



**Résumés des interventions  
Liste des participants**

*Conférence franco-allemande  
Effets de la sécheresse et de la canicule 2003 sur les forêts  
en France et en Allemagne*

*- Implications en matière de gestion et de politique forestière -*

**Jeudi 25 mars 2004  
Parlement Européen, Strasbourg**

## **SOMMAIRE**

Introduction	p. 3
Le changement climatique en miniature : l'été 2003 <i>H.J. Schellnhuber</i>	p. 4
Les effets visibles à court terme (été et automne 2003) <i>J.L. Flot</i>	p. 7
Les effets visibles de la sécheresse et de la canicule sur les forêts durant l'été et l'automne 2003 <i>H.J. Schröter</i>	p. 9
Les effets physiologiques de la sécheresse à court et long terme. <i>N. Bréda</i>	p. 10
Conséquences de la sécheresse et de la canicule sur le marché du bois et l'économie forestière. <i>M. Strittmatter</i>	p. 12
Les incidences des conditions climatiques de l'été 2003 sur la politique forestière française. <i>B. Chevalier</i>	p. 14
Effets de la sécheresse et de la canicule de 2003 sur les forêts en Allemagne. Conséquences à en tirer pour la politique forestière. <i>W. Erb</i>	p. 16
Conclusions	p. 18
Réponse aux questions écrites	p. 19
Liste des participants	p. 31
Intervenants et organisateurs	p. 38

## ***Introduction***

La sécheresse et la canicule estivales 2003 ont été d'une intensité exceptionnelle. Les premières conséquences sur les forêts Européenne dont d'ores et déjà visibles et d'autres, potentiellement sérieuses, sont attendues. De cette situation résulte un besoin d'informations et d'action pour les décideurs. Une initiative visant à mettre sur pied une expertise Franco-Allemande, qui devrait fournir des éléments en ce sens, a été prise au cours de l'été 2003.

Des mesures de réduction des effets négatifs directs doivent être prises sur la base d'une appréciation la plus réaliste possible de l'état actuel des forêts et de leur évolution future. En raison de l'augmentation probable de tels évènements extrêmes dans l'avenir, il faudra en outre prendre des mesures de prévention et de réduction des risques, afin de limiter les effets attendus à long terme.

La recherche doit relever un défi, celui de fournir aux décideurs une base de décision fondée. Ce défi doit être relevé au moyen d'une coopération entre scientifiques de différentes disciplines par-dessus les frontières et, si possible, dans un délai relativement court. Cette exigence est particulièrement forte dans le cas d'évènements extrêmes qui atteignent une ampleur rarement ou pas connue jusqu'ici.

La réunion de Strasbourg est basée sur une série d'exposés synthétiques sur la climatologie de l'été 2003 et les diverses conséquences sur la forêt, le marché du bois, et la politique forestière. Ces exposés sont complétés par une table ronde à laquelle prendront part des responsables de la gestion forestière et des représentants de la recherche finalisée.

Les organisateurs de cette conférence ont jugé particulièrement important de permettre un échange approfondi entre décideurs et chercheurs dans un délai rapproché. Le but de cette journée est de faire état des connaissances et de l'expérience disponible sur la sécheresse 2003 et de rendre cette information utilisable. Le dialogue engagé à Strasbourg entre la science et la pratique forestière devra aussi contribuer à identifier les lacunes en matière d'information et faire émerger des questions pertinentes sur les conséquences de la sécheresse 2003. Ces questions pourront faire d'objet de recherches ciblées au cours des prochains mois et années. D'ores et déjà un symposium scientifique international est programmé pour le mois de novembre 2004, au cours duquel les résultats de ces efforts d'expertise et de recherche seront présentés.

Paris, Nancy, Fribourg-en-Brisgau, le 22 mars 2004  
Les Organisateurs

# La sécheresse et la canicule en France et en Allemagne en 2003. Comparaison avec le passé et lien avec les changements climatiques.

## Le changement climatique en miniature : l'été 2003

*Professor H.J. Schellnhuber<sup>1</sup>*

Le dernier rapport de l'IPCC décrit avec précision les mécanismes et les conséquences potentielles du changement climatique anthropogène (IPCC 2001). Les connaissances rassemblées se basent sur des séries temporelles (obtenues dans les carottes glaciaires ou les sédiments) qui permettent une reconstitution du climat sur des dizaines de millénaires. Malgré quelques incertitudes persistantes sur de nombreux processus et événements dans l'histoire du climat, l'IPCC a formulé des craintes (reasons for concern, Smith et al. 2001) à propos du réchauffement global, craintes que l'on peut pour l'essentiel résumer en cinq points :

1. des risques apparaissent en cas d'augmentation rapide voire de dépassement de niveaux seuils de température. En particulier, on peut craindre l'extinction de certaines espèces importantes, en cas d'absence de possibilités de migration, ou de vitesse de migration trop faible.
2. des dommages réguliers et répétés sur de nombreux secteurs sensibles au climat (comme l'agriculture ou la gestion de l'eau) peuvent conduire à une réduction de la production globale de plusieurs pourcents.
3. de fortes disparités géographiques dans l'ampleur des conséquences sont prévisibles ; en particulier, les pays en voie de développement sont beaucoup plus sensibles que les pays déjà industrialisés. Le changement climatique amplifiera encore les inégalités Nord-Sud.
4. des accidents climatiques singuliers de grande ampleur (*large-scale discontinuities*) comme l'inversion de la circulation atlantique, ou la disparition de la masse glaciaire de l'ouest antarctique, ont déjà été constatés dans l'histoire climatique, et pourraient à l'avenir être induits par l'activité humaine.
5. la fréquence accrue d'accidents climatiques extrêmes générera d'importants problèmes pour la nature et la civilisation.

Une discussion des événements météorologiques de l'été 2003 doit naturellement orienter le regard vers de tels accidents, qui se sont manifestement accumulés lors des dernières années. Des indices sont fournis par la Société d'Assurance et de Réassurance de Munich, qui a produit des statistiques montrant une augmentation conjointe du nombre de dommages indemnisés et du coût individuel de ces dommages (MunichRe 2002). Des exemples en sont les inondations du Rhin en 1998, les inondations de l'Oder et de l'Elbe (1997/2002), la canicule en Allemagne du Nord en 1992, et l'été caniculaire de 1995 en Grande Bretagne.

---

<sup>1</sup> Directeur de l'Institut de Recherche sur le Climat de Potsdam ; Directeur de Recherche au Centre de Recherche sur le Changement Climatique de Tyndall

Les analyses météorologiques révèlent cependant le caractère particulier de l'été 2003 en comparaison avec les vagues de chaleur antérieures (voir Schär et al. 2004, Beniston 2004). La saison a été marquée par la présence d'un anticyclone exceptionnellement persistant qui s'est maintenu de Juin à Septembre et en s'étendant de la côte portugaise jusqu'à Moscou. Des records de chaleurs et de faiblesse des précipitations ont été enregistrés dans de nombreuses régions d'Europe. Des reconstitutions rétrospectives de température depuis 1500, pointent l'été 2003 comme le plus chaud de l'histoire climatique récente (Luterbacher et al, 2004). Des recherches systématiques menées à l'Institut de Climatologie de Potsdam, sur de possibles corrélations entre les périodes d'inondation et les canicules indiquent une résonance entre différents modes de dynamiques atmosphériques. Un des résultats de ces recherches est qu'on risque d'observer à l'avenir une plus grande fréquence des alternances entre phases de sécheresse et phases d'inondations en Europe.

Les conséquences de l'été 2003 se sont fait sentir dans pratiquement tous les secteurs. Les rendements des cultures céréalières en Europe ont régressé de 4-5% par rapport à l'année précédente particulièrement en France et en Allemagne (JRC 2003a). En Allemagne, France, Grèce, Italie et Autriche, les rendements de 2003 ont été les plus faibles enregistrés sur toute la période 1961-2001, les principales régions agricoles ayant été simultanément affectées par une sécheresse et une canicule marquées.

Les débits des grands bassins fluviaux européens enregistrés en 2003 ont atteint des niveaux parfois très faibles en 2003. La concurrence pour les ressources en eau (pour l'eau potable, le refroidissement et l'irrigation), qui a conduit à des conflits dans certaines régions d'Europe, sera sans doute fortement amplifiée dans cette perspective.

Dans les forêts, la période de canicule et de sécheresse prolongée a conduit à des incendies gigantesques. Les surfaces touchées atteignent ainsi 400 000 ha au Portugal, valeur double du record antérieur enregistré dans la seconde moitié du XXème siècle (JRC 2003b). De plus, de nombreuses conséquences négatives de la sécheresse, comme des attaques d'insectes, ne se manifesteront que dans les années futures.

Dans d'autres domaines, les conséquences sont plus difficiles à identifier. Les études épidémiologiques décrivent effectivement une relation entre la canicule et une surmortalité humaine (Naughton *et al.*, 2002). Cependant, il n'est pas possible de préciser si la forte surmortalité enregistrée en France pendant l'été 2003 est due directement à la canicule, ou à un déficit structurel du système de santé, ou à une combinaison des deux facteurs. Cette question fait encore l'objet de débats.

Malgré les nombreux défis encore lancés à une analyse scientifique de ces événements, les connaissances déjà rassemblées sur les événements de l'été 2003 dessinent une image d'ensemble préoccupante liée à la problématique du réchauffement climatique.

La conduite d'études intégrées sur ces événements climatiques singuliers est de ce fait d'une haute pertinence sociale. De telles études doivent situer les informations rassemblées dans un cadre trans-sectoriel, examiner des réseaux d'interactions complexes, et identifier et évaluer les différentes options pour une adaptation. Cet investissement est justifié ne serait-ce que par les coûts induits par ces accidents climatiques - la compagnie de réassurance de Munich a évalué le coût social de l'été 2003 à environ 13 000 millions de dollars (MunichRe. 2003). Notre attention ne devrait cependant pas se limiter à la dimension socio-économique du problème, mais aussi prendre en compte les conséquences pour le milieu naturel, qui contribue fortement aux confortables conditions de vie en Europe.

## **Références**

- Beniston M. (2004): The 2003 heatwave in Europe: A shape of things to come? An analysis based on Swiss climatological data and model simulations. *Geophysical Research Letters* 31: doi:10.1029/2003/GL018857
- Luterbacher J., Dietrich D., Xoplaki E., Grosjan M., Wanner H. (2004): European Seasonal and Annual Temperature Variability, Trends and Extremes since 1500. *Science* 303: 1499-1503.
- IPCC (2001): *Climate Change 2001 (Vol. 1-3)*. Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, Online verfügbar unter [www.ipcc.ch](http://www.ipcc.ch).
- JRC (2003a): Gemeinsame Forschungsstelle der Europäischen Kommission prognostiziert Ernteverluste aufgrund der Dürre. Memo.
- JRC (2003b): Commission Joint Research Centre assesses Portugal's worst fire season. Memo
- MunichRe (2003): *Topic 2002 – Jahresrückblick Naturkatastrophen*, 10. Jhrg., Selbstverlag Münchener Rückversicherung, München.
- MunichRe (2003): *NatCat Service Info: Die größten Naturkatastrophen 2003*.
- Naughton MP, Henderson A, Mirabelli MC, Kaiser R, Wilhelm JL, Kieszak SM, Rubin CH, and McGeehin MA (2002). Heat-related mortality during a 1999 heat wave in Chicago. *Am. J. Prev. Med.* 22(4) 221-227.
- Schär C., Vidale P.L., Lüthi D., Frei C., Häberli C., Liniger M.A., Appenzeller C. (2004): The role of increasing temperature in European Summer Heatwaves. *Nature*, doi10.1038, 1-4.
- Smith J.B., Schellnhuber H.J., Mirza M.Q (2001): *Vulnerability to Climate Change and Reasons for Concern: A Synthesis*. In: *Climate Change 2001, Chapter 19, Contribution of the Working Group II to the Third Assessment Report of the IPCC*. Cambridge University Press, Cambridge.

## Les effets visibles à court terme (été et automne 2003)

J.-L. Flot<sup>2</sup>

Dans de nombreuses régions, des symptômes inhabituels dans les houppiers ont attiré l'attention des forestiers et du public, dès le début du mois d'août 2003, donnant lieu à des réactions médiatiques parfois très vives.

Ces symptômes de jaunissement, de rougissement ou de chute très rapide des feuilles ont été très (et sûrement trop) rapidement interprétés comme des signes de mortalité des arbres sous l'effet de la canicule.

Paradoxalement, les observations les plus précoces correspondaient à des pathologies relativement indépendantes de la canicule, avec la mineuse *Cameraria ohridella* sur marronnier d'Inde et des rougissements de houppier provoqué par *Sphaeropsis sapinea* sur des peuplements de pins ayant subi des dégâts de grêle.

