réservoir que

constitue le sol, il faut quantifier la quantité de pluie qui atteint le sol et la quantité d'eau prélevée par les arbres ou évaporée depuis le sol ou le feuillage.

Figure 2: Schéma simplifié des flux d'eau entrant et sortant de l'écosystème à prendre en compte pour établir le bilan hydrique d'une forêt (cadre bleu). Le cadre rouge délimite les compartiments à prendre en compte pour un bilan hydrologique.



Dans le cas des forêts, une première différence apparaît entre les espèces qui perdent leurs feuilles (espèces décidues) et celles dont le feuillage peut être efficace toute l'année, comme chez les conifères et les espèces à feuillage persistant. En effet, le feuillage intervient à deux niveaux : il intercepte une partie de la pluie qui n'atteindra jamais le sol (elle sera ré évaporée dans l'atmosphère) et il détermine la consommation en eau de la parcelle, directement proportionnelle à la quantité de feuilles ou des aiguilles des arbres.

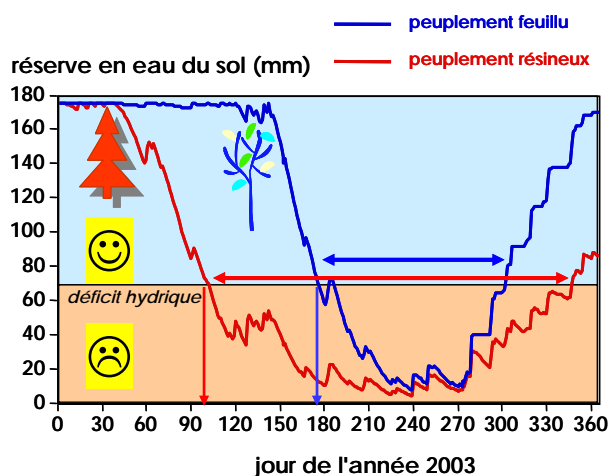


Figure 3: comparaison du déficit hydrique sous forêt feuillue et résineuse, sur le même sol, ici à forte réserve utile. La durée de la période de déficit hydrique est plus longue sous résineux, elle débute plus tôt au printemps et se prolonge à l'arrière saison. La date de début de sécheresse est plus précoce de presque 3 mois sous résineux que sous feuillu.

La forêt transpire par l'intermédiaire de ses feuilles, percées de petits trous, les stomates ; la transpiration est émise dans l'atmosphère sous forme de vapeur d'eau. Elle assure une fonction de refroidissement des feuilles, et permet de maintenir les feuilles à une température inférieure à la température de l'air. Avant d'atteindre les feuilles, l'eau circule dans l'arbre en phase liquide, absorbée dans le sol par les racines fines aidées par leurs mycorhizes, puis transportée sous forme de sève brute dans le système conducteur jusqu'aux feuilles. Pour que le système fonctionne bien, il faut que « l'offre », c'est-à-dire la quantité d'eau dans le sol soit au moins égale à la « demande », correspondant à l'évapotranspiration potentielle. C'est lorsque l'offre n'est plus capable de répondre à la demande que les problèmes commencent...

Il faut savoir tout d'abord que cette situation est fréquente, et que les arbres possèdent de fortes capacités d'ajustement de leur consommation en eau lorsque la disponibilité dans le sol diminue. Ainsi, l'ouverture des stomates est réduite, ce qui permet de limiter la transpiration. Cette capacité de régulation est tout à fait réversible : dès le retour de la pluie, les stomates s'ouvrent à nouveau et la transpiration reprend... jusqu'au prochain retour à un niveau d'eau limitant dans le réservoir sol. Plusieurs cycles de ce type peuvent

se succéder au cours d'une saison, et très souvent, la période estivale correspond à une période prolongée de contrôle de la consommation en eau par les arbres.

Cette limitation de la transpiration permet aussi à l'arbre de contrôler son état hydrique interne, et de limiter le dessèchement de ses tissus. En particulier, la régulation stomatique permet de protéger le système conducteur de dysfonctionnements irréversibles : lorsque les tensions dans le xylème deviennent trop fortes, et que le sol ne puisse plus fournir l'eau nécessaire, il arrive que la colonne de sève soit rompue et que des bulles d'air se forment dans les vaisseaux : c'est l'embolie. Elle intervient en premier lieu dans les parties terminales de l'arbre, au niveau des pétioles des feuilles, puis des jeunes rameaux. Toutes les espèces ne présentent pas la même vulnérabilité à ce type de dysfonctionnement : le système conducteur de la sève chez les résineux, formé de trachéides, est en général plus résistant à ce phénomène que le système conducteur des essences feuillues, constitué de vaisseaux.

