



HAL
open science

Sécheresse et forêt : les arbres comme détecteurs de sécheresse

Nathalie Bréda

► **To cite this version:**

Nathalie Bréda. Sécheresse et forêt : les arbres comme détecteurs de sécheresse. Symposium International Sécheresse et Constructions, Sep 2008, Marne la Vallée, France. hal-02752961

HAL Id: hal-02752961

<https://hal.inrae.fr/hal-02752961v1>

Submitted on 3 Jun 2020

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.

Copyright

Volume 1

SEC 2008

Symposium International Sécheresse et Constructions

International Symposium Drought and Constructions

Avec le parrainage de / Under the auspices of

Ministère de l'Écologie, de l'Énergie, du Développement Durable
et de l'Aménagement du Territoire

Fédération Française du Bâtiment
Fédération Nationale des Travaux Publics
Agence Qualité Construction

Comité Français de Géologie de l'Ingénieur et de l'Environnement
Comité Français de Mécanique des Roches
Comité Français de Mécanique des Sols

Marne-la-Vallée, 1 – 3 septembre 2008 / 1 – 3 September 2008



SÉCHERESSE ET FORÊT : LES ARBRES COMME DÉTECTEURS DE SÉCHERESSE

DROUGHT AND FOREST: TREES AS DROUGHT DETECTORS

Nathalie BRÉDA

UMR 1137 Ecologie et Ecophysiologie Forestière, INRA Nancy, France

RÉSUMÉ – La croissance radiale des arbres forestiers est principalement limitée par l'intensité du déficit hydrique du sol. Cette communication illustre les relations entre variations de croissance radiale et sécheresse quantifiée par modélisation de bilan hydrique forestier à bases écophysiologiques. On suggère ici d'utiliser les réductions majeures de croissance des arbres comme indicatrices de sécheresse géotechnique provoquant des dommages au bâti.

ABSTRACT – Forest tree growth as measured from tree ring is mainly limited by soil water deficit. This paper illustrates tree ring variations as response to drought as computed by soil water balance modelling. We suggest that the tree radial growth reduction due to drought could be used as an indicator of drought intensity susceptible to induce construction damages.

1. Introduction

Les forêts subissent les variations interannuelles du climat comme la plupart des écosystèmes terrestres et accusent l'impact des événements climatiques extrêmes (Landmann et al., 2003, Liang et al., 2003). L'originalité des arbres est liée à leur pérennité, qui permet de garder la mémoire des accidents climatiques. En effet, la croissance radiale des arbres enregistre l'impact des alternances climatiques dans les anneaux annuels du bois, les cernes. Les années pluvieuses s'accompagnent d'un anneau de croissance large, les années sèches d'une croissance étroite. L'analyse conjointe du climat et des caractéristiques des cernes relève de la dendroclimatologie (Cook et Kairiukstis, 1990 ; Schweingrüber, 1996). On observe souvent en montagne ou en limite d'aire de distribution des essences forestières que les températures sont parmi les facteurs climatiques les plus limitants de la croissance radiale ; en plaine, la pluviométrie et le déficit en eau du sol contrôlent davantage la croissance (Schweingrüber et al., 1990). Ces alternances entre des croissances bonnes, normales ou faibles sont liées à l'adaptation des arbres forestiers pour résister ou tolérer des sécheresses même intenses, grâce en outre à un enracinement profond couplé à une capacité d'extraction de l'eau du sol jusqu'à des niveaux de dessèchement intense. Certaines espèces d'arbres sont en effet capable de coloniser en particulier les couches argileuses du sol, où les alternances de dessèchement – réhydratation peuvent provoquer des dommages graves au bâti. Ainsi, les arbres contribuent plus encore que la végétation basse à la propagation de la sécheresse géotechnique (Tessier et al., 2007). L'interprétation des relations cerne – sécheresse fait appel à nos connaissances de l'écophysiologie des espèces et de leur capacité de régulation. En effet, un système de régulation de la consommation en eau par la transpiration des arbres se met en place au niveau des feuilles (fermeture des stomates) lorsque le sol se dessèche, permettant ainsi d'économiser la ressource lorsqu'elle devient insuffisante. Mais cette économie s'accompagne d'un arrêt de la croissance, plus ou moins précoce dans la saison, produisant ainsi au final un cerne plus ou moins large.

