

# Vulnérabilité des forêts alsaciennes face au changement climatique

Synthèse de l'état des lieux de connaissances

**Julia TIMINA, Stagiaire Université de Strasbourg**  
**Michaël BERTIN, maître de stage, DREAL Alsace**

## Sommaire

Introduction : la forêt alsacienne

1. La forêt multifonctionnelle
2. Impacts envisagés du changement climatique
  - 2.1. Migration des aires bioclimatiques potentielles des espèces
  - 2.2. Impacts sur la phénologie et la reproduction des arbres
  - 2.3. Impacts sur la croissance des arbres et par conséquent, sur la production de bois
  - 2.4. Impacts sanitaires
  - 2.5. Risque d'érosion des sols
  - 2.6. Risque d'incendie
3. Réflexions sur les scénarios de gestion de la forêt française au cours du XXI<sup>ème</sup> siècle

Conclusion

Bibliographie

Annexes

### Introduction

#### La forêt alsacienne

Selon l'IFN<sup>1</sup>, en Alsace, la forêt couvre environ 325 000 ha en 2010, soit près de 40% du territoire régional. La forêt est plus importante dans le Bas-Rhin (178 000 ha contre 147 000 dans le Haut-Rhin), mais le taux de boisement<sup>2</sup> est légèrement plus élevé dans le Haut-Rhin (42% contre 37% dans le Bas-Rhin)<sup>3</sup>.

La distribution géographique des essences principales est étroitement liée aux conditions écologiques locales (sol, pente, pluviométrie, ensoleillement etc.). Au Nord de la région, on trouve le Pin sylvestre sur les sols pauvres et sableux. Les forêts des Vosges et du Jura alsacien ainsi que les collines, sont constituées essentiellement de Hêtres, de Sapins pectinés, d'Épicéas et de Chênes rouvres. On y remarque aussi souvent la présence de Charmes et de Châtaigniers. Les Chênes pédonculés, les Frênes et d'autres feuillus, dont le volume total dans la région est plus important par rapport au volume des résineux, occupent la plaine alluviale d'Alsace. Il est à noter que le Robinier se trouve planté à proximité des vignes, en raison de l'utilisation de son bois dans l'activité viticole, sur les collines et en forêts privées.

La majorité de la surface forestière totale (75%) est publique et constituée de forêts domaniales (24%) et communales (51%). Seulement un quart de la surface boisée (25%) appartient aux 85 000 propriétaires privés<sup>4</sup>. C'est une des spécificités de la forêt en Alsace car au niveau national, les proportions sont inversées. Une autre particularité concerne la part prédominante de la surface forestière totale certifiée par un label de gestion durable (près de 75%)<sup>5</sup>. Selon l'IFN, l'Alsace est la première région française dans ce domaine de la gestion forestière.

La forêt alsacienne est une « forêt de production » : elle occupe 99% de la surface totale forestière en Alsace. Elle représente un volume total de bois sur pied d'environ 81 millions m<sup>3</sup>, soit 3.4% du volume total national, malgré la superficie du territoire alsacien étant la plus petite région de France. En terme de productivité et grâce à son mode de gestion, avec un volume moyen de bois à l'hectare d'environ 253 m<sup>3</sup>/ha, l'Alsace se situe largement au-dessus de la valeur moyenne nationale de 157 m<sup>3</sup>/ha. En 2006, selon l'INSEE, la filière-bois qui regroupe de nombreuses activités, était représentée par 2 616 établissements et 19 520 employés, soit 2.7% de l'emploi régional. Près de la moitié du nombre d'entreprises de ce secteur se trouve dans la branche « Construction bois » (1 164 établissements et près de 5 000 salariés). L'ensemble de la filière génère un chiffre d'affaire de 3.5 milliards d'euros en 2006, soit 4.3% du chiffre régional, dont un tiers concerne le chiffre d'affaire de l'industrie papetière. Toutefois, cet indicateur de croissance économique est variable : l'augmentation est plus importante pour les activités telles que l'ameublement, le bois énergie, la sylviculture

---

<sup>1</sup> Inventaire Forestier National

<sup>2</sup> Part relative de la forêt par rapport aux autres occupations du sol (IFN)

<sup>3</sup> La forêt française. Les résultats issus des campagnes d'inventaire 2005 à 2009. Les résultats pour la région Alsace. IFN 2010

<sup>4</sup> La forêt française. Les résultats issus des campagnes d'inventaire 2005 à 2009. Les résultats pour la région Alsace. IFN 2010

<sup>5</sup> La filière forêt-bois : panorama des secteurs d'activité. INSEE 2009. Chiffres pour l'Alsace. N°1 Février 2009

et la récolte (environ 30% entre 2004 et 2006), par rapport à l'industrie papetière et le sciage (environ 3% entre 2004 et 2006).

La forêt et sa filière bois occupent une place importante dans le paysage et l'économie en Alsace. La société porte de plus en plus d'intérêt à cette source de multiples services : la demande en bois, que ce soit le bois-énergie ou le bois d'œuvre, ne cesse de croître. Parallèlement, la mise en évidence du rôle des forêts dans le captage du gaz carbonique permet de développer une gestion durable des espaces boisés. Afin de pouvoir continuer à profiter des services que nous rendent les forêts, il est nécessaire d'engager des démarches prospectives dans le but d'analyser et de déterminer les meilleurs modes de gestion à long terme en prenant en compte les différents changements susceptibles de survenir au cours du XXI<sup>ème</sup> siècle. Le changement climatique autant que les changements de politiques énergétiques, auront des impacts sur les ressources de bois. Le présent rapport a pour objectif de présenter un état des lieux de connaissances centré sur la région Alsace et basé sur une synthèse d'études et de projets de recherche existants dans ce domaine.

### 1. La forêt multifonctionnelle

La forêt est une ressource naturelle renouvelable dans le cas d'absence de grandes perturbations susceptibles de causer des dégâts irréversibles sur sa capacité de renouvellement. Elle offre plusieurs services à la société humaine : la production, la transformation et la valorisation du bois génèrent un certain nombre de métiers et d'emplois, qui occupent le plus souvent une place importante dans l'économie locale. Le rôle de la forêt est également mesuré par rapport aux stocks de carbone contenus dans la biomasse et qui contribue aux efforts de diminution d'émissions de GES<sup>6</sup>, par la séquestration du gaz carbonique. L'étude menée par l'IFN et l'INRA dans les années 1990, a démontré que les régions de France au plus fort potentiel de stockage du carbone se trouvent au Nord-est. En effet, il est apparu que les essences les plus fortes en termes de capacité de stockage sont les Sapins (87 tC/ha) et les Hêtres (84tC/ha)<sup>7</sup>. En parallèle, l'âge de la forêt joue également un rôle important : le stock augmente avec la maturité de la forêt. Or, en Alsace ; sur le Massif Vosgien, les formations forestières que l'on trouve le plus souvent sont des hêtraies-sapinières d'âge avancée (la somme des volumes de bois de hêtre et de sapin en forêt de production a été estimée à 31 millions m<sup>3</sup>, soit environ 40% du volume total régional<sup>8</sup>).

