



Sécheresse et canicule de l'été 2003: quelles conséquences pour les forêts françaises?

Guy Landmann, Nathalie Bréda, Francois Houllier, Erwin Dreyer, Jean-Luc Flot

► To cite this version:

Guy Landmann, Nathalie Bréda, Francois Houllier, Erwin Dreyer, Jean-Luc Flot. Sécheresse et canicule de l'été 2003: quelles conséquences pour les forêts françaises?. Revue forestière française, 2003, 55 (4), pp.299-308. hal-02669871

HAL Id: hal-02669871

<https://hal.inrae.fr/hal-02669871v1>

Submitted on 31 May 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.

SÉCHERESSE ET CANICULE DE L'ÉTÉ 2003 : QUELLES CONSÉQUENCES POUR LES FORÊTS FRANÇAISES ?

**GUY LANDMANN - NATHALIE BRÉDA - FRANÇOIS HOUILLIER
ERWIN DREYER - JEAN-LUC FLOT**

Au terme d'un été marqué par une sécheresse intense et une canicule exceptionnelle, les questions sur les conséquences possibles de ces anomalies climatiques sur les forêts sont nombreuses. Cet article vise principalement à résumer les informations disponibles à la fin de l'été, à rappeler quelques-uns des acquis des deux dernières décennies dans ces domaines et à envisager les investigations à conduire dans les mois à venir. Il n'évoquera pas les incendies de forêt, qui constituent une dimension très importante mais aussi très particulière de ce phénomène.

2003 : DES CARACTÉRISTIQUES CLIMATIQUES EXCEPTIONNELLES

Les années 1921, 1947 et 1976 apparaissent dans les annales climatologiques comme les années les plus "sèches" du siècle écoulé. La sécheresse de 1976 reste dans les mémoires, et une partie importante des dépérissements constatés en forêt à la fin des années 1970 et au début des années 1980 a été attribuée à cette sécheresse et à ses effets différés ou induits. Plus près de nous, la période très sèche de 1989-91 a entraîné des dépérissements et divers problèmes sanitaires rapportés par le Département de la Santé des Forêts (Barthod, 1994 ; Bouhot-Delduc et Lévy, 1994 ; Mirault et Regad, 1992 ; Nageleisen, 1993, 1994) que le ministère chargé des Forêts venait de créer.

Après plusieurs "fausses alertes" sur le front des sécheresses (printemps secs interrompus par des étés humides) au cours des dernières années et des vagues de chaleur marquées (1995, 1997, 1998 notamment) dont les conséquences sont restées globalement assez limitées (pour une brève description des effets de l'été 1998, voir Fleisch et Dreyer, 1999), l'année 2003 a vu un phénomène exceptionnel, à double détente :

- un déficit pluviométrique qui s'est régulièrement intensifié de février à août (voire au-delà puisqu'à la fin septembre, le déficit n'était pas résorbé sur une grande partie du territoire) ;
- et auquel s'est ajoutée, en août, une période de canicule très forte et surtout prolongée.

Dans une note du 26 août, la direction générale de Météo-France faisait un premier point sur la climatologie de février à août 2003 (Météo-France, 2003), qui montre que les déficits pluviométriques enregistrés de février à août 2003 ont été marqués sur la plus grande partie du territoire français (50-80 % des précipitations normales), puisque seule la bordure Nord-Ouest du territoire a été relativement épargnée. À la différence de 1976, c'est le Sud-Est et la Corse qui ont été les régions les plus déficitaires (30-50 % des normales). À la différence de l'hiver 1975-1976, l'hiver

2002-2003 a été bien arrosé, ce qui explique l'ampleur relativement modérée des effets sur les nappes d'eau profondes et, bien que des données précises manquent encore sur la façon dont l'état hydrique des sols a évolué en cours d'année, un meilleur état des réserves hydriques dans les sols forestiers au moment du débourement et une meilleure croissance au printemps qu'en 1976. Par contre, l'ensemble de la saison de végétation (avant la période de canicule) a vu des températures élevées et des rayonnements forts, ce qui a contribué à de fortes évapotranspirations potentielles et à un dessèchement graduel des sols. Les températures très élevées de l'été 2003 ont certainement joué dans le sens d'une aggravation du stress hydrique pour les arbres forestiers. À titre indicatif, on notera que, pour la période du 1^{er} juin au 11 août, les moyennes des températures maximales et minimales ont été respectivement de 2 °C et de 3,5 °C supérieures aux valeurs correspondantes de 1994, jusqu'ici la plus chaude année ayant jamais fait l'objet d'enregistrements.