Après avoir diffusé dès la fin du mois d'août 2003 une note d'information dans laquelle il était principalement recommandé de bien observer l'évolution des arbres, de préciser les diagnostics et d'éviter toute intervention trop hâtive, le Département de la santé des forêts a mis en place un dispositif d'observation et de suivi destiné d'une part à estimer l'importance et la répartition géographique et spécifique des symptômes visuels en septembre 2003, et d'autre part à suivre sur plusieurs années l'évolution d'un assez large échantillon d'arbres identifiés.

Ce dispositif repose sur 4 éléments :

1. une enquête auprès des 205 correspondants-observateurs du DSF, leur demandant de synthétiser, pour la fin septembre, par essence et par région forestière de l'Inventaire Forestier National, l'ensemble des observations qu'ils avaient effectuées durant les mois précédents ;
2. le réseau européen de suivi des dommages forestiers, où il a été procédé, sur une large sélection de placettes, courant septembre pour les feuillus et avant la fin octobre pour les résineux, à une notation supplémentaire pour caractériser l'impact visuel immédiat (rougissement, dessèchement ou chute de feuilles ou d'aiguilles) ;
3. le réseau RENECOFOR, qui a fait l'objet des mêmes notations que le réseau européen;
4. et un réseau complémentaire de placettes semi-permanentes installées dans des peuplements concernés par les dommages de la canicule et représentatifs d'essences et de conditions écologiques mal représentées dans les deux réseaux précédents ;

Les résultats de la première phase du travail (bilan visuel en fin de saison de végétation 2003) sont exploités et ont été diffusés récemment, en insistant sur le fait qu'il n'est pas possible d'interpréter directement les observations effectuées en terme de dommages ou de dégâts aux peuplements.

Les différentes observations se confortent mutuellement et elles sont par ailleurs assez conformes à des résultats obtenus selon des techniques différentes, telles que des cartes,

---

<sup>2</sup> MAAPAR/ DGFAR, Département Santé des Forêts (Paris)

publiées par le CNES, obtenues à partir d'images satellitaires. Il a ainsi été confirmé une grande hétérogénéité spatiale et spécifique des réactions.

Pour ce qui est de l'échelle locale, les symptômes sont généralement plus marqués sur les arbres fortement exposés au soleil - arbres isolés, arbres d'alignement et lisières sud des peuplements - et sur les zones à sol superficiel ou en situation particulièrement drainante. Dans plusieurs situations, l'épisode climatique de 2003 met en évidence des choix d'essences ou des gestions sylvicoles mal adaptés. *A contrario*, sur les stations bien alimentées en eau, les symptômes sont restés discrets y compris pour des essences très exigeantes sur le plan hydrique.

Il a été observé en cours d'automne une dégradation accélérée de certains peuplements en situation sanitaire difficile (chênaies dépérissantes, hêtraies en conditions de sols très tassés, peuplements déstabilisés par les tempêtes...).

La situation des principales essences forestières est présentée, avec une indication de risques estimés en 2004.

### **Quelques points peuvent être soulignés tout particulièrement**

- Les chênes sessiles et pédonculés ont réagi assez fortement et il conviendra de surveiller de près l'évolution des peuplements, en se souvenant des dépérissements importants observés après les précédents épisodes de sécheresse, notamment pour le chêne pédonculé.
- L'été 2003 a été marqué par une reprise forte des attaques de scolytes (typographe) sur épicéa commun alors que les populations avaient fortement diminué en été 2002. La reprise des attaques a été signalée dès le mois de juillet 2003. La sécheresse qui a commencé dès le mois d'avril 2003 a probablement eu une influence aussi importante que la quinzaine de canicule d'août. Les récoltes d'épicéas scolytés en 2003 sont de l'ordre des récoltes maximales de l'année 2001. Il est nécessaire d'engager ou de relancer la lutte active contre ces scolytes pour limiter autant que possible l'importance d'une nouvelle vague de dégâts.
- Les dommages observés sur douglas (dégâts avérés dans un certain nombre de cas, avec des dessèchements de branches et des mortalités) seront à étudier tout particulièrement pour préciser l'autécologie et les exigences sylvicoles de cette essence en France et l'adaptation des différentes provenances introduites.
- Les différents pins n'ont pratiquement pas manifesté de symptômes significatifs. Il ne faut pas pour autant en déduire que les conditions climatiques de l'année 2003 seront sans conséquence. En effet, il conviendra de surveiller leur évolution et tout particulièrement l'apparition d'attaques de *Sphaeropsis sapinea*, pathogène foliaire qui a causé au cours de la précédente décennie des dégâts importants fortement corrélés avec les années chaudes et sèches.

## Les effets visibles de la sécheresse et de la canicule sur les forêts durant l'été et l'automne 2003.

H.J. Schröter<sup>3</sup>

Les conditions extrêmes de l'été 2003 ont provoqué des dommages directs dus à la sécheresse et à la chaleur, ainsi que des dommages différés du fait d'attaques d'insectes. Dans des cas extrêmes, des dommages directs de la sécheresse se sont manifestés sous la forme d'un dessèchement et d'un dépérissement d'arbres. Dans le Sud Ouest de l'Allemagne, pratiquement toutes les essences et les classes d'âge ont été touchées. De tels dommages sont surtout apparus dans des plantations et de jeunes régénérations. Des dommages non directement létaux sont apparus sous la forme de rougissements et de chute prématurée d'aiguilles, entraînant un éclaircissement des couronnes. Certains feuillus, en particulier des hêtres, ont perdu leur feuillage, sans toutefois manifester de mortalité pour l'instant. Dans le cas d'essences à écorce lisse en stations exposées, particulièrement des hêtres, on a pu assister à des pertes d'écorce par suite de coups de chaleur. Le bois de hêtres affectés par la sécheresse présentait fréquemment des taches noires d'oxydation.

Des dommages différés par attaques d'insectes ont été observés dans pratiquement toute l'Allemagne, sous la forme d'une gradation massive des populations d'insectes sous-corticaux. Les gradations du Typographe (*Ips typographus*) et du Chalcographe (*Pityogenes chalcographus*) ont été particulièrement marquées sur épicéas. Ces deux insectes ont conduit à la production de 1.87 Millions de m<sup>3</sup> de bois scolyté dans un marché du bois en situation difficile en 2003. À l'échelle fédérale, on a recensé environ 4 millions de m<sup>3</sup> de bois scolyté, les valeurs les plus élevées étant rapportées pour le Baden Württemberg et la Bavière.

Les dommages d'insectes corticaux étaient également inquiétants sur les pins, le Douglas et le mélèze. De manière très inattendue, la situation du hêtre est devenue localement critique, avec des attaques du petit scolyte du hêtre (*Taphrorychus bicolor*), habituellement tout à fait insignifiant, et de l'agrile (*Agrilus viridis*).

Il ne sera possible d'arrêter ou au moins de limiter ces gradations que si une nouvelle année sèche ne se profile pas à l'horizon. Les forestiers devront encore se mobiliser pour surveiller les populations d'insectes ravageurs et les combattre efficacement. L'intensité de la surveillance et le contrôle d'attaques dispersées mais répétées induisent pour le forestier un important volume de travail et des coûts élevés en regard des faibles gains potentiels lors de la vente du bois.

---

<sup>3</sup> Centre de Recherche Forestière du Bade-Wurtemberg, Fribourg-en-Brigau

## Les effets physiologiques de la sécheresse à court et long terme

*Dr N. Bréda<sup>4</sup>*

La sécheresse affecte le fonctionnement des arbres dans ses deux composantes, édaphique (sécheresse du sol) et atmosphérique (sécheresse de l'air), souvent difficiles à distinguer car intervenant simultanément. Une sécheresse édaphique se définit et se caractérise à partir d'un bilan hydrique, qui permet de connaître la quantité d'eau dans le sol disponible pour les arbres. Du point de vue de l'écophysiologiste, on parle de déficit hydrique lorsque la quantité d'eau dans le sol atteint un niveau limite à partir duquel les arbres régulent leur consommation en eau par fermeture de leurs stomates. Pour calculer un bilan hydrique, tenir compte des données climatiques (les précipitations et l'évapotranspiration potentielle) n'est pas suffisant. Il est indispensable de considérer aussi les caractéristiques du sol et du couvert forestier. Ainsi, nous illustrerons l'importance de la réserve utile du sol et de l'indice foliaire du peuplement sur la date d'apparition d'un déficit hydrique, sa durée et son intensité. Nous comparerons aussi les différences de bilan hydrique qui existent, pour un climat et un sol donnés, entre un couvert feuillu et un couvert résineux.

Les effets physiologiques immédiats de la sécheresse, à la fois atmosphérique et édaphique, sur les arbres forestiers sont étudiés depuis longtemps et bien connus. La réponse immédiate des arbres est la fermeture de leurs stomates, plus ou moins complète et précoce selon les espèces. La régulation stomatique a pour effet de limiter la consommation en eau et éviter que les tissus (feuilles ou aiguilles, pousses, xylème) n'atteignent des niveaux de dessèchement trop importants. En revanche, la fermeture des stomates a deux effets négatifs : l'arrêt ou le ralentissement du refroidissement du feuillage et la limitation de la photosynthèse. En effet, c'est aussi par les stomates que le carbone est fixé par la photosynthèse, même si la transpiration semble plus rapidement affectée que la photosynthèse. Signalons que cette régulation stomatique est très fréquemment mise en jeu : elle intervient pratiquement tous les étés, pendant des périodes plus ou moins longues. Enfin, cette régulation est tout à fait réversible : si le sol se réhydrate, même partiellement, les stomates s'ouvrent à nouveau et les échanges gazeux (transpiration et photosynthèse) peuvent reprendre.

Pratiquement simultanément à ce contrôle de la consommation en eau et de la fixation de carbone, la croissance de l'arbre se ralentit, puis s'arrête. Il s'agit là d'un double effet hydrique (activité du cambium et de méristèmes très sensibles à l'état hydrique de l'arbre) et carboné (réduction de l'assimilation du carbone). Nous avons pu observer que ces deux phénomènes, régulation stomatique et arrêt de croissance, se produisent pour le même seuil de réserve en eau dans le sol. Au-delà de ce seuil, une rétraction du tronc est décelable, particulièrement chez les résineux et les feuillus à aubier bien délimité : cette rétraction est liée à une mobilisation de l'eau du bois d'aubier, tissus élastique à forte teneur en eau. Cette rétraction est réversible dès le retour des précipitations. En revanche, la reprise de la croissance radiale en fin de saison après un déficit hydrique estival est assez rare, sauf pour les espèces méditerranéennes dont les phases de croissance sont décalées au printemps et à l'automne.

---

<sup>4</sup> UMR INRA UHP Ecologie et Ecophysiologie Forestières, INRA – Nancy, F-54 280 Champenoux, breda@nancy.inra.fr

La limitation de la fixation de carbone lorsque les stomates se ferment affecte donc la croissance, mais aussi la quantité de carbone qui peut être allouée à la mise en réserves sous forme de glucides. En effet, cette mise en réserve est normalement active jusqu'à la chute des feuilles d'automne, c'est-à-dire bien plus tard que l'arrêt de croissance. En cas d'arrêt prématuré de la photosynthèse, le remplissage des réserves est perturbé et partiel.

Si la sécheresse se prolonge dans le temps et/ou qu'elle est particulièrement sévère, la régulation stomatique ne va plus être suffisante pour protéger l'arbre du dessèchement. L'arbre peut alors atteindre les limites de son fonctionnement hydraulique et des dysfonctionnements, cette fois irréversibles, risquent d'apparaître. Ainsi, de trop fortes tensions dans le système conducteur s'établissent lorsqu'un déséquilibre apparaît entre la demande climatique (très forte ETP) et la quantité d'eau disponible dans le sol. Ces tensions provoquent l'apparition de microbulles d'air dans le système conducteur : c'est l'embolie. Les éléments du xylème embolisés se remplissent alors d'air (c'est la cavitation) et la circulation de la sève n'est plus possible. On parle de perte de conductivité. Grâce aux progrès récents de notre connaissance du fonctionnement hydraulique des arbres, nous avons montré que la fermeture des stomates intervenait dans beaucoup de cas juste avant que l'embolie ne se produise, jouant ainsi un rôle protecteur de l'intégrité du système conducteur. Néanmoins, il existe une assez forte variabilité entre les espèces de vulnérabilité à la cavitation et nous en illustrerons quelques exemples.

Cette embolie du système conducteur se produit en premier lieu au niveau des pétioles, des rachis puis des pousses de l'année. Le développement prématuré d'une zone d'abscission serait favorisé par l'arrêt de la circulation de la sève, et des chutes prématurées de feuilles encore vertes peuvent se produire. Cette chute prématurée de feuilles, liée à une plus grande vulnérabilité du xylème dans les extrémités de l'arbre, est un autre moyen de limiter la consommation en eau et de protéger les parties pérennes de l'arbre d'une trop forte déshydratation. Contrairement à la régulation stomatique, cette limitation est irréversible et le retour à des conditions climatiques plus favorables en fin de saison ne permettra pas de reprise significative du fonctionnement, en particulier pas de reprise de stockage de glucides.