Les sols des prairies et des forêts contiennent également une quantité importante de carbone organique. Des modifications dans l'occupation du sol, effectuées au détriment de la forêt, sont susceptibles d'être à l'origine de la libération du carbone stocké dans ces réservoirs terrestres. De ce fait, un volet de la politique d'adaptation au changement climatique doit concerner ce système de gestion des sols, pour préserver cette ressource qui devient rare et qui rentre en compétition avec l'agriculture, l'urbanisation, le développement industriel, la foresterie etc.

Le rôle de la forêt dans la régulation du cycle de carbone étant explicitement démontré par la science, la gestion durable de cette ressource à long terme nécessite une attention particulière des pouvoirs politiques locaux. Une forêt est un écosystème avec son propre

---

<sup>6</sup> Gaz à effet de serre

<sup>7</sup> La forêt française : un puits de carbone ? Son rôle dans la limitation des changements climatiques. L'IF N°7, mars 2005

<sup>8</sup> La forêt française. Les résultats issus des campagnes d'inventaire 2005 à 2009. Les résultats pour la région Alsace. IFN 2010

fonctionnement interne. Elle entretient des liens avec son milieu physique, en offrant des services à la société humaine tels que le bois, les conditions de loisirs etc. De ce fait, une forêt peut être considérée comme un système multifonctionnel intégré dans l'environnement naturel mais également dans les milieux aménagés par l'Homme.

### 2. Impacts attendus du changement climatique

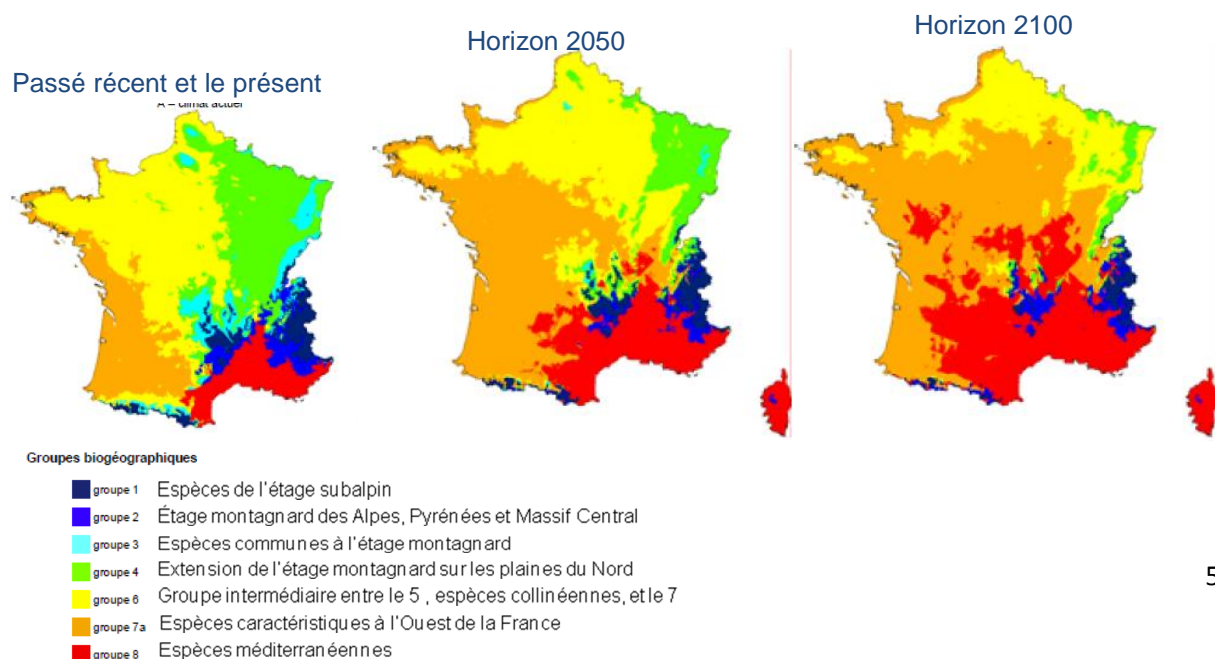
Le rapport présenté en décembre 2007 aux Ministres (B. ROMAN-AMAT, 2007) fait le constat du changement climatique observé au cours du XX<sup>ème</sup> siècle et décrit les prévisions générales pour la France concernant le climat du XXI<sup>ème</sup> siècle. L'auteur reprend également l'hypothèse d'un déplacement du climat vers le Nord de 400 à 500 km et en altitude de 300 à 400 m pour le scénario B2 (« optimiste »), ainsi qu'un déplacement de 600 à 700 km vers le Nord et de 500 à 600 m en altitude pour le scénario A2 (« pessimiste »). Il souligne par ailleurs, une accentuation des contrastes saisonniers avec un réchauffement plus important en été qu'un hiver et une différenciation du climat selon les régions.

La synthèse des études existantes laisse apparaître un certain nombre d'impacts identifiés et susceptibles de toucher les forêts françaises. En prenant en compte les spécificités des forêts alsaciennes, il est possible d'apprécier les résultats suivants en fonction du changement des paramètres climatiques attendus en Alsace. Il est à noter que le présent rapport a pu recenser un nombre restreint d'études menées à l'échelle de la région, l'essentiel de l'information étant rapporté à l'échelle nationale.

#### 2.1. Migration des aires bioclimatiques potentielles des espèces

Le projet CARBOFOR ayant eu pour objectif la modélisation et la cartographie des aires climatiques potentielles des grandes essences forestières en France, il fait apparaître des changements notables dans la distribution géographique des grands groupes de formations végétales (voir illustration1).

Illustration1 : modélisation et cartographie des changements dans la répartition géographique des principaux groupes biogéographique aux horizons 2050 et 2100 selon le scénario B2 (« optimiste »). Source : projet CARBOFOR, tâche D1



A l'échelle de la France, on note des tendances suivantes :