En 2003 ou 2005 selon les régions de France, c'est dès les mois de mai-juin que le système d'économie d'eau a été mis en place par les arbres. Dans ce cas où la régulation est très précoce, il est possible que le système de protection soit insuffisant, et que l'arbre continue malgré tout à se dessécher, surtout si l'évapotranspiration est élevée en raison d'un rayonnement fort, d'un air sec et d'un vent faible. Les risques d'embolie sont réels, à des taux importants, rapidement catastrophiques : ainsi, 80 à 90 % des capacités de transfert de sève vers les feuilles ou les rameaux peuvent être perdues. Mais tout cela reste invisible pour le promeneur ...



Exemple de feuilles de hêtre desséchées sur une partie terminale de branche dont le système conducteur est embolisé. La sève n'atteint plus les feuilles, elles sèchent.



Exemple de réaction contrastée à la sécheresse : le charme présente toute la partie terminale de sa couronne desséchée alors que le pin sylvestre voisin ne manifeste pas de symptôme visible.

En revanche, lorsque la canicule est intervenue en août 2003, ces dysfonctionnements ont été révélés de manière spectaculaire, par des chutes de feuilles prématurées. D'autres espèces, dont la fermeture des stomates était totale, l'effet de refroidissement par la transpiration n'existait plus, les feuilles et les aiguilles ont atteint des températures encore plus élevées que les températures de l'air : les tissus foliaires ont été brûlés et ont pris des couleurs anormales. On peut donc considérer que la canicule a été le révélateur de l'état de stress hydrique des arbres ... et a déclenché l'émoi des médias et la stupeur des promeneurs, qui ne trouvaient plus en forêt ce microclimat habituellement plus frais et si appréciable en été. On retiendra donc que le caractère spectaculaire de cette année 2003 est lié à la conjonction d'un épisode de forte chaleur sur des forêts déjà soumises à une forte contrainte hydrique depuis de longs mois.

En ce sens, les sécheresses des années 2004 et 2005 ont été moins spectaculaires car les températures atteintes ont été moins élevées, ce qui ne veut pas dire que les arbres n'aient pas souffert ... Le système de contrôle de la consommation en eau avant qu'il ne soit trop tard semble bien adapté pour faire face à des épisodes de limitation de l'eau dans le sol. Mais il faut savoir que, si l'eau sort de l'arbre par cette ouverture des stomates, le carbone entre sous forme de CO<sub>2</sub> par la même voie dans le sens inverse : il est fixé par la photosynthèse dans la feuille (figure 5). Ainsi, toute régulation des « pertes » en eau par transpiration s'accompagne d'une limitation de la photosynthèse, ce qui limite rapidement la croissance de l'arbre. D'ailleurs, les anneaux annuels de croissance formés en 2003, 2004 et 2005 ont été anormalement étroits, voir même absent chez certaines espèces. Vous pouvez l'observer en regardant les souches d'arbres qui viennent d'être abattus.

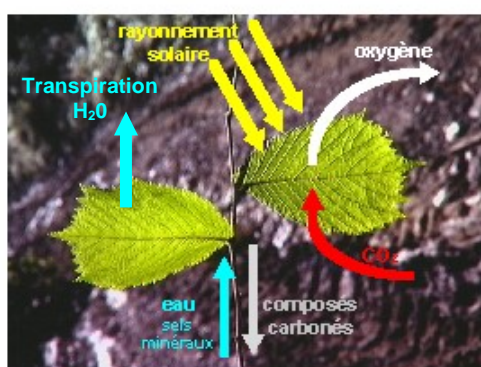


Figure 5 : Au cours de la photosynthèse, sous l'effet du rayonnement du soleil, le carbone présent dans l'atmosphère entre dans la feuille par les stomates sous forme de CO<sub>2</sub>. L'arbre transforme ensuite ce carbone en molécules de sucre et en oxygène. La transpiration émet de l'eau sous forme de vapeur dans l'atmosphère par les mêmes stomates.

Lorsque la photosynthèse est ainsi limitée par une sécheresse précoce et longue, non seulement la croissance est affectée mais aussi tous les processus de mise en réserves de sucres. Ceux-ci jouent un rôle important (1) dans l'entretien des tissus en particulier au cours de l'hiver, (2) dans la réactivation du fonctionnement de l'arbre au printemps suivant (reprise de croissance aérienne et souterraine, ouverture des bourgeons et mise en place des feuilles) ou encore (3) dans les capacités de résistances des arbres à diverses contraintes. Ainsi, la récurrence de sécheresses sévères pendant trois années consécutives a un effet cumulatif néfaste sur la reconstitution des réserves des arbres. Ceci a pour effet d'augmenter leur vulnérabilité aux insectes, aux pathogènes racinaires ou foliaires, aux gels ... et aux sécheresses à venir.

