



# La forêt face au changement climatique

**Adapter la gestion forestière**

Synthèse de l'atelier ONF/INRA  
du 20 octobre 2005

*Myriam LEGAY - Frédéric MORTIER*

N° 16 - JUIN 2006 - 2<sup>ème</sup> édition

OFFICE NATIONAL DES FORÊTS  
INSTITUT NATIONAL DE LA RECHERCHE AGRONOMIQUE

**OFFICE NATIONAL DES FORÊTS**

*La forêt face au changement climatique : adapter la gestion forestière - Collection dossiers forestiers, n°16, juin 2006*

ISBN : 2-84207-311-8

**Direction de la collection : Jacques Valeix, directeur technique et commercial bois**

**Coordination de la rédaction, de l'édition et des corrections : Myriam Legay, Frédéric Mortier**

**Collection créée par : Geneviève Rey**

Mise en page : Jacques Salvador

Maquette de couverture : Cavin & Boitier

Imprimé en France (Imprimerie ONF de Fontainebleau)

---

Toute reproduction ou représentation intégrale ou partielle, par quelque procédé que ce soit, des pages publiées dans le présent ouvrage, faite sans autorisation de l'éditeur, est illicite et constitue une contrefaçon. Seules sont autorisées, d'une part, les reproductions strictement réservées à l'usage privé du copiste et non destinées à une utilisation collective et, d'autre part, les analyses et courtes citations justifiées par le caractère scientifique ou d'information de l'œuvre dans laquelle elles sont incorporées (loi du 1er juillet 1992 - art. 40 et 41 et Code pénal - art. 425).

# **LA FORÊT FACE AU CHANGEMENT CLIMATIQUE : ADAPTER LA GESTION FORESTIÈRE**

**Prise en compte dans les documents d'orientation de la gestion forestière  
Synthèse de l'atelier ONF/INRA du 20 octobre 2005**

**Myriam LEGAY\* Frédéric MORTIER\*\***

\*Ingénieur du GREF, Interface INRA/ONF “changement climatique”  
Unité écologie et écophysologie forestière, équipe phytoécologie  
INRA Nancy 54280 Champenoux

\*\*Ingénieur du GREF, chef de la mission aménagement-sylviculture  
ONF, direction technique  
2, avenue de Saint-Mandé 75570 Paris cedex 12

**LES DOSSIERS FORESTIERS n°16**

**juin 2006 - 2<sup>ème</sup> édition**

---

Édité par l'**Office national des forêts**  
2, avenue de Saint-Mandé - F - 75570 Paris cedex 12  
[www.onf.fr](http://www.onf.fr)

## LE MOT DE LA RÉDACTION

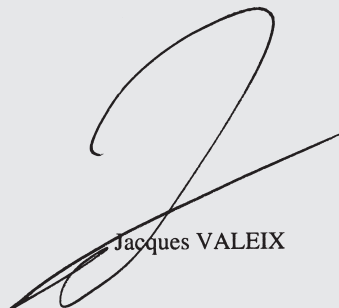
En septembre 2004, les premières communications des résultats du programme de recherche « CARBOFOR » apportent une traduction concrète aux impacts attendus du changement climatique sur les écosystèmes forestiers.

Les forestiers prennent alors encore plus conscience que les changements annoncés du climat interviendront en moins de temps qu'il n'en faut pour produire un chêne. Dans le même temps, le chantier d'élaboration des directives et schémas régionaux d'aménagement se met en place ; il semble alors indispensable d'intégrer dans les futurs documents directeurs de la gestion des forêts publiques les premières conséquences pratiques identifiées par les recherches sur le changement climatique. Cette proposition est très rapidement relevée par le département « Ecologie des forêts, prairies et milieux aquatiques (EFPA) » de l'INRA, et un atelier de réflexion est en conséquence organisé conjointement en octobre 2005.

Réunissant chercheurs et responsables techniques de différents horizons du monde forestier, cet atelier avait pour objectif de poser les premières bases d'une stratégie d'adaptation de la gestion forestière au changement climatique. Ce document en synthétise les exposés et les discussions. Son ambition est clairement de stimuler la réflexion sur un sujet d'une telle importance pour le devenir des forêts.

Je remercie tout particulièrement et très sincèrement les scientifiques dont la grande qualité et clarté des exposés a permis la publication de ce dossier forestier et qui ont répondu positivement, en septembre 2005, à l'appel de la direction technique de l'ONF.

Le Directeur technique et commercial bois  
de l'Office national des forêts



Jacques VALEIX

## PRÉFACE

Le changement climatique est sans conteste un des phénomènes les plus débattus et les plus marquants des dernières décennies.

Le secteur forêt-bois tient dans cet enjeu une place particulière. Il est en effet à la fois susceptible d'être profondément perturbé par le changement climatique et offre en même temps des possibilités d'atténuation du réchauffement grâce à son potentiel de séquestration et d'émissions évitées.

L'ONF a été précurseur en la matière. En 1995, alors que les conséquences du phénomène - voire sa réalité même - étaient encore controversés, l'ONF publiait un bulletin technique spécial « Le CO<sub>2</sub> et la forêt ». En 1997, il lançait un projet de « puits de carbone » en Amazonie brésilienne qui est devenu depuis une référence mondiale. Et nous apportons depuis des années un concours d'expert à la Mission interministérielle de l'effet de serre.

Les forestiers n'en sont pas moins durement frappés par les aléas climatiques : les tempêtes de 1999 et l'épisode de canicule/sécheresse de l'été 2003 l'ont encore récemment rappelé de façon spectaculaire. Ils sont confrontés, au coeur de leur métier, par des évolutions plus insidieuses : dépérissements persistants, déplacement des limites d'aires, augmentation de la durée des saisons de végétation, interrogations sur la pertinence de notions de base comme le concept « fixe » de station, le contrôle des provenances, possible remise en cause de principes comme les durées de révolution, la priorité donnée à la régénération naturelle...

Le champ de recherche est vaste : il couvre l'ensemble des disciplines mises en oeuvre par la science forestière, et en souligne une nouvelle fois la complexité. La diversité des pistes explorées dans ce document en témoigne.

Qu'ils soient publics ou privés, les forestiers savent que les décisions de gestion qu'ils doivent prendre au quotidien engagent parfois la vie des peuplements pendant plusieurs décennies. Ces forestiers ont, dès aujourd'hui, besoin d'outils pragmatiques d'aide à la décision pour gérer les risques et les opportunités liés au changement climatique. Parallèlement aux indispensables travaux de fond, c'est à l'élaboration d'un « Guide opérationnel de gestion des conséquences du changement climatique », qui identifiera les pratiques les plus efficaces - tant au titre de l'adaptation que de l'atténuation - que j'invite donc à présent forestiers et chercheurs à collaborer en priorité.

Le changement climatique a déjà ouvert une nouvelle ère dans les rapports entre l'homme et la biosphère, jetant les bases d'une économie de l'environnement dont les règles restent encore à inventer. Les qualités intrinsèques de la biomasse ligneuse et le savoir-faire des forestiers ont beaucoup à y apporter s'ils savent proposer des solutions opérationnelles.

Le Directeur Général

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'PO Drège', is written over a horizontal line.

Pierre-Olivier Drège

## RÉSUMÉ / ABSTRACT

L'augmentation de l'effet de serre sous l'effet de l'activité humaine entraîne un réchauffement global du climat. Le scénario climatique B2, bien que modéré, conduit à une augmentation générale des températures sur la France (+2 à 4 °C en été), et à un changement du régime des précipitations, avec une aggravation du stress hydrique printanier et estival. Les modifications prévisibles, voire déjà amorcées, sur le fonctionnement des écosystèmes forestiers sont passées en revue : allongement de la saison de végétation, augmentation de la productivité forestière (qui pourrait cependant s'infléchir à la baisse vers le milieu du siècle dans certaines situations), glissement vers le Nord des aires potentielles des espèces, modifications des relations entre arbres et bioagresseurs...

Quel est le potentiel adaptatif des espèces face à ces modifications ? Comment la gestion forestière peut-elle faire face ?

Un certain nombre de mesures sont proposées, avec le souci de ne pas confondre anticipation et précipitation, et de mettre à profit la plasticité, la résistance et la résilience des écosystèmes :

1 – identifier les couples essences x stations forestières à risques, en valorisant l'acquis des catalogues de stations et en élaborant des modèles de caractérisation des stations, dont certains sont déjà en cours de développement ;

2 – préserver les sols en limitant le tassement par les engins forestiers (cloisonnements d'exploitation, développement du câble-mat...) et en préservant leur fertilité (maintien de rémanents en forêt, amendements possibles...);

3 – choisir des matériels de reproduction adaptés en limitant les essences principales à leur optimum stationnel, en respectant les provenances et en favorisant le mélange des essences ;

4 – renouveler les peuplements forestiers par régénération naturelle, dont les atouts sont nombreux (forte diversité génétique intra-population, adaptation in situ, résistance des jeunes peuplements au stress hydrique...), ou par plantation, en respectant alors l'adéquation station x essence x provenance ;

5 – gérer activement les ressources génétiques, tant pour les espèces indigènes (respecter les provenances, connaître les adaptations locales, favoriser le brassage inter-peuplements à courte et moyenne distances, suivre et gérer les peuplements classés...), que pour les espèces introduites, naturalisées ou améliorées (choix de provenances adaptées, évolution des critères de sélection...);

6 – dynamiser les sylvicultures en diminuant la surface foliaire par réduction de la surface terrière pour améliorer la résistance au stress hydrique, selon un rythme adapté à l'état et l'âge des peuplements forestiers ;

7 – reconsidérer les critères d'exploitabilité en réduisant l'âge voire les diamètres de récolte en fonction de la dynamisation des sylvicultures, des augmentations de productivité, de la nécessité de réduire la prise de risques vis à vis des aléas climatiques et de la demande du marché ;

8 – maintenir et favoriser la biodiversité qui est un atout pour l'adaptation des écosystèmes forestiers (îlots de vieux bois, corridors écologiques, génie écologique) et développer une définition évolutive du bon état de conservation des habitats naturels ;

9 – maintenir et adapter les réseaux d'observation de la forêt (nationaux et locaux) ;

10 – développer la culture de gestion de crise (dépérissements, ravageurs, incendies, chablis) et l'améliorer grâce au retour d'expériences.

Enfin, sept grandes questions et besoins de connaissance des praticiens forestiers sont identifiés :

- disposer d'informations régionalisées sur le changement climatique ;
- ausculter de façon objective l'évolution des écosystèmes forestiers ;
- identifier les stations à risques ;
- mieux connaître la variabilité adaptative des essences afin de mieux apprécier leur capacité à s'adapter ;
- élaborer des modèles de croissance prenant en compte explicitement les variables climatiques et édaphiques ;
- élaborer des modèles de sylvicultures économes vis à vis de la gestion de l'eau et améliorant la résistance et la résilience des peuplements forestiers ;
- améliorer le diagnostic et la gestion des dépérissements. Améliorer les connaissances sur les conséquences des dépérissements et des bioagresseurs sur la qualité technologique des bois, afin de mieux anticiper les décisions de gestion et de valoriser au mieux les produits.