Les objectifs de ce travail sont : (1) d'illustrer comment quantifier la sécheresse sous forêt de manière rétrospective par modélisation de bilan hydrique, (2) de présenter quelques exemples de variations interannuelles de croissance radiale d'arbres en plaine, (3) d'illustrer comment, à partir de relations cernes – climat, on peut dégager des années caractéristiques attribuées à des sécheresses. On discute enfin de l'intérêt de comparer les sécheresses forestières aux

sécheresses géotechniques ayant provoqué des dommages au bâti dans quelques régions où les sols argileux sont sensibles à cet aléa.

2. Matériel et méthodes

2.1. Quantification des déficits en eau du sol sous couvert forestier

La sécheresse édaphique a été quantifiée par une modélisation de bilan hydrique forestier. Il s'agit d'un calcul au pas de temps journalier, dont les variables climatiques d'entrées sont la pluviométrie et l'évapotranspiration potentielle calculée selon les formules de Penman ou Penman-Monteith (Granier et al., 1999). Les caractéristiques du sol (son épaisseur, ses capacités de rétention en eau, sa densité, la distribution des racines fines des arbres) et du peuplement (sa phénologie, son indice de surface foliaire) sont des paramètres déterminés pour chaque calcul. Le modèle calcule jour par jour la quantité d'eau disponible dans le sol, après calcul de l'état de la réserve rechargée par les pluies atteignant le sol (pluie incidente moins interception par la canopée) et vidée par l'évapotranspiration des arbres, du sous étage herbacé et du sol. Cette évapotranspiration de la végétation dépend : de la demande climatique (évapotranspiration potentielle, ETP), de l'indice de surface de feuilles (LAI) et de l'état de remplissage du réservoir en eau du sol. En effet, en cas de réduction de la disponibilité en eau du sol, les couverts économisent l'eau en régulant leur consommation par fermeture de leurs stomates. L'ensemble de ces fonctions s'enchaîne jour par jour. À l'issue de l'année ou de la saison de végétation, trois indices sont calculés pour caractériser le déficit en eau du sol : la date à partir de laquelle il y a régulation stomatique (lorsqu'il ne reste que 40% de la réserve utile), la durée pendant laquelle il y a régulation, et l'indice de déficit hydrique, intégrant à la fois la durée et l'intensité de la sécheresse. Ces trois indices sont pertinents pour expliquer les variations de croissance radiale (Aussenac et al., 1995), l'état des couronnes (Badeau et Bréda, 1997), les mortalités d'organes ou d'arbres entiers (Dobbertin, 2005 ; Bréda et al., 2006).

2.2. Dendrochronologie

Les données de largeurs de cernes présentées ici sont issues de la base de données de l'équipe Phyto Ecologie de l'INRA Nancy (Badeau et al., 2004 ; Bréda et Badeau, 2008). L'étude dendroécologique retenue comme exemple ici concerne le massif forestier de Fontainebleau, où coexistent des parcelles de chênes, de hêtres et de pins. Un échantillon de bois a été prélevé à hauteur de poitrine (1,30 m) sur chaque individu à l'aide d'une tarière de Presler. La partie supérieure de l'échantillon de bois, d'un diamètre de 5 mm, a ensuite été tranchée pour faciliter l'observation des limites entre cernes. Les largeurs de cernes ont ensuite été mesurées à l'aide d'un système vidéo-informatisé permettant une observation sous loupe binoculaire ou à l'écran des limites de cernes et la mesure précise de leur largeur. Ensuite, chaque dendrogramme (série de largeurs de cernes) a été comparé à la courbe moyenne de tous les individus de l'étude, afin de procéder à la synchronisation des séries (étape d'interdatation) (Fritts, 1976). Seules les séries moyennes des largeurs de cernes en fonction de l'année sont utilisées ici et sont appelées chronologies maîtresses. Afin de ne conserver que les variations interannuelles, les écarts relatifs de croissance (ERC) entre deux années successives ont pu être calculés. Dans la suite, on parle d'année caractéristique pour la croissance les années au cours desquelles l'évolution relative moyenne de croissance radiale est d'au moins 10% de la valeur absolue par rapport à l'année précédente et où au moins 70% des arbres de l'étude présentent une variation dans le même sens : réduction, stabilité ou augmentation de croissance. Ces années caractéristiques, à l'échelle du massif, de la région voire de plus larges territoires (Neuwirth et al., 2007), sont principalement sous contrôle climatique, dont il convient d'identifier le déterminisme éventuellement différent selon les espèces.