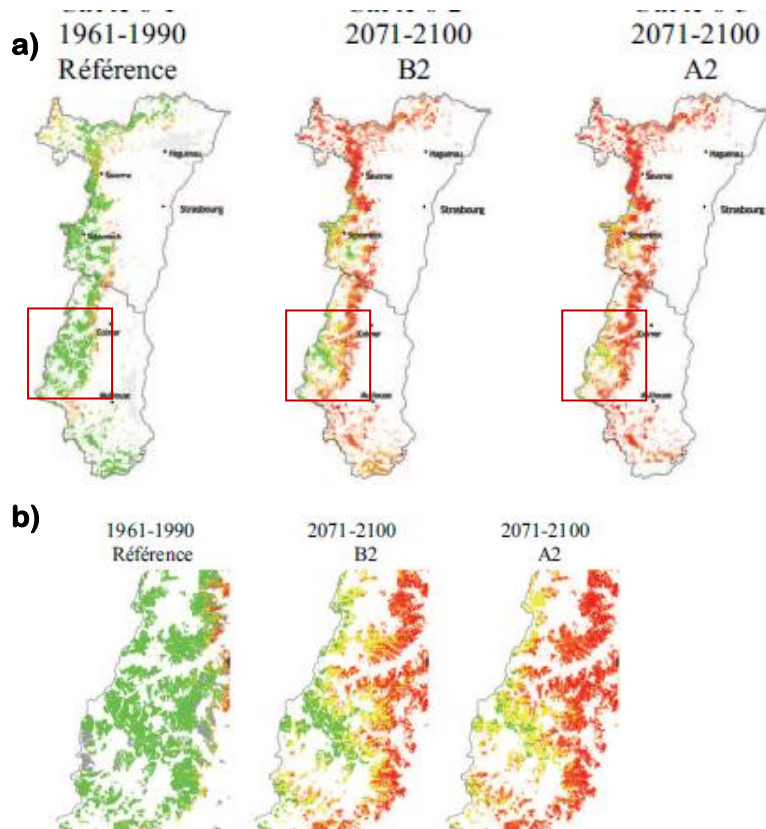
- Disparition progressive des espèces de l'étage montagnard qui toucherait non seulement les moyennes montagnes mais également les Alpes, les Pyrénées et le Massif Central
- Propagation vers le Nord et le Centre de la France des espèces présentes à l'Ouest dans les Landes de Gascogne, le Massif armoricain et la Sologne
- Extension de l'aire biogéographiques des espèces méditerranéennes qui irait jusqu'au Centre de la France
- Le groupe d'espèces collinéennes étant caractéristique du Sud et de l'Ouest de la France, progresse vers le Centre à l'horizon 2050 et vers le Nord-est à l'horizon 2100

Le gradient du déplacement est facile à identifier : de l'Ouest à l'Est et du Sud vers le Nord.

En ce qui concerne la région Alsace, les cartes montrent la diminution drastique de l'aire de distribution des espèces communes à l'étage montagnard (groupe 3) qui peuvent être présentes à l'étage collinéen dans le quart Nord-est. Ce groupe inclut des essences telles que *Abies alba* (Sapin pectiné), *Picea excelsa* (Epicéa commun), *Sorbus aria* (Sorbier des Alpes), *Sorbus aucuparia* (Sorbier des oiseaux), *Sambucus racemosa* (Sureau rouge), et *Ulmus glabra* (Orme de montagne). Si à l'horizon 2050, la réduction de l'aire de distribution des espèces du groupe 4 est déjà perceptible, elle se culmine par une zone-refuge concentrée sur les hauteurs des Vosges et de Jura à l'horizon 2100. Ce groupe est constitué des essences telles que *Fagus sylvatica* (Hêtre commun), *Acer platanoides* et *pseudoplatanus* (Erable plane et Erable sycomore) et *Pinus sylvestris* (Pin sylvestre). En contre partie, des espèces caractéristiques de l'Ouest de la France (groupe 6) progresse au cours du XXI<sup>ème</sup> siècle vers le Centre et Nord et s'installe sur la plaine d'Alsace à l'horizon 2100. Les essences typiques de ce groupe sont *Castanea sativa* (Châtaignier commun), *Mespilus germanica* (Néflier commun) et *Frangula alnus* (Bourdainne ou Aulne noire).

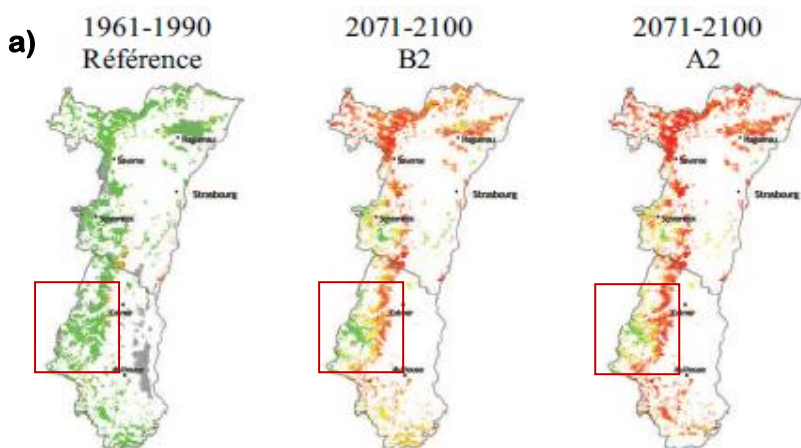
Ces résultats de la modélisation sont conformes aux conclusions d'une autre étude menée par R. BŒUF et L. GAUTIER (2009) qui met en évidence la vulnérabilité au stress hydrique des principales essences forestières en Alsace aux horizons 2100 selon les scénarios B2 (« optimiste ») et A2 (« pessimiste »). Ce travail concerne les essences du Sapin (voir illustration 2), du Hêtre (voir illustration 3), du Chêne sessile (voir illustration 4), du Chêne pédonculé (voir illustration 5) et du Pin sylvestre (voir illustration 6).

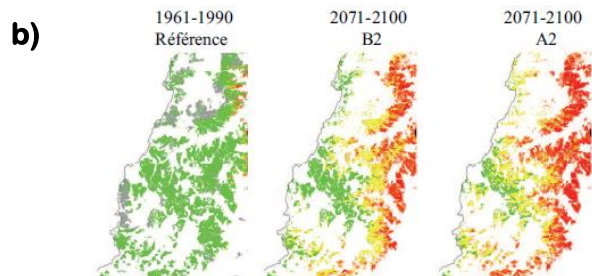
Illustration 2 : vulnérabilité du Sapin (*Abies alba*) en Alsace (a) et le zoom sur les Hautes Vosges (b) exprimée en degré de sensibilité au stress hydrique : dans son optimum (vert), seinsible (jaune), très sensible (orange) et vulnérable (rouge). Source : R. BŒUF et L. GAUTIER (2009)



Les formations sapinières seront probablement les plus touchées par les aléas du stress hydrique prévu pour la fin du XXI<sup>ème</sup> siècle. Leur régression apparaît comme étant déjà engagée sur le piémont des Vosges et à l'horizon 2100 leur distribution géographique sera limitée aux sommets des Hautes Vosges.