Les effets physiologiques à moyen et long termes de la sécheresse sont nettement moins bien connus, même si les leçons du passé ont permis de décrire la dynamique conduisant à des dépérissements. La plus importante source de compréhension des effets différés des sécheresses a été l'analyse rétrospective de la croissance radiale de peuplements dépérissants. L'analyse dendrochronologique a en effet permis de dater le début des crises de croissance enregistrées par les cernes et, dans de nombreux cas, l'événement climatique lié à ce déclenchement a pu être clairement identifié comme étant une sécheresse exceptionnelle (celle de 1975-1976 pour les dépérissements de chênes en forêt de Tronçais et du sapin dans les Vosges, celles 1989-1991 pour le dépérissement de chênes en forêt de la Harth). Selon l'espèce, l'âge des arbres et les conditions stationnelles, la croissance est plus ou moins réactive et peut être affectée une ou plusieurs années. A plus long terme, une sous population d'arbres (cas fréquent chez les chênes) n'ayant jamais totalement récupéré après une crise de croissance sera plus exposée à des accidents ultérieurs, climatiques ou biotiques : ceci se traduit par une perte de croissance par paliers de 10-20 ans, avec des décrochements successifs jusqu'à la mort des arbres. Par ailleurs, nos travaux ont montré une réponse différée après un déficit hydrique de l'état des cimes (observées dans les réseaux de surveillance de l'état sanitaire des forêts), confirmée par des séries longues de suivi de l'indice foliaire des peuplements. La mise en évidence d'effets différés conjoints sur la croissance radiale et la biomasse foliaire permet d'émettre quelques hypothèses physiologiques qui ouvrent des perspectives de recherches prometteuses.

## Conséquences de la sécheresse et de la canicule sur le marché du bois et l'économie forestière

M. Strittmatter<sup>5</sup>

### *Contexte économique*

La situation du marché du bois en 2003 a été fortement influencée par la situation générale difficile de l'économie. Le développement favorable du marché du bois au cours de la fin des années 1990 a été brusquement interrompu par la tempête Lothar, même si les chablis sont arrivés dans un marché en expansion. Depuis 2000, l'évolution du PIB et le secteur de la construction ont reculé. La croissance du PIB a décliné de 2,9% (2000) à 0,0% en 2003. Le nombre de nouveaux logements a reculé de 450 000 unités en 1999 à 250 000 unités en 2003. Le prix du bois a reculé de 40-50% par rapport à la période d'avant la tempête de 1999.

Bien que la production de l'industrie du sciage ait augmenté depuis 1999 à la faveur d'une augmentation des exportations, l'évolution des prix est restée nettement en deçà des espoirs.

### *Evolution au cours de l'année 2003*

La récolte liée aux dégâts dus aux scolytes s'est élevée à 2,3 millions de m<sup>3</sup> en 2001. Grâce à la mise en oeuvre d'une surveillance et une stratégie adaptée de mobilisation des bois, le volume de bois « scolytés » a reculé à 0,7 millions de m<sup>3</sup> en 2002. Un recul plus prononcé était donc prévu pour l'année 2003.

De fait, les bois « scolytés » ont représenté peu de chose au premier semestre de l'année 2003. Toutefois, la sécheresse persistante et la canicule de l'été 2003 a fortement éprouvé les peuplements forestiers, ce qui a conduit à une augmentation explosive des produits accidentels. En beaucoup d'endroits, il a été impossible de faire une distinction nette entre les bois qui sont morts par suite d'un affaiblissement dû à la sécheresse et ceux qui ont été tués par les scolytes (typographe et chalcographe). Souvent, on a observé un dessèchement des arbres sans attaque supplémentaire par les scolytes. En septembre, la récolte des bois accidentels a atteint en Bade-Wurtemberg un paroxysme avec un rythme hebdomadaire de 140 000 m<sup>3</sup>. La récolte totale de bois a pour cette raison été supérieure à celle enregistrée en année normale. On a noté une concentration particulière des dégâts sur certains stations.

Afin de limiter l'impact sur le marché du bois, il a été décidé d'arrêter la mobilisation de bois frais dans les forêts domaniales.

En réalité, c'est moins la quantité de l'offre de bois supplémentaire que les difficultés de maîtrise du marché du bois pendant période qui ont été problématiques :

- L'exportation vers l'Autriche était impossible en raison de la poursuite, dans ce pays, du traitement du bois issu de la tempête (1999).

---

<sup>5</sup> Ministère de l'Alimentation et de l'Espace Rural du Bade-Wurtemberg

- L'écoulement des sciages était difficile ; en outre, la parité monétaire défavorable avec les USA et la baisse des cours a réduit l'exportation vers ce pays.

En résumé, une forte offre de bois s'est produite à un moment i) où les possibilités de traitement de ce bois étaient faibles alors que ii) les cours de bois s'effondraient d'environ 63 (70) €/m<sup>3</sup> pour les bois de 1ère catégorie (L 2b) avec écorce à 45 €/m<sup>3</sup>

### ***Lutte contre les scolytes et stratégie dans le domaine du marché du bois***

L'expérience tirée de l'année 2001 a servi de base au développement, au cours des années suivantes, d'une stratégie qui avait pour but une reconnaissance, une exploitation et un transport hors de la forêt très rapides des bois scolytés, de façon à minimiser les dégâts causés par les scolytes. On a cherché à assurer une commercialisation précoce et à atténuer les effets des bois scolytés sur le marché du bois en concluant des contrats à long terme avec acheteurs et en offrant la possibilité d'une fourniture flexible de bois scolytés et frais.

Alors que cette approche a été couronnée de succès en 2002, l'objectif d'atteindre une stabilisation du marché en 2003 n'a pu être atteint en raison d'un volume considérable de bois issu des coupes sanitaires en un laps de temps très court. Une détente du marché du bois basée sur la non-exploitation de bois scolyté est exclue pour des raisons phytosanitaires et aboutirait en fait à un plus grand volume de récoltes accidentelles, avec le danger d'aggraver le dérèglement du marché. La conservation (par voie humide ou sèche) de bois issu de récolte accidentelle n'a pas de fondement économique, étant donné qu'on ne peut pas être sûr que seul du bois de qualité irréprochable (pas de coloration ou de bleuissement, pas d'insectes secondaires) sera stocké.

### ***Résumé***

- L'expérience acquise au cours des dernières années dans la lutte contre les scolytes montre qu'une prévision fiable des volumes de bois scolytés ne peut être obtenue que très tardivement.
- Le marché du bois ne peut être soulagé par la conclusion de contrat flexible et à long terme que jusqu'au moment où le marché peut prendre en compte ces bois supplémentaires.
- En raison des incertitudes sur le développement et l'extension de la pullulation des scolytes, la perception ("le fantasme") et le contexte économique global jouent un rôle important dans la formation des prix.
- Le risque de nouvelles perturbations du marché pour 2004 sont élevées à court et moyen terme :
  - Les peuplements forestiers sont actuellement affaiblis par la sécheresse de l'an passé.
  - Indépendamment de la situation du marché, un apport relativement faible de bois supplémentaire peut conduire à des réactions fortes des prix.
- La possibilité de piloter le marché du bois en cas de dégât important dû à des pullulations de scolytes est très restreinte :
  - En raison de prix du bois globalement très faible les bois scolytés ne peuvent supporter les distances de transport aux scieries importantes, faute de quoi le rendement financier pour le propriétaire forestier descend rapidement en dessous des coûts de mobilisation.

## Les incidences des conditions climatiques de l'été 2003 sur la politique forestière française

*B. Chevalier*<sup>6</sup>

Les spécialistes s'accordent pour penser que, dans l'hypothèse d'un réchauffement climatique, les conditions climatiques de l'été 2003 pourraient désormais avoir une fréquence décennale voire correspondre à la normale avant la fin de ce siècle.

Face à cette situation il a paru nécessaire :

- de réfléchir de façon scientifique aux orientations sylvicole à donner à la politique forestière nationale à moyen terme en intégrant les incidences de cette évolution climatique ainsi qu'au moyen de l'enrayer
- de prendre une série de mesure à court terme de façon à répondre aux attentes de la filière forêt-bois, ce en valorisant le retour sur expérience des mesures prises suite à la sécheresse de 1976.

Depuis 1947 la France a conduit une politique volontariste en matière de boisement, contribuant à accroître sensiblement sa capacité de stockage du dioxyde de carbone. Désormais l'effort porte sur l'amélioration des peuplements existants de façon à accroître leur productivité, une autre façon d'agir sur le rôle de puits de carbone joué par la forêt.

Mais quels que soient les efforts déployés en matière de lutte contre l'effet de serre, une élévation durable de la température moyenne semble inéluctable. La stratégie porte donc également sur une évolution des techniques sylvicoles de façon à installer des peuplements plus résilients à la sécheresse et à la canicule. Compte tenu de l'expérience acquise suite aux tempêtes de décembre 1999, le lancement d'une expertise collective, cofinancée par le ministère de l'écologie et du développement durable et le ministère de l'agriculture, de la pêche, de l'alimentation et des affaires rurales constitue une première étape. Cette expertise doit permettre de répondre à une série de questions formulée via une concertation entre toutes les parties prenantes intéressées, dont :

- impact précis des conditions climatiques sur la reprise des jeunes plantations (cartographie des dommages, analyse des taux de reprise en fonction de l'essence, de la date et de la technique de plantation, de la station) sans oublier un suivi dans le temps, certains effets ne pouvant être visibles qu'après plusieurs années.
- relations entre essence, type de station et dépérissement, conception d'outil de diagnostic et de prédiction du dépérissement à l'échelle de l'arbre ou du peuplement.
- réflexion sur les matériels forestiers de reproduction ; recherche d'essence ou de variété présentant une adaptation à un climat plus chaud.

Mais toutes ses études dont le résultat doit permettre une adaptation des orientations régionales forestières et le développement d'itinéraires techniques sylvicoles innovants ne seront exploitables que d'ici à quelques mois voire quelques années. Face aux attentes des sylviculteurs une série de mesures à mise en oeuvre quasi immédiate a été prise ; elles s'inspirent du dispositif mis en oeuvre pour palier les conséquences de la sécheresse de 1976.

---

<sup>6</sup> Ministère de l'Agriculture, de l'Alimentation, de la Pêche et des Affaires Rurales / Direction Générale de la Forêt et des Affaires Rurales, Paris

Dès le mois de septembre, des conseils pour le diagnostic des peuplements ont été diffusés aux sylviculteurs via les organismes de développement. L'objectif était clairement d'inciter à la prudence dans les diagnostics, une chute du feuillage même totale n'étant pas toujours un signe de mortalité, et à repousser les prises de décisions au printemps 2004.

Le département santé des forêts a renforcé son dispositif de suivi et mobilisé, dans la mesure des disponibilités budgétaire, des moyens pour assurer la réalisation de traitements préventifs et curatifs et surtout pour assurer un suivi régulier des peuplements et prévenir les pullulations de scolytes.

En terme de prévention des feux de forêts, l'attention a été portée sur les certains peuplements présentant des prédispositions, notamment les peuplements de chênes pubescents sur sols superficiels où de forts rougissements de houppiers ont été observés.

Mais l'essentiel du dispositif concerne l'adaptation des engagements souscrits par les sylviculteurs en contrepartie de l'attribution des aides. En effet l'essentiel des dégâts de sécheresse sur les jeunes plantations concerne des plantations réalisées dans le cadre de la reconstitution du potentiel de production détruit par les tempêtes de décembre 1999. Le dispositif est désormais quasi opérationnel. Il devrait en résulter une augmentation sensible de la surface régénérée par voie naturelle. Toutefois il sera également possible d'attribuer des compléments de subvention. Ces dossiers seront prioritaires par rapport à l'instruction de nouveaux dossiers de nettoyage reconstitution. Une régénération naturelle des surfaces n'ayant pu bénéficier d'aide se réalisera très certainement. De fait une des conséquences des conditions climatiques de l'été 2003 sera un développement des itinéraires techniques valorisant la régénération naturelle. Un effort de formation des propriétaires forestiers à ces techniques sera indispensable.

La palette des dispositions à court et moyen terme décrite précédemment a permis à la France de se doter d'un dispositif a priori pertinent, partie intégrante de son programme forestier national en cours d'élaboration, susceptible d'alimenter la réflexion en vue de la préparation du prochain PDRN et de répondre aux objectifs de gestion durable sans cesse réaffirmés dans les enceintes internationales depuis le sommet de Rio.

Effets de la sécheresse et de la canicule de 2003  
sur les forêts en France et en Allemagne  
Conséquences à en tirer pour la politique forestière.

W. Erb<sup>7</sup>

Il s'agit d'étudier les deux points suivants :

1. récoltes d'un niveau inhabituel à la suite d'événements exceptionnels tels que la sécheresse de 2003 en liaison avec les invasions de scolytes qui ont accompagné celle-ci ;
2. Conséquences des changements climatiques à long terme pour la gestion forestière et notamment pour la sylviculture.