## ABSTRACT / RÉSUMÉ

The release of greenhouse gases by human activities results in global warming. According to the B2 scenario, based on a moderate hypothesis, temperatures are projected to increase by 2 or 4 °C in summer, with a change in the precipitation regime, leading to a more severe water stress in springtime and in summer. The general changes of forest ecosystems functioning that are likely to occur, or are already occurring, are reviewed: a longer growing season, an increase in forest productivity (a trend that could change into a decrease by the middle of the 21<sup>st</sup> century in some cases), a shift to the North of species ranges, and modifications of the interactions between trees and insects or pathogens.

What is the adaptive potential of species faced with such changes? How can forest managers reduce potential effects on forests?

We propose some guidelines, trying to anticipate changes without excessive haste and to take advantage of ecosystem plasticity and resilience:

1. Identify the species-site combinations threatened by climate change, using site characteristic knowledge and new quantitative tools for site evaluation.
2. Insure soil protection : avoid compaction by forest machines (use of designated skid trails, development of cable logging...), and maintain fertility (do not export all logging residues, apply liming where necessary).
3. Carefully choose species and provenances, using species in their optimal ecological conditions, with a strict respect of provenances, and favour species mixtures.
4. For stand establishment, prefer natural regeneration where possible, because of its high genetic diversity, allowing in situ adaptation. Besides, natural saplings are more resistant to water stress than planted trees. If plantation is necessary, choose reproductive material (species and provenance) adapted to the site.
5. Promote active management of genetic resources:  
For indigenous species: pay attention to provenances and local adaptations (we need know more about them), favour seed source mixture at a local or regional scale to enhance adaptive diversity;  
For introduced species or improved species: pay attention to adaptation, create sliding selection criteria.
6. Apply a more dynamic silviculture: age, density and stand health dependant: lower the basal area (lower LAI) to reduce the water stress.
7. Redefine harvesting criteria: reduce the average harvest age (and sometimes diameter), taking into account silvicultural evolutions, changes in productivity, exposure to climatic risks and market demands.
8. Preserve and favour biodiversity, enhancing adaptation ability of forest ecosystems, and develop a dynamic conception of conservation, taking into account global changes.
9. Maintain and develop monitoring networks (at a local and national scale).
10. Develop a crises management culture (to face decline, pests, fires, windthrow), and improve it with experience debriefing.



As a conclusion seven main concerns and needs for forest managers are listed:

- information on climate change at a more local scale;
- quantified monitoring systems of forest ecosystems changes;
- identification of risky species-sites combinations;
- improvement in the knowledge of species adaptative variability;
- growth and yield models taking into account climate and soils variables;
- silvicultural guidelines taking into account water balance. Improvement in stand resistance and resilience to disturbance;
- improvement in decline diagnostics and management. Improvement in the knowledge of crises impacts on wood quality (biotic attacks, extreme climatic events, decay), for crises management and use of wood products.

## **AVERTISSEMENT**

Ce document a été rédigé par Myriam Legay et Frédéric Mortier, à partir des exposés des différents intervenants et des débats de l'atelier. Si la synthèse des exposés des scientifiques s'est efforcé d'être aussi fidèle que possible, les parties traitant plus spécifiquement des conséquences pratiques s'inspirent des débats, mais n'engagent que les rédacteurs.

Les différentes contributions sont précisées dans la liste des intervenants, figurant en page 31, afin que le lecteur, désireux d'approfondir un point particulier, puisse prendre contact avec les chercheurs compétents sur le sujet ou prendre connaissance de leur bibliographie.

L'ensemble des participants (voir liste en page 35) enfin, a contribué à cette synthèse au travers des discussions échangées autour des trois thèmes structurants.

# LA FORÊT FACE AU CHANGEMENT CLIMATIQUE : ADAPTER LA GESTION FORESTIÈRE

## Prise en compte dans les documents d'orientation de la gestion forestière

Atelier du 20 octobre 2005

à l'initiative de l'ONF, Direction technique, et de l'INRA, Département EFPA

Centre international de séjour de Paris, 6 avenue Maurice Ravel, 75012, Paris

Accès : métro Porte de Vincennes ou Porte dorée

### ☐ Les objectifs de cette journée sont :

- ✓ Présenter un état des connaissances sur les conséquences du changement climatique pour la forêt française.
- ✓ Faire le point sur les préconisations qui peuvent être formulées à partir de cet état de l'art.
- ✓ Décider de la façon dont le changement climatique sera pris en compte dans les DRA/SRA<sup>1</sup>.

☐ **Participation** : ONF, INRA, Cemagref, MEDD, MAP, DSF, FNCOFOR, IDF, ECOFOR, CRPF

### ☐ Programme :

#### Session 1 : Etat de l'art (régulation : Myriam Legay)

9 h 00 - 9 h 30 : accueil des participants, enregistrement, présentation de la journée

9 h 30 - 9 h 50 : **Denis Loustau** : Le changement global, nature, évolution et impact sur les écosystèmes

9 h 55 - 10 h 15 : **Jean-Luc Dupouey, Vincent Badeau** : Modification des aires de répartition des espèces : observations et modèles

10 h 20 - 10 h 40 : **Benoît Marçais** : Le réchauffement climatique a-t-il un impact sur les maladies forestières ?

10 h 45 - 11 h 05 : **Alain Roques** : Extension de l'aire de distribution d'insectes ravageurs sous l'effet du changement climatique

11 h 10 - 11 h 25 : PAUSE

11 h 25 - 11 h 45 : **André Granier, Nathalie Bréda** : Contrainte hydrique et changement climatique

11 h 50 - 12 h 10 : **François Lefèvre** : Réponse adaptative (plasticité et évolution génétique) des peuplements forestiers au changement climatique

12 h 15 - 13 h 05 : **Etienne Dambrine** : Changement climatique et sols forestiers.

13 h 05 - 14 h 00 : REPAS sur place

<sup>1</sup> Directives régionales d'aménagement / schémas régionaux d'aménagement

14 h 00 - 14 h 20 : **Jean-Claude Gégout** : Approche quantitative de la notion de station (BD Ecoplant) et application dans le cadre du changement climatique

14 h 20 - 14 h 40 : **Jean-François Dhôte** : Changements de productivité : ampleurs et variations

14 h 45 - 15 h 10 : **Jean Ladier** : Identification des stations à risque pour le sapin pectiné dans les Alpes du Sud

15 h 10 - 15 h 25 : PAUSE

**Session 2 : Discussion (régulateur : Frédéric Mortier)**

15 h 25 - 15 h 35 : **Frédéric Mortier** : L'exercice des directives et schémas régionaux d'aménagement (DRA et SRA)

15 h 35 - 16 h 20 : thème 1 : Station, choix des essences et des provenances, dynamiques de végétation

16 h 20 - 16 h 50 : thème 2 : Régime des éclaircies, critères d'exploitabilité, renouvellement

16 h 50 - 17 h 20 : thème 3 : Gestion des risques (pathogènes, ravageurs, dépérissements, incendie)

Fin de l'atelier à 17 h 30

## ➤..... 1 - LE CHANGEMENT CLIMATIQUE

### *1.1 - L'effet de serre et son augmentation sous l'effet des activités humaines*

Le climat de la Terre est conditionné par l'effet de serre, dû à la présence dans l'atmosphère de certains gaz qui piègent le rayonnement émis par la Terre.

Cet effet de serre est affecté de multiples façons par les activités humaines, l'impact le plus significatif et le mieux décrit étant son renforcement par l'augmentation de la teneur de l'atmosphère en gaz à effet de serre (CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O, halocarbures) entraînant un réchauffement prévu conceptuellement dès la fin du 19<sup>e</sup> siècle par le suédois Svante Arrhénius.

### *1.2 - Les changements constatés du climat*

Sur la période 1900 - 2000, la France a connu une augmentation significative des températures minimales et maximales, entraînant une augmentation de la demande évaporative.

La sécheresse de 2003 est la plus grave qu'aient connus les peuplements feuillus depuis 1950. Elle se traduit déjà par un pic de mortalité sans précédent depuis 1989 dans les observations du réseau européen (16 km x 16 km).

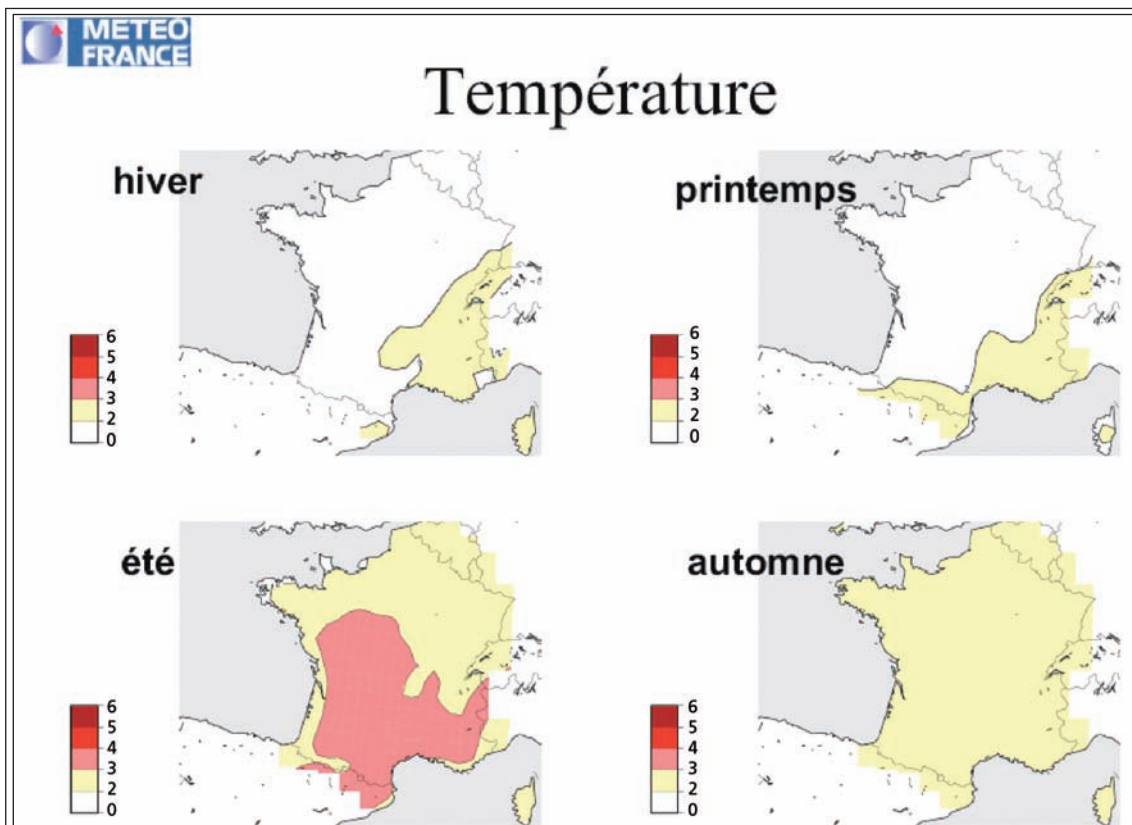
### *1.3 - Les scénarios d'évolution du climat pour le XXI<sup>e</sup> siècle*

Le GIEC (Groupe d'expert intergouvernemental sur l'évolution du climat) a élaboré des hypothèses d'évolution des émissions de gaz à effet de serre. Aucune probabilité de réalisation n'est associée à ces différents scénarios. Dans le projet CARBOFOR, le scénario B2 a été retenu parce qu'il repose sur des **hypothèses modérées** d'évolution et rend bien compte, lorsqu'il est utilisé rétrospectivement, de l'évolution observée sur la période 1960 - 2000.