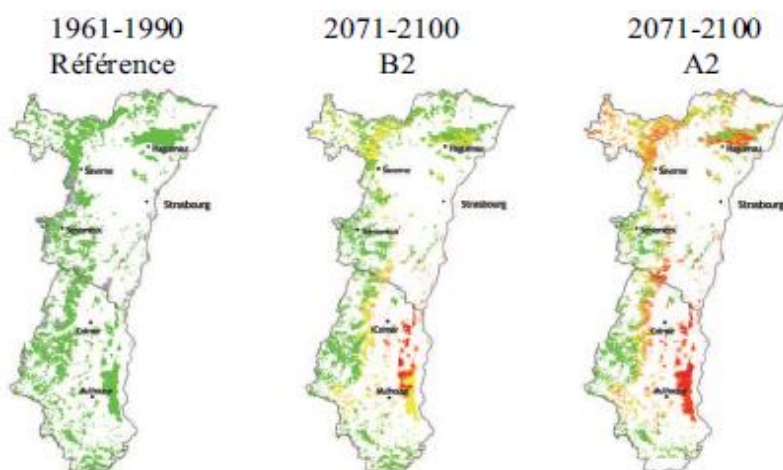
Illustration 3 : vulnérabilité du Hêtre *Fagus Sylvatica* en Alsace (a) et le zoom sur les Haute Vosges (b) exprimée en degré de sensibilité au stress hydrique : dans son optimum (vert), seinsible (jaune), très sensible (orange) et vulnérable (rouge). Source : R. BŒUF et L. GAUTIER (2009)





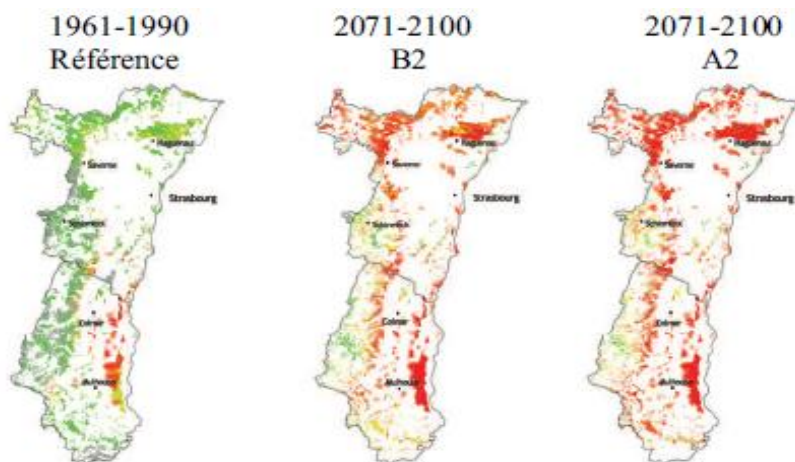
Les Hêtraies seront touchées fortement par le stress hydrique. L'espèce devient vulnérable à ce phénomène vers la fin du siècle selon tous les scénarios envisageables. Sa présence sera localisée dans les zones-refuges situées dans les Hautes Vosges en réduisant d'une façon drastique son aire de distribution dans la région.

Illustration 4 : vulnérabilité du Chêne sessile (*Quercus petraea*) exprimée en degré de sensibilité au stress hydrique : dans son optimum (vert), seinsible (jaune), très sensible (orange) et vulnérable (rouge). Source : R. BŒUF et L. GAUTIER (2009)



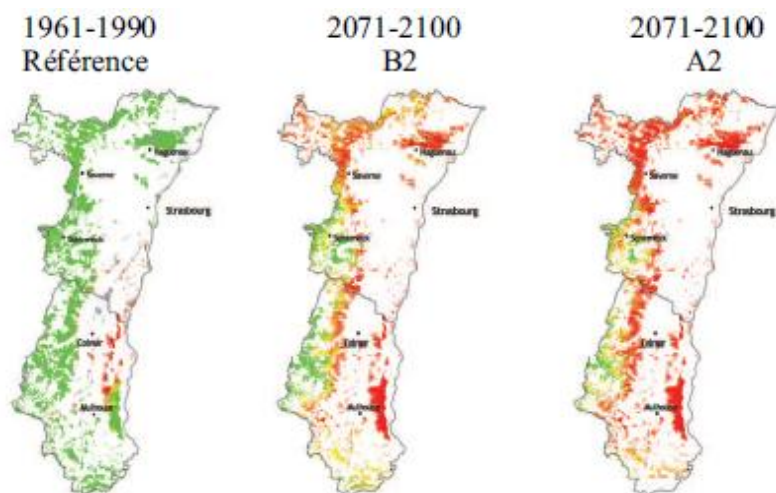
Par rapport aux autres espèces, le Chêne sessile s'adapte le mieux aux conditions de stress hydrique et par conséquent, se trouve plus compétitif. Si d'une manière générale, on ne remarque pas de tendance à l'extension de son aire de distribution, sa régression concerne presque exclusivement la forêt de Hardt où la situation s'aggrave vers la fin du siècle.

Illustration 5 : vulnérabilité du Chêne pédonculé (*Quercus robur*) exprimée en degré de sensibilité au stress hydrique : dans son optimum (vert), seinsible (jaune), très sensible (orange) et vulnérable (rouge). Source : R. BŒUF et L. GAUTIER (2009)



Le Chêne pédonculé a déjà fait objet d'une étude portée sur le processus de déperissement de cette essence observé dans la forêt de Hardt. La carte de référence montre ce constat du terrain, et les modélisations concernant l'évolution à l'horizon 2100 selon les scénarios B2 et A2, ne font qu'augmenter l'ampleur de ce phénomène. Ainsi, vers la fin du XXI<sup>ème</sup> toutes les formations constituées du Chêne pédonculé situées en Alsace, seront dans une situation de vulnérabilité face au stress hydrique et risqueront un déperissement généralisé.

Illustration 6 : vulnérabilité du Pin sylvestre (*Pinus sylvestris*) exprimée en degré de sensibilité au stress hydrique : dans son optimum (vert), seinsible (jaune), très sensible (orange) et vulnérable (rouge). Source : R. BŒUF et L. GAUTIER (2009)



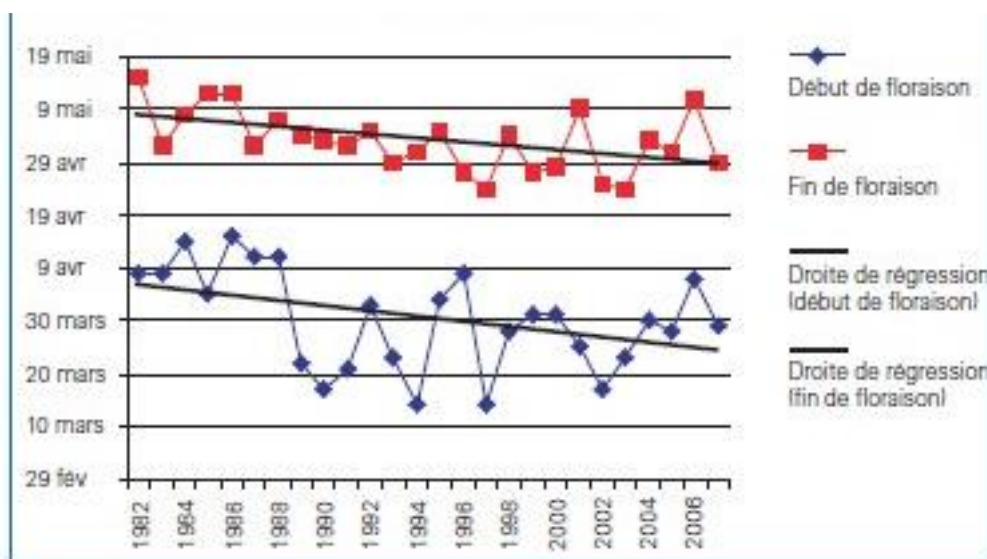
Si le Pin sylvestre, présent dans les Vosges, dans la forêt d'Hageunau et plus rare dans la forêt de Hardt, se trouve dans des conditions actuelles favorables, le changement climatique attendu au cours de ce siècle serait susceptible de le rendre vulnérable face au risque du stress hydrique. Ainsi sa disparition de la plaine et du piémont des Vosges devient probable pour tous les scénarios évoqués.