***1. Mobilisation de la récolte exceptionnelle de bois :***

Il existe tout un ensemble d'instruments qui ont été développés sur la base des expériences tirées des ouragans passés :

- Planification et organisation des travaux de mobilisation, de commercialisation et de reboisement dans le cadre des cantonnements forestiers supervisant les forêts sans distinction de catégories de propriétaires.
- Recommandations officielles rendant tout à fait superflue l'utilisation d'instruments plus formels.
- Vente en commun des bois des propriétés très morcelées et réduction de l'offre des produits des forêts domaniales.
- Aide à la trésorerie par l'application de taux d'intérêt bonifiés.
- Incitations financières à la conservation des bois et au reboisement.

Les subventions aux travaux de façonnage des bois et de débardage ont eu des effets négatifs et n'ont été plus appliquées depuis l'ouragan « Lothar ».

***2. Conséquences des changements climatiques prolongés sur la gestion des forêts.***

Depuis le début des années 90 un grand nombre d'activités de politique forestière se sont déroulées à différents niveaux politiques.

*2.1. Niveau paneuropéen et niveau des Nations Unies.*

Les « critères d'Helsinki » établis par le processus des conférences ministérielles pour la protection des forêts en Europe (MCPFE) en 1993 à Helsinki traitent dans le critère 6 du rôle des forêts dans le cycle global du carbone. Les idées en sont précisées dans les « Pan-European Operational Level Guidelines » élaborées en 1998 à Lisbonne qui seront à la base de la certification PEFC. L'effet des différents procédés de certification sur les

---

<sup>7</sup> Ministère de l'Alimentation et de l'Espace Rural du Bade-Wurtemberg, Stuttgart

déforestations massives étant encore insuffisant, il faut mettre un accent majeur sur les activités politiques en vue de la conservation des forêts, et ceci surtout par le biais des activités des Nations Unies : Panel Intergouvernemental sur les Forêts (IPF), Forum Intergouvernemental sur les Forêts (IFF) et Forum des Nations Unies sur les Forêts (UNFF).

### *2.2. Niveau de l'Union Européenne.*

Les différents aspects de la politique forestière de l'Union Européenne sont repris dans la stratégie européenne de 1998. Cette dernière prévoit notamment un ensemble de mesures relatives au changement climatique. Le programme d'action de l'Union Européenne « Application du droit forestier, gouvernance et marchés des produits forestiers » (FLEGT) peut contribuer à la diminution des défrichements.

La promotion du plan d'action dans le secteur forestier, y compris une partie des aspects climatiques, se fait dans le cadre de l'ordonnance (CE) 1257/1999 (Règlement de Développement Rural)

### *2.3 Niveau national : Allemagne.*

Dans le cadre du « Programme forestier national » (processus participatif faisant suite aux propositions du Panel Intergouvernemental des Nations Unies sur les Forêts), on adopta, durant les années 1999 et 2000, 25 plans d'action sur les thèmes de la conservation des forêts, des mesures en faveur de la protection et de l'augmentation des stocks de carbone, de l'extension des forêts, de la sauvegarde de la vitalité et de la capacité d'adaptation des forêts, de l'utilisation du matériau bois ainsi que de la recherche et du suivi. Ces thèmes sont inscrits dans la politique forestière aussi bien au niveau fédéral qu'à celui des Länder.

### *2.4 Niveau du Bade-Wurtemberg.*

Dans le cadre du processus du programme forestier, a été amorcée une estimation de l'évolution du climat à l'échelle régionale. Pour le moment, elle ne conduit pas à proposer un changement des méthodes sylvicoles. Pourtant on peut s'attendre à des difficultés pour les essences qui sont à la limite de leur aire écologique.

De plus, il ne faut pas oublier le problème des insectes ni celui du bilan minéral des sols.

Tous les changements prévisibles exigent des actions continues dans le domaine de la biodiversité et d'une sylviculture proche de la nature. Le rôle de l'épicéa doit être discuté de manière critique.

Il faut étendre les observations du climat régional et un contrôle permanent et intensif de manière à vérifier dans quelle mesure les actions engagées restent dans la bonne voie.

Des mesures complémentaires importantes sont constituées par les actions médiatiques qui attirent l'attention du public et qui sensibilisent les propriétaires forestiers.

*F. Houllier*<sup>8</sup>

En août et septembre 2003, dès que les premiers effets, sur les écosystèmes forestiers, de la chaleur et de la sécheresse sont devenus patents, la communauté scientifique et technique a été sollicitée pour fournir une expertise sur les conséquences de cet événement climatique, sur les moyens qui permettraient d'en limiter la portée, puis sur les stratégies qui pourraient être proposées pour réduire les impacts d'éventuels événements similaires dans le futur. Ce bref texte ne vise ni à synthétiser l'ensemble des connaissances disponibles, ni à caractériser leurs lacunes, ni à inventorier les solutions techniques et stratégies de moyen ou de long terme permettant de faire face à cet événement ou à l'éventuelle répétition de stress hydriques et thermiques intenses ; son objectif est plutôt d'explicitier la manière même dont les chercheurs sont susceptibles de répondre à ces demandes.

### ***Quelle expérience pouvons-nous tirer de crises antérieures ?***

Cette première question renvoie non seulement à la comparaison de l'événement climatique de l'été 2003 avec des phénomènes antérieurs similaires, et à la synthèse des observations, connaissances et savoir-faire rassemblés à propos de ces derniers, mais aussi à la façon dont ce travail d'expertise a été conduit dans ces circonstances ou face à d'autres catastrophes. Trois crises récentes peuvent ainsi être envisagées :

- la sécheresse de 1976, qui marque deux grandes différences par rapport à l'événement climatique de 2003. (i) Le phénomène lui-même est différent, autant par la cinétique du dessèchement que par la conjonction prolongée, en 2003, de la sécheresse et de la canicule [Landmann et al. 2003] : les bioclimatologistes et les écophysologistes des plantes nous renseignent sur la nature, l'ampleur et les conséquences de ces différences [cf. exposé de Nathalie Bréda]. (ii) Notre vision des écosystèmes forestiers a changé au cours des dernières décennies. Jusque dans les années 1980, ce sont les notions de stabilité et de climax qui prévalaient : la sécheresse apparaissait comme un stress ponctuel et aléatoire. Depuis une dizaine d'années, nous avons pris conscience des changements de notre environnement et de leurs conséquences : nous savons que la productivité des forêts augmente tendanciellement [Spiecker et al. 1996, Rehfuss et al. 1999, Dhôte et al. 2001] et nous nous demandons ce que peut induire un stress majeur dans un tel contexte ; nous savons aussi que le climat s'est réchauffé au cours du siècle écoulé et nous nous interrogeons sur l'occurrence future d'événements que nous jugeons aujourd'hui extrêmes et exceptionnels mais qui pourraient devenir plus fréquents [Schär et al. 2004] ;
- les dépérissements des années 1980 et les programmes de recherche mis en place à cette occasion nous ont appris, ou rappelé, que les écosystèmes forestiers mettent en jeu un grand nombre de facteurs et d'éléments qui interagissent les uns avec les autres. Les observations que nous faisons, à un moment donné, résultent de ces interactions et rétroactions multiples : il reste ainsi difficile de démêler l'écheveau des causes plus ou moins proximales, immédiates ou différées ; nous savons, par exemple, que des stress

---

<sup>8</sup> INRA

induissent des déséquilibres dont les conséquences peuvent n'apparaître que plusieurs années plus tard [cf. exposé de Nathalie Bréda] ;

- bien qu'elles soient évidemment de nature différente, la comparaison avec les tempêtes de décembre 1999 est intéressante à plusieurs titres : (i) elles ont déstabilisé certains peuplements et la question d'une synergie avec les effets de la sécheresse et de la canicule de 2003 est d'autant plus importante que l'on peut se demander si ces deux types d'événement climatiques relèvent d'un même phénomène global [le changement climatique] ; (ii) à la suite de ces tempêtes, une expertise collective de portée nationale a été effectuée [Drouineau et al. 2000a, 2000b]. Cette expertise a comporté plusieurs volets : l'analyse du phénomène lui-même, l'inventaire des dégâts, l'étude de la vulnérabilité différentielle des peuplements, la compilation des savoir-faire sur l'exploitation et le stockage des bois, l'identification des lacunes et la mise en place de nouveaux programmes de recherche qui commencent à porter leurs fruits (par exemple, au travers des thèses soutenues), etc. La situation est aujourd'hui différente puisque la majeure partie des dégâts attendus après la sécheresse et la canicule de l'été 2003 n'est pas immédiate mais différée : la mise en place d'une expertise collective est tout aussi nécessaire, mais sa cadence et son échéancier ne peuvent être les mêmes ; sa dimension prospective n'en est d'ailleurs que plus importante.

### ***Des questions de recherche ...***

#### *... certes étudiées de longue date*

Au plan scientifique, les processus écologiques mis en jeu, notamment leurs aspects bioclimatologiques et écophysiologiques, sont étudiés par plusieurs équipes depuis de nombreuses années. Il existe donc un fonds de connaissances sur de nombreux sujets : le fonctionnement hydrique et thermique des arbres et des peuplements (avec des dispositifs expérimentaux en serre, en pépinière et in situ) et le rôle de certains choix sylvicoles (ex. effet des éclaircies sur la disponibilité en eau), les stratégies des espèces vis-à-vis de la sécheresse, les interactions entre facteurs abiotiques (H<sub>2</sub>O, O<sub>3</sub>, T, CO<sub>2</sub>, nutrition, etc.) et leurs impacts sur la physiologie des arbres aussi bien que sur certaines communautés végétales, animales, fongiques présentes dans les écosystèmes forestiers, etc.

Ces connaissances, déjà disponibles, peuvent être rapidement mobilisées [voir, par exemple, <http://www.nancy.inra.fr/extranet/com/secheresse/secheresse.htm>] pour orienter les choix des gestionnaires aussi bien à court terme (comment minimiser les impacts de l'événement particulier de 2003 ?) qu'à long terme (comment faire en sorte que la sylviculture limite les conséquences d'événements similaires dans le futur ?).

#### *... mais aussi des fronts de science*

L'étude de la sécheresse et de la canicule de l'été 2003 et de leurs conséquences renvoie aussi à des fronts de recherche tout à fait actuels et à des champs d'investigation nouveaux. Par exemple (cette énumération n'est pas exhaustive) :

- l'analyse de la rareté du phénomène ne peut être réalisée qu'en couplant des études rétrospectives (analyse de séries chronologiques) et les modèles climatiques globaux les plus récents [Schär et al. 2004] tout en ayant conscience que tant les approches statistiques que les modèles climatiques ont des difficultés à estimer la fréquence d'événements rares ;
- la compréhension des effets interannuels des stress hydriques (par exemple, ralentissement de la croissance primaire et secondaire de l'arbre) requiert l'analyse et la modélisation du fonctionnement intégré de l'arbre, notamment des mécanismes qui

participent de la gestion des réserves carbonées par l'arbre (allocation, mise en réserve, transformation et mobilisation des produits de la photosynthèse) ;

- l'étude de la variabilité des réponses de chaque arbre à la sécheresse, l'analyse de leur déterminisme génétique et la compréhension des phénomènes adaptatifs et évolutifs induits mobilisent les concepts et méthodes les plus récents de la biologie à haut débit (génomique fonctionnelle) et de l'écologie évolutive : elles sollicitent le renforcement des collaborations entre généticiens, physiologistes et écophysiologistes ;
- à un autre niveau d'organisation, la compréhension des conséquences de tels événements climatiques met en jeu des cascades d'interactions et rétroactions entre les composantes des écosystèmes forestiers : les impacts sur la biodiversité (des bioagresseurs, des champignons symbiotiques, de la végétation herbacée, de la macrofaune, etc.) ne sont pas indépendants les uns des autres et ont des effets sur la nutrition, la stabilité et la santé des forêts. Analyser et modéliser des systèmes complexes de ce type est un enjeu scientifique majeur ;
- enfin, la prise en compte des risques dans l'élaboration de systèmes sylvicoles robustes est un domaine encore peu développé. Elle sollicite des collaborations entre écologues, ingénieurs et économistes.

Dans tous ces domaines, les connaissances ne sont que partielles, les méthodes d'investigation (analyses et modèles) sont récentes et notre capacité d'intégration reste limitée : à court et moyen terme, ces questions se posent donc en termes de projets de recherche à concevoir et réaliser, plus qu'en termes de transfert des connaissances ou de préconisations adressées aux gestionnaires et décideurs.

*... dans un cadre scientifique et institutionnel nouveau*

La prise de conscience des changements climatiques change le cadre d'analyse à de multiples titres : (i) la constatation d'une tendance séculaire d'accroissement de la productivité ligneuse nous amène remettre en question les notions de station (considérée comme un déterminant invariant du fonctionnement des écosystèmes) et de climax (considéré comme un état stable asymptotique) des écosystèmes forestiers [Dhôte et al. 2001]; (ii) dans le même temps, la succession d'événements extrêmes induit des interrogations sur la fréquence et l'intensité futures de ce type de situations et sur leurs conséquences. Il apparaît ainsi nécessaire de relier deux grandes classes de phénomènes étudiés jusqu'ici de façon séparée : d'une part, les changements graduels (augmentation de [CO<sub>2</sub>], de la température moyenne ou évolution des dépôts azotés, par exemple) et, d'autre part, l'occurrence d'événements extrêmes (par rapport aux conditions du siècle dernier), que ceux-ci soient isolés ou répétés.