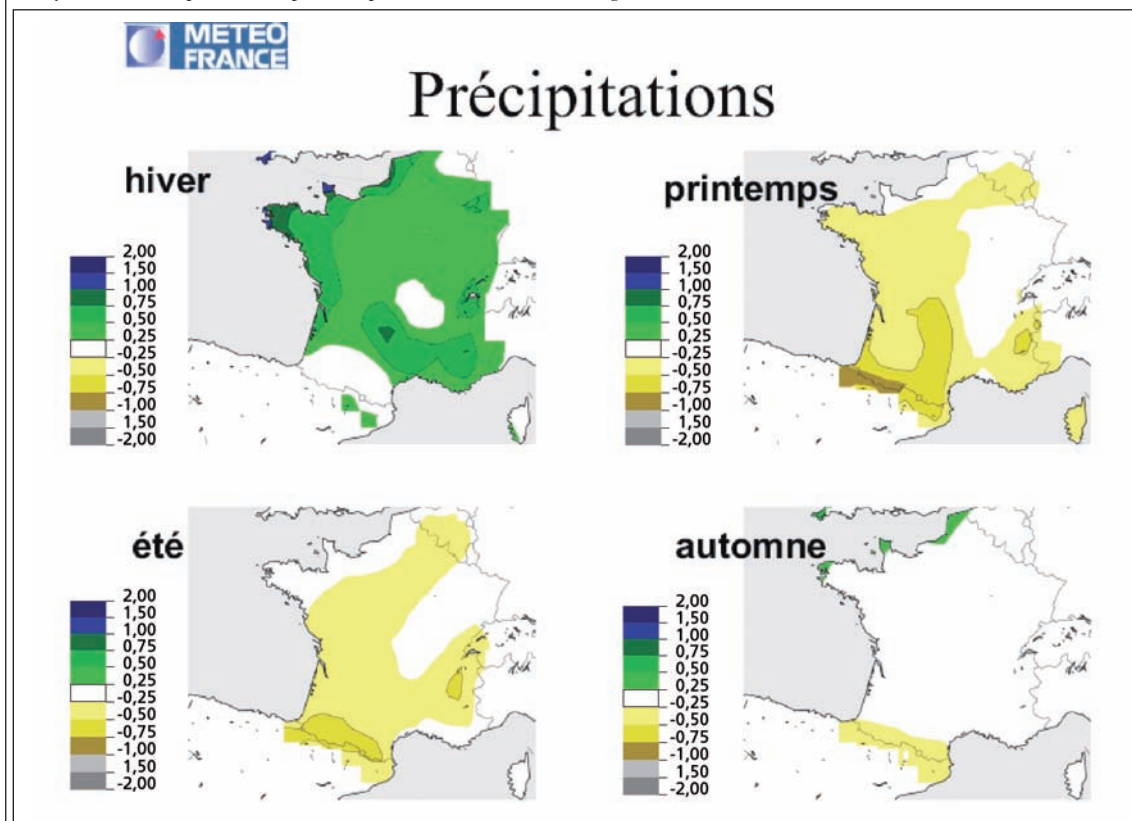
Ce scénario conduit au tableau suivant pour l'évolution du climat au cours du XXI<sup>e</sup> siècle :

- ✓ augmentation générale des températures, en particulier estivales et dans le Sud de la France (jusque + 4 °C) ;
- ✓ changement du régime des précipitations :
  - diminution en période de végétation,
  - augmentation en période de repos végétatif.

Toujours selon ce scénario, ces changements se traduiraient par une forte aggravation du stress hydrique, plus précisément par une augmentation de l'intensité moyenne de la contrainte hydrique en période de végétation, mais aussi du stress hydrique maximum et de la fréquence des stress. Ainsi les sécheresses s'aggraveraient significativement dans le Sud de la France dès 2040, puis dans le Nord à partir de 2070. En même temps les contraintes liées à l'excès d'eau hivernal dans les stations hydromorphes devraient également s'accroître.



Ecarts entre les températures moyennes saisonnières du scénario B2 pour la période 2070-2099 et les températures moyennes correspondantes pour la période 1960-1989. Isolignes 1, 2, 3 °C.



Ecarts entre les précipitations moyennes saisonnières du scénario B2 pour la période 2070-2099 et les moyennes correspondantes pour la période 1960-1989. Isolignes  $\pm 0,25$ , 0,50, 0,75 et 1 mm/jour.

Figure 1 : modélisation de l'évolution du climat au XXI<sup>e</sup> siècle : résultats pour le scénario B2

## ➤..... 2 - LES IMPACTS DU CHANGEMENT CLIMATIQUE SUR LA FORET

L'adaptation des espèces aux changements environnementaux se fait à trois niveaux, correspondant à des échelles de temps différentes : l'acclimatation (dès la première génération), l'adaptation (à partir de la deuxième génération) et la migration.

### **2.1 - Impacts écologiques généraux**

Le changement climatique entraîne un allongement de la période de végétation (par avancement du débourrement et recul de la chute des feuilles) et une augmentation de l'indice de végétation atteint. De façon générale, la date à laquelle les besoins physiologiques des espèces par rapport au climat (qui peuvent être traduits en termes de besoins en froid ou en chaleur) se trouvent satisfaits se décale dans le temps. L'amplitude des changements de végétation déjà observés est particulièrement forte en Europe.

### **2.2 - Changements de productivité**

#### **2.2.1 - Les changements de productivité constatés**

En ce qui concerne les essences forestières, ces changements se traduisent par une accélération de la croissance depuis la fin du XIX<sup>e</sup> siècle. Ce phénomène, détecté depuis les années 1980, est assez général en Europe, avec cependant des nuances régionales marquées. Soulignons cependant que ce phénomène d'augmentation de la productivité est difficile à mesurer car beaucoup de facteurs interviennent et que sa causalité fait encore débat : quelle est la part de l'augmentation du taux de CO<sub>2</sub>, de l'évolution du climat, des dépôts azotés, du passé culturel des forêts ?

#### *Zoom sur le hêtre :*

En ce qui concerne par exemple le hêtre dans le Nord de la France, la croissance en hauteur s'est accélérée de 25 % dans le Nord-Ouest de la France, et de 50 % dans le Nord-Est sur la période 1900 - 2000 (analyse comparée des croissances en hauteur reconstituées par analyses de tiges, de peuplements appariés jeune/vieux sur des stations identiques). Il en résulte une déformation des courbes de croissance suivies par les peuplements, avec une dérive progressive vers les fertilités élevées. Par ailleurs, indépendamment de l'effet date, la forme intrinsèque des courbes de croissance varie au sein de la zone étudiée, avec une asymptote qui s'abaisse en suivant un gradient Est-Ouest.

Il s'agit maintenant de faire un diagnostic précis, spatialisé, par espèce, à l'échelle des peuplements (et pas seulement des arbres pris individuellement), en confrontant ces évolutions à celles des facteurs incriminés. Ces approches débouchent in fine sur des outils de simulation utiles à la gestion.

#### **2.2.3 - Modélisation des changements de productivité au XXI<sup>e</sup> siècle**

Dans le cadre du programme CARBOFOR, des simulations ont été faites pour le pin maritime dans le Sud-Ouest, et pour le chêne et le hêtre dans le Nord de la France.

Une première expérience virtuelle a simulé l'évolution de la productivité potentielle, et montre des tendances contrastées, avec une évolution irrégulière, plutôt à la baisse, de la productivité du pin maritime dans le Sud (avec une forte baisse vers 2060), et une tendance à la hausse pour le hêtre dans le Nord, plus nette à l'Est qu'à l'Ouest.

### **2.3 - Modification des aires de répartition potentielles**

#### **2.3.1 - Les changements observés**

Un certain nombre d'observations de modification des aires de répartition des espèces ont déjà pu être faites :



- ✓ une extension générale des « lauryphylles » (espèces à feuilles coriaces, larges, et persistantes) a pu être mise en évidence ;
- ✓ la remontée en altitude a pu être observée pour un certain nombre d'espèces : + 200 m pour le gui dans le Valais Suisse entre 1910 et 1995 (Dobbertin *et al.*, 2005).

### 2.3.2 - Scénarios d'évolution aux horizons 2050 et 2100

L'aire d'un certain nombre d'espèces forestières, caractérisée par la présence ou l'absence de ces espèces dans les relevés IFN, a pu être modélisée à partir de variables de description des sols (issues de la BD sol), de variables climatiques provenant du modèle AURELHY (Météo France), et de l'ETP (évapotranspiration potentielle) calculée à partir d'images SATMOS (Météo France).

Les espèces prises en considération ont été regroupées par affinités biogéographiques en groupes chorologiques.

Le remplacement des données climatiques actuelles par les données prévues par le scénario climatique (modèle Arpège) en 2050 et 2100 a permis de modéliser le déplacement des aires potentielles : les résultats montrent une forte progression des groupes méditerranéens et atlantique, et une régression des espèces montagnardes.

Quelles seront les capacités de migration réelles des espèces ? Vraisemblablement les espèces les plus menacées par l'évolution climatique sont celles dont les capacités de dissémination sont réduites, notamment les espèces de forêt anciennes<sup>1</sup>, dont les vitesses de migration n'excèdent pas quelques dizaines de mètres par siècles !

#### Zoom sur le hêtre :

La présence du hêtre en France est bien modélisée à partir des précipitations et températures de juin et juillet, ce qui est cohérent avec les résultats obtenus par modélisation de sa croissance radiale à partir de données dendrochronologiques.