## 2.2. Impacts sur la phénologie<sup>9</sup> et la reproduction des arbres

Les changements observés dans le passé récent ont mis en évidence l'allongement de la saison de végétation<sup>10</sup>. Le réchauffement attendu au cours du XXI<sup>ème</sup> siècle ne fera sans doute qu'accentuer cette tendance.

Le débourrement<sup>11</sup> et la floraison<sup>12</sup> plus précoce exposeront les arbres aux risques de gel « tardif » au printemps, ainsi qu'à une maturité des graines avancées en fin de saison. Par exemple les observations des périodes de floraison du bouleau à Bâle (voir illustration 7) ont démontré qu'actuellement la saison de pollen commence 13 jours plus tôt qu'il y a 30 ans.

Illustration 7 : évolution des dates du début et de la fin de floraison du bouleau à Bâle. Source : MétéoSuisse



## 2.3. Impacts sur la croissance des arbres et par conséquent, sur la production de bois

Sur la France, la disponibilité en eau est un des facteurs qui contrôlent la croissance des arbres : la formation d'1 gramme de carbone dans le bois nécessite la transformation de 0.5-0.8 litre d'eau<sup>13</sup>.

Selon l'IFN, la production moyenne de 2005-2006, selon les principales essences forestières françaises, était de l'ordre de :

- 6 m<sup>3</sup>/ha/an pour le Hêtre
- 5 m<sup>3</sup>/ha/an pour le Chêne sessile
- 2 m<sup>3</sup>/ha/an pour le Chêne pubescent

<sup>9</sup> La phénologie étudie les phénomènes périodiques dans le cycle du développement des plantes

<sup>10</sup> La période durant laquelle s'effectue la croissance en hauteur de l'arbre, accompagnée par le maximum de l'activité de photosynthèse. La durée de cette période peut être définie par le nombre de jours avec la température supérieure à un seuil thermique propre à chaque espèce

<sup>11</sup> Le stade d'ouverture des bourgeons

<sup>12</sup> Le stade d'épanouissement des fleurs et leur apparition en grand nombre

<sup>13</sup> B. ROMAN-AMAT, 2007

- Moins d'1 m<sup>3</sup>/ha/an pour le Chêne vert

Toutefois, il est à noter que pour le quart Nord-est de la France, où actuellement la température prévaut en tant que facteur limitant, une tendance à l'augmentation de la croissance du volume de bois pourra être constatée, en condition de disponibilité suffisante en eau et en azote. Cet accroissement de la production du bois sur tout le territoire français au cours de la première moitié du XXI<sup>e</sup> siècle est prédit par de nombreuses études (DUPOUYE et BONDE, 2007 ; Walther, 2002 ; BADEAU et al, 2004).

Dans l'hypothèse selon laquelle nous verrions le remplacement des essences actuelles par des espèces méditerranéennes ou du Sud-ouest de la France, il est possible d'envisager des pertes de production du bois. Cette perspective est d'autant plus catastrophique pour la région Alsace, lorsque l'on sait que le Hêtre, fortement exposé au risque du stress hydrique à l'horizon 2100, est susceptible de devenir rare dans la région. Il occupe actuellement la première place du volume de bois par essence (17 Mm<sup>3</sup>). Le Sapin qui serait également en dépérissement vers la fin de ce siècle sur la majeure partie du territoire régional, occupe actuellement la deuxième place du volume total par essence (14 Mm<sup>3</sup>) (voir tableau 1).

Tableau 1: volume de bois en forêt de production inventoriée par essence et par catégorie de propriété. Source La forêt française. Résultats issus des campagnes d'inventaire 2005 à 2009 pour la région Alsace. IFN

	Domanial	Autre terrain public	Privé	Total
<i>Essence</i>	<i>Mm<sup>3</sup></i>	<i>Mm<sup>3</sup></i>	<i>Mm<sup>3</sup></i>	<i>Mm<sup>3</sup></i>
Chêne rouvre	2 ± 1	4 ± 1	2 ± 1	8 ± 2
<b>Hêtre</b>	4 ± 1	10 ± 2	3 ± 1	<b>17 ± 3</b>
Autres feuillus	3 ± 1	7 ± 2	8 ± 2	18 ± 3
Tous feuillus	8 ± 2	22 ± 3	13 ± 3	43 ± 5
Pin sylvestre	3 ± 1	4 ± 2	1 ± 1	9 ± 2
<b>Sapin pectiné</b>	3 ± 1	9 ± 3	<i>n.s.</i>	<b>14 ± 3</b>
Épicéa commun	<i>n.s.</i>	6 ± 2	<i>n.s.</i>	11 ± 4
Autres conifères	<i>n.s.</i>	3 ± 1	<i>n.s.</i>	4 ± 2
Tous conifères	9 ± 3	22 ± 4	7 ± 3	38 ± 6
Toutes essences	17 ± 3	44 ± 5	20 ± 4	81 ± 7

La dégradation des forêts prévue pour les régions du Sud et Sud-est, gagnerait le Nord du pays vers la fin du siècle. Cette réduction de la production globale des forêts françaises serait progressive sur plusieurs décennies. Les accidents tels qu'une sécheresse sévère et les feux de forêt pourront accélérer le processus de dégradation.

### 2.4. Impacts sanitaires

L'étude l'ONF Alsace sur la prise en compte des changements climatiques dans les forêts d'Alsace avait pour objectif d'identifier les risques sanitaires pour les forêts susceptibles de survenir ou d'augmenter au cours de XXI<sup>e</sup> siècle. Concernant les statistiques de 18 ans d'observation (de 1987 à 2006), il a été établi que :

- les problèmes liés aux attaques des parasites sont plus souvent d'origine primaire<sup>14</sup> (50%)
- 43% de cas sont liés aux insectes, majoritairement des défoliateurs s'attaquant aux feuillus, ainsi que quelques suceurs de sève
- 6% concerne des maladies fongiques
- Moins d'1% est imputé aux activités de rongeurs

Les feuillus sont visiblement affectés de façon préférentielle, par des parasites primaires, tandis que les résineux le sont par des agents secondaires<sup>15</sup>. Le Chêne et l'Epicéa apparaissent comme des essences affectées les plus souvent par des parasites (26% et 23% respectivement<sup>16</sup>).