Dès 2004, les forestiers ont rapporté des taux de mortalité anormaux, particulièrement sur résineux, résultant d'effets directs de la sécheresse ou d'interactions entre affaiblissement par la sécheresse et une vulnérabilité plus grande aux insectes (scolytes en particulier), aux champignons pathogènes (armillaire par exemple). De telles interactions ont conduit à des mortalités tout à fait exceptionnelles dans certains massifs.

Depuis, des symptômes de perte de vitalité des arbres sont rapportées, comme des dessèchements de branches dans les parties terminales des couronnes, illustrant l'effet irréversible de l'embolie des systèmes conducteurs dans les organes pérennes. L'apparition de branches mortes est aussi un indicateur fort de basculement possible vers un état sanitaire médiocre, tendant rapidement vers un dépérissement. Certains arbres ont en effet toutes chances de ne jamais récupérer complètement de ces successions de contraintes, et de progressivement perdre leur compétitivité. Un des challenge pour la

recherche est de savoir prédire quels arbres sont dans ce cas, afin d'aider les forestiers à les récolter rapidement, avant que le bois ne se déprécie suite à des attaques d'insectes.

En Lorraine, nos calculs de bilan hydrique depuis 1950, à partir de la station météorologique de Hesse (57), nous révèle que l'année 2003 a présenté le déficit hydrique le plus sévère des 54 dernières années, aussi bien sous peuplement feuillu que sous résineux (figure 6). Si de telles sécheresses devenaient la « normale », il conviendrait d'adapter les peuplements en réduisant leur indice foliaire, afin de réduire leur consommation en eau.

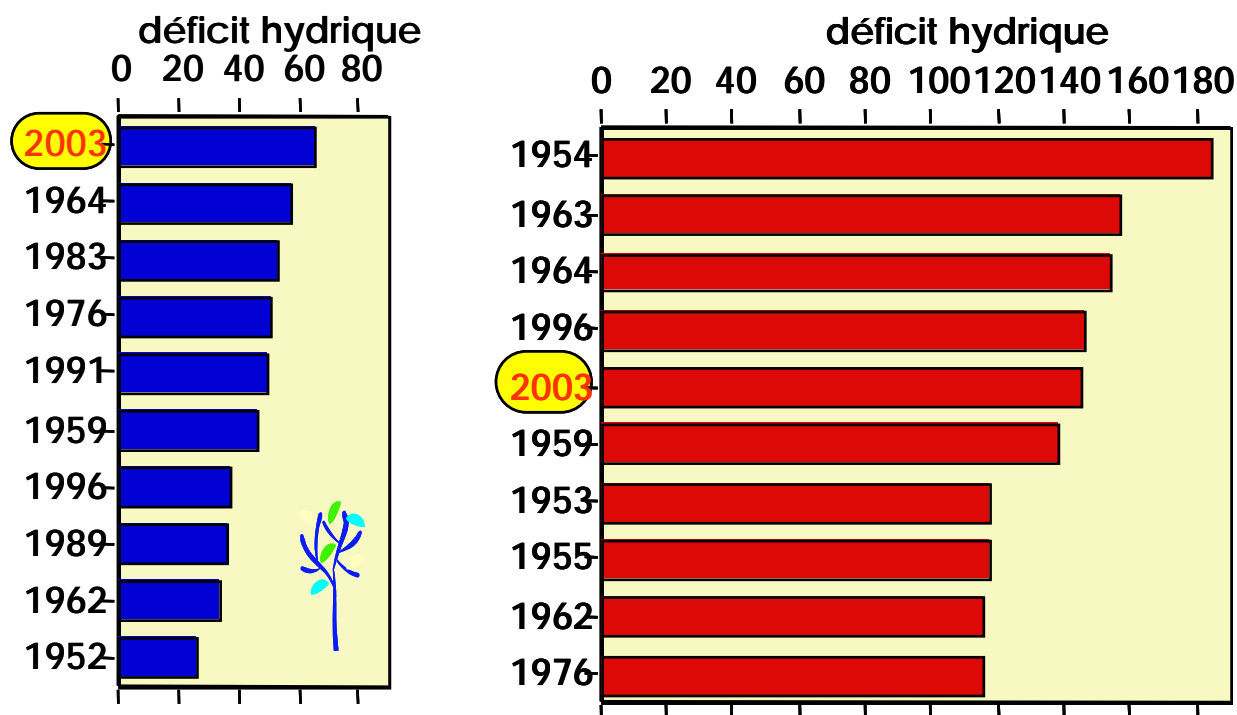


Figure 6 : Hit parade des années à déficit hydrique sévère sous forêt feuillue depuis 1950 en Lorraine. La sécheresse de 2003 a été plus sévère sous résineux que sous feuillus. *Source des données climatiques utilisées : INRA, Site atelier de Hesse (57).*

Par ailleurs, il conviendra d'être toujours plus vigilant à ne plus installer d'essence sensible à la sécheresse sur les sols les plus superficiels, et/ou la pluviométrie est la plus limitante déjà aujourd'hui. Sans quoi le forestier doit s'attendre à une baisse de productivité voir même à des dépérissements massifs dans toutes les zones limites.