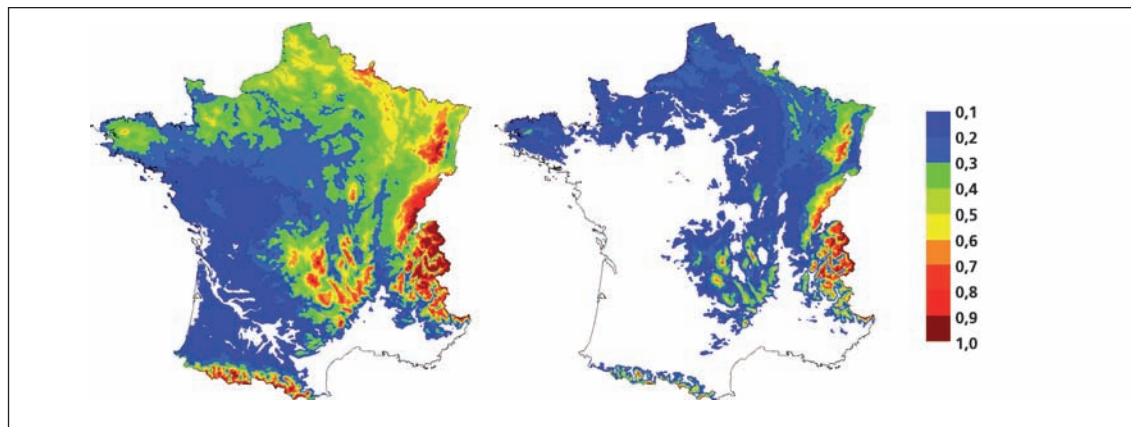


Figure 2 : probabilité de présence potentielle du hêtre actuellement et à l'horizon 2100  
(V. Badeau, J.L.Dupouey, CARBOFOR)

### 2.4. - Modification des interactions entre espèces : le cas des insectes et pathogènes

Le changement climatique peut avoir un effet direct sur les pathogènes ou les insectes phytophages en affectant leur biologie ou leur répartition, ou indirect, en affectant la biologie ou la répartition de leurs plantes-hôtes, de leurs ennemis ou compétiteurs.

<sup>1</sup> Espèces de forêts anciennes : espèces inféodées au maintien de l'état boisé sur une longue période (indépendamment de l'âge des peuplements)

Ainsi, une augmentation même minimale de la température tend à accélérer les processus physiologiques, en permettant un développement plus rapide des insectes, l'augmentation du nombre de générations par saison, l'augmentation des déplacements, et en réduisant la mortalité due aux facteurs abiotiques : par exemple, avec une augmentation des températures hivernales et printanières de 2 °C, on prévoit d'observer 4 à 5 générations supplémentaires par an pour certains pucerons (Harrington *et al.*, 2001).

Mais les effets du réchauffement ne peuvent être considérés à partir de simples moyennes globales et vont se différencier selon la saison et le cycle biologique des insectes.

#### 2.4.1 - Impacts potentiels du réchauffement estival

- ✓ Les insectes eux-mêmes peuvent être affectés directement : positivement (par exemple par un développement plus rapide, permettant une meilleure survie), ou négativement (par dépassement de seuils létaux de chaleur) ;
  
- ✓ les plantes-hôtes elles-mêmes peuvent être affectées : par exemple leur affaiblissement par la sécheresse peut diminuer leur résistance aux insectes ou pathogènes. Ainsi l'émergence de *Sphaeropsis sapinea* (champignon pathogène des pins) en Europe au cours des 20 dernières années a pu être facilitée par des stress répétés : sécheresse ou problèmes de nutrition liés à des excès d'azote d'origine anthropique.

Enfin, les relations mêmes entre insectes et plante-hôte peuvent être modifiées. Ainsi, le synchronisme du développement des insectes avec celui de leur plante-hôte peut se trouver altéré : un tel effet de décalage a été observé aux Pays-Bas, entre 1975 et 2000, pour l'éclosion printanière des œufs de la géométride *Operophtera brumata* et le débourrement des chênes (Visser et Holleman, 2001). Cependant, ce décalage peut n'être que transitoire et être rattrapé par l'adaptation ou la migration des populations de l'insecte. De même, la rouille courbeuse du pin maritime (*Melampsora pinitorqua*) est tributaire du synchronisme entre l'émission de ses spores, et la phénologie du pin, phénomènes tous deux sous contrôle climatique. Dans le cas de l'oïdium (*Erisiphe alphitoïdes*), un impact plus significatif des attaques a pu être mis en relation avec une arrivée plus précoce du pathogène en saison de végétation, permise par des hivers doux.

#### 2.4.2 - Impacts potentiels du réchauffement hivernal

Ils sont a priori plus importants et plus univoques : le déplacement des isothermes correspondant aux seuils létaux minimaux vers le Nord et en altitude peut induire une expansion des insectes. Ainsi, une avancée vers le Nord a été observée au XX<sup>e</sup> siècle pour 65 % des espèces de papillons européens de jour, de 35 à 240 km selon les cas, concomitante à un déplacement de 120 km des isothermes vers le pôle.

L'établissement d'espèces exotiques peut être rendu possible (cas observé pour le Palmier en provenance d'Amérique du Sud et pour le Lycène du géranium en provenance d'Afrique du sud). De même un certain nombre de pathogènes forestiers émergents sont des espèces thermophiles, en particulier des espèces introduites comme le chancre du châtaignier (*Phytophthora cinnamomi*), ou l'oïdium (*Erisiphe alphitoïdes*).

Pour pallier les inconvénients des études descriptives, qui mettent en relation l'évolution des isothermes et celle des espèces sans pouvoir s'affranchir des effets des autres évolutions environnementales (comme les modifications des habitats), une approche expérimentale a été entreprise pour la processionnaire du pin (Projet européen PROMOTH 2002 - 2005) . Elle a montré que des nids de processionnaires implantés dans le bassin parisien, au delà du front de migration de l'espèce, avaient été capables de survivre dans les conditions climatiques 2002 - 2004, en conformité avec la modélisation de l'aire potentielle de l'espèce. Pour cette espèce, on est donc en mesure de modéliser l'expansion potentielle de son aire sous l'effet du réchauffement hivernal prévu par les modèles. Cependant des questions demeurent sur des facteurs

susceptibles de limiter la progression de cette espèce : la photopériode, conditionnant le rayonnement nécessaire au réchauffement des nids, et les évènements climatiques extrêmes, comme la canicule de 2003 qui a occasionné des mortalités massives.

## **2.5. - Variabilité génétique et adaptation**

### **2.5.1 - Pour une vision dynamique des ressources génétiques**

L'état actuel des populations, analysé en termes de taille de population, diversité génétique, adaptation, ne doit pas être analysé comme un état stable ou idéal. C'est plutôt un état instantané résultant de processus dynamiques, et qu'il faut gérer en tant que tel, de façon dynamique.

Illustrons cette idée par deux exemples :

#### *Plasticité et résistance au stress :*

Si l'on définit la plasticité d'une population par son aptitude à valoriser l'abondance des ressources, plusieurs travaux montrent une certaine compensation entre plasticité et résistance au stress. Ainsi, chez le pin sylvestre ou l'épicéa, étudiés pour la résistance au froid, comme chez le pin maritime, le châtaignier ou le cèdre, étudiés pour la résistance à la sécheresse, les populations les plus résistantes semblent les moins capables de valoriser l'abondance des ressources.

#### *Décalage adaptatif :*

Dans un certain nombre de cas, on peut mettre en évidence un décalage entre les conditions optimales de croissance d'une espèce évaluées par des tests de provenance et celles qui règnent dans son aire d'origine. Cela a été mis en évidence pour le Pin sylvestre concernant la température (nombre de jours à plus de 5° C) par Rehfeldt *et al.* (2002).

### **2.5.2 - Capacité d'adaptation des espèces forestières et flux de gènes**

Sous l'effet de la sélection, l'adaptation peut être rapide : des populations déplacées peuvent présenter une adaptation à leurs nouvelles conditions de milieu dès la deuxième génération : Skroppa et Kohmann (1997) ont ainsi montré que des semis d'épicéas, issus de graines récoltées sur un peuplement de provenance allemande poussant en Norvège, présentaient une phénologie (mise en place des bourgeons) plus proche de celle du peuplement norvégien local que de celle de la provenance d'origine.

Cependant, malgré le développement d'adaptations locales marquées, les arbres forestiers ont gardé une forte diversité intra-populations. Cette diversité peut évoluer sous l'effet de différents facteurs : biologiques, démographiques ou environnementaux – dont certains sont affectés par l'activité humaine, et c'est le cas en particulier des flux de gènes.

Ces flux sont importants chez les arbres forestiers, avec le transport à longue distance du pollen et des graines, naturellement ou par l'homme. Ces flux de gènes peuvent apporter une certaine uniformisation, ou un décalage adaptatif (par exemple sous l'effet d'une introgression<sup>2</sup> massive de populations locales par des populations introduites mal adaptées), mais aussi, et le plus souvent, ces flux de gènes apportent de la diversité. Ainsi, des flux de gènes anthropiques à courte et moyenne distance pourraient avoir un effet positif dans la perspective du changement climatique, en élargissant la variabilité adaptative des peuplements. Dans cette optique, l'emploi généralisé d'une provenance unique, supposée « universelle », est évidemment à exclure, car il aurait un effet uniformisant, à l'encontre de l'objectif.

<sup>2</sup> Transfert des gènes d'une espèce à une autre par hybridation et croisements en retour répétés

## 2.6 - Quelles conséquences pour la gestion forestière ?

### 2.6.1 - La détermination des stations forestières et le maintien de la fertilité des sols

La **détermination des situations à risques devient un objectif majeur**. Dans cette perspective, l'énorme travail déployé pour la réalisation des catalogues de station forestière doit être valorisé.

Mais la perspective du changement climatique rend désormais nécessaire la **mise au point de modèles de fertilité par essence bâtis avec des variables climatiques et édaphiques explicites qui permettent des simulations liées aux changements globaux**.

Ainsi, les travaux réalisés au LERFOB pour modéliser à l'échelle nationale la niche écologique de l'érable champêtre, ou encore la productivité du hêtre, montrent la puissance de ces approches numériques et spatialisées. Ces travaux, à grande échelle, permettent d'approcher des cartes de risque à l'échelle de la grande région.

A l'échelle du massif, la finesse des catalogues de station reste compétitive, et un effort doit être fourni pour **assurer une couverture complète du terrain par des catalogues adaptés aux besoins des gestionnaires**, en tirant parti du retour d'expérience de la première génération d'études.