En terme de répartition spatiale des essences recensées et vulnérables aux attaques des parasites, de rongeurs et d'autres pathogènes, l'étude de l'ONF cartographie les zones suivantes :

- En plaine (forêt de Hardt, plaine de l'Ill, vallée du Rhin, forêt d'Haguenau) c'est le Chêne autochtone qui semble être le plus affecté
- Sur le Sundgau ce sont le Hêtre et l'Epicéa
- Sur la plaine d'Haguenau ce sont le Pin et le Chêne
- Dans les Hautes Vosges on recense le plus de signalement concernant l'Epicéa
- Dans le Jura alsacien c'est le Sapin qui est concerné.

L'étude de l'ONF (C. DUBOIS, M. WOLFF, 2008) identifie des impacts sanitaires par rapport à une évolution projetée des paramètres climatiques tels que les températures hivernales, estivales et du printemps, l'humidité de l'air et les précipitations, mais également leurs conséquences sur le milieu physique telles que le stress hydrique. Pour le présent rapport on retiendra les conclusions essentielles de ce travail.

Une augmentation des températures en hiver et au printemps favorisera la propagation des parasites et des rongeurs vers le Nord en élevant les seuils létaux pour leur développement avec une accélération du stade larvaire. Une augmentation des températures de toutes les saisons aura probablement un impact sur le phénomène de synchronisme<sup>17</sup> entre le parasite et son hôte, qui dépend à son tour des conditions climatiques. D'un côté, certains auteurs soulignent la grande capacité d'adaptation des insectes qui pourra compenser la phénologie avancée des arbres. D'un autre côté, il est bien connu que certains parasites n'attaquent qu'à un stade précis du développement de son hôte, le plus souvent pendant le

---

<sup>14</sup> « Un parasite primaire est capable d'attaquer des arbres sains et d'y poursuivre son développement » (source : C. DUBOIS, M. WOLFF, 2008)

<sup>15</sup> « Les possibilités de développement d'un parasite secondaire sont contrôlées par l'état physiologique plus ou moins déficient de son hôte. Il ne peut envahir un arbre que si celui-ci ou l'un de ces organes est affaibli par une raison quelconque, d'ordre parasitaire, physiologique ou accidentel » (source : C. DUBOIS, M. WOLFF, 2008).

<sup>16</sup> C. DUBOIS, M. WOLFF, 2008

<sup>17</sup> Synchronisation entre les stades importants du développement de la plante-hôte et l'insecte

débourrement. Ainsi, une anticipation phénologique pourrait diminuer l'intensité des attaques surtout lors des périodes cruciales de la croissance d'un arbre.

Une augmentation de la température en été aurait des effets contrastés selon les seuils létaux des espèces. De manière générale, il a été constaté qu'une forte chaleur a un effet néfaste sur les parasites et d'autres pathogène. Néanmoins, la prolifération de nombreux champignons, par exemple *Sphaeropsis sapinea*, est favorisée par l'élévation de la température moyenne (pour l'exemple cité, qui touche également la région Alsace, la croissance est doublée en condition de la température moyenne entre 20 et 28°C). De ce fait, en dehors des épisodes de vague de chaleur, le climat futur plus doux en hiver et plus chaud en été deviendra optimal à une recrudescence des germes pathogènes.

En même temps, la baisse de l'humidité semble avoir un impact négatif sur le développement épidémique de la plupart des pathogènes qui ont besoin d'une humidité importante. Toutefois, la plupart des champignons ont une grande capacité d'adaptation aux conditions d'humidité. Un stress hydrique modéré qui provoque une libération d'azote dans les tissus végétaux, favorise la prolifération des armillaires. Tandis qu'un faible stress hydrique stimule les capacités de résistance des arbres, un déficit plus sévère les fragilise et les expose aux attaques des parasites secondaires.

Une augmentation du taux de CO<sub>2</sub> dans l'atmosphère aura des effets positifs sur la croissance des arbres, du moins à moyen terme et en qu'elle reste modérée. En effet, la photosynthèse sera favorisée et par conséquent, la production de la biomasse sera plus importante. En cas d'attaque de parasites, les végétaux seront capables de remplacer les organes affectés par de nouveaux.

### **2.5. Risque d'érosion des sols**

Aux moyennes altitudes, dans l'hypothèse d'une diminution du stockage d'eau sous forme de neige, le risque d'érosion torrentielle pourrait croître, entraînant l'érosion des sols et l'instabilité du terrain. En Suisse, les observations du réchauffement climatique sont mises en relation avec une recrudescence des mouvements de terrain<sup>18</sup>. Or, il est connu le rôle de protection des sols instables des versants attribué aux forêts.

La situation particulière de la région Alsace, avec 99% de « forêt de production », suggère une situation de maîtrise en ce qui concerne les opérations de reboisement et donc, un taux de renouvellement de la couverture végétale favorable à la stabilité du sol.

### **2.6. Risque d'incendie**

La baisse des précipitations estivales et la hausse de la température prévues pour le XXI<sup>ème</sup> siècle auront un impact direct sur l'aléa de feux de forêt. L'inflammabilité des essences dépend de la teneur en eau qui risque de diminuer avec les nouvelles conditions climatiques. L'augmentation en fréquence des feux entraîne une régression des formations des espèces arborées au profit des formations arbustives.

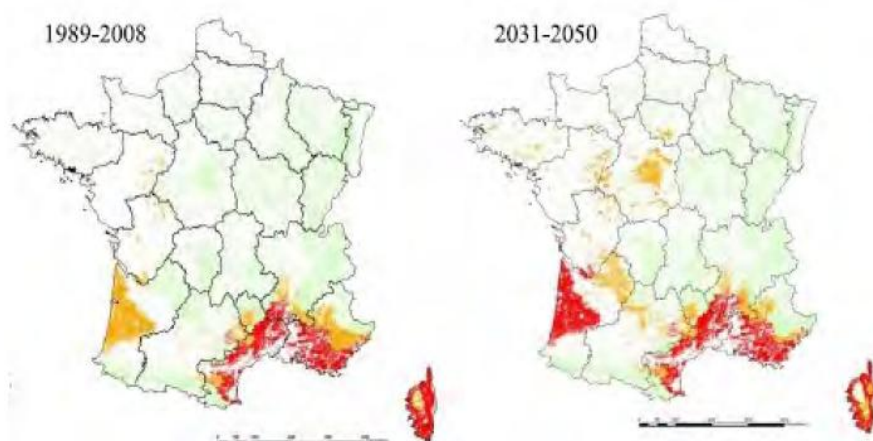
---

<sup>18</sup> Les changements climatiques et la Suisse en 2050, OcCC/Proclim

L'extension vers le Nord des espèces méditerranéennes telles que le Pin d'Alep, hautement inflammable, serait susceptible d'augmenter le risque d'incendie pour les régions qui n'étaient pas concernées par ce type d'aléa auparavant.

Toutefois, les forêts de Nord-est de la France ne devraient pas être touchées au même degré que le Sud et le Sud-ouest (voir illustration 8).