3. Résultats

3.1. Modélisation et quantification des sécheresses sous couverts forestiers

Afin de caractériser l'intensité, la durée et la périodicité du dessèchement du sol, on a développé un modèle de calcul de bilan hydrique quotidien adapté aux écosystèmes forestiers. En effet, des indicateurs de déficit hydrique du sol sont plus explicatifs des variations de croissance analysées que les simples variables de pluie ou de déficit pluviométrique (P-ETP). Les arbres et les forêts consomment beaucoup d'eau en raison de leur importante surface de feuillage, qui non seulement évapotranspire proportionnellement à cette surface d'échange mais également intercepte les précipitations, ce qui retarde et diminue la recharge en eau du sol. La figure 1 illustre les différences de cinétiques de dessèchement du sol calculées entre deux parcelles occupées soit par des arbres à aiguilles persistantes (sapin, épicéa, douglas ...) soit par des arbres qui perdent leurs feuilles en hiver (chênes, hêtre) (Figure 1). On a calculé jour par jour l'évolution de la teneur en eau du sol sous forêt, à partir des données climatiques quotidiennes de l'année 2003 et des caractéristiques des peuplements forestiers et du sol. La date à laquelle il y a déficit hydrique pour les arbres est plus précoce et plus longue sous résineux, en raison de leur différence de phénologie : le couvert peut transpirer toute la saison et intercepte les précipitations tout au long de l'année.

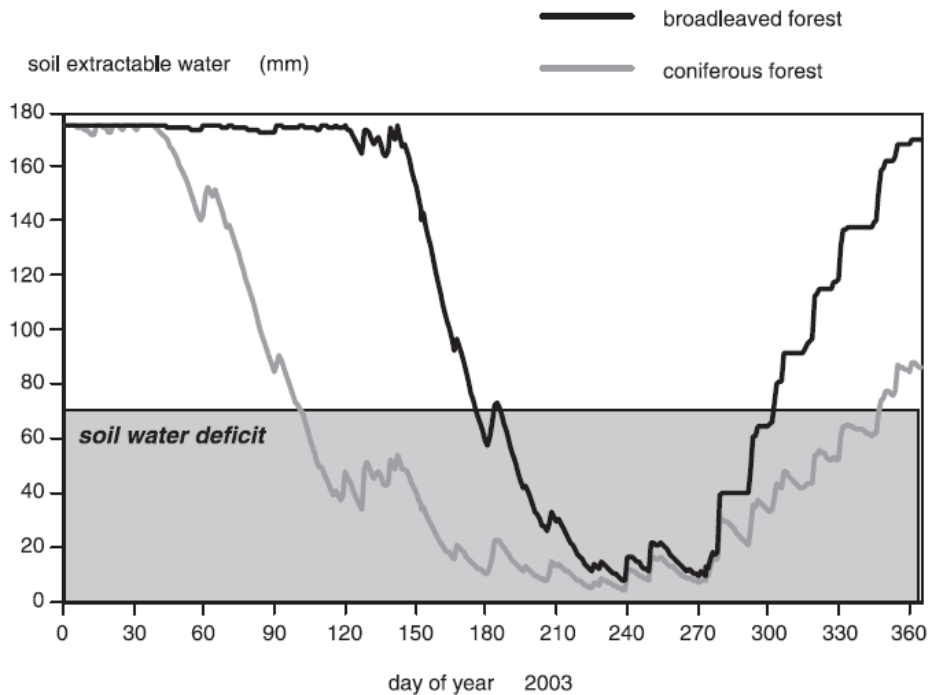


Figure 1. Évolution du contenu en eau d'un sol de 180 mm de réserve au cours de l'année 2003 en Lorraine. Les deux courbes illustrent la différence de cinétique de vidage et de remplissage du réservoir sol sous un couvert de résineux et sous un couvert feuillu d'indice de surface foliaire équivalent. La zone grisée correspond au contenu en eau du sol à partir duquel il y a déficit hydrique, c'est-à-dire en dessous duquel la transpiration des arbres est régulée (d'après Bréda et al., 2004)

Le calcul rétrospectif de ce bilan en eau du sol permet de comparer les intensités de sécheresse entre les années ou, pour une année donnée, l'impact du climat sur des arbres à feuilles caduques ou persistantes. La chronologie d'intensité de déficit hydrique du sol a été calculée au cours des 50 dernières années en Lorraine, pour les deux types de forêts. L'intensité est souvent deux fois plus forte sous couvert persistant, pour les raisons illustrées sur la figure 1. Selon la distribution des précipitations au cours de l'année, les déficits hydriques peuvent affecter seulement un type de végétation, provoquer des sécheresses estivales, printanières, précoces et longues. Une typologie des années sèches peut être proposée.