Dans la perspective d'une augmentation des stress écologiques subis par les peuplements, le **maintien de la fertilité des sols est déterminant**. Si la baisse des pollutions acides d'origine soufrée ou azotée, continue depuis 1974, laisse espérer une amélioration du taux de saturation des sols, cette amélioration naissante pourrait être oblitérée par l'augmentation de croissance des peuplements. Il convient donc de maintenir la vigilance sur les sols pauvres en minéraux altérables, voire d'envisager des restaurations de fertilité par amendement là où c'est nécessaire.

Les suites de la tempête de 1999 ont renouvelé la préoccupation des forestiers devant les effets de la compaction des sols par l'exploitation forestière. En réduisant la micro-porosité des sols, elle nuit au système racinaire des arbres, et donc aggrave le risque de stress hydrique. Il convient donc d'être de plus en plus vigilant et performant pour éviter cette compaction.

### 2.6.2 - Le choix des essences, des provenances et des modes de renouvellement

#### ☐ Choix des essences et des provenances :

A court et moyen terme, pour augmenter la résilience des peuplements, il faut **privilégier les mélanges d'essences**, notamment dans les zones où l'espèce principale en place devrait régresser sous l'effet du changement climatique.

A plus long terme, l'ampleur des changements environnementaux annoncés imposera probablement de recourir à des déplacements volontaires d'espèces. Il faut d'ores et déjà s'y préparer en maintenant et valorisant les essais de provenance et arboreta mis en place il y a quelques décennies dans un objectif de création de variétés nouvelles : ces essais peuvent en effet nous apporter de précieuses informations sur les essences de reboisement utilisables en cas de dépérissements massifs.

#### ☐ Modes de renouvellement :

La régénération naturelle, lorsque l'essence principale en place n'est pas menacée à court terme, offre l'avantage de permettre l'adaptation in situ des peuplements aux évolutions de leur environnement.

Lorsque la régénération artificielle est nécessaire, un certain brassage des populations à moyenne distance pourrait être favorable à une adaptation plus rapide des peuplements, en élargissant la variabilité adaptative

des individus. Cela pourrait conduire à recommander en pratique le mélange systématique des peuplements d'une même région de provenance. Les intérêts et les inconvénients d'une telle recommandation mériteraient d'être évalués.

### 2.6.3 - La sylviculture

#### □ Doser la surface foliaire pour améliorer la résistance au stress hydrique ?

La diminution de la surface foliaire permet de limiter la demande évaporative des peuplements, et donc la fréquence et l'intensité des déficits hydriques. Maintenir un étage principal clair rejoint les recommandations de dynamisation de la sylviculture, en particulier en futaie monospécifique et équienne, mais il faut aussi gérer le sous-étage, qui consomme également de l'eau.

Dans les peuplements comportant un sous-étage dense, en particulier les peuplements issus de taillis sous futaie en voie de régularisation, les éclaircies doivent intervenir également dans le sous-étage, pour éviter en particulier qu'il ne rejoigne l'étage principal, et limiter le nombre de brins par cépée. Il ne s'agit donc pas de réduire les peuplements à une seule strate (ce qui serait préjudiciable tant au plan écologique que cultural), mais de maintenir dans toutes les strates une densité compatible avec les ressources en eau disponibles.

En futaie de hêtre et de résineux à fort LAI (épicéa, douglas, sapins), il est recommandé aussi de réduire progressivement l'indice foliaire par rapport aux niveaux actuellement observés, et d'intervenir tôt en ce sens dans les jeunes peuplements

Si l'éclaircissement de la strate arborée peut conduire au développement d'une strate herbacée, notamment à base de graminée, il est faux de penser que la compétition pour l'eau sera aussi forte. En effet : (1) c'est au printemps que les herbacées utilisent la plus grande quantité d'eau, alors que cette ressource n'est généralement pas limitante dans le sol ; dès que l'indice foliaire des arbres se met en place, la transpiration de la strate herbacée diminue puisque le rayonnement est en majeure partie intercepté par l'étage arboré ; (2) les graminées n'exploitent pas la même réserve en eau du sol en raison d'une part d'une profondeur d'enracinement moindre et d'autre part en raison de leur incapacité à extraire de l'eau à potentiel très bas (typiquement flétrissement à  $-1,6$  MPa) ; (3) au cours de l'été, la strate herbacée flétrit et ne consomme alors plus d'eau. C'est dans les stades jeunes que la compétition herbacée est la plus contraignante et qu'il peut être nécessaire de la contrôler pour assurer la réussite de plantations.

A ce stade, nous retenons qu'il faut limiter la surface foliaire par des interventions significatives et régulières dans l'étage principal voire le sous-étage, de façon à obtenir une futaie claire sur un sous-étage bien différencié. Ces recommandations restent à assortir de références quantitatives qui restent à mettre au point en collaboration entre chercheurs et gestionnaires.

#### □ Adapter nos références de croissance :

Des hêtraies susceptibles d'arriver à l'âge d'exploitabilité une soixantaine d'années plus tôt sous l'effet conjugué de la dynamisation de la sylviculture et des changements de productivité, voilà qui donne l'ampleur de l'évolution des référentiels de croissance !

Pour gérer des peuplements en régime non stationnaire, l'utilisation des modèles de croissance (avec explicitation des facteurs de fertilité, voire des facteurs climatiques ou tout au moins de l'effet date) devra se généraliser.

#### 2.6.4 - Les réseaux de surveillance et d'observation

« Notre capacité à détecter les évolutions et à en pressentir les causes dépend de notre capacité à observer les phénomènes à l'échelle du pays et sur le long terme » (Benoît Marçais). Cette phrase s'applique à tous les impacts du changement climatique, et souligne l'enjeu de maintenir, voire de renforcer les dispositifs permanents de surveillance et d'observation :

- ✓ les dépérissements chroniques doivent être identifiés et monitorés, sur l'exemple de la forêt domaniale de la Hardt, où un suivi pluri-annuel a permis de quantifier précisément les seuils de stress hydriques à partir desquels des dégâts, puis des mortalités, se déclenchent ;
- ✓ les pathogènes et les ravageurs doivent être suivis pour une meilleure compréhension de leur fonctionnement biologique, et une meilleure réactivité aux risques émergents, avec notamment l'adoption rapide de mesures de prophylaxie efficaces.

### ➤..... 3 - LES ADAPTATIONS A CONFIRMER OU A INITIER DANS LES DOCUMENTS D'ORIENTATION DE LA GESTION FORESTIERE

Les directives régionales d'aménagement (DRA) pour les forêts domaniales et les schéma régionaux d'aménagement (SRA) pour les forêts des collectivités sont élaborés pour une durée qui n'est pas fixée sur le plan réglementaire mais que l'on peut estimer à une dizaine d'années. Il convient de raisonner la prise en compte du changement climatique attendu à cette échéance dans les documents d'orientation de la gestion forestière actuellement en cours de rédaction.

Les DRA et les SRA sont des documents directeurs. A ce titre, ils ont vocation à donner des recommandations en faveur de l'adaptabilité et de la résilience des écosystèmes forestiers, d'une part, de la minimisation du risque lié à l'instabilité climatique, d'autre part.

L'action du forestier en forêt publique concernant le changement climatique va reposer sur deux piliers :

- ✓ **anticiper le changement** : choisir les essences et les provenances les plus adaptées, dynamiser les sylvicultures...
- ✓ **accompagner le changement** : gérer les crises provoquées par les aléas, faire face aux dépérissements, récolter les peuplements surannés...

#### 3.1 - Les incendies (cf. § 3.1.3 du plan type des DRA/SRA)

Les résultats de la recherche indiquent qu'à court terme le risque d'incendie va s'étendre vers le Nord dans des zones où il n'existait pas traditionnellement, ou alors de façon marginale, comme les plaines du Centre et du quart Nord-Est de la France. Outre les modifications climatiques directes (sécheresse estivale, canicule...) qui augmentent le risque d'incendie, leurs conséquences (actions des ravageurs, dépérissements, tempêtes) peuvent augmenter considérablement le volume de combustible sec au sol et sur pied (jusqu'à plusieurs tonnes/ha). Une attention particulière est à porter aux peuplements résineux de plaine et du collinéen. Aussi, la question des risques d'incendie sera examinée dans la réflexion préalable à l'élaboration des DRA/SRA. Elle se nourrira et renverra aussi aux plans départementaux et régionaux de prévention et de défense contre les incendies.



### **3.2 - Les sols (cf. § 3.1.9 du plan type des DRA/SRA)**

Dans le contexte écologique instable attendu, le sol, premier capital de la forêt et support de la production forestière, est un enjeu de gestion majeur, tant pour la nutrition que pour l'alimentation en eau (réserve utile) des arbres.

#### **3.2.1 - La protection du sol contre l'érosion**

La pérennité du couvert forestier, les précautions prises lors la création d'infrastructures forestières et la restauration des terrains en montagne permettent de prévenir ou de limiter l'érosion des sols (colluvionnement, migration des particules du sol dans les cours d'eau...).

#### **3.2.2 - La protection du sol contre les dégâts des engins forestiers**

L'orniérage et le tassement causés par les engins forestiers sont généralement très préjudiciables aux propriétés physiques, chimiques et biologiques du sol et ce d'autant plus que la teneur en eau du sol est élevée. Ils peuvent entraîner des pertes de croissance ou des dépérissements qui se manifestent plusieurs années voire quelques décennies plus tard. La porosité d'un sol compacté est réduite, ce qui freine la circulation de l'eau et réduit les échanges gazeux, au détriment des racines.

Aussi, la circulation des engins doit être cantonnée sur les cloisonnements d'exploitation qui sont installés de façon pérenne.

*Nota : Les cloisonnements d'exploitation ne doivent pas geler plus de 10 - 15 % de la surface productive (sachant que le tassement se propage dans l'environnement immédiat des cloisonnements), une équidistance des cloisonnements tous les 20 à 40 m est recommandée, ceci pour une largeur du cloisonnement comprise entre 3,5 et 4,5 m.*

### **3.3 - Les essences (cf. § 3.2.1, 3.2.2, 3.2.3 du plan type des DRA/SRA)**

#### **3.3.1 - Choix des essences**

Faire le bon choix des essences selon les stations – les bonnes essences au bon endroit – c'est aussi, dans la perspective de nouveaux aléas et du changement climatique, installer les essences dans l'optimum de leurs conditions stationnelles. Dans les stations à alimentation en eau limitée, il y aura lieu de favoriser les essences plus tolérantes au stress hydrique (chêne sessile, charme, fruitiers, tilleul, châtaignier, pins...). Il convient de bien identifier les couples stations/essences à proscrire ou à éviter. Une attention particulière sera portée aux essences objectif principales peu tolérantes au stress hydrique : hêtre, chêne pédonculé, frêne, douglas, sapin pectiné, épicéa commun... Cependant, dans les stations limites pour ces espèces, elles pourront être choisies comme essences d'accompagnement à des fins culturelles ou biologiques, sauf risque sanitaire ou de dépérissement grave à redouter.