Illustration 8 : degré de sensibilité actuel (à gauche) et à l'horizon 2040 (à droite) pour les massifs de plus de 100 ha. Le niveau le plus élevé est en rouge, le niveau moyen en orange et le niveau faible en vert. Source : CHATRY C. et al., 2010, p. 55



Les deux cartes ci-dessus pour les massifs de plus de 100 ha indiquent le degré de sensibilité actuel (à gauche) et pour l'horizon 2040 (à droite). Le niveau le plus élevé est en rouge, le niveau moyen en orange et en vert pâle le niveau faible. En blanc les zones sans massif forestier supérieur à 100 ha ou à sensibilité très faible. La carte pour 2040 à un format plus grand est en partie 6 - figure 13.

### 3. Réflexions sur les scénarios de gestion de la forêt française au cours du XXI<sup>ème</sup> siècle

Une étude prospective sur la forêt française aux horizons 2050 et 2100<sup>19</sup> présentée au Conseil général de l'agriculture, de l'alimentation et des espaces ruraux, a mis en évidence l'importance d'une prise de décision concernant les priorités choisies dans le domaine de la gestion des forêts. Afin de proposer une réflexion sur les possibilités d'avenir des forêts françaises cinq scénarios ont été étudiés selon les différentes combinaisons de facteurs de changement, climatiques, sociétaux, politiques, s'opérant au niveau local et global, mais également selon les différentes fonctions de la forêt choisies en tant que priorités. Les cinq scénarios sont les suivants (voir également annexe 1) :

<sup>19</sup> J.-M. BOURGAU et al., 2008

### - Scénario 1 : « tout pour l'énergie »

A l'horizon 2050, la superficie totale des forêts françaises serait à la hausse significative par rapport à la situation de 2005, dont la superficie des forêts « industrielles »<sup>20</sup> serait augmentée de 6 M ha, tandis que celle des forêts « multifonctionnelles »<sup>21</sup> diminuerait d'1 M ha. Les zones protégées et réservées à la sauvegarde de la biodiversité seront restreintes au strict nécessaire imposé par les règlements européens.

### - Scénario 2 : « tout pour le développement durable »

A l'horizon 2050, la superficie totale des forêts françaises serait légèrement augmentée par rapport à la situation en 2005, dont la surface occupée par les forêts « industrielles » serait en hausse de 3 M ha, tandis que les forêts « multifonctionnelles » régresseraient de 2 M ha. Les zones réservées à la protection de la biodiversité et les ressources naturelles gagneraient 1 M ha.

### - Scénario 3 : « tout pour l'alimentation »

L'équilibre entre l'agriculture et la foresterie en termes d'occupation du sol deviendrait de plus en plus fragile sous la pression du changement climatique. En 2050, les forêts les plus facilement exploitables seraient remplacées par les cultures intensives, et celles qui subsisteraient, seront difficiles d'accès et d'exploitation. De ce fait, la demande étant à la hausse constante, et la production revue à la baisse, les prix des produits issus de la filière bois deviendraient élevés. La superficie totale des forêts françaises seraient réduite de 5 M ha, avec la disparition totale des forêts « industrielles » et la diminution de 3 M ha de la surface des forêts « multifonctionnelles ». Ce recul des espaces boisés se traduirait également par une perte de l'ordre d' des zones M ha réservées à la biodiversité et la protection des ressources naturelles.

### - Scénario 4 : « concurrence alimentation-énergie »

Toujours à la recherche de l'équilibre entre les besoins de terres pour l'agriculture et la demande accrue pour les produits issus de la filière bois et notamment pour le bois-énergie, ce scénario décrit une situation où les deux tendances coexisteraient. Toutefois, en termes de superficie totale des forêts françaises à l'horizon 2050, celle-ci reculerait d'1 M ha. La surface occupée par les forêts « industrielles » augmenterait de 4 M ha au détriment des forêts « multifonctionnelles ». Les zones protégées ne subiraient pas de changements majeurs en restant à leur strict minimum imposé par la Communauté européenne.

### - Scénario 5 : « les friches forestières »

---

<sup>20</sup> Forêt monospécifique (essentiellement des peuplements de résineux), plantée à proximité d'une usine de transformation pour son approvisionnement. 5% de sa surface au maximum est réservé pour la biodiversité et/ou le paysage

<sup>21</sup> Plusieurs objectifs sont pris en compte dans la gestion de ce type de forêt : production, maintien de la biodiversité, sauvegarde des ressources, loisirs, maîtrise des risques etc.

A l'horizon 2050 malgré le réchauffement progressif, la superficie totale des forêts françaises serait augmentée de 2 M ha. Néanmoins, selon ce scénario, dans le contexte général de manque d'intérêt de la société pour la gestion durable des ressources et de la faible rentabilité des produits issus de la filière bois locale, les exploitations seraient abandonnées progressivement en raison, entre autres, du marché économique peu favorable, du prix des terres souvent difficilement accessibles et ne permettant pas de reconversion. Ce sont les zones réservées à la biodiversité et à la protection des ressources naturelles qui pourraient profiter de cette situation et verraient leurs superficies augmenter de 2 M ha par rapport à 2005.

Evidemment, cette étude ne donne pas de préférence à un scénario précis parmi les cinq présentés. Dans l'annexe on trouve un tableau qui contient les surfaces observées (2005) des différents types de forêts selon les fonctions prédominantes ainsi que les surfaces projetées à l'horizon 2050. Ainsi, il est possible de quantifier les conséquences des différents scénarios en comparaison avec l'état « initial » (voir annexe 1).

Une autre démarche prospective a été entreprise par l'INRA. Un croisement de deux axes prioritaires centrés sur la valorisation du bois ou des autres fonctions, avec deux alternatives opposant la forêt et l'industrie, a donné seize scénarios provenant de ces quatre options. Afin de présenter les résultats de cette étude, le rapport de l'INRA résume la perspective à long terme des forêts et de la filière bois en quatre scénarios qui sont les suivants :

### - **Scénario 1 : ressource en bois d'œuvre**

Le bois d'œuvre de qualité devient très demandé par la grosse industrie. L'inefficacité de l'adaptation des structures de la forêt au niveau local provoque un découplage entre l'industrie et la forêt et dans certains cas une intervention des délocalisations des grandes entreprises cherchant d'autres sources à l'étranger. Progressivement les espaces boisés deviennent délaissés. Pour certains experts ce scénario répondrait aux tendances actuelles en France.

### - **Scénario 2 : industrie et multifonctionnalité**

Ce scénario envisage une coexistence de multiples fonctions de la forêt : maintien des emplois industriels, respect de l'environnement, accueil du public etc. Cette situation exigerait une possibilité de pouvoir assumer les surcoûts de ce type de fonctionnement ainsi qu'un avenir des industries qui parviennent à rester compétitives dans le contexte de la mondialisation en ayant les ressources de proximité dont elles ont besoin. Ce scénario demandera d'entreprendre plusieurs mesures concernant par exemple des pratiques sylvicoles, la structure de la propriété forestière, la vente du bois, les centres de traitement etc. Ceci est envisagé dans l'optique d'un rapprochement de la forêt et de l'industrie qui auraient des liens étroits et solides au niveau des investissements.