Ce calcul permet également de proposer, par région d'intérêt, un classement des années de sécheresse pour les arbres par ordre d'intensité ou de durée décroissante (Figure 2).

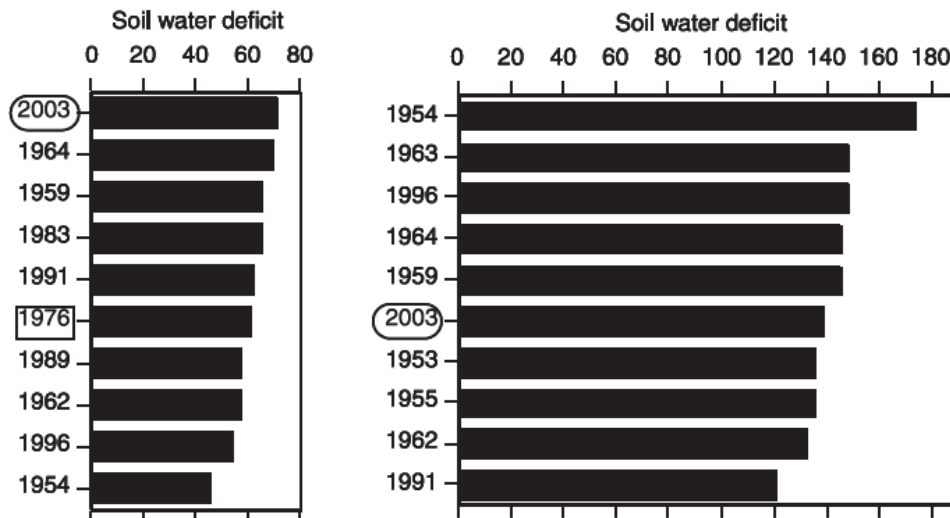


Figure 2. Classement des dix années les plus sèches en Lorraine selon le déficit hydrique du sol calculé par bilan hydrique quotidien, à gauche pour un couvert à feuilles caduques et à droite pour un couvert résineux de type épicéa, sapin ou douglas.

Là encore, la comparaison de ce classement entre couvert décidu et résineux est intéressante : l'année 2003 apparaît comme la plus sévère pour les feuillus décidus tandis que 1976 n'arrive qu'en sixième rang. Pour les conifères, 2003 n'arrive qu'au sixième rang, 1954 étant dans cet exemple l'année la plus sèche sous résineux, mais là encore, l'intensité est en moyenne plus grave sous peuplement de conifères à indice foliaire équivalent. Ce classement peut être légèrement modifié selon les caractéristiques de réserve utile du sol et d'indice de surface foliaire des couverts.

3.2. Variations interannuelles de croissance radiale d'arbres forestiers en plaine

Les variations relatives de largeurs de cernes d'une année à l'autre reflètent les conditions de l'environnement dans lesquels les arbres se développent (Fritts, 1976 ; Cook et Kairiukstis, 1990). Les aléas climatiques affectent la croissance radiale des arbres dans une région aussi étendue que l'accident climatique, pouvant s'étendre de la parcelle au massif forestier, voire à la région. Cependant, dans un même massif par exemple, les espèces d'arbres répondent de manière plus ou moins synchrone, plus ou moins intense selon leur comportement écophysologique vis-à-vis de la contrainte. À titre d'exemple, la figure 3 illustre les écarts relatifs de croissance mesurés dans trois populations d'arbres en forêt de Fontainebleau : des pins sylvestres, des chênes et des hêtres. Les années caractéristiques pour la croissance sont repérées pour chaque essence : une année peut être caractéristique pour les trois espèces (par

exemple, les années 1977 et 1997 de bonne croissance) ou seulement pour une ou l'autre espèce (par exemple 1974 pour le chêne seulement, 1985 pour le pin alors que 1986 affecte la croissance du hêtre).