Valoriser les catalogues de stations qui couvrent les 2/3 du territoire lors des choix d'essences, même s'ils n'ont pas été conçus dans la perspective du changement climatique. Souvent, ils indiquent les stations limites ou extrêmes pour les essences ou les facteurs limitants et contiennent de ce fait des informations capitales. Si ces outils n'existent pas, il convient de recommander la réalisation des études de terrain, même légères (diagnostic stationnel, études de potentialités...) et ce de façon systématique dans les cas où :

- ✓ une substitution d'essence est envisagée (transformation...);
- ✓ la station était mal valorisée ;
- ✓ les essences du peuplement précédent étaient mal adaptées (station, organismes pathogènes ou ravageurs...).



Rechercher et favoriser de façon systématique la diversité des essences compatible avec la station afin de mieux répartir les risques vis à vis du changement climatique. En effet, la tolérance au stress hydrique, la sensibilité aux ravageurs, la résistance au vent, la prospection du sol et la consommation en eau comme en nutriments sont différenciées selon les essences. Dans les stations où des dépérissements sont à craindre, la diversité des essences offre la possibilité, pour l'avenir, de choisir des essences objectif de substitution déjà présentes dans les peuplements.

### 3.3.2 - Choix des provenances

Le choix de la région de provenance est tout aussi important que celui de l'essence pour la croissance, la qualité du futur peuplement et dans la perspective du changement climatique attendu.

Le respect de la région de provenance recommandée a un caractère obligatoire (cf. document DGFAR-CEMAGREF, conseils d'utilisation des matériels forestiers de reproduction). Il est demandé de surseoir aux plantations si les graines ou les plants de la provenance adaptée ne sont pas disponibles. Conformément aux directives en vigueur pour les forêts publiques, seule la catégorie « identifiée » est à utiliser pour les espèces dont le nombre de peuplements sélectionnés est insuffisant (châtaignier, érable sycomore...) ainsi que pour les espèces minoritaires pour lesquelles il n'y a pas de peuplements sélectionnés (bouleaux...).

Pour les autres essences soumises à la réglementation, les catégories « sélectionnées », « qualifiées » ou « testées » seront utilisées.

Pour les essences non soumises à la réglementation, le choix de provenances locales bien adaptées sera toujours privilégié.

Les gestionnaires doivent veiller à disposer d'une base suffisamment large de peuplements classés (le CEMAGREF instruit les dossiers de classement) et à organiser les récoltes sur l'ensemble de ces peuplements d'année en année. Les récoltes répétitives sur un nombre très réduit de peuplements sont à proscrire.

*Nota : Un moyen de favoriser la diversité génétique des plantations serait de mélanger les graines d'une même essence issues de plusieurs peuplements classés à l'intérieur de la même région de provenance. Cette hypothèse reste à valider.*

### 3.3.3 - Choix liés à la dynamique des essences

La dynamique spontanée des essences est à considérer avec attention mais une forte dynamique ne préjuge pas de la décision qui sera prise quant au choix des essences objectif principales. Certaines essences sont très plastiques et ont un fort pouvoir de colonisation en phase juvénile sur certaines stations qui ne permettront pas le développement de peuplements viables de qualité : chêne pédonculé dans les stations à déficit hydrique marqué (printanier ou estival), frêne commun sur les stations séchantes ou acides, sapin pectiné à basse altitude, épicéa commun dans les zones à Fomes... En revanche, ces essences peuvent jouer un rôle d'accompagnement très important si elles n'impliquent pas un problème majeur de santé des forêts.

La DRA ou le SRA doit donc donner les critères de choix qui vont aider les gestionnaires à prendre les décisions pour :

- ✓ favoriser la dynamique d'une essence (hêtre qui colonise la sapinière à basse altitude, épicéa qui colonise les trouées de l'étage montagnard, chêne sessile à préférer au chêne pédonculé dans les chênaies acidiphiles et acidiphiles...);
- ✓ juguler la dynamique d'une essence (avalaison du sapin, hêtre sur les stations à chêne sessile...).
- ✓ décider des transformations (cf. supra);
- ✓ ne pas choisir certaines espèces dynamiques mal adaptées comme essence objectif principale (cf. supra);
- ✓ proscrire une essence (cf. supra).

### **3.4 - Traitements sylvicoles et peuplements (cf. § 3.3.1, 3.3.2 du plan type des DRA/SRA)**

#### **3.4.1 - Choix des traitements sylvicoles**

Dans l'état actuel des connaissances, il n'y a pas de traitement sylvicole supérieur à un autre en termes d'adaptation de la forêt au changement climatique, chaque traitement a ses avantages et ses inconvénients. Ce sont toutefois les caractéristiques des peuplements et des arbres qui les composent qui sont déterminants :

- ✓ hauteur dominante (facteur majeur de sensibilité au vent qui augmente avec la hauteur) ;
- ✓ surface terrière (compétition pour l'eau et la nutrition d'autant plus importante qu'elle est élevée à stations, stades d'évolution ou types de peuplements comparables).

#### **3.4.2 - Recommandations sylvicoles**

La dynamisation des sylvicultures est un moyen pour mettre les peuplements sur une trajectoire compatible avec le changement climatique :

- ✓ Des choix de gestion et des travaux favorisant notamment la diversité des essences bien adaptées à la station (cf. 3.2.1). Dans certains cas la lutte (préventive ou curative) pour juguler ou réduire les espèces herbacées est à envisager au bénéfice des semis ou des plants forestiers afin de réduire la compétition pour l'eau (chêne, fruitiers, épicéa...).
- ✓ **Des éclaircies précoces, « par le haut »** et à rotation régulière (dès que le peuplement est refermé), pour renforcer la stabilité des tiges dominantes ou les plus vigoureuses et limiter la compétition pour l'eau et la nutrition. **Les éclaircies et les détourages doivent prioritairement être faits au profit des arbres objectifs. Le sous-étage doit également être géré de façon à contrôler sa densité** et éviter qu'il ne rejoigne l'étage principal.
- ✓ Des éclaircies modérées mais fréquentes dans les peuplements adultes trop denses issus d'une sylviculture timide et dans lesquels il convient de rechercher des interventions améliorantes mais peu déstabilisantes.
- ✓ La régénération des peuplements surannés car plus l'arbre vieillit, moins il est stable (mortalité de racines, régression racinaire, dégradation de l'état sanitaire des racines...).
- ✓ La récolte des peuplements composés d'essences mal adaptées aux stations et montrant des signes de faible vitalité voire des symptômes de dépérissement.
- ✓ La gestion des lisières pour qu'elles soient perméables (au vent), progressives et étagées et un réservoir d'essences pouvant intervenir dans la régénération ou la reconstitution des peuplements.

Une sylviculture dynamique permettra d'atteindre les critères d'exploitabilité plus rapidement, pour une hauteur moindre des arbres à station égale (stabilité améliorée) et donc de réduire la période d'exposition aux risques (dépérissements, chablis...).

*Nota : A fertilité égale, et à diamètre égal, les futaies denses adultes produisent des arbres plus élancés et plus hauts, donc plus sensibles au vent, que les taillis, les taillis-sous-futaie et les futaies claires.*

Les objectifs de surface terrière à ne pas dépasser s'établissent, à dire d'expert, aux niveaux suivants :

- ✓ au plus 35 m<sup>2</sup>/ha pour les pineraies, sapinières et pessières adultes, 30 m<sup>2</sup>/ha pour les chênaies, et 25 m<sup>2</sup>/ha pour les hêtraies adultes en futaie régulière (avant coupe d'ensemencement),
- ✓ au plus 30 m<sup>2</sup>/ha pour les peuplements irréguliers et jardinés résineux et 20 m<sup>2</sup>/ha pour les feuillus (avant coupe).

**La dynamisation des sylvicultures, qu'elle concerne les jeunes peuplements ou les scénarios de rattrapage des peuplements surcapitalisés, est un moyen majeur d'amélioration de la stabilité et d'adaptation des peuplements au changement climatique.**

### **3.5 - Le renouvellement des forêts (cf. 3.4.1, 3.4.2 du plan type des DRA/SRA)**

#### **3.5.1 - Régénération naturelle**

Privilégier la régénération naturelle des essences bien adaptées à la station et des peuplements de qualité pour les raisons suivantes :

- ✓ maintien de la diversité génétique et de l'adaptation *in situ* au changement climatique en cours, en particulier dans le cas de régénérations par coupe progressives (qui peuvent être étalées dans le temps - cf. manuel d'aménagement, ONF, 1997) car un nombre important de semenciers vont participer à l'effort de renouvellement,
- ✓ garantie de bonne adaptation à la station,
- ✓ garantie de bon enracinement, en général supérieur à la plantation,
- ✓ garantie de non importation d'organismes ravageurs ou pathogènes,
- ✓ garantie de vigueur des individus, en particulier moindre sensibilité à certains insectes ou maladies que les plants issus de pépinière (y compris pour les maladies émergentes),
- ✓ moindre appétence pour les cervidés des semis naturels comparés aux plants.

Privilégier le mélange d'essences (cf. 3.2.1, 3.3.2), s'il est possible, en s'insérant dans les dynamiques de végétation.

#### **3.5.2 - Régénération artificielle et boisement**

Planter si cela est nécessaire en respectant la bonne adéquation « stations-essences-provenance », limiter le travail du sol, veiller à la restauration de l'équilibre forêt-ongulés et à la protection artificielle contre les dégâts de gibier si nécessaire...

Cas où la plantation est conseillée :

- ✓ essences et provenances en place non adaptées à la station ou ne valorisant pas à son optimum la station ;
- ✓ problème sanitaire ou de dépérissement grave touchant les peuplements existants ;
- ✓ déficit de semenciers ou de graines viables ;
- ✓ enrichissement pour diversifier la forêt sur le plan biologique et économique ;
- ✓ compléments de régénération ;
- ✓ échec de la régénération naturelle.

*L'enquête ONF « sécheresse et canicule 2003 » a notamment montré, toutes essences confondues, que plus l'aléa climatique était éloigné dans le temps de l'année de plantation, plus faible était l'impact de l'aléa. Pour les régions où cet aléa avait un caractère exceptionnel par comparaison aux autres années, les plantations d'automne présentaient des taux de reprise plus satisfaisants.*

### **3.6 - Les critères d'exploitabilité (cf. § 3.6 du plan type des DRA/SRA)**

La perspective du changement climatique (stress hydrique, aléas plus fréquents...) et de l'augmentation de la productivité des forêts conduit à raisonner les critères d'exploitabilité davantage en termes d'analyse de risque et en termes technico-économique (qualité des produits attendus, état actuel des peuplements, dynamisation des sylvicultures...). Quatre conséquences découlent de ce constat sur le choix des critères d'exploitabilité :

- ✓ récolter les peuplements dépérissants avant toute altération des billes de pied ;
- ✓ récolter les produits de qualité médiocre à de faibles diamètres d'exploitabilité ;
- ✓ produire des arbres plus gros au même âge (exemple : chêne sessile) ;
- ✓ produire des arbres de même diamètre, voire de diamètre plus faible (selon la tendance à long terme des demandes du marché), mais bien plus jeunes (hêtre, sapin, épicéa, pins...).