La question même de la posture des chercheurs vis-à-vis de tels phénomènes mérite aussi d'être posée. Consiste-t-elle, de façon assez classique, à décrire et comprendre les phénomènes et à décrypter les mécanismes sous-jacents ? Ou bien, dans une position plus proche de l'ingénierie écologique, à concevoir des stratégies sylvicoles adaptées au nouveau contexte climatique ? Ou encore, selon une attitude encore plus engagée, à concevoir et promouvoir un mode de développement qui permette de limiter les changements climatiques et leurs conséquences. On retrouve ici la typologie évoquée par Godard et Hubert [2003] à propos des recherches relatives au développement durable.

Une autre évolution majeure du contexte concerne l'organisation même du dispositif de recherches. Au cours des dernières décennies, sa dimension européenne s'est affirmée : avec les programmes cadres successifs pour la recherche et le développement, avec la mise en réseau d'expérimentations et de dispositifs d'observation, etc. Il n'est aujourd'hui plus envisageable d'aborder l'étude d'un phénomène global, même si ces manifestations sont

plus ou moins régionalisées [CNES 2003], dans un contexte purement national. C'est l'une des raisons pour laquelle, l'INRA a souhaité que l'expertise qui débute soit menée dans un cadre élargi.

### ***Deux approches parallèles, progressives et couplées***

Dans ce contexte général, il est nécessaire d'avancer parallèlement, dans deux registres :

- au plan scientifique : à une phase de mobilisation rapide des connaissances disponibles [voir <http://www.nancy.inra.fr/extranet/com/secheresse/secheresse.htm>], succède une étape d'expertise collective qui vise à synthétiser les connaissances et à identifier les lacunes et les verrous scientifiques, dont pourra découler une inflexion des programmes de recherche ou la mise en place de nouvelles actions ;
- au plan de l'observation opérationnelle des forêts : après une première évaluation des dégâts (DSF 2003, 2004), s'engage une période de suivi de la situation par les gestionnaires/propriétaires et par les organismes chargés de l'observation opérationnelle des forêts (en France, l'Inventaire forestier national et le Département de la santé des forêts). Lui succèdera sans doute une adaptation progressive des modalités de suivi à long terme (« monitoring ») des forêts.

En proposant une expertise collective, qui associe des chercheurs, des observatoires opérationnels des écosystèmes forestiers, des gestionnaires et des décideurs, nous espérons nous être collectivement dotés d'un instrument permettant de coupler ces deux approches et de les situer par rapport aux attentes des professionnels et de la société.

### ***Références***

CNES. 2003. Les conséquences de la sécheresse vues de l'espace. Communiqué, CNES Presse septembre 2003, Toulouse, France, 3 pp.

Dhôte J.-F., Hervé J.-C., Houllier F. 2001. Diagnostiquer les changements à long terme de la productivité des chênaies : application de la théorie dendrométrique de la production sur un réseau de placettes permanentes. In E. Malézieux & M. Jaeger (Eds) : Le pilotage des agro-écosystèmes : complémentarités terrain-modélisation et aide à la décision, Hermès, Cirad, pp. 127-141.

Drouineau S., Laroussinie O., Birot Y., Terrasson D., Formery T., Roman-Amat B. 2000a. Forêts et tempête : expertise collective sur les tempêtes, la sensibilité des forêts et sur leur reconstitution. Les Dossiers de l'environnement 20, INRA, Paris, France.

Drouineau S., Laroussinie O., Birot Y., Terrasson D., Formery T., Roman-Amat B. 2000b. Joint evaluation of storms, forest vulnerability and their restoration. Discussion Paper 9, EFI, Joensuu, Finland, 39 pp.

DSF. 2003. Sécheresse et canicule : les conséquences sur les peuplements forestiers. Information Santé des Forêts, 28 août 2003, MAAPAR, DSF, Paris, France, 4 pp.

DSF. 2004. Sécheresse et canicule de l'été 2003 : quelle incidence visuelle sur les peuplements forestiers. Information Santé des Forêts, février 2004, MAAPAR, DSF, Paris, France, 8 pp.

Godard O., Hubert B. 2003. Le développement durable et la recherche scientifique à l'INRA. INRA, Paris, 2003 (<http://www.inra.fr/developpement-durable/rapportOG-BH.htm>).

Landmann G., Breda 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, LV(4) : 299-308.

Rehfuess K.-E., Agren G.I., Andersson F., Cannell M.G.R., Friend A., Hunter I., Kahle H.-P., Prietzel J., Spiecker H. 1999. Relationship between recent changes of growth and

nutrition of Norway spruce, Scots pine, and European beech forests in Europe. Working Paper 19, EFI, Joensuu, Finland, 94 pp.

Schär C., Vidale P.L., Lüthl D., Frei C., Häberli C., Liniger M.A., Appenzeller C. 2004. The role of increasing temperature variability in European summer heatwaves. *Nature*, 427: 332-336.

Spiecker H., Mielikäinen K., Köhl M., Skovsgaard J.P. 1996. Growth trends in European forests. Studies from 12 countries. Springer Verlag, Heidelberg, Germany, 372 pp.

## Conclusions

Bien que la canicule et la sécheresse en Europe aient touché de vastes territoires et aient duré de juin à septembre, les effets observés jusqu'à présent et les impacts à attendre sont assez différents. Ils dépendent de l'emplacement, de l'état de développement des arbres, de l'espèce et de la provenance, de l'histoire des arbres et de leur place dans le peuplement.

Comme il est à craindre que de pareils événements extrêmes se reproduisent de plus en plus à l'avenir, nous avons besoin d'informations, pour diminuer les conséquences directes de la sécheresse 2003 et pour anticiper les événements extrêmes à venir:

Cela nécessite une collaboration étroite entre chercheurs et gestionnaires pour :

1. Identifier le besoin d'information dans la pratique
2. Identifier les déficiences de recherche scientifique

La présente conférence dans la science constitue un premier pas de ce dialogue qui, entre autres, est destiné à renforcer les liens entre ces deux communautés.

Les principales questions à poser sont :

1. Comment peut-on évaluer les risques, écologiques et socio-économiques, liés à la sécheresse et à la canicule ?
2. Quelles sont les conséquences (à court, moyen et long terme) ?

La recherche est sollicitée pour trouver des chemins d'informations au bout desquels se trouvent des réponses qui peuvent être utilisées dans la pratique

A l'issue de cette journée, on peut dire que :

- Le dialogue entre la science et la pratique a démarré.
- Les questions ouvertes ont été identifiées.
- Les premiers pas nécessaires pour initier une recherche solide ont été faits.

Cette conférence a également montré que les effets de la sécheresse et de la canicule varient localement et sont difficiles à prévoir pour les gestionnaires locaux. Pour eux, c'est un défi, qui ne peut être maîtrisé que par de fortes organisations forestières bien formées implantées !

Pour terminer, nous tenons à remercier toutes celles et tous ceux qui ont contribué au succès de cette conférence et nous espérons que la collaboration active que nous avons pu avoir aujourd'hui puisse continuer à se développer dans les mois à venir.

## ***Réponses aux questions écrites***

***Quelles sont les connaissances disponibles sur les capacités de résistance des peuplements à la sécheresse selon leur structure (futaie régulière ou irrégulière) ?***

Je ne connais pas d'étude de bilan hydrique comparant directement et proprement l'intensité du dessèchement du sol sous ces deux types de structure. C'est une question importante trop peu étudiée à mon sens, mais qui demande des mesures écophysiologicals lourdes, sur un thème "qui n'est plus à la mode". Néanmoins, et d'après ce que j'ai expliqué à Strasbourg, deux éléments de réponse peuvent être discutés :

1) Est-ce que l'indice foliaire est comparable dans les deux structures ? La réponse n'est pas générale, car la liaison indice foliaire – structure n'est pas univoque. J'ai publié des chiffres (*Bréda, 1999, Revue Forestière Française, LI-2*) qui montrent que l'indice foliaire en chênaie est plus faible en futaie pure ou futaie sur souche qu'en taillis sous futaie. Cela signifie que la consommation en eau d'un peuplement irrégulier est plus élevée. De plus pour un indice foliaire donné, l'interception est plus forte lorsque les houppiers sont plus disjoints, ce qui est le cas en taillis sous futaie. Tout cela va en sens d'un dessèchement du sol plus sévère sous taillis sous futaie.

2) La seconde piste de réflexion est de considérer le mélange d'essence, avec un taillis d'une ou plusieurs autres espèces. Le dessèchement du sol va-t-il affecter de manière différentielle les espèces ? Ici la réflexion concerne (1) la profondeur d'enracinement de chaque espèce dans chaque position sociale (dominant, codominant, sous étage) et (2) l'écophysiological propre de chaque espèce (modulation de l'efficacité d'utilisation de l'eau, surface foliaire, capacité de régulation stomatique, phénologie décalée...). En ce qui concerne l'impact d'un déficit hydrique entre des individus de même espèce mais de rang social différent, nous avons peu de données, mais ce qui existe montre des résultats contradictoires :

- soit les arbres dominants sont plus "stressés" par la sécheresse : ce résultat s'explique par une plus grande biomasse et surface foliaire, donc une plus forte consommation en eau et un dessèchement local du sol plus sévère.

- soit les individus dominés sont plus "stressés" en condition de sécheresse : on peut alors penser que la profondeur d'extraction d'eau par les racines est limitée et que la "réserve utile" du sol locale est plus faible.

Nathalie Bréda

***Le Pr. Schellnhuber a annoncé dans sa présentation une diminution du puits de carbone des forêts européennes. Comment expliquer cette diminution alors que la surface forestière augmente et que la récolte est inférieure à l'accroissement courant ?***

Il est vrai que la surface forestière actuelle et les activités de reforestation offrent des potentialités de stockage du carbone. Les forêts européennes sont actuellement gérées de telle sorte qu'elles sont en croissance et forment un puits de carbone. Les changements climatiques vont cependant jouer à l'avenir un rôle déterminant. Deux mécanismes principaux devraient jouer et aboutir à la baisse du puits de carbone forestier :

- la respiration du sol va augmenter et probablement dépasser l'augmentation de la production primaire nette (NPP) en zone boréale.
- les stress dus aux sécheresses et les risques accrus d'incendie vont amener à une perte de carbone en zone méditerranéenne.

En résumé, et en tenant compte de la variabilité naturelle, nos résultats impliquent que le puits de carbone européen devrait avoir disparu au milieu du 21<sup>ème</sup> siècle. Tous les scénarios (A1f, A2, B1, B2 emissions, climate by HadCM3, CGCM2, CSIRO2, PCM2) montrent un affaiblissement du puits de carbone par la suite.

***Comment modéliser les changements climatiques à l'échelle régionale ?***

La modélisation climatique est une tâche difficile étant donné que les modèles doivent être plus explicites sur les aspects physiques. Cela signifie – du fait de la petite échelle considérée – que les processus à modéliser sont plus nombreux et cela a des conséquences sur la puissance informatique nécessaire. Toutefois, les modèles régionaux sont construits sur les mêmes bases conceptuelles que les GCM (global circulation model)

Ils sont dirigés par des scénarios globaux calculés par les GCM et entrés sur les points de la grille.

Concernant la performance de ces modèles, des projets de comparaison ont été lancés, comme par exemple le projet ARCMIP (Arctic Model Intercomparison Project) :

<http://cires.colorado.edu/lynch/workshop/>

Les modèles qui sont comparés dans ce projet (REMO, HIRHAM, RegClim) ne sont pas utilisés en zone arctique, mais également pour les régions d'Europe centrale.

Une autre voie pour faire des prévisions à l'échelle régionale est ce que l'on appelle "downscaling". Normalement la grille utilisée dans les GCM est trop lâche pour une application à des prévisions régionales, mais certaines méthodes statistiques permettent d'avoir des résultats à l'échelle régionale.

Pour un exemple, voir le site <http://iri.columbia.edu/climate/research/arcs/>

***Are there ongoing model experiments in France to quantify the carbon fixation on the forest district level? (certification)***

At the national level, D Loustau is coordinating a national project including different approaches of quantification of the C budget of French forest at the ecosystem, region and national level ([www.carbofor.fr.st](http://www.carbofor.fr.st), [loustau@pierroton.inra.fr](mailto:loustau@pierroton.inra.fr)) . 7 French laboratories from CNRS, INRA, Meteo France and CEA participate to the CARBOEUROPE IP, at the European level (contact [agranier@nancy.inra.fr](mailto:agranier@nancy.inra.fr)).