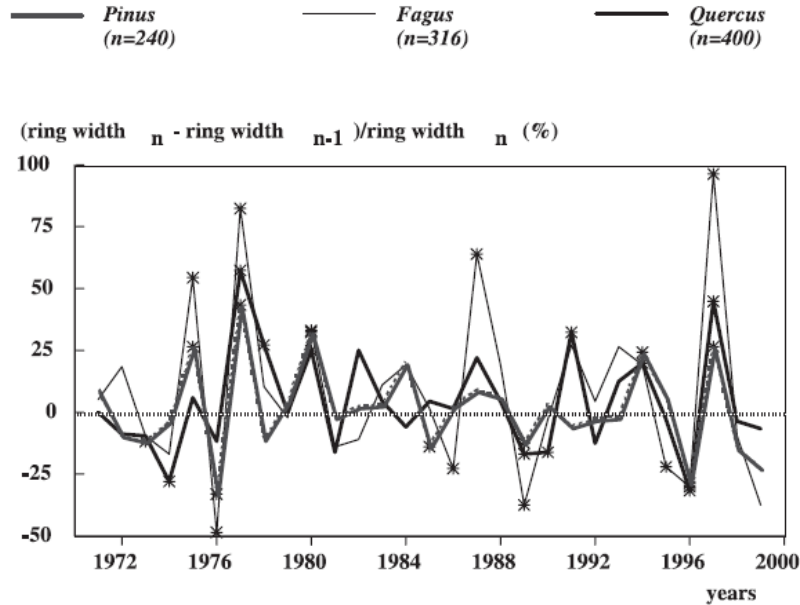


Figure 3. Écarts relatifs de croissance radiale pour trois espèces forestières (chêne sessile = *Quercus*, hêtre = *Fagus*, pin sylvestre = *Pinus*) en forêt de Fontainebleau au cours du temps. Les années caractéristiques pour la croissance sont repérées sur chaque courbe par les étoiles (d'après Barbaroux, 2002).

3.3. Relation entre la croissance radiale des arbres et la sécheresse

On a procédé à un calcul de bilan hydrique pour chaque type de couvert à partir des données climatiques de Fontainebleau et on a confronté les variations de croissance lors des années caractéristiques (visualisées sur la figure 3) à l'intensité des déficits hydriques du sol. Une relation négative entre croissance et intensité de sécheresse apparaît (Figure 4) : la croissance est d'autant plus réduite d'une année par rapport à la précédente que la sécheresse édaphique est forte.

Plus largement, à partir de notre base de données dendrochronologiques, on peut montrer que les années de sécheresse sont retrouvées dans les chronologies de croissance de tous les arbres d'une parcelle, d'un massif, voire même d'une région selon l'étendue géographique de l'aléa climatique. Cependant, l'intensité de la réduction de croissance est variable entre les espèces, selon leur sensibilité à l'aléa, liée à leur prospection racinaire (Zapater et al., ce volume) et à leur stratégie de régulation de leur transpiration lorsque l'eau du sol devient limitante.

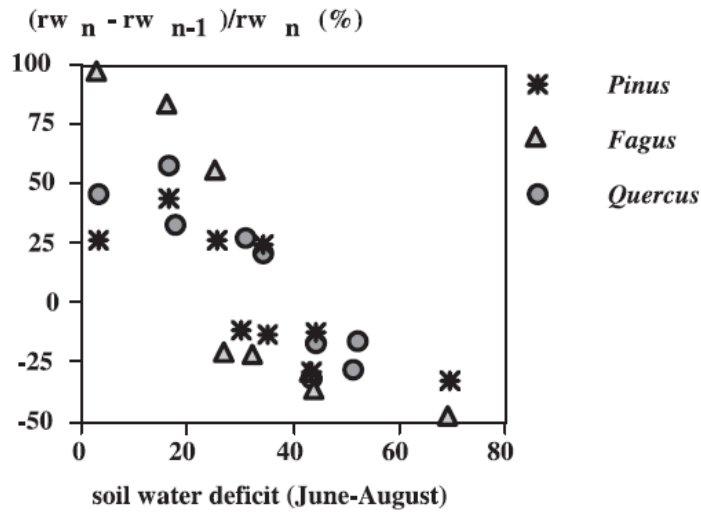


Figure 4. Écart relatif de croissance mesurés lors des années caractéristiques et intensité du déficit hydrique estival (de juin à août) pour les trois espèces.