Enfin, il sera souvent utile de distinguer les critères d'exploitabilité pour une sylviculture optimale et pour une sylviculture de rattrapage.

*Nota : Les peuplements surannés, de faible vitalité ou présentant des symptômes de dépérissement sont à récolter en priorité (cf. 3.3.1).*

### **3.7 - La biodiversité (cf. § 3.7 du plan type des DRA/SRA)**

#### **3.7.1 - Principales mesures à mettre en oeuvre dans le cadre de la gestion courante (cf. § 3.7.1 du plan type des DRA/SRA)**

Outre le mélange d'essences dont l'intérêt a déjà été évoqué (§ 3.3.2, 3.4.1), la mise en place des corridors écologiques (réseaux d'arbres morts et d'arbres à cavités, îlots de vieillissement, îlots de sénescence, réserves), la non fragmentation des massifs forestiers (infrastructures, opérations foncières...) et la continuité des écosystèmes dans le paysages (haies, lisières, habitats naturels associés à la forêt...) sont favorables aux déplacements des espèces et à la poursuite de leur évolution et de leur adaptation.

#### **3.7.2 - Principales mesures à mettre en oeuvre dans le cadre de la gestion spéciale (cf. § 3.7.2 du plan type des DRA/SRA)**

Le suivi des milieux et des espèces remarquables rendra compte de leur évolution sous l'action conjuguée de la gestion conservatoire et du changement climatique. Aussi, est-il fondamental que la définition du bon état de conservation des habitats et des espèces soit fondée sur une vision dynamique et globale intégrant l'impact des modifications climatiques sur les écosystèmes.

### **3.8 - Principales décisions relatives à la santé des forêts (cf. § 3.9 du plan type des DRA/SRA)**

Le maintien des réseaux d'observation de la santé des forêts est un enjeu stratégique dans un contexte instable, s'agissant des conditions écologiques. La collaboration étroite entre les gestionnaires forestiers, le Département Santé des Forêts (DSF) et les chercheurs est également indispensable. En particulier, les organismes ravageurs ou pathogènes introduits, émergents ou migrants hors de leur base géographique historique, doivent faire l'objet d'une auscultation adaptée par les spécialistes puis d'une information des gestionnaires.

Les mesures préconisées (cf. supra) sont favorables à la prévention des problèmes sanitaires (essences installées dans leur optimum stationnel, sylviculture dynamique...).

Les mesures curatives sont à déterminer avec les experts en lien avec le DSF.

### 3.9 - Cas des tempêtes

#### 3.9.1 - Mesures curatives

Se référer au guide de gestion de crise « chablis »(cf. Instruction ONF 03 T 45 du 5/02/03).

#### 3.9.2 - Mesures préventives

Voir § 3.3, le guide « reconstitution des forêts après tempêtes » (p 21 à 28, note de service ONF 01 T 192 du 30/07/01).

### 3.10 - Cas de l'hydromorphie

L'augmentation de la pluviosité durant la saison hivernale, attendue dans le cadre du changement climatique, va accroître les problèmes liés aux stations hydromorphes. Les mesures recommandées sont celles de la note de service ONF 01 T 192 du 30/07/01 (p.31 à 32). Une attention particulière est donc à porter aux stations hydromorphes, en évitant de choisir comme essence objectif principale les espèces sensibles à l'immersion temporaire ou permanente : hêtre, douglas, sapin... En ce qui concerne les chênes, rappelons que le chêne pédonculé supporte mieux l'immersion que le chêne sessile, mais résiste moins bien à la sécheresse estivale. Il est donc à préconiser uniquement dans les stations bénéficiant d'une bonne alimentation en eau toute l'année.

## ➤..... 4 – LES QUESTIONS DES PRATICIENS FORESTIERS

1) Les praticiens forestiers et, plus largement, les décideurs d'espaces naturels et les responsables de politique territoriale ont besoin de disposer d'**informations régionalisées** sur le changement climatique attendu pour mieux l'anticiper. Nous savons que ces changements ne peuvent être que nuancés dans un pays comme la France qui compte 4 zones biogéographiques (continentale, atlantique, méditerranéenne, montagnes), près de 4 000 stations forestières répertoriées et 17 essences forestières majeures qui composent 90 % des forêts.

2) Dans un contexte écologique instable comprenant des perturbations brutales (sécheresse, tempêtes, incendies, inondations...), **l'auscultation objective des écosystèmes forestiers au moyen du dispositif d'observation de la santé des forêts nécessite d'être poursuivie** pour :

- ✓ identifier et quantifier les phénomènes de dépérissement mais aussi permettre aux gestionnaires de répondre de façon réactive, bien proportionnée et efficace ;
- ✓ suivre les impacts et la progression des champignons pathogènes et des organismes ravageurs pour mieux y faire face.

3) L'État, les collectivités, les gestionnaires forestiers ont beaucoup investi pour élaborer les catalogues de stations forestières. Il convient de les valoriser notamment **en identifiant de façon objective les couples à risques stations/essences**. Ce travail scientifique, auquel la base de données ECOPLANT mise en place par l'ENGREF Nancy peut contribuer puissamment, mériterait d'être conduit de façon généralisée.

4) Il est nécessaire d'acquérir plus de connaissances sur la **variabilité adaptative** entre peuplements et le rôle des **adaptations locales** des peuplements dans la réaction au changement climatique, ainsi que sur la capacité d'adaptation future aux changements. Des préconisations pratiques doivent être dérivées de ces connaissances, en collaboration entre chercheurs, gestionnaires et acteurs de la filière de production des matériels forestiers de reproduction.

5) Les changements de productivité forestière et le changement climatique **nécessitent la mise au point de modèles de croissance pour les grandes essences intégrant des variables liés au climat et au sol.**

6) Pour réellement pouvoir adapter les forêts au changement climatique, les gestionnaires ont besoin d'intégrer dans leurs modèles de sylvicultures des connaissances et des modalités (seuils, repères...) que doit leur fournir la recherche forestière, notamment sur les deux sujets majeurs suivants :

✓ **gérer l'eau de façon économe** en réduisant la surface foliaire des peuplements (réduction de la densité, de la surface terrière, gestion du sous-étage...),

✓ **améliorer la stabilité et la résilience des peuplements forestiers** face aux tempêtes.

7) Pour mieux valoriser les produits touchés par les ravageurs, les pathogènes, le dépérissement ou les aléas, **le diagnostic et les conséquences sur les qualités technologiques du bois (nature, délai...) doivent être davantage connus et formalisés afin de mieux anticiper les décisions de gestion et de mieux valoriser les produits.**

***LISTE ET COORDONNÉES  
DES INTERVENANTS***



Nom	Adresse mel	Adresse postale	Contribution
Vincent Badeau	badeau@nancy.inra.fr	INRA, UMR Ecologie et Ecophysiologie Forestière, 54280 Champenoux	Exposé synthétisé dans les § 2.3, 2.6 (Co-intervenant avec Jean-Luc Dupouey)
Nathalie Bréda	breda@nancy.inra.fr	INRA, UMR Ecologie et Ecophysiologie Forestière, 54280 Champenoux	Exposé synthétisé dans les § 1.2, 1.3, 2.6
Thomas Cordonnier	thomas.cordonnier@onf.fr	ONF, Direction technique, bd de Constance, 77300 Fontainebleau	Animation du thème 1 : Station, choix des essences et des provenances, dynamiques de végétation
Etienne Dambrine	dambrine@nancy.inra.fr	INRA, UR Biogéochimie des Ecosystèmes Forestiers, 54280 Champenoux	Exposé synthétisé dans le § 2.6
Jean-François Dhôte	dhote@nancy-engref.inra.fr	INRA, UMR Laboratoire d'Etude des Ressources Forestières et du Bois, 14 rue Girardet, 54042 Nancy cedex	Exposé synthétisé dans les § 2.2, 2.6
Jean-Luc Dupouey	dupouey@nancy.inra.fr	INRA, UMR Ecologie et Ecophysiologie Forestière, 54280 Champenoux	Exposé synthétisé dans les § 2.3, 2.6
Jean-Claude Gégout	gegout@Engref.fr	ENGREF, LERFoB, équipe Ecosystèmes Forestiers et Dynamique du Paysage, 14 rue Girardet, 54042 Nancy cedex	Exposé synthétisé dans le § 2.6
André Granier	agranier@nancy.inra.fr	INRA, UMR Ecologie et Ecophysiologie Forestière, 54280 Champenoux	Exposé synthétisé dans les § 1.2, 1.3, 2.6 (Co-intervenant avec Nathalie Bréda)
Pierre Geldreich	pierre.geldreich@onf.fr	ONF, 14 rue du Maréchal Juin 67084 Strasbourg	Animation du thème 1 : Station, choix des essences et des provenances, dynamiques de végétation
Pascal Jarret	pascal.jarret@onf.fr	ONF, Parc technologique Orléans Charbonnière, 100 bd de la Salle - BP 18 45760 Boigny-sur-Bionne	Animation du thème 2 : Régime des éclaircies, critères d'exploitabilité, renouvellement
Jean Ladier	jean.ladier@onf.fr	ONF, Cellule Régionale d'Appui Technique, Actiplus, ZI Saint Joseph, 04100 Manosque	Exposé synthétisé dans le § 2.6
François Lefèvre	lefevre@avignon.inra.fr	INRA, UR Recherches forestières méditerranéennes, Domaine Saint-Paul - Site Agroparc 84914 Avignon cedex 9	Exposé synthétisé dans les § 2.5, 2.6