Cette longue période de sécheresse a affecté une large partie de l'Europe, de l'Espagne à l'Allemagne du Nord et à l'Europe centrale (avec des variations qu'il faudra préciser). La sécheresse pourrait donc affecter les forêts bien au-delà du territoire français ; l'expérience et l'expertise de ces pays dans ce domaine mériteraient d'être confrontées aux nôtres.

Après une montée progressive de la température entre le 1^{er} et le 5 août, la France a subi, entre le 5 et 12 août 2003, une canicule extrêmement sévère, avec des températures au-dessus de 35 °C, voire de 40 °C, sur des parties assez étendues du territoire métropolitain. Cette canicule dépasse de très loin, par son intensité et sa longueur, tout ce qui a été observé depuis 1897. À noter que seule l'Andalousie a connu, en 2003, une canicule plus sévère que la France mais cette région est régulièrement soumise à de telles températures.

La sécheresse a été largement commentée par les médias au fil des jours, notamment ses effets sur les prairies et les cultures annuelles (1976 restant l'année de référence), avant que l'attention ne se focalise sur les conséquences sanitaires dramatiques de la canicule, principalement chez les personnes âgées.

Et les forêts ? Les interrogations et spéculations concernant les forêts se sont multipliées dans les médias au cours de l'été. Interpellés, scientifiques et forestiers ont semblé hésiter entre le souci de désamorcer, par des propos rassurants, certaines rumeurs sur des effets potentiellement dévastateurs, et une inquiétude réelle, justifiée notamment par les premières observations de terrain.

LES EFFETS PHYSIOLOGIQUES

Qu'il s'agisse de l'effet des déficits hydriques ou de températures excessives, il faut se garder des analyses influencées par une vision anthropocentrique, et se référer aux meilleures connaissances scientifiques disponibles (cf. encadré 1, p. 301). Depuis une quinzaine d'années, la compréhension de l'influence de la sécheresse sur les arbres forestiers a nettement progressé comme l'illustre la synthèse bibliographique réalisée par l'Office national des Forêts (ONF, 1999). On pense bien sûr à la compréhension des mécanismes fondamentaux (ce qui se passe quand un arbre est soumis à une contrainte hydrique croissante), mais aussi à l'élaboration de modèles relativement simples qui, avec un nombre limité de données "d'entrée" (données climatiques quotidiennes) et de paramètres (proportion feuillus/résineux, réserve utile du sol,...), permettent d'établir des indices synthétiques de déficit hydrique (Granier *et al.*, 1995, 1999). L'intérêt de tels indices est qu'il devrait être possible de "spatialiser" l'estimation des réserves en eau disponibles dans les sols à tout instant et de l'étendre à de vastes territoires, au moins pour les principales essences forestières (cela suppose toutefois d'améliorer nos connaissances de base sur

les réserves hydriques des sols forestiers et nos capacités de spatialisation de ce paramètre ; Bréda *et al.*, 2002). Une telle cartographie des risques pour des couples région-essence répondrait à une demande forte de la part des gestionnaires forestiers et des responsables de la surveillance sanitaire.

La comparaison avec les principales sécheresses passées sera très intéressante. De telles comparaisons ont déjà été faites (Schérer et Fleisch, 1997) mais les modèles utilisés jusqu'ici pour cet exercice comparatif à l'échelle nationale sont dérivés de modèles agronomiques qui n'intègrent pas les connaissances acquises récemment sur les arbres forestiers. S'agissant d'évaluer les effets de contraintes potentiellement très dommageables, il est évidemment du plus grand intérêt de disposer d'estimateurs fiables de la date d'apparition, de l'intensité et de la durée des contraintes et d'être en mesure de prendre en compte leur succession dans le temps (Bréda, 1996).

Les effets physiologiques des températures élevées sont moins bien connus. Il a été mis en évidence que les fonctions vitales des organes foliaires ne résistent pas aux températures extrêmes enregistrées en août dernier (40 °C dans l'air, ce qui peut conduire à des températures supérieures à 45 °C au niveau des feuilles quand l'évapotranspiration est bloquée par la fermeture des stomates). Les flétrissements ou rougissements rapides observés sur certaines essences (voir plus loin) reflètent une réaction typique à des températures de feuilles extrêmes. En outre,

Encadré 1

Qu'est-ce qu'une sécheresse ?

D'un point de vue écophysiologique, une sécheresse est définie en premier lieu par une **réduction de la réserve en eau des sols** suffisamment sévère pour que le **fonctionnement des arbres ne soit plus optimal**. Le premier facteur responsable de la réduction de cette disponibilité en eau dans le sol est une **pluviométrie insuffisante**. Les arbres eux-mêmes constituent le deuxième facteur. En effet, dès le printemps pour les espèces à feuilles persistantes ou dès l'apparition des feuilles sur les espèces caducifoliées, les arbres consomment de l'eau qu'ils puisent dans le sol pour assurer leur alimentation minérale et leur transpiration (cette dernière joue en outre un rôle important dans le refroidissement des feuilles, dont la température de surface est maintenue plus basse que la température de l'air lorsqu'il y a un flux de transpiration).