Regarding certification, in southwestern France, the national Forest inventory is involved in a project aiming at the quantification of the Carbone Balance of the atlantic maritime Pine Forest. Contact Antoine Colin: [colin@pierroton.inra.fr](mailto:colin@pierroton.inra.fr) .

***Sécheresse et programme de sélection : B. Chevalier propose de prendre en compte les probables changements climatiques dans les programmes de sélection et d'amélioration ; la réponse "garantir le maximum de diversité génétique" est-elle suffisante ou faut-il aller plus loin et sélectionner dès maintenant des variétés "spécialisées" (dans un contexte non-connu d'évolution au niveau régional) ?***

Les conséquences de l'événement climatique de l'été 2003 sur les arbres forestiers ont été immédiates (jaunissement et perte du feuillage; forte réduction, voire arrêt total de la croissance ; apparition de fente au niveau du tronc, mort de certains arbres) et seront sans doute différées (réduction de la croissance de 2004 ; affaiblissement des arbres qui seront plus vulnérables aux maladies et aux attaques d'insectes, etc.). Du point de vue du sélectionneur, qu'ils soient immédiats ou différés, les effets d'un stress hydrique et surtout thermique comme celui de 2003 constituent un ensemble de caractères complexes à prendre en compte en combinaison avec d'autres facteurs comme la teneur en azote des sols *e.g.*

Les effets physiologiques immédiats de la sécheresse sont étudiés depuis longtemps et sont bien connus. De nombreux travaux ont montré qu'au sein d'une espèce, il existait une variabilité génétique dont le sélectionneur peut tirer parti dans un processus de sélection. Chez le pin maritime et le Peuplier, par exemple, des approches multidisciplinaires (moléculaires, biochimiques, écophysiologicals, etc.) sont conduites actuellement sur une gamme large de génotypes pour préciser les conditions optimales de prise en compte en sélection de l'efficacité de l'utilisation de l'eau : type de caractère, âge et conditions environnementales d'appréciation, efficacité d'une sélection assistée par marqueurs, etc.

Comme tout événement climatique exceptionnel (ex. froids hivernaux de la fin du 19<sup>e</sup> siècle, sécheresse de 1976, tempête de 1999), pour le sélectionneur, l'événement climatique de l'été 2003 constitue une opportunité d'identifier des génotypes remarquables et de préciser les limites de certains autres. Il donne en particulier l'occasion de rappeler l'intérêt que présentent les collections dendrologiques dans l'analyse de l'impact de la sécheresse estivale sur les arbres forestiers. Outre leur rôle de conservatoires de ressources génétiques, ces réseaux constituent certainement un observatoire de choix pour l'étude de la variabilité génétique de la réaction des arbres forestiers à l'accident climatique que nous venons de subir. Il existe de nombreuses collections dendrologiques, implantées ou gérées par différents organismes forestiers (AFOCEL, CEMAGREF, ENGREF, IDF, INRA, ONF, ...) sur l'ensemble du territoire français. Ces collections dendrologiques (au sens large) sont de divers types :

- arboretums (regroupés pour certains d'entre eux dans un réseau coordonné par l'ENGREF Arboretum des Barres), représentatifs de la diversité de la flore forestière tempérée ;
- plantations comparatives de provenances, représentatives de la variabilité naturelle de nombreuses espèces autochtones et exotiques ;
- plantations comparatives de familles et de clones, représentatifs de la diversité génétique intra-population.

La majorité de ces essais a fait l'objet de mesures pendant parfois plusieurs décennies, sur des périodes durant lesquelles ont eu lieu des épisodes climatiques contrastés. Pour un grand nombre des essais gérés par l'INRA, sont disponibles, au niveau individuel, des mesures de phénologie (débourrement végétatif) dont le rapprochement avec la réaction de l'arbre à l'épisode estival 2003 serait riche d'enseignement.

Par ailleurs, le plus souvent, les mêmes génotypes (espèces, provenances, familles, clones) sont plantés dans des sites géographiques multiples et contrastés afin de permettre de mieux différencier les effets génétiques et environnementaux dans la variabilité observée.

Les domaines d'application des observations à faire dans les collections dendrologiques françaises sont multiples :

- préciser la variabilité génétique à différents niveaux (intra / inter population) des espèces forestières (il faudra faire des priorités) vis à vis d'un stress hydrique et thermique sans précédent et généralisé sur le territoire national ;

- confirmer la validité des recommandations en vigueur en matière de choix de provenances, vergers à graines, clones, etc. ;

- Identifier des prédicteurs de tolérance au stress par le rapprochement de la réaction des génotypes avec des mesures prises antérieurement ou des appréciations rétrospectives du comportement de l'arbre comme par exemple l'analyse fine du bois formé.

Quels enseignements le sélectionneur peut-il déjà tirer de l'événement climatique de l'été 2003?

Au premier niveau se trouve le choix de l'espèce. Les dépérissements abondamment observés sur Douglas ou sur Chêne à la fin de l'été 2003 rappèlent, de manière un peu brutale, que la "plasticité" de ces espèces a des limites (ex : Chêne pédonculé, Douglas, Epicéa) et qu'il conviendrait, au cas par cas, de revisiter les notions de station forestière et d'autécologie des espèces.

En second lieu, il paraît déraisonnable de susciter sans réserve l'utilisation d'autres sources de graines que celles recommandées actuellement, comme par exemple des provenances plus méridionales. Pour le douglas, par exemple, il a été démontré que les provenances côtières méridionales (sud Oregon, Californie), sont très sensibles aux gelées de printemps du fait de la précocité de leur débournement végétatif. Certes, par ailleurs, certaines provenances de l'intérieur de l'aire (Montana, Idaho, Utah, Colorado) se sont avérées tolérantes à des conditions extrêmes (altitude, sécheresse estivale dans le sud de la France) mais, en contre partie, elles manifestent une croissance très faible et surtout une très grande sensibilité aux rouilles foliaires.

Que penser des variétés issues des vergers à graines de l'état pour les espèces faisant l'objet de repeuplements artificiels? Ces vergers ont été constitués à partir de sélections de génotypes (clones, familles) combinant des informations aux niveaux "population" et "individu" pour un ensemble de caractères (survie, croissance, architecture, propriétés du bois). Ces évaluations ont le plus souvent été réalisées dans des réseaux multistationnels, représentatifs des zones traditionnelles d'utilisation des espèces. Ces vergers sont composés d'un nombre très élevé de génotypes ; parfois plusieurs centaines. Cette diversité génétique devrait être garante a priori d'une certaine plasticité dans une gamme large de contextes pédo-climatiques. Des tests ont été implantés dans de nombreux sites en France pour précisément connaître la capacité des matériels forestiers de reproduction issus de ces vergers à tolérer des épisodes climatiques exceptionnels comme celui de l'été 2003.

Enfin, pour la plupart des espèces faisant l'objet d'un programme d'amélioration à moyen et long terme, des populations de base, constituées de centaines de clones et des familles ont été rassemblées et sont en cours de test dans des réseaux multi-locaux. Pour le sélectionneur, l'événement climatique de l'été 2003 constitue une opportunité remarquable d'évaluer la réaction de ces génotypes et la stabilité dans l'espace de cette dernière pour incorporer ce caractère adaptatif dans le processus d'amélioration.

*Jean-Charles Bastien*<sup>9</sup>  
Orléans le 24 mai 2004

---

<sup>9</sup> INRA Centre d'Orléans - UR Amélioration, Génétique et Physiologie Forestières – Avenue de la Pomme de Pin, BP 20619 - F-45166 Olivet Cedex - France. Jean-Charles.Bastien@orleans.inra.fr

### ***Quelles sont les conséquences de la sécheresse sur les populations animales et végétales ?***

L'une des conséquences de la sécheresse/canicule 2003 a été la défoliation prématurée des forêts ainsi que le dépérissement de jeunes plantations : on peut donc légitimement se poser la question de l'impact de tels événements sur la biodiversité forestière, alors même que les climatologues nous annoncent que nous rencontrerons de telles sécheresses avec une fréquence et une intensité accrues dans le futur.

Pourtant, peu d'études ont porté sur l'impact des sécheresses et des épisodes de canicule sur la biodiversité forestière : la plupart des études portent sur des écosystèmes arides et/ou à végétation herbacée. Par ailleurs, si de nombreux travaux se sont appuyés sur une démarche expérimentale en contrôlant l'intensité et la durée des épisodes de sécheresse/canicule sur des communautés souvent réduites en taille et/ou simplifiées, nous disposons en revanche de peu d'études basées sur des observations lors de sécheresses naturelles. Enfin, certains groupes taxonomiques ont été relativement bien étudiés (par exemple, les végétaux et notamment les ligneux), d'autres nettement moins (par exemple, les insectes non-pathogènes). Il convient donc d'être prudent dans l'extrapolation de ces résultats à la biodiversité forestière dans son ensemble.

Les mécanismes biologiques qui permettent au vivant de faire face aux sécheresses et aux températures extrêmes sont bien connus et peuvent être rangés en deux catégories, les mécanismes qui permettent à l'organisme d'éviter le stress et ceux qui lui permettent de résister au stress. La chaleur va accentuer l'impact de la sécheresse en obligeant les organismes à réguler leur température en particulier en perdant de l'eau, alors même que cette eau fait défaut. Chez les plantes, la sécheresse et la chaleur induisent un stress osmotique, des attaques oxydatives et une dégradation des membranes cellulaires. Les plantes généralement évitent ces stress en fermant leur stomates, en perdant leur feuilles et en cherchant à s'enraciner profondément dans le sol. Par ailleurs, elles peuvent également résister à ces stress en produisant des composés qui vont réduire le stress osmotique, les attaques oxydatives et les dégradations cellulaires. Chez les animaux, les processus qui permettent d'éviter la sécheresse/canicule sont d'ordre comportementaux, en recherchant l'ombrage et les zones moins sèches. Le principal mécanisme de résistance concerne la thermorégulation (lorsqu'elle est possible), à travers la transpiration, la vasoconstriction sanguine, la limitation du métabolisme et de la respiration. Ces mécanismes de défense ont des conséquences qui vont évidemment varier d'un organisme à l'autre, d'une espèce à l'autre et probablement d'un écosystème à l'autre. Les conséquences ne seront pas nécessairement les mêmes à court, moyen et long-terme, selon que la résilience (c'est-à-dire la capacité d'un organisme, d'une espèce ou d'un écosystème à revenir à son état initial avant sécheresse) sera forte ou faible.

La conséquence la plus générale des sécheresses/canicules est la diminution de la productivité des espèces/écosystèmes (la fermeture des stomates diminue la photosynthèse et donc la production de composés organiques nécessaire à la croissance et à la mise en réserve pour l'année suivante), qui à l'extrême peut conduire à des épisodes de forte mortalité et des crashes de populations entières. En particulier, les plantes/animaux les plus jeunes et les plus vieux sont les premiers touchés, de même que les populations situées en limite de distribution ou de tolérance (stationnelle par exemple). Les espèces qui tolèrent le mieux ces épisodes de stress sont généralement des espèces (i) rudérales (par opposition aux espèces compétitrices), (ii) liées aux habitats chauds et/ou secs, (iii) à reproduction rapide (par exemple, plantes annuelles par opposition aux plantes vivaces) ou à forte mobilité. Pour les plantes, un enracinement profond et, parmi les espèces vivaces, des organes de réserve souterrains permettent une meilleure résistance à la sécheresse. Ces tendances ne s'observent pas toujours lors de sécheresses naturelles : par exemple de nombreux insectes ne sont pas affectés, certains même sont favorisés par les sécheresses.

Les épisodes de sécheresse/canicules ont également des effets indirects sur la biodiversité, en interaction avec d'autres facteurs abiotiques ou en agissant sur des interactions biotiques. En particulier, la sécheresse et la chaleur peuvent augmenter la toxicité des pesticides et des engrais ; ils augmentent considérablement le risque et l'étendue des incendies forestiers, par l'accumulation et l'assèchement de la litière. Par ailleurs, les organismes stressés deviennent plus sensibles aux maladies et aux pathogènes de toutes sortes ; la compétition inter-spécifique peut devenir exacerbée ; la perturbation pourrait également favoriser l'implantation d'espèces exotiques interactions. Les arbres affaiblis par un épisode de sécheresse peuvent mettre plusieurs années avant de retrouver une croissance normale, certains ne récupèrent jamais une croissance normale. Il en découle que les communautés d'après sécheresse peuvent être très sensiblement différentes des communautés initiales.

Ces réponses à court terme ne préfigurent pas nécessairement de l'impact à moyen et à long terme des épisodes de sécheresse. Par exemple, la forte mortalité provoquée par la sécheresse (qui conduit souvent à une diminution de la richesse spécifique locale à court terme) peut permettre l'installation (même temporaire, jusqu'à un nouvel épisode de sécheresse) d'espèces peu compétitrices mais supportant la sécheresse et ainsi augmenter la richesse spécifique à moyen terme. Par ailleurs, résistance (impact à court terme) et résilience (impact à moyen et long terme) sont généralement négativement corrélées : les organismes qui auront relativement peu souffert auront cependant du mal à revenir à leur état initial, tandis qu'à l'inverse, les organismes durement touchés auront plus de facilités à revenir à leur état initial.