4. Discussion et conclusion

L'analyse des relations entre la croissance des arbres et la sécheresse permet aux dendroécologistes de comprendre les processus mis en cause dans la réponse des différentes essences. Pour cela, le recours à une modélisation de bilan hydrique forestier est utile, afin d'intégrer les caractéristiques pédologiques des sols, le climat et les caractéristiques des peuplements. Les indices de sécheresse qui ont été développés sont basés sur les processus physiologiques de régulation de la transpiration, de la photosynthèse et de la croissance des arbres face à la contrainte déficit hydrique du sol. Ces travaux sont issus des recherches en écophysiologie forestière. On est donc en mesure de décrire, quantifier, classer les sécheresses édaphiques en fonction de leur impact sur les arbres.

La rencontre entre écophysiologistes forestiers et géotechniciens s'est produite grâce au programme ANR ARGIC (Analyse du Retrait Gonflement et de ses Incidences sur les Constructions) du programme national de Recherche sur le Génie Civil et Urbain, piloté par le BRGM. Cette rencontre peut-elle contribuer à l'émergence de nouveaux indicateurs de sécheresse exceptionnelle ? Pouvons-nous inférer de notre connaissance du fonctionnement des arbres des diagnostics quant aux sécheresses susceptibles d'induire des dégâts géotechniques ? Pour cela, on considère : (1) des essences soit très réactives à la sécheresse comme le hêtre, soit à enracinement profond et non limité par les couches argileuses du sol, comme les chênes, (2) des contextes pédoclimatiques où des argiles gonflantes sont présentes. En couplant les chronologies interannuelles de croissance des arbres et de déficits hydriques modélisés à partir du climat quotidien, on suggère de modéliser les signalements de dommages au bâti tels que déclarés et recensés par le BRGM. Ainsi, on peut calibrer sur la période récente un modèle statistique empirique qui reproduise les signalements de sinistres en fonction des années. En Île de France par exemple, il est possible de prédire le nombre de sinistres à partir de la croissance radiale du hêtre de la forêt de Fontainebleau et du déficit hydrique estival (figure 5). En appliquant ce modèle de manière rétrospective à partir du climat passé et avec la croissance radiale enregistrée dans les 330 hêtres étudiés, il est possible de reconstituer les dommages potentiels anciens, à une période où on ne disposait pas de base de données de sinistres. Cette reconstruction fait apparaître une période de plusieurs années autour de 1976 au cours de laquelle les sécheresses, telles que décrites par des indicateurs forestiers, auraient pu provoquer des dommages géotechniques au moins aussi graves que

ceux consécutifs aux sécheresses de 1989 et de 1996. Les signalements de sinistres ont explosé en 2003, il sera intéressant de tester si le modèle proposé aurait pu prédire une telle fréquence de dégâts. L'acquisition des données dendrochronologiques et climatiques est en cours.

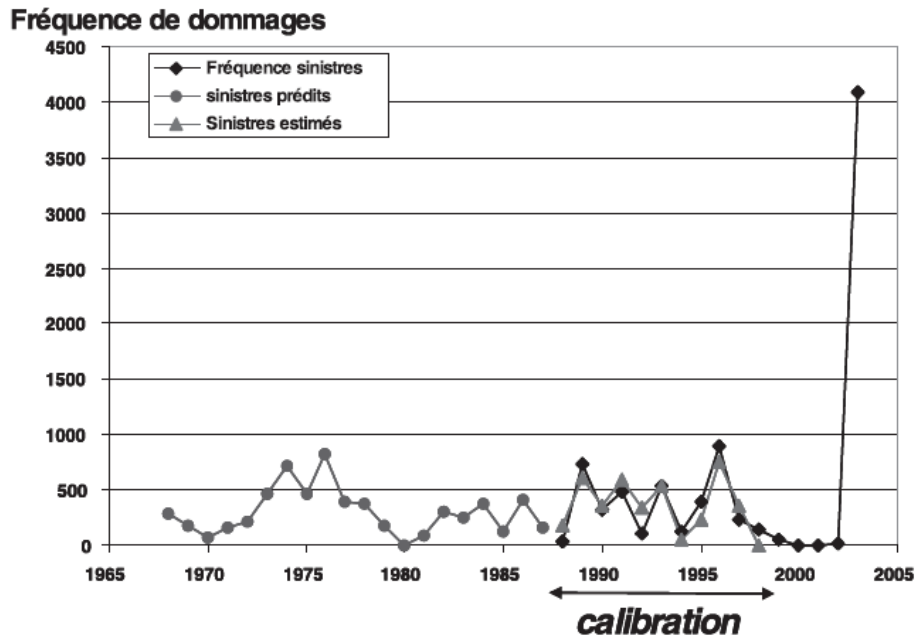


Figure 5. Fréquences de sinistres au bâti (◆) déclarés en Ile de France (source : BRGM), (▲) estimés à partir d'un modèle empirique utilisant la croissance des hêtres du massif de Fontainebleau et le déficit hydrique estival calculé par bilan hydrique, (●) prédits rétrospectivement à une période où les sinistres n'étaient pas enregistrés.