Lorsque le sol est bien alimenté en eau, la consommation d'eau est déterminée en premier lieu par l'**évapotranspiration potentielle**, qui n'est autre que la combinaison des facteurs climatiques (rayonnement, température, humidité de l'air, vitesse du vent). Le second facteur contrôlant la consommation maximale en eau d'un peuplement forestier est son **indice foliaire**, c'est-à-dire la surface de feuilles de tous les arbres rapportée à la surface du sol (Bréda, 1999a). Plus un peuplement présente une surface terrière élevée, plus son indice foliaire, et donc sa consommation en eau, sont également forts, même si des variations dans la structure et la composition en espèces peuvent modifier légèrement cette tendance.

La consommation en eau est maximale jusqu'à une **valeur seuil de réserve en eau du sol**, égale à 40 % de la réserve maximale. Dès lors que ce seuil est franchi, les arbres régulent leur consommation d'autant plus fortement que la disponibilité en eau dans le sol diminue (Granier *et al.*, 1995).

On parle alors de **période de déficit hydrique**, pendant laquelle le fonctionnement des arbres n'est plus optimal. Ainsi, plus la **réserve maximale en eau d'un sol** est importante, plus tard dans la saison ce seuil sera franchi et la sécheresse s'installera. Dès lors, il est important de connaître les facteurs principaux qui déterminent la réserve maximale en eau d'un sol pour une espèce : la **profondeur utile du sol**, c'est-à-dire l'épaisseur du sol potentiellement prospecté par les racines des arbres, la **texture du sol** (la rétention de l'eau est meilleure dans un sol argileux que dans un sol sableux), la **charge en éléments grossiers** qui ne retiennent généralement pas ou peu d'eau. Ainsi, sur un même sol, les espèces à enracinement profond avec pivot accéderont à une réserve en eau plus importante que les arbres à système racinaire superficiel.

des abscissions précoces de feuilles sénescentes voire encore vertes, ou même de rameaux (décurtation), participent de l'autoprotection des arbres contre des dommages (aux organes pérennes) plus graves et qui pourraient être létaux.

DES EFFETS À COURT TERME VISIBLES MARQUÉS

Grâce à son réseau de correspondants-observateurs, répartis sur l'ensemble du territoire, le Département de la Santé des Forêts (DSF) a pu collecter très rapidement une information sur les effets visibles au cours de l'été. L'information publiée le 27 août (DSF, 2003) rapporte notamment :

- des dégâts prévisibles sur les plantations, principalement de l'année (avec des variations importantes selon les essences, les régions et les techniques de plantation) ;
- des chutes de feuilles et pertes d'aiguilles précoces sur une diversité d'essences, selon une hiérarchie conforme aux connaissances : Bouleaux, Charmes, Peupliers figurent parmi les espèces "sensibles", Sapins et Pins perdent des générations anciennes d'aiguilles après une phase de rougissement ;
- le brunissement plus ou moins massif du feuillage du Chêne pédonculé sur certaines stations et du Chêne pubescent, ce qui est, en première analyse, plus inquiétant ;
- des rougissements importants de certaines jeunes plantations résineuses (de Douglas notamment) dont la survie est incertaine ;
- des dégâts susceptibles d'être confondus avec les symptômes précédents mais provoqués par des insectes ravageurs (notamment des scolytes) ou des champignons pathogènes (exemple : *Sphaeropsis sapinea* sur Pin, un pathogène dont les premiers dégâts marqués remontent au début des années 1990, après la période sèche 1989-1991), alors que d'autres dégâts biotiques étaient en recul (exemple : la rouille des Peupliers).

Ce tableau sera complété dans les semaines à venir mais restera qualitatif. Des observations plus ciblées et les relevés réalisés dans le réseau européen de suivi des dommages forestiers (540 points en France) viendront compléter cette description (certains points, inventoriés tôt en saison, ont été visités une seconde fois). La situation 2003 pourra, en particulier, être comparée aux effets à court terme enregistrés en 1989 mais, d'ores et déjà, il apparaît que les conséquences phytosanitaires de l'été 2003 sont particulièrement marquées, sans qu'on puisse distinguer ce qui est imputable à la sécheresse de ce que la canicule a engendré.

Il faut rappeler que l'intensité des symptômes immédiats ne renseigne pas sur les possibilités de survie des arbres, et que des arbres très défoliés peuvent récupérer soit totalement, soit pour quelques années seulement.