Les changements de composition des communautés auront probablement des conséquences durables sur le fonctionnement des écosystèmes forestiers (et réciproquement). Mais ces conséquences sont difficilement prévisibles dans le détail, elles dépendent en particulier de l'éventuelle redondance fonctionnelle des espèces d'une même guildes. On constate cependant généralement une moindre stabilité des écosystèmes dans les communautés appauvries ou perturbées.

De telles sécheresses, si elles devenaient plus fréquentes, auront probablement des répercussions importantes sur les espèces végétales et animales : on peut s'attendre à ce que les espèces méridionales, plus coutumières de ces conditions extrêmes, augmentent en abondance au détriment des espèces septentrionales. La sélection des génotypes les plus tolérants à la sécheresse pourrait également induire une réponse adaptative de nombreuses espèces. Cependant, il existe des contraintes phylogénétiques (la plupart des espèces semblent avoir gardé les mêmes exigences climatiques depuis des millénaires), physiologiques (il existe des compromis physiologiques entre capacité de dispersion et fécondité, entre fécondité et survie, entre résistance au stress et résilience, etc.), tandis que la migration entre populations soumises à des sécheresses de fréquence, de durée ou d'intensité variables pourrait empêcher la mise en place d'adaptations locales.

Dans cette perspective à long terme, il convient de relier l'augmentation de fréquence des sécheresses aux autres changements globaux. Le dioxyde de carbone par exemple devrait réduire les conséquences négatives des sécheresses sur les plantes en diminuant leurs besoins en eau ; il diminue en même temps la valeur nutritionnelle des feuilles, ce qui pourrait avoir des conséquences sur les herbivores qui consomment ces feuilles. Les sécheresses pourraient accentuer les effets du réchauffement climatique moyen constatés sur les aires de distribution et la phénologie des organismes (floraison pour les plantes ; ponte, arrivée et départ en migration chez les oiseaux ; émergence et migration chez les insectes) ou au contraire en contrecarrer les effets (par exemple, le réchauffement moyen semble responsable de l'augmentation actuelle de la productivité des forêts tempérées ; des sécheresses répétées pourraient contrebalancer cette tendance). De mauvaises pratiques

sylvicoles rendent parfois les écosystèmes forestiers très vulnérables à ce genre d'aléas climatiques (cas des plantations d'espèces en limite stationnelle). A plus large échelle, la fragmentation des habitats forestiers peut considérablement réduire la taille des populations des espèces végétales et animales, ainsi que leur variabilité génétique, et les rendre ainsi plus vulnérables aux sécheresses, comme aux autres perturbations naturelles. Les options de mitigation visant à limiter l'impact des sécheresses sur les peuplements forestiers – plantations d'espèces ou de génotypes résistant à la sécheresse, sylviculture plus dynamique réduisant l'indice de surface foliaire, raccourcissement de la durée de rotation- auront des répercussions sur la biodiversité, qui pourraient dans certains cas s'avérer plus importantes que la sécheresse elle-même.

Il est ainsi très difficile de prévoir la réaction des communautés végétales et animales à ces changements globaux, tant du fait de la complexité des relations qui relient les espèces à leur environnement, qu'aux relations qu'elles entretiennent entre elles et qu'à leur importance éventuelle dans le fonctionnement des écosystèmes forestiers. La faune et la flore actuelles sont passées au travers de grandes crises climatiques au cours du Pléistocène : on peut raisonnablement penser que de nombreux taxons feront face à celle-ci soit par un ajustement de leur aire de distribution, soit par une réponse adaptative. Cependant, le contexte actuel semble sans précédent parce qu'il combine de nombreux facteurs aggravants (changement climatique très rapide, changement des habitats, pollutions diverses, introduction d'espèces exotiques) : il est tout aussi raisonnable de penser que ces changements globaux, dont les épisodes sécheresses et de canicule, seront responsables de la disparition de nombreux taxa. A plus court terme, on peut penser que l'on assistera progressivement à des changements graduels des communautés forestières en faveur de taxa résistant bien à la sécheresse.

De nombreuses questions demeurent en suspens : la complexité des facteurs qui contrôlent le niveau des populations rend-elle illusoire toute tentative de prévision de la réponse de la biodiversité à des sécheresses comme celle de 2003 ? Peut-on au contraire résumer cette réponse à l'échelle spécifique ou de groupes fonctionnels grâce à quelques traits écologiques, fonctionnels ou démographiques ? Dans cette optique, les espèces forestières sont-elles plutôt résistantes ou sensibles à la sécheresse ? Quelle est leur plasticité adaptative (la capacité d'un organisme à supporter de telles conditions) et leur potentiel adaptatif (la capacité d'une population à adapter son patrimoine génétique par le biais de la sélection naturelle) ? La fréquence, de l'intensité et de la durée d'une sécheresse ont des effets sur la biodiversité mais quelle est l'importance respective de ces effets (la biodiversité souffrirait-elle plus de sécheresses de magnitude moyenne répétées que de sécheresses intenses mais rares) ? Peut-on raisonnablement prévoir les changements futur des ces trois paramètres ?

Bref, il est nécessaire de développer des approches modélisatrices capables d'intégrer les résultats d'études expérimentales variées dans le but de générer des scénarios de réponse de la biodiversité à ces aléas climatiques. Ces scénarios devront alors être confrontés à des observations à long terme d'écosystèmes forestiers. Ces opérations de monitoring seront non seulement nécessaires pour valider les hypothèses soulevées par les études expérimentales et de modélisation mais pourront également générer de nouvelles questions. Cette recherche devra être en mesure à moyen terme de fournir aux gestionnaires des indicateurs de sensibilité de la biodiversité forestière à la sécheresse et de leur proposer une sylviculture limitant les risques d'impact des sécheresses sur les peuplements forestiers et intégrant la biodiversité.

*Frédéric Archaux  
Cemagref*

## ***Participants***

Frédéric ARCHAUX  
Ingénieur-chercheur  
CEMAGREF  
Domaine des Barres  
45290 NOGENT SUR VERNISSON  
tel : 02-38-95-66-79 fax : 02-38-95-03-44  
frederic.archaux@cemagref.fr

Nathalie BARBE  
Directeur Régional  
DRAF Lorraine  
4 rue Wilson  
57046 METZ Cedex

Raimund BECHER  
BAYER STMELF

Jérôme BOCK  
ONF  
Direction Territoriale  
5 rue Girardet, CS 5219  
54052 NANCY Cedex  
tél : fax : 03 83 23 45 00  
jerome.bock@onf.fr

Béatrice BULOU  
Chef de Service Agriculture et Forêts  
REGION ALSACE  
35 avenue de la Paix BP 1006/F  
67070 STRASBOURG CEDEX  
tél : 03-88-15-69-16 fax : 03-88-1569-19  
beatrice.bulou@region-alsace.fr

Catherine CLUZEAU  
Adjointe  
INVENTAIRE FORESTIER NATIONAL  
14, rue Girardet CS 4216  
54042 NANCY  
tel : 03-83-30-99-33 fax : 03-83-30-99-37  
cluzeau@nancy.ifn.fr

Stéphane ASAËL  
CRPF  
Lorraine-Alsace  
41, avenue du Général de Gaulle  
57050 LE BAN SAINT MARTIN  
tel : 03-87-31-18-42 fax : 03-87-30-66-36  
crpfla@francecom.net

Yves BASTIEN  
Professeur de Sylviculture  
ENGREF  
14 rue Girardet  
54042 NANCY  
tél. : 03 83 39 68 72 fax :  
bastien@engref.fr

Wolfgang BECK  
BFH

Hebert BORCHERT  
LWF-BWI

François CHARNET  
I.D.F.  
Antenne de Rennes  
Immeuble le Zéphir 8, rue du 7e Régiment  
d'Artillerie  
35000 RENNES  
tel : 02-99-65-39-65 fax : 02-99-65-39-60  
Fcharnet@association-idf.com

Jean-Pierre COGNET  
Directeur Régional  
CRPF Bourgogne  
18, Bld Eugène Spuller BP 106  
21003 DIJON Cedex  
tel : 03 80 53 10 00 fax : 03 80 53 10 09  
bourgogne@crpf.fr

Cécile COLI  
Ingénieur coordinateur Alsace Santé des  
Forêts  
ONF  
Service d'Appui Technique  
Cité administrative 14, rue du Mal Juin  
67084 STRASBOURG Cedex  
tél : 03-88-76-76-47 fax : 03-88-76-81-49  
cecile.coli@onf.fr

Jean-Baptiste DAUBREE  
DDAF Puy-de-Dôme  
Site de Marmilhat BP43  
63370 LEMPDES  
tel : 04-73-42-15-33 fax : 04-73-42-16-70  
Jean-  
Baptiste.DAUBREE@agriculture.gouv.fr

Michel DESHAYES  
TELEDETECTION ET  
FORETS/VEGETATION  
UMR Structures et Systèmes Spatiaux  
Maison de la Télédétection  
500 rue JF Breton  
34093 MONTPELLIER CEDEX 5  
tel. 04-67-54-87-51 fax 04-67-54-87-54  
deshayes@teledetection.fr

Jean-Luc DUNOYER  
ONF  
12, avenue de St Mandé  
75570 PARIS Cedex 12  
tél : 01-40-19-58-47 fax : 01-40-19-78-13  
jean-luc.dunoyer@onf.fr

Harald EGIDI  
Referent  
Ministerium für Umwelt und Forsten  
Rheinland-Pfalz

Friedrich ENGELS  
FAWF

Stéphane COUTURE  
Chargé de Recherche  
LEF UMR ENGREF/INRA  
14, rue Girardet  
54042 NANCY Cedex  
tél : 03-83-39-68-60 fax : 03-83-37-06-45  
couture@nancy-engref.inra.fr

Thérèse DAUPHIN  
Responsable Service Technique et  
Commercial  
ONF  
36, rue St Blaise  
61000 ALENCON  
tel : 02-33-82-55-04 fax : 02-33-32-20-69  
therese.dauphin@onf.fr

Marie-Laure DESPREZ-LOUSTAU  
INRA Centre de recherche de Bordeaux  
UMR BIOGECO BP 81  
33883 VILLENAVE D'ORNON  
tel : 05-57-12-26-47 fax : 05-57-12-26-21  
loustau@bordeaux.inra.fr

Lutz ECKARDT  
Referatsleiter Walbau/Waldschutz

Eberhard EISENBARTH  
SGD SÜD

Marie-Reine FLEISCH  
Directrice Déléguée  
ENGREF  
Arboretum National des Barres  
Domaine des Barres  
45290 NOGENT SUR VERNISSON  
tel : 02-38-95-02-71 fax : 02-38-95-02-78  
fleisch@engref.fr

Karl GARTNER  
BFW

Christian GINISTY  
Ingénieur  
CEMAGREF  
Domaine des Barres  
45260 NOGENT SUR VERNISSON  
tel : 02-38-95-03-47 fax : 02-38-95-03-46  
christian.ginisty@cemagref.fr

Fritz-Eberhard GRIESINGER  
Forstpräsident

Nancy HOFER  
I.W.W.

Armin JACOB  
FORSTDIREKTION FREIBURG

Hervé JEANJEAN  
CNES  
Direction des Programmes Observation de  
la Terre  
18 avenue Edouard Belin  
31401 TOULOUSE  
tel : 05 61 28 32 76 fax : 05 61 28 34 21  
herve.jeanjean@cnes.fr

Joachim LANGSHAUSEN  
Referent  
Ministerium für Umwelt und Forsten  
Rheinland-Pfalz  
Kaiser Friedrich Strasse 1

Pierre GELDREICH  
Responsable Service d'Appui Technique  
ONF  
Cité administrative 14, rue du Mal Juin  
67084 STRASBOURG Cedex  
tél : 03-88-76-81-48 fax : 03-88-76-76-47  
pierre.geldreich@onf.fr

Christoph GÖCKEL  
FORSTDIREKTION FREIBURG

Anton HAMMER  
DEUTSCHER FORSTVEREIN E.V.