Un travail similaire est en cours en Lorraine, à partir des seuls calculs de bilan hydrique forestier afin de s'affranchir de la croissance des arbres. Les premiers résultats semblent prometteurs. La fréquence des sinistres déclarés en Lorraine peut être modélisée à l'aide de l'intensité et de la durée du déficit hydrique calculés à partir du climat quotidien (pluie et évapotranspiration potentielle) et des paramètres d'une chênaie installée sur sol limono-argileux, à argiles gonflantes colonisée par les racines fines. La poursuite de cette approche ouvre des perspectives qui consisteraient à prédire, à partir de scénarios climatiques régionalisés proposés par Météo France, quelle pourrait être la fréquence de sinistres liés à des sécheresses géotechniques d'ici à 2100.

5. Remerciements

Ce travail a été réalisé dans le cadre du Projet ANR ARGIC. L'auteur remercie particulièrement ses collègues du BRGM, Marc Vincent et Emmanuelle Plat, qui lui ont très aimablement communiqué les chronologies de signalements de sinistres au bâti déclarés en Lorraine et en Ile de France.

6. Références bibliographiques

- 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.
- Badeau V., Bréda N. (1997) La récente crise de vitalité du hêtre en plaine semble largement liée aux déficits hydriques. *Les Cahiers du DSF 1-1997* (La santé des forêts [France] en 1996), 60-63.
- Badeau V., Bréda N., Lebourgeois F., Granier A., Dupouey J.L. (2004) Tree radial growth response to climate: a synthetic study of pointer years in French forests. In: International conference *Impacts of the Drought and Heat in 2003 on Forests*, 17 – 19 November 2004, Freiburg, Germany.
- Barbaroux C. (2002) *Analyse et modélisation des flux de carbone de peuplements forestiers pour la compréhension de la croissance de deux espèces feuillues, Quercus petraea et Fagus sylvatica*. Doctorat en Sciences, Université Paris XI - Orsay, 183 p. + annexes.
- Bréda N., Badeau V. (2008) Forest tree responses to extreme climatic and biotic events: new insights suggesting trade off between productivity and tolerance to hazards. *Géosciences*, n° spécial Extreme Event, sous presse.
- 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., Huc R., Dreyer E. (2006) Temperate forest trees and stands under severe drought: a review of ecophysiological responses, adaptation processes and long-term consequences. *Annals of Forest Sciences*, 63, 6, 625-644.
- Cook E.R., Kairiukstis L.A. (1990) *Methods of dendrochronology: Applications in environmental science*. Kluwer, Boston, 394 p.
- Dobbertin M. (2005) Tree growth as indicator of tree vitality and of tree reaction to environmental stress: a review. *European Journal of Forest Research*, 124, 319–333.
- Granier A., Bréda N., Biron P., Viville S. (1999) A lumped water balance model to evaluate duration and intensity of drought constraints in forest stands. *Ecological Modelling*, 116, 269-283.
- 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.
- Liang E.Y., Shao X. M., Kong Z.C., Lin J.X. (2003) The extreme drought in the 1920s and its effect on tree growth deduced from tree ring analysis: a case study in North China. *Annals of Forest Science* 60, 145-152.
- Neuwirth B., Schweingruber F.H., Winiger M. (2007) Spatial patterns of central European pointer years from 1901 to 1971. *Dendrochronologia*, 24, 79-89.
- Schweingruber F.H. (1996) *Tree rings and environment*. Dendroecology. Paul Haupt Verlag, Berne, 609 p.
- Schweingruber F.H., Eckstein D., Sere-Bachet F., Bräker O.U. (1990) Identification, presentation and interpretation of event years and pointer years in dendrochronology. *Dendrochronologia*, 8, 9-38.
- Tessier D., Coquet Y., Lefèvre Y., Bréda N. (2007) Rôle de la végétation dans les processus de propagation de la sécheresse dans les sols argileux. *Revue Française de Géotechnique*, n° 120-121, 35-44.