<b>Nom</b>	<b>adresse mel</b>	<b>adresse postale</b>	<b>Contribution</b>
Myriam Legay	legay@inra.nancy.fr	Interface INRA/ONF changement climatique UMR Ecologie et Ecophysiologie Forestière, 54280 Champenoux	Co-rédaction des parties 1,2,3
Denis Loustau	Denis.Loustau@pierroton.inra.fr	INRA, Écologie fonctionnelle et physique de l'environnement (EPHYSE), Domaine de la Grande-Ferrade, BP 81, 33883 Villenave-d'Ornon cedex	Exposé synthétisé dans les § 1.1 à 1.3, 2.1
Benoît Marçais	marçais@nancy.inra.fr	INRA, UMR Interactions arbres-microorganismes, 54280 Champenoux	Exposé synthétisé dans le § 2.4
Patrice Mengin-Lecreulx	patrice.mengin-lecreulx@onf.fr	ONF, Direction technique, bd de Constance, 77300 Fontainebleau	Animation du thème 2 : Régime des éclaircies, critères d'exploitabilité, renouvellement
Valérie Merckx	valerie.merckx@onf.fr	ONF, Direction de l'Environnement et du Développement Durable 2 avenue de St Mandé 75570 Paris cedex 12	Animation du thème 3 : gestion des risques
Frédéric Mortier	frederic.mortier@onf.fr	ONF, Direction technique, 2 avenue de St Mandé, 75570 Paris cedex 12	Co-rédaction des parties 1,2,3 et animation du thème 3 : gestion des risques
Alain Roques	alain.roques@orleans.inra.fr	INRA, UR Zoologie forestière, Avenue de la Pomme de Pin - Ardon, BP 20619, 45166 Olivet cedex	Exposé synthétisé dans le § 2.4

***LISTE ET COORDONNÉES  
DES PARTICIPANTS***

Jean-Luc Dunoyer  
ONF  
Chef du Département Forêts  
Direction technique  
2, avenue de Saint-Mandé  
75570 Paris cedex 12

Jacques Valeix  
ONF  
Directeur Technique et Commercial Bois  
Direction technique  
2, avenue de Saint-Mandé  
75570 Paris cedex 12

Frédéric Mortier  
ONF  
Chef de la mission aménagement-sylviculture  
Direction technique  
2, avenue de Saint-Mandé  
75570 Paris cedex 12

Myriam Legay  
ONF  
Interface "Changement climatique"  
UMR Ecologie et Ecophysiologie Forestière  
Ecologie - Ecophysiologie forestière  
54280 Champenoux

Patrice Mengin Lecreulx  
ONF  
Chef du Département Recherche  
Direction Technique  
Boulevard de Constance  
77300 Fontainebleau

Thomas Cordonnier  
ONF  
Biométricien, spécialiste "estimations"  
Direction technique  
Département recherche  
Boulevard de Constance  
77300 Fontainebleau

Valérie Merckx  
ONF  
Chargé de mission effet de serre et énergies renouvelables  
Direction de l'environnement et du développement durable  
Mission évaluation  
2, avenue de Saint-Mandé  
75570 Paris cedex 12

Pierre Geldreich  
ONF  
Chef de service  
Direction territoriale Alsace  
Service d'appui technique  
14, rue du Maréchal Juin  
Cité Administrative  
67084 Strasbourg cedex

Jacqueline Charles  
ONF  
Chef de service  
Direction territoriale Auvergne-Limousin  
Service production, Pôle technique environnement  
Site de Marmilhat Sud - BP 106  
63370 Lempdes

Ariane Angelier  
ONF  
Responsable R & D et animation sylvicole  
Direction territoriale Auvergne-Limousin  
Service production, Pôle recherche progrès technique  
Site de Marmilhat Sud  
BP 106  
63370 Lempdes

Michel Cazet  
ONF  
Responsable production aménagement  
Direction territoriale Bourgogne-Champagne-Ardenne  
Service Production et Gestion durable  
10, rue Pasteur  
BP 22  
51470 Saint-Memmie

Pascal Jarret  
ONF  
Responsable du Service Technique et Recherche  
Direction territoriale Centre-Ouest  
100, boulevard de la Salle  
BP 18  
45760 Boigny-sur Bionne

Alain Brethes  
ONF  
Chargé de recherche pédologie et stations forestières  
Direction territoriale Centre-Ouest  
Service Technique et Recherche  
100, boulevard de la Salle  
BP 18  
45760 Boigny-sur Bionne

Dominique Abt  
ONF  
Chef de service  
Direction territoriale Franche-Comté  
Service Aménagement Recherche et Technique  
14, rue Plançon  
25000 Besançon

Nicolas Alban  
ONF  
Ingénieur chargé de mission environnement  
Direction territoriale Ile-de-France-Nord-Ouest  
Service technique Forêt  
3, rue du Petit Chateau  
60200 Compiègne

Claudine Richter  
ONF  
Responsable de la mission biométrie-expérimentations  
Direction technique  
Département recherche  
Boulevard de Constance  
77300 Fontainebleau

Jean Ladier  
ONF  
Chargé de développement technique  
Direction territoriale Méditerranée  
Service Technique et Commercial  
Parc Industriel Saint Joseph  
04100 Manosque

André Prochasson  
ONF  
Direction territoriale Rhône-Alpes  
Gestion durable  
42, quai Charles Roissard  
73026 Chambéry cedex

Yves Birot  
Président du Conseil Scientifique ONF  
5 allée Canto Cigalo  
30400 Villeneuve-lez-Avignon

Franck Jacobée  
Ministère de l'Ecologie  
et du Développement Durable  
Responsable forêt  
Direction de la nature et des paysages  
Sous-direction des espaces naturels  
Bureau de la protection contractuelle  
20 avenue de Ségur  
75302 Paris 07 SP

Charles Dereix  
Directeur Général  
Fédération nationale des communes Forestières de France  
13 rue du Général Bertrand  
75007 Paris

Nicole Jensen  
Adjoint-chef de bureau  
DGFAR  
Sous-direction de la forêt et du bois  
bureau de l'orientation de la sylviculture  
19 avenue du Maine  
75732 Paris cedex 15

Fabien Carouille  
Ministère de l'Agriculture & de la Pêche  
Adjoint au chef du département Santé des forêts  
DGFAR  
sous-direction de la forêt et du bois  
19 avenue du Maine  
75732 PARIS cedex 15

Philippe Riou-Nivert  
SUF IDF / CNPPF  
Ingénieur spécialisé  
23 avenue Bosquet  
75007 Paris

Olivier Picard  
IDF/CNPPF  
Responsable R & D  
Antenne de Toulouse  
Maison de la Forêt  
7 chemin de la Lacade  
31320 Auzeville Tolosane

Thomas Formery  
IDF/CNPPF  
Directeur du CNPPF  
47 rue de Chaillot  
77116 Paris

Christian Ginisty  
CEMAGREF  
Responsable de l'équipe "Forêts hétérogènes"  
UR Ecosystèmes forestiers et paysages  
Domaines des Barres  
45290 Nogent-sur-Vernisson

Bernard Seguin  
INRA  
Directeur de recherche  
Unité spécialisée AgroClim - Domaine Saint Paul  
Site Agroparc  
84914 Avignon cedex 9

Denis Loustau  
INRA  
Directeur de recherche  
UR Écologie fonctionnelle et physique de l'environnement  
Domaine de la Grande-Ferrade  
BP 81  
33883 Villenave d'Ornon cedex

Jean-Luc Dupouey  
INRA  
Directeur de recherche  
UMR Ecologie et Ecophysiologie Forestière  
54280 Champenoux

Vincent Badeau  
INRA  
Ingénieur de recherche  
UMR Ecologie et Ecophysiologie Forestière  
54280 Champenoux

Benoît Marçais  
INRA  
Chargé de recherche  
UMR Interactions arbres-microorganismes  
54280 Champenoux

Alain Roques  
INRA  
Directeur de recherche  
UR Zoologie forestière  
Avenue de la Pomme de Pin - Ardon  
BP 20619  
45166 Olivet cedex

André Granier  
INRA  
Directeur de recherche  
UMR Ecologie et Ecophysiologie Forestière  
54280 Champenoux

Nathalie Bréda  
INRA  
Directeur de recherche  
UMR Ecologie et Ecophysiologie Forestière  
54280 Champenoux

François Lefèvre  
INRA  
Directeur de recherche  
UR Recherches forestières méditerranéennes  
Domaine Saint-Paul  
Site Agroparc  
84914 Avignon cedex 9

Etienne Dambrine  
INRA  
Directeur de recherche  
UR Biogéochimie des Ecosystèmes Forestiers  
54280 Champenoux

Jean François Dhote  
INRA  
Directeur  
UMR Laboratoire d'Etude des Ressources Forestières et du Bois  
14 rue Girardet  
54042 Nancy cedex

Jean Marc Guehl  
INRA  
Chef Département EFPA  
54280 Champenoux

Xavier Rousset  
CRPF Nord-Pas-de-Calais / Picardie  
Directeur  
96 rue Jean Moulin  
80000 Amiens

Julie Pargade  
CRPF Nord-Pas-de-Calais / Picardie  
Chargée d'étude  
96 rue Jean Moulin  
80000 Amiens

Jean-Claude Gégout  
ENGREF  
Maître de conférence  
UMR Laboratoire d'Etude des Ressources Forestières et du Bois  
14 rue Girardet  
54042 Nancy cedex

Guy Landmann  
Groupement d'Intérêt Public ECOFOR  
Directeur adjoint  
6, rue du général Clergerie  
75116 Paris

dans la même collection

- N° 1 Le Balbuzard pêcheur  
Etude de la population nicheuse en région Centre
- N° 2 XI<sup>e</sup> Congrès forestier mondial  
Contributions des personnels de l'Office national des forêts
- N° 3 Un massif forestier et son histoire : la forêt de Saint-Antoine
- N° 4 Foresterie internationale - Textes de base et références à l'usage des forestiers francophones
- N° 5 Lexique des arbres forestiers du Cambodge
- N° 6 Le Genévrier thurifère (*Juniperus thurifera* L.) dans le bassin occidental de la Méditerranée : systématique, écologie, dynamique et gestion
- N° 7 Les statistiques forestières - Catalogue des sources de données anciennes 1800-1950
- N° 8 Évolution hydrographique et hydrogéologique en plaine de la Hardt et en plaine de l'III
- N° 9 Les invertébrés dans l'écosystème forestier : expression, fonction, gestion de la diversité
- N° 10 Sylvo-pastoralisme : l'expérience du Haut-Verdon
- N° 11 Connaissance et gestion durable des dunes de la côte atlantique
- N° 12 Régime forestier - Regards sur la forêt communale
- N° 13 Coléoptères saproxyliques et valeur biologique des forêts françaises
- N° 14 La bécasse des bois (*Scolopax rusticola*)
- N° 15 Effets de l'exploitation forestière sur la qualité des sols

Ces ouvrages sont disponibles dans le point de distribution suivant :

- Office National des Forêts - Département Recherche - Boulevard de Constance - 77300 Fontainebleau





**Institut National de la Recherche  
Agronomique**



DIRECTION TECHNIQUE  
2, avenue de Saint-Mandé - 75570 Paris cedex 12 - FRANCE  
Tél : (33) 1 40 19 58 00 - Fax : (33) 1 40 19 59 42  
[www.onf.fr](http://www.onf.fr)

ISBN : 2-84207-311-8

**PRIX TTC : 10,00 €**