Lisette IBANEZ  
Chercheur  
LEF UMR ENGREF/INRA  
14, rue Girardet  
54042 NANCY Cedex  
tel : 03-83--39-68-64 fax : 03-83-37-06-45  
ibanez@nancy-engref.inra.fr

Juergen KROPP  
Potsdam Institute for Climate Impact  
Research

Norbert KRAÜCHI  
W.S.L.  
Von-Eidg. Forsch. Anst.Zücherstrasse 111  
CH-8903 BIRMENS DORF  
tel : 41-1-739-25-95 fax : 41-1-739-22-15  
kraeuchi@wsl.ch

Raphaël LAUTH  
Chargé d'Etude  
REGION ALSACE  
35 avenue de la Paix BP 1006/F  
67070 STRASBOURG CEDEX  
tél : 03-88-15-69-16 fax : 03-88-1569-19  
raphaël.lauth@region-alsace.fr

Jean-Michel LETZ  
ONF  
13, rue Pasteur  
88110 RAON-L'ETAPE  
tel : 03-29-41-43-60 fax : 03-29-51-06-95  
jean-michel.letz@onf.fr

Helmut MAYER  
Head of  
METEOROLOGICAL INSTITUTE  
University of Freiburg

Daniel MICHAUD  
AFOCEL  
Centre Ouest  
Les Vaseix  
87430 VERNEUIL SUR VIENNE  
tel : 05 -55 48-48-10 fax : 05-55-48-48-19  
daniel.michaud@afocel.fr

Nathalie MIONETTO  
Directeur  
AFOCEL  
60, route de Bonnencontre - Charrey sur  
Saône  
21170 SAINT-JEAN DE LOSNE  
tel : 03-80-36-36-20 fax : 03-80-36-36-44  
nordest@afocel.fr

Anders MARELL  
Ingénieur Forestier  
GIP ECOFOR  
6 rue du Général Clergerie  
75116 PARIS  
Tel. 01 53 70 21 77 fax 01 53 70 2154  
marell@gip-ecofor.org

Louis-Michel NAGELEISEN  
Ingénieur spécialisé  
Département de la Santé des Forêts  
Domaine de Pixérécourt  
54220 MALZEVILLE  
tel : 03-83-30-01-41 fax : 03-83-30-70-52  
nancy.dsf@wanadoo.fr

Béatrice LONGECHAL  
Responsable Service gestion durable de  
l'Agence  
ONF  
Agence de Saverne  
12 Côte de Weinbourg, BP 37  
67340 INGWILLER  
tél : 03 88 89 54 29 34 fax : 03 88 89 54 43  
beatrice.longechal@onf.fr

Patrice MENGIN-LECREULX  
Dépt Recherche et Développement  
ONF  
Bld de Constance  
77300 FONTAINBLEAU  
tel : 01-60-74-92-26 fax : 01-64-22-49-73  
patrice.mengin-lecreulx@onf.fr

Regis MICHON  
Directeur Territorial  
ONF Alsace  
14, rue Maréchal Juin  
67084 STRASBOURG Cedex  
tel : 03-88-76-76-40 fax : 03-88-76-76-50  
regis.michon@onf.fr

Frédéric MORTIER  
ONF  
12, avenue de St Mandé  
75570 PARIS CEDEX 12  
tel : 01-40-19-58-47 fax : 01-40-19-78-13  
frederic.mortier@onf.fr

Maurice MULLER  
Chef du Programme GICC  
MEDD  
DEEEE/SRP  
20, avenue de Ségur  
75302 PARIS 07 SP  
tel : 01 42 19 17 52 fax :  
maurice.muller@environnement.gouv.fr

Mathias NIESAR  
NRW

Stefan NÜSSLEIN  
DFWR

Max PENNEROUX  
Directeur Général Adjoint  
SOCIETE FORESTIERE  
DE LA CAISSE DES DEPOTS ET  
CONSIGNATIONS  
102, rue de Réaumur  
75002 PARIS  
tél : 01-40-39-81-27 fax : 01-40-39-81-52  
direction.technique@forestiere-cdc.fr

Stephan RASPE  
BLWF

Jean-Louis RENAUD  
Directeur Agence de Colmar  
Office National des Forêts  
22, rue Henlisheim  
68000 COLMAR  
tél : 03-89-22-96-10 fax : 03-89-22-38-48  
jean-louis.renaud@onf.fr

Bernard REY  
Directeur Général  
ONF  
12, avenue de St Mandé  
75570 PARIS CEDEX 12  
tél : 01-40-19-58-47 fax : 01-40-19-78-13  
bernard.rey@onf.fr

Céline SCHEID  
ONF  
Direction Territoriale  
CS 5219  
5 rue Girardet  
54052 NANCY Cedex  
tel : 03 83 23 45 00 fax : 03 83 23 38 10  
celine.scheid@onf.fr

Gerhard OBERGFELL  
Abteilungsleiter Waldbau  
FORSTDIREKTION Tübingen  
Schloss Bebenhausen  
D-72074 TÜBINGEN  
tel : 49-7071-602-271 fax : 49-7071-602-602  
gerhard.obergfell@forst.bwl.de

Jean-Luc PEYRON  
Directeur  
LEF UMR ENGREF/INRA  
14, rue Girardet  
54042 NANCY Cedex  
tél : 03-83-39-68-68 fax : 03-83-37-06-45  
peyron@engref.fr

Martine REBETEZ  
Long-term Forest Ecosystem Research  
W.S.L.  
Antenne romandec/o EPFL Case Postale 96  
CH-1015 LAUSANNE  
tél : 41-21-693-3938/05 (sec.) fax : 41-21-693-3913  
martine.rebetez@wsl.ch

Heinz RENNENBERG  
Institut für Forstbotanik ulnd  
Baumphysiologie

Régis ROLLAND  
Président du Groupe des Reboiseurs  
UNEP  
10, rue St Marc  
75002 PARIS  
tel : 04-42-58-53-83 fax : 04-42-58-53-92  
edea.rolland@wanadoo.fr

Johannes SCHIMA  
BMLF  
Maxergasse 2  
A-1030 WIEN  
tel : 43-1-71100-7206 fax : 43-1-71100-7399  
johannes.schima@lebensministerium.at

Dirk SCHINDLER  
Researcher  
METEOROLOGICAL INSTITUTE  
University of Freiburg

George STOLL  
Directeur D'Agence  
ONF  
2, route de Schirrhein - BP 112  
67502 HAGUENAU Cedex  
tel : 03-88-73-76-01 fax : 03-88-73-53-60  
georges.stoll@onf.fr

Tillmann von der KALL  
FORSTDIREKTION TÜBINGEN

Henning von KANITZ  
Präsident  
DEUTSCHER FORSTVEREIN E.V.

Klaus von WILPERT  
Abteilungsleiter Bodenkunde  
FVA

Alfred WULF  
Direktor  
Institut für Pflanzenschutz Forst

Wolfram ZIMMECK  
DEUTSCHER FORSTVEREIN E.V.

Denis STAUFFER  
ONF  
Direction Territoriale  
CS 5219 - 5 rue Girardet  
54052 NANCY Cedex  
tel : 03 83 23 45 00 fax : 03 83 23 38 10  
denis.stauffer@onf.fr

Gérard TENDRON  
Président 4e Section Nature - Forêt - Bois  
CONSEIL GENERAL DU GREF  
251, rue de Vaugirard  
75732 PARIS CEDEX 15  
tel : 01-49-55-56-84 fax : 01-49-55-56-01  
gerard.tendron@agriculture.gouv.fr

Helge von GILSA  
MINISTERIUM FÜR ERNÄHRUNG UND  
LÄNDLICHEN RAUM BADEN-  
WÜRTTEMBERG

Hans-Eberhard von TÜRCKHEIM  
FORSTDIREKTION FREIBURG

Georg Joseph WILHEM  
LANDESFORSTEN RHEINLAND-PFALZ

Etienne ZAHND  
Directeur Agence Mulhouse  
ONF  
21, rue de l'Est BP 1497  
68072 MULHOUSE  
tél : 03-89-46-03-28 fax : 03-89-66-34-54  
etienne.zahnd@onf.fr

## ***Intervenants et organisateurs***

Michel BADRE  
GIP ECOFOR  
6, rue du Général Clergerie - 75116 PARIS  
Tel 01-42-19-13-50 fax 01-53-70-21 54 -  
michel.badre@environnement.gouv.fr

Bernard CHEVALIER  
MAAPAR  
19 avenue du Maine - 75732 PARIS  
CEDEX 15  
Tel. 01-49-55-56-85 -  
Bernard.Chevalier@agriculture.gouv.fr

Werner ERB  
Ministerium für Ernährung  
und Ländlichen Raum  
Baden-Württemberg - D-70029  
STUTTGART  
Tel. 49-711-126-2114 fax 49-711-126-  
2904- werner.erb@mlr.bwl.de ou  
Lieselotte.Ernst@mlr.bwl.de

Thomas FORMERY  
CNPPF  
47, rue de Chaillot  
75116 PARIS  
Tel. 01-47-20-68-15 fax 01-47-23-49-20 -  
cnppf@crpf.fr

Natalié HUFNAGL  
CEPF BRUSSELS  
Tel 32 2 219 0231 Fax 32 2 219 2191 -  
hufnagl@cepf-eu.org

Marie-Hélène LAGARRIGUE  
GIP ECOFOR, 6 rue du Général Clergerie  
75116 Paris  
Tél. : 01 53 70 21 70  
secretariat@gip-ecofor.org

Nathalie BREDA  
INRA -UMR EEF  
Centre de recherche de Nancy - 54280  
CHAMPENOUX  
Tel 03-83-39-40-48 fax 03-83-39-40-22 -  
breda@nancy.inra.fr

Erwin DREYER  
INRA  
UMR Ecologie et Ecophysiologie Forestière  
54280 CHAMPENOUX  
dreyer@nancy.inra.fr

Jean-Luc FLOT  
MAAPAR - DSF  
19, avenue du Maine  
75732 PARIS CEDEX 15  
Tel. 01-49-55-51-95 Fax 01-49-55-57-67 -  
jean-luc.flot@agriculture.gouv.fr

François HOULLIER  
Chef de département EFPA  
INRA  
c/o Cirad, Bld de la Lironde TA 40 / PS2  
34398 MONTPELLIER CEDEX 5  
Tel. 04-67-61-65-79 fax 04-67-61-56-68 -  
francois.houllier@cirad.fr

Hans-Peter KAHLE  
Universität Freiburg  
Institut für Waldwachstum  
Tennenbacherstrasse 4 - D-79085  
FREIBURG  
Tel. 49-761-203-3739 fax 49-761-203-3740  
- Hans-Peter.Kahle@inn.univ-freiburg.de

Sandrine LANDEAU  
GIP ECOFOR, 6 rue du Général Clergerie  
75116 Paris  
Tél. : 01 53 70 21 87  
landeau@gip-ecofor.org

Guy LANDMANN  
Chargé de Mission  
GIP ECOFOR, 6, rue du Général Clergerie,  
75116 Paris  
Tel. 01-53-70-21-41 fax 01-53-70-21-54 -  
landmann@gip-ecofor.org

Mme Pia MATTMÜLLER  
FVA  
Wonnhalde Strasse 4  
D-79100 FREIBURG  
Tel 49-761-4018-101 fax 49-761-4018-333  
pia.mattmueller@forst.bwl.de

Hans-Joachim SCHELLNHUBER  
Postdam Institut für Klimafolgenforschung  
(PIK)  
schellnhuber@pik-postdam.de ou  
kropp@pik-postdam.de

Ute SEELING  
AGDW  
Arbeitsgemeinschaft Deutscher  
WaldBesitzerverbände e.v. 10117 Berlin  
Reinhardtstr. 18  
eMail: info@waldbesitzerverbaende.de

M. Heinrich SPIECKER  
IWW  
Tennenbacherstrasse 4 - D-79085  
FREIBURG  
Tel. 49-761-203-3736 fax 49-761-203-3736-  
instww@uni-freiburg.de

Martin STRITTMATTER  
Ministerium für Ernährung  
und Ländlichen Raum - STUTTGART  
Martin.Strittmatter@mlr.bwl.de

M. Fridolin WANGLER  
Landsforstpräsident Baden-Württemberg-  
STUTTGART  
Fridolin.Wangler@mlr.bwl.de

Kaisu MAKKONEN-SPIECKER  
Kybfelsenstr. 52  
D-79100 FREIBURG  
Kaisu.Makkonen-Spiecker@iww.uni-  
freiburg.de

Bernard ROMAN AMAT  
ONF, Direction Territoriale Lorraine  
5, rue Girardet CS 5219 - 54052 NANCY  
Cedex  
Tel 03-83-17-74-01 fax 03-83-32-09-89 -  
Dt.lorraine@onf.fr

M. Hansjochen SCHRÖTER  
F.V.A.  
Wonnhalde Strasse 4  
D-79100 FREIBURG  
Tel 49-761-40-18-219 fax 49-761-4018-333  
hansjochen.schroeter@forst.bwl.de

Hermann SPELLMANN  
Niedersächsische Forstliche Versuchsanstalt  
GÖTTINGEN -  
hermann.spellmann@nfv.gwdg.de

Mme Marianne STADLER  
Universität Freiburg  
Institut für Waldwachstum  
Tennenbacherstrasse 4  
D-79085 FREIBURG  
49-761-203-8562  
49-761-203-3740  
Marianne.Stadler@iww.ini-freiburg.de

Konstantin von TEUFFEL  
F.V.A.  
Wonnhalde Strasse 4 - D-79100 FREIBURG  
Tel. 49-761-4018-100 fax 49-761-4018-355  
- konstantin.teuffel@bwl.forst.de