**Des liens utiles pour en savoir plus :**

[http://www.inra.fr/presse/le\\_point\\_sur\\_les\\_recherches\\_de\\_l\\_inra\\_sur\\_les\\_impacts\\_de\\_la\\_secheresse\\_sur\\_l\\_agriculture\\_et\\_la\\_foret](http://www.inra.fr/presse/le_point_sur_les_recherches_de_l_inra_sur_les_impacts_de_la_secheresse_sur_l_agriculture_et_la_foret)

[http://www.inra.fr/presse/les\\_secheresses\\_telles\\_celle\\_de\\_l\\_ete\\_2003\\_auraient\\_un\\_impact\\_durable\\_sur\\_les\\_ecosystemes\\_terrestres](http://www.inra.fr/presse/les_secheresses_telles_celle_de_l_ete_2003_auraient_un_impact_durable_sur_les_ecosystemes_terrestres)

[http://www.inra.fr/presse/changement\\_climatique\\_quels\\_impacts\\_sur\\_la\\_foret](http://www.inra.fr/presse/changement_climatique_quels_impacts_sur_la_foret)

[http://www.inra.fr/presse/changement\\_climatique\\_selectionner\\_des\\_arbres\\_resistants\\_a\\_la\\_secheresse](http://www.inra.fr/presse/changement_climatique_selectionner_des_arbres_resistants_a_la_secheresse)

[http://www.inra.fr/presse/les\\_arbres\\_plus\\_sensibles\\_au\\_froid\\_apres\\_une\\_secheresse](http://www.inra.fr/presse/les_arbres_plus_sensibles_au_froid_apres_une_secheresse)

[http://www.inra.fr/presse/l\\_embolie\\_gazeuse\\_un\\_accident\\_vasculaire\\_vegetal](http://www.inra.fr/presse/l_embolie_gazeuse_un_accident_vasculaire_vegetal)

[http://www.agriculture.gouv.fr/spip/ressources.themes.foretbois.santedesforets\\_r314.html](http://www.agriculture.gouv.fr/spip/ressources.themes.foretbois.santedesforets_r314.html)

<http://www.gip-ecofor.org/ecofor/publi/page.php?id=1735>

<http://www.greenfacts.org/climate-change/giec/giec.htm>

<http://www.ens-lyon.fr/Planet-Terre/Infosciences/Climats/Rayonnement/Effetserre/IPCC-1995.htm>

**Des articles à lire pour mieux comprendre :**

AUSSENAC G., GRANIER A., BRÉDA N. (1995) Effets des modifications de la structure du couvert forestier sur le bilan hydrique, l'état hydrique des arbres et la croissance. *Revue Forestière Française*, XLVII, 54-62

BRÉDA N. (1999) L'indice foliaire des couverts forestiers : mesure, variabilité et rôle fonctionnel. *Revue Forestière Française*, LI-2, 135-150

BRÉDA N. (2003) Arbres adultes touchés par la sécheresse : que faut-il faire ? *Forêts de France*, 467, 33-34

BRÉDA N. (2003) Sécheresse : verdict au printemps. *Communes Forestières de France*, 3<sup>e</sup> trimestre 2003, 10-11

BRÉDA N., GRANIER A., AUSSENAC G. (2000) Evolutions possibles des contraintes climatiques et conséquences pour la croissance des arbres. *Revue Forestière Française*, LIII, 73-90

BRÉDA N., GRANIER A., AUSSENAC G. (2004) La sécheresse de 2003 dans le contexte climatique des 54 dernières années : analyse écophysiological et influence sur les arbres forestiers. *Revue Forestière Française*, LVI, 2, 109-131

BRÉDA N., GRANIER A., DREYER E. (2004) Physiologie des arbres : les effets de la sécheresse et de la canicule. *Forêts de France*, 474, 22-23

DUPOUEY J. L., BRÉDA N., BADEAU V. (2005) Changements climatiques, des impacts encore peu visibles. FRAPNA Isère, Isère Nature, n°261, avril 2005, 14-15

GRANIER A., BADEAU V., BRÉDA N. (1996) Modélisation du bilan hydrique des peuplements forestiers. *Revue Forestière Française*, XLVII, 59-68

LANDMANN G., BRÉDA N., HOULLIER F., DREYER E., FLOT J. L. (2003) Sécheresse et canicule de l'été 2003 : quelles conséquences pour les forêts françaises ? *Revue Forestière Française*, 55, 299-308

LEBOURGEOIS F., GRANIER A., BRÉDA N. (2001) Variations climatiques en France : +1,2°C depuis 40 ans. *Forêt Entreprise*, 139, 53-57