DES EFFETS DIFFÉRÉS POTENTIELLEMENT IMPORTANTS, PARTIELLEMENT CONNUS ET QUI DÉPENDENT DU CLIMAT À VENIR

La littérature des années 1980 insiste beaucoup sur les effets différés des stress hydriques, qui ont été plus particulièrement mis en lumière par la dendroécologie ; les dépérissements du Chêne pédonculé et du Sapin pectiné ont été largement attribués à des années sèches affectant des arbres hors station (Chêne pédonculé) ou poussant sur des sols à faible réserve hydrique (Sapin) et/ou des individus mal rétablis de périodes antérieures difficiles en raison d'une concurrence marquée pour l'eau lors de ces épisodes (Aussenac, 1978 ; Becker et Lévy, 1982 ; Lévy et

Becker, 1987 ; Bréda *et al.*, 1999 ; Bréda, 1999a). Ainsi, si ces observations ont une valeur générale, les dégâts de la sécheresse 2003 devraient concerter :

- des peuplements en conditions difficiles, notamment sur sols superficiels mais aussi, plus généralement, en situation de concurrence aiguë pour l'eau (surface foliaire élevée par rapport à la réserve en eau du sol), ce qui élargit nettement la gamme de situations possibles ;
- des peuplements qui ont survécu à des épisodes antérieurs de sécheresse ou à d'autres accidents (tempêtes de 1999, défoliations par des insectes phytophages,...) mais ont été durablement affectés dans leur vitalité ou qui ont atteint un âge trop avancé.

L'histoire des arbres (importance des stress antérieurs et de leurs effets sélectifs, degré de récupération des arbres ayant survécu) joue donc un rôle important qu'une simple observation de terrain ne peut révéler. On comprend dès lors qu'une prévision détaillée des effets des sécheresses (qui porterait, dans l'idéal, sur la localisation précise des peuplements menacés) n'a rien d'évident. L'expérience aidant, on ne prend guère de risque en pronostiquant une "reprise" probable des dépérissements de plusieurs essences forestières, mais pour aider les gestionnaires forestiers, à l'échelle de la parcelle et de la région, il faudrait maîtriser des facteurs de risques qui ne le sont pas encore. Si la notion de "réservoirs" à dépérissement a été proposée il y a déjà une dizaine d'années (Landmann, 1994), leur recherche (hors période de dépérissement) n'a que relativement peu avancé et les inflexions de la gestion forestière visant à prévenir de futurs problèmes restent timides, même si certains principes, comme la limitation du Chêne pédonculé à certaines stations, sont clairement énoncés. Il y a cependant quelques exemples où des recommandations précises formulées par les scientifiques à la suite d'un dépérissement ont été mises en œuvre ; c'est l'exemple du massif de la Harth (Alsace du Sud), où les recommandations sylvicoles préconisées ont été de réduire la consommation en eau moyenne des peuplements de feuillus en abaissant progressivement les indices foliaires, qui avaient dramatiquement augmenté depuis l'abandon des coupes régulières de taillis (Bréda, 1999b ; cf. encadré 2, p. 304). On dispose maintenant d'outils de connaissance du milieu (bases de données, outils de type systèmes d'informations géographiques...) qui peuvent être mobilisés pour appréhender la vulnérabilité des peuplements et la répartition des dégâts.

D'autres facteurs viennent compliquer l'évaluation des dégâts de la sécheresse et de la canicule ; il s'agit plus particulièrement des interactions avec les facteurs biotiques. Ainsi, les régions très éprouvées par les tempêtes de 1999 pensaient, avec la baisse en 2002 des dégâts dus aux scolytes (aussi bien ceux dus au typographe dans les pessières de l'Est que ceux dus au sténographe dans les pinèdes des Landes), avoir échappé au scénario "catastrophe" redouté (notamment dans l'hypothèse d'une forte sécheresse pendant les années 2000-2001). Toutefois, les populations de scolytes restent élevées et peuvent, comme semblent l'attester les observations du début de l'automne 2003 (dans le Nord-Est en particulier), réagir rapidement et causer des dégâts importants.

De façon générale, les effets des périodes sèches et chaudes sur le cycle de vie des bioagresseurs et des autres espèces végétales ou animales présentes dans les écosystèmes doivent être analysés attentivement (même si les connaissances biologiques sont souvent limitantes).

Il est probable que, par le passé, l'importance des facteurs biotiques dans les phénomènes de dépérissement ait été sous-évaluée. Il semble ainsi que des défoliations par la tordeuse verte pourraient avoir concouru au dépérissement du Chêne en forêt de Tronçais à la fin des années 1970 (les articles de synthèse rédigés à cette époque n'ont pas toujours repris cette observation). Jusqu'à récemment, il était commun de considérer que des défoliations, même sévères, par des insectes phytophages n'avaient généralement que des conséquences peu importantes. Les observations réalisées par le DSF depuis une dizaine d'années suggèrent qu'une seule défolia-

Encadré 2

Comment les arbres forestiers répondent-ils à la sécheresse ?

Lorsqu'une période de déficit hydrique dans le sol apparaît, la consommation en eau se réduit progressivement (voir encadré 1). Cette réduction est due à un mécanisme de **régulation de la consommation en eau** des arbres, localisée au niveau des feuilles, grâce aux **stomates**, qui sont des petits orifices dont l'ouverture est "réglable". Plus il fait chaud et sec, plus ces stomates se ferment : cela permet à l'arbre de **limiter sa consommation en eau** mais, en contrepartie, entraîne également un ralentissement de l'entrée du carbone pour la photosynthèse, qui s'effectue à travers ces mêmes stomates. La croissance des arbres est alors ralentie voire, dans les cas extrêmes, stoppée.

Cette régulation stomatique est un **fonctionnement normal**, qui intervient tous les étés et qui est réversible : les stomates s'ouvrent et se ferment dans la journée, et, si le sol est réhumecté, les stomates s'ouvrent à nouveau au maximum et les flux d'eau et de carbone reprennent. Les stomates jouent un rôle de protection essentiel en limitant les tensions dans les éléments conducteurs. En effet, si les stomates ne contrôlaient pas ces tensions, ces éléments conducteurs seraient exposés à des **dégâts irréversibles**, consistant essentiellement en une embolie entraînant une perte de fonctionnalité généralement irréversible. Une embolie massive conduirait à un flétrissement des organes (feuilles ou rameaux) alimentés par ces vaisseaux. Toutefois, toutes les espèces forestières ne présentent pas la même efficacité de régulation de la consommation d'eau. De plus, les stomates ne peuvent pas bloquer totalement les pertes d'eau. De ce fait, en cas de sécheresse prolongée, la limite de fonctionnement des vaisseaux peut être atteinte, ce qui provoque une embolie massive accompagnée de déshydratation rapide des tissus.

D'autres mécanismes de réduction de la transpiration plus spectaculaires et irréversibles peuvent alors intervenir : il s'agit de pertes de feuilles (voire de petits rameaux feuillés) totales ou partielles anticipées par rapport à la date de chute automnale. Limiter la surface foliaire est en effet pour un arbre un moyen radical de limiter la consommation en eau. Un contrôle de la surface foliaire par la sylviculture est d'ailleurs le seul moyen pour le forestier d'agir pour limiter les risques d'apparition de sécheresses dramatiques dans les peuplements (Aussenac *et al.*, 1995 ; Bréda et Roman-Amat, 2002) : elle vise à ajuster l'indice foliaire des parcelles à la réserve en eau maximale du sol dans les conditions de climat local.

tion sévère par un défoliateur "tardif" comme le bombyx disparate — voire par un défoliateur "précoce" comme la tordeuse verte — peut, dans certaines circonstances, conduire à des dégâts irréversibles. Rappelons que la dernière gradation, très marquée, du bombyx disparate (1992-1994) intervenant peu après les sécheresses de 1989-91 a eu des effets localement marqués, de l'ordre de 1 million de m³ de Chêne dans la région de Poitiers (Saintonge, 1998). Dans l'immédiat, les zones défoliées avant (en particulier par la processionnaire des chênes) ou après la sécheresse de 2003 (une nouvelle gradation de bombyx semble s'annoncer par l'Alsace et la Moselle) devront être surveillées de près.

La question des interactions entre la sécheresse et la pollution atmosphérique se pose également. La nature des polluants a beaucoup évolué au cours des deux dernières décennies, suite à la réduction des émissions de certains polluants (notamment les polluants soufrés) alors que d'autres — les polluants photooxydants (ozone) et les polluants azotés — n'ont que peu ou pas reculé. Les interactions éventuelles avec l'ozone restent incertaines (en tout état de cause, elles ne s'exerceraient pas au moment de la sécheresse, les stomates fermés limitant l'entrée de l'ozone dans les feuilles). Les éventuels effets secondaires des polluants azotés, en lien avec des systèmes racinaires moins développés, représentent une piste plausible mais difficile à documenter. En effet, les résultats expérimentaux (difficilement extrapolables à des peuplements entiers) suggèrent que les sols acides (et alumineux) peuvent freiner le développement racinaire

alors qu'une nutrition azotée abondante conduit à une accélération de la croissance, et à un relatif déséquilibre entre partie aérienne des arbres et racines. Les dépôts atmosphériques, qui sont tenus pour partiellement responsables de l'augmentation de productivité forestière au cours des décennies écoulées, pourraient donc, dans les régions où ils sont importants, aggraver indirectement l'effet de sécheresses. De tels effets n'ont pas pu jusqu'ici être démontrés de façon convaincante.

QUE FAIRE DANS LES MOIS À VENIR ?

Au lendemain des tempêtes, une expertise collective avait permis de mobiliser les meilleures connaissances disponibles (Bergonzini et Laroussinie, 2000 ; Drouineau *et al.*, 2000). Dans le cas des effets de la sécheresse et de la canicule, les circonstances sont moins dramatiques, mais une expertise préalable à des actions de suivi et de recherche a été jugée opportune par les ministères chargés de la Forêt et de l'Environnement. La tâche a été confiée au GIP ECOFOR (Goulement d'Intérêt public sur les Écosystèmes forestiers), comme cela avait été le cas pour les dégâts liés aux tempêtes de 1999.

Contrairement au cas des tempêtes, nous disposons d'un socle de connaissances important sur les effets des sécheresses (mais beaucoup moins sur ceux de la canicule), notamment grâce aux études menées au cours des années 1980 sur différents dépérissements et grâce aux progrès des connaissances sur les mécanismes de résistance des arbres aux contraintes hydriques (cf. encadrés). Pour autant, comme nous l'avons montré, nous sommes loin de pouvoir faire des prévisions fiables sur les dégâts à venir, qui seront liés pour partie au climat et aux conditions phytosanitaires de la fin de saison 2003 et des années 2004-2005. De plus, les connaissances restent insuffisantes sur les conjonctions et intensités de contraintes induisant un risque pour la survie et les mécanismes souvent complexes aboutissant à la mort des arbres.

Afin d'appréhender les diverses dimensions de ce phénomène, cet exercice d'expertise collective devra associer des spécialistes du climat, des chercheurs de différents domaines, des responsables des services opérationnels de suivi des forêts, des représentants des propriétaires et gestionnaires forestiers, ainsi que des associations de protection de la nature.

Des climatologues et bioclimatologues devront **caractériser le phénomène** (nature, ampleur, régionalisation, traduction en termes de disponibilité en eau dans les écosystèmes ou de température dans les couverts forestiers), identifier les lacunes de données, connaissances et outils (par exemple, les modèles spatialisés de bilan hydrique) et préciser la probabilité d'augmentation de la fréquence de tels phénomènes dans le contexte du changement climatique.

Les services en charge du suivi des forêts s'attacheront, en s'appuyant sur les gestionnaires forestiers, à quantifier **l'ampleur des conséquences et effets** visibles, à évaluer s'il est utile d'améliorer les méthodes de suivi et comment le faire, en envisageant, dans la mesure des moyens disponibles, l'ensemble des composantes de l'écosystème forestier. L'apport de la télédétection devra également être (ré)évalué à la fois comme outil de caractérisation de l'événement climatique lui-même (cartographie des températures de surface des couverts et des orages) et comme outil de détection de la réaction des couverts forestiers (changement de couleur et/ou chute anormale de feuilles) (CNES, 2003).

À court terme, en dehors des activités de veille, il est important de tirer le meilleur parti des **outils de suivi et des divers dispositifs expérimentaux** mis en place au cours des vingt dernières années. Une attention particulière devra être accordée (en s'appuyant éventuellement sur des

enquêtes spécifiques) aux essences et aux provenances introduites ainsi qu'aux sélections clonales qui connaissent leur première grande sécheresse. L'inventaire des mortalités et l'analyse de la croissance radiale passée de ces mêmes essences introduites dans les arboretums français devraient aussi aider à documenter sur une plus longue période leur réponse aux accidents climatiques extrêmes.

Des chercheurs en écophysiologie, entomologie, pathologie, sylviculture, dendrométrie seront sollicités pour faire le **point des connaissances**, et des lacunes de connaissances, sur les **effets de la sécheresse et de la canicule sur la santé et le fonctionnement immédiat et différé des écosystèmes forestiers** (des arbres comme des autres composantes). Une attention particulière sera portée aux interactions entre ces différents effets et aux outils de diagnostic de l'arbre, dont les gestionnaires forestiers ressentent particulièrement l'utilité en ces circonstances.

Enfin, la concertation entre les spécialistes en écologie, sylviculture et aménagement devrait être menée jusqu'à la formulation de recommandations visant à atténuer dans le futur les conséquences de la sécheresse et des phénomènes climatiques extrêmes.

Guy LANDMANN
Chargé de mission
GIP ECOFOR
6, rue du Général Clergerie
F-75116 PARIS
(landmann@engref.fr)

Nathalie BRÉDA
UMR INRA-UHP 1137
Écologie et Écophysiologie forestières
INRA
F-54280 CHAMPENOUX
(breda@nancy.inra.fr)

François HOUILLIER
Chef du département
Forêts et Milieux naturels de l'INRA
INRA, Département FMN c/o UMR AMAP
CIRAD TA 40/PS2
Boulevard de la Lironde
F-34398 MONTPELLIER CEDEX 5
(inrafmn@ensam.inra.fr)

Erwin DREYER
UMR INRA-UHP 1137
Écologie et Écophysiologie forestières
INRA
F-54280 CHAMPENOUX
(dreyer@nancy.inra.fr)

Jean-Luc FLOT
Chef du Département de la Santé des Forêts
Ministère de l'Agriculture, de l'Alimentation,
de la Pêche et des Affaires rurales
Direction générale de la Forêt et des Affaires rurales
Sous-Direction de la Forêt et du Bois
19, avenue du Maine
F-75732 PARIS CEDEX 15
(jean-luc.flot@agriculture.gouv.fr)

BIBLIOGRAPHIE

- AUSSENAC (G.). — La Sécheresse de 1976 : influence des déficits hydriques sur la croissance des arbres forestiers. — *Revue forestière française*, vol. XXX, n° 2, 1978, pp. 103-114.
- AUSSENAC (G.), GRANIER (G.), BRÉDA (N.). — Effets des modifications de la structure du couvert forestier sur le bilan hydrique, l'état hydrique des arbres et la croissance. — *Revue forestière française*, vol. XLVII, n° 1, 1995, pp. 54-61.
- BARTHOD (C.). — L'État actuel de la santé des forêts : retour sur les années 1988-93. — *Arborescences*, n° 48, 1994, p. 5.
- BECKER (M.), LÉVY (G.). — Le Dépérissage du Chêne en forêt de Tronçais : les causes écologiques. — *Annales des Sciences forestières*, vol. 39, 1982, pp. 439-444.
- BERGONZINI (J.-C.), LAROUSSINIE (O.) (coord.). — Les Écosystèmes forestiers dans les tempêtes. — Paris : ECOFOR ; IDF, 2000. — 133 p.
- BRÉDA (N.). — Séquences climatiques et successions de sécheresses : outils d'analyse et exemples sur la période 1979-1994. — *Les Cahiers du DSF*, n° 1-1996 (La santé des forêts [1995]). — Paris : Ministère de l'Agriculture, de la Pêche et de l'Alimentation - DERF. — pp. 45-47.
- BRÉDA (N.). — L'Indice foliaire des couverts forestiers : mesure, variabilité et rôle fonctionnel. — *Revue forestière française*, vol. LI, n° 2 spécial "Fonctionnement des arbres et écosystèmes forestiers. Avancées récentes et conséquences sylvicoles", 1999a, pp. 135-150.
- BRÉDA (N.). — Bilan hydrique et impact des épisodes de sécheresse sur la croissance radiale des Chênes. — Rapport final Interreg. Dépérissage forestier en vallée du Rhin. — 1999b. — 60 p.
- BRÉDA (N.), PEIFFER (M.), DUPOUEY (J.-L.), GEREMIA (F.), SCHIPFER (R.), KIEFFER (C.). — Le Rôle-clé des déficits hydriques dans le dépérissage de chênaies en forêt de la HARTH (Alsace du Sud) établi par une analyse dendroécologique et écophysiologique. — *Les Cahiers du DSF*, n° 1-1999 (La santé des forêts [1998]). — Paris : Ministère de l'Agriculture et de la Pêche - DERF. — pp. 92-94.
- BRÉDA (N.), LEFÈVRE (Y.), BADEAU (V.). — Réservoir en eau des sols forestiers tempérés : spécificité et difficultés d'évaluation. — *La Houille Blanche*, n° 3, "Forêts et Eau", 2002, pp. 25-40.
- BRÉDA (N.), ROMAN-AMAT (B.). — Impact de la conduite des peuplements forestiers sur les ressources en eau. — *La Houille Blanche*, n° 3, 2002, pp. 78-84.
- BOUHOT-DELUDUC (L.), LÉVY (A.). — Rôle de la chenille processionnaire du Pin dans les dépérissages du Pin maritime landais en 1990 et 1991. — *Revue forestière française*, vol. XLVI, n° 5 spécial "Les dépérissages des arbres forestiers. Causes connues et inconnues", 1994, pp. 431-436.
- CNES. — Les Conséquences de la sécheresse vues de l'espace. — Communiqué de presse, 24/09/2003, 3 p.
- DSF. — Sécheresse et canicule : les conséquences sur les peuplements forestiers. — *Information Santé des Forêts*, 27/08/2003, MAAPAR/DGFAR/SDFB/Département de la Santé des Forêts, 4 p.
- DROUINEAU (S.), LAROUSSINIE (O.), BIROT (Y.), TERRASSON (D.), FORMERY (Th.), ROMAN-AMAT (B.) (coord.). — Forêts et tempêtes. Expertise collective sur les tempêtes, la sensibilité des forêts et leur reconstitution. — *Dossiers de l'Environnement de l'INRA*, n° 20, 2000, 336 p.
- FLEISCH (M.-R.), DREYER (E.). — Effets des coups de chaleur de l'été 1998 sur la végétation forestière. — *Les Cahiers du DSF*, n° 1-1999 (La Santé des Forêts [France] en 1998). — Paris : Ministère de l'Agriculture et de la Pêche - DERF — p. 35.
- GRANIER (A.), BADEAU (V.), BRÉDA (N.). — Modélisation du bilan hydrique des peuplements forestiers. — *Revue forestière française*, vol. XLVII, n° spécial "Modélisation de la croissance des arbres forestiers et de la qualité des bois", 1995, pp. 59-68.
- GRANIER (A.), BRÉDA (N.), BIRON (P.), VILLETTÉ (S.). — A lumped water balance model to evaluate duration and intensity of drought constraints in forest stands. — *Ecological Modelling*, 116, 1999, pp. 269-283.
- LANDMANN (G.). — Concepts et définitions des dépérissages forestiers. — *Revue forestière française*, vol. XLVI, n° 5 spécial "Les dépérissages des arbres forestiers. Causes connues et inconnues", 1994, pp. 405-415.
- LÉVY (G.), BECKER (M.). — Le Dépérissage du Sapin dans les Vosges : rôle primordial des déficits d'alimentation en eau. — *Annales des Sciences forestières*, vol. 44, 1987, pp. 403-416.
- ONF - Direction technique et commerciale. — L'Eau et la forêt. Synthèse bibliographique réalisée par Christine Fort. — *Bulletin technique de l'ONF*, n° 37, 1999, 240 p. (ISBN 2-84207-165-4).

- MÉTÉO France. — Éléments climatologiques sur l'année 2003, conséquences du réchauffement global pour le climat de la France. — Note au ministre de l'Équipement, des Transports, du Logement et de la Mer. Version 2. 26/08/2003, 17 p.
- MIRALUT (J.), REGAD (J.). — La Santé des forêts méditerranéennes après deux années consécutives de sécheresse. — *Forêt méditerranéenne*, t. XIII, n° 1, 1992, pp. 26-30.
- NAGELEISEN (L.-M.). — Les Dépérissements d'essences feuillues en France. — *Revue forestière française*, vol. XLV, n° 6, 1993, pp. 605-620.
- NAGELEISEN (L.-M.). — Le Dépérissement actuel de feuillus divers : Hêtre, Merisier, Alisier torminal, Érable sycomore, Peuplier, Châtaignier, Charme, Aulne glutineux. — *Revue forestière française*, vol. XLVI, n° 5 spécial "Les dépérissements des arbres forestiers. Causes connues et inconnues", 1994, pp. 554-562.
- SAINTONGE (F.-X.). — Une enquête de terrain confirme l'ampleur des dépérissements de chênes dans le centre-ouest de la France. — *Les Cahiers du DSF*, n° 1-1998 (La santé des forêts [1997]). — Paris : Ministère de l'Agriculture et de la Pêche - DERF. — pp. 39-41.
- SCHERER (J.-C.), FLEISCH (M.-R.). — Les sécheresses 1996 et 1995 comparées à quelques sécheresses marquantes du siècle. — *Les Cahiers du DSF*, n° 1-1997 (La santé des forêts [1996]). — Paris : Ministère de l'Agriculture et de la Pêche - DERF. — pp. 15-17.

SÉCHERESSE ET CANICULE DE L'ÉTÉ 2003 : QUELLES CONSÉQUENCES POUR LES FORÊTS FRANÇAISES ? [Résumé]

L'année 2003 a été caractérisée par un double phénomène météorologique : à un déficit pluviométrique progressif et marqué s'est ajoutée une canicule forte et prolongée. Au plan physiologique, cette situation a rapidement engendré des effets à court terme, visibles et prononcés, laisse craindre ensuite des séquelles à plus longue échéance, moins évidentes aujourd'hui mais tout aussi préoccupantes. Mieux circonscrire ces conséquences, pour le cas présent et l'avenir, est maintenant un objectif fort qui passe par une mobilisation et le développement des connaissances en commençant par une expertise collective.

THE SUMMER 2003 DROUGHT AND HEAT WAVE – THE IMPACT ON FRENCH FORESTS [Abstract]

Two characteristics distinguished the weather in 2003 – a gradual but marked deficit in rainfall combined with an intense and prolonged heat wave. In physiological terms, these circumstances rapidly led to conspicuous effects that suggest there could be less obvious but equally preoccupying consequences in the longer term. A major objective is now to more accurately assess the impact deriving from both this and future events. This will require extensive research starting with a collective assessment.