### - **Scénario 3 : tout territoire**

Avec ce scénario, la production de bois n'est plus une priorité dans les préoccupations des pouvoirs politiques et dans la volonté sociale malgré le fait que le bois reste un produit important. La forêt est perçue avant tout comme une source de services environnementaux. Cette situation aggraverait le découplage entre la forêt et l'industrie qui a été évoqué dans le

scénario 1. La gestion forestière consiste uniquement à assurer la multifonctionnalité. La forêt devient un sujet secondaire pour de nombreux secteurs tels que l'aménagement du territoire, le tourisme, l'écologie, l'éducation, l'agriculture etc. Le problème qui se pose pour la première fois dans cette analyse des scénarios, consisterait à trouver du financement : il est éventuellement envisageable par l'instauration d'une taxe. Dans le cas contraire, la forêt serait délaissée faisant place aux espaces naturels avec un minimum d'entretien. Sur le plan économique, malgré une création probable d'un certain nombre d'emplois grâce aux fonctions environnementales, récréatives et éducatives de la forêt, une telle situation se traduira par des pertes causées par le recul de l'industrie.

### - **Scénario 4 : séparation des espaces et des fonctions**

Ce scénario prévoit deux tiers de la surface forestière totale de la France ayant la priorité environnementale ou récréative et un tiers uniquement en forêt de production qui alimenterait tous les besoins nationaux en bois par une intensification de cette production. C'est quasiment le système que l'on retrouve en Nouvelle-Zélande. D'après les experts, ce scénario peut s'avérer économiquement riche : il n'exclut pas un lien entre la forêt et l'agriculture, il permet de garder des emplois dans l'industrie tout en créant de nouveaux dans d'autres fonctions de la forêt. Toutefois, il est à noter que certains espaces où ces fonctions seront plus contraignantes, les forêts risquent d'être abandonnés.

L'étude prospective de l'INRA a été réalisée dans le but de lancer une élaboration du schéma directeur du département Forêts et Milieux naturels de l'INRA et a servi lors du projet ADAGE<sup>22</sup>, l'atelier de réflexion prospective de l'ANR.

---

<sup>22</sup> ADaptation de l'AGriculture et des Ecosystèmes anthropisés au changement climatique ([https://www1.clermont.inra.fr/adage/index.php?page=documents\\_et\\_rapports](https://www1.clermont.inra.fr/adage/index.php?page=documents_et_rapports))

## Conclusion

Le changement climatique affectera tous les écosystèmes y compris la forêt. A l'échelle nationale les impacts seront d'ampleur différente selon les régions touchant en premier lieu le Sud et le Sud-ouest de la France. Cette disparité sera susceptible de créer des inégalités entre les régions au plan de l'adaptation. Une situation de crise serait alors envisageable et notamment pour la filière bois. A l'échelle régionale, il est possible de distinguer deux unités géographiques concernant les forêts, qui sont la plaine d'Alsace et le relief des Vosges. Il a été souligné auparavant qu'actuellement en Alsace, le facteur limitant la croissance des arbres est la température et que pendant le siècle à venir, c'est la disponibilité en eau qui conditionnera le développement des forêts. De ce fait, la plaine d'Alsace se trouvera favorisée par la présence de la nappe phréatique d'importante profondeur par rapport au relief des Vosges où l'existence des petites nappes localisées serait probablement menacée par la baisse annuelle des précipitations en plus d'une forte demande d'évapotranspiration en été.

Les résultats de la modélisation (R. BŒUF et L. GAUTIER, 2009) indiquent les essences les plus vulnérables au changement des conditions hydriques locales. Ce sont le Hêtre et le Sapin qui paraissent les plus touchés. Les conséquences de la régression de ces peuplements forestiers seront non seulement visibles dans les paysages des montagnes mais également perceptibles sur le plan économique car la somme des productions de ces deux essences est égale à 38% de la production actuelle totale de la région Alsace (IFN, 2010). De plus, il semble que le dépérissement de ces deux espèces pourrait causer une diminution de potentiel de stockage du gaz carbonique au niveau régional.

La publication de la revue « Rendez-vous technique » de l'ONF s'attarde sur les premières leçons à tirer des connaissances existantes sur les impacts du changement climatique concernant les forêts et qui peuvent constituer des axes de réflexion sur l'adaptation. Selon les auteurs, il convient de :

- cerner les impacts en travaillant sur plusieurs échelles, nationale et locale
- limiter les impacts sur lesquels il est possible d'agir dès aujourd'hui
- choisir le matériel végétal afin d'anticiper une meilleure adaptation en favorisant la diversité et la mixité des essences ainsi que la régénération naturelle
- adapter les pratiques sylvicoles face à une augmentation de la productivité et une baisse de la disponibilité en eau
- préserver la biodiversité des forêts
- développer les réseaux de surveillance et d'observation afin de mieux gérer les situations de crise telles que les feux de forêts, la sécheresse etc.

### Bibliographie

BADEAU V. et *al.*, 2004. Projet CARBOFOR : séquestration de carbone dans les grands écosystèmes forestiers en France. Tâche D1 : Modélisation et cartographie de l'aire climatique potentielle des grandes essences forestières françaises. Rapport final.

BŒUF R. et GAUTIER L., 2009. Changements climatique : identification et cartographie du degré de vulnérabilité au stress hydrique des principales essences forestières d'Alsace selon une approche synécologique. Disponible sur [http://www.forestclim.eu/uploads/media/article\\_boeuf.pdf](http://www.forestclim.eu/uploads/media/article_boeuf.pdf)

BOURGAU J.-M. et *al.*, 2008. La forêt française en 2050-2100. Essai de prospective. Conseil général de l'agriculture, de l'alimentation et des espaces ruraux.

CHATRY C. et *al.*, 2010. Changement climatique et extension des zones sensible aux feux de forêts. Rapport de la mission interministérielle.

DUBOIS C., WOLFF M., 2008. La prise en compte des changements climatiques dans les forêts d'Alsace. Les problèmes sanitaires des forêts alsaciennes. Office National des Forêts – Direction Territoriale Alsace. Disponible sur [http://www.fibois-alsace.com/files\\_upload/documentation/201003170909280.ONF-probleme-sanitaire-foret-alsace-2008.pdf](http://www.fibois-alsace.com/files_upload/documentation/201003170909280.ONF-probleme-sanitaire-foret-alsace-2008.pdf)

GRANIER A. et BREDA N., 2007. Ecophysiologie et fonctionnement des écosystèmes forestiers. Forêt et milieux naturels face aux changements climatiques. Rendez-vous technique de l'ONF, hors-série N°3, 2007, pp. 81-89

LEGAY M. et *al.*, 2007. La gestion forestière face aux changements climatiques : tirons les premiers enseignements. Forêt et milieux naturels face aux changements climatiques. Rendez-vous technique de l'ONF, hors-série N°3, 2007, pp. 95-102

ROMAN-AMAT B., 2007. Préparer les forêts françaises au changement climatique. Rapport à MM. Les Ministres de l'agriculture et de la Pêche et de l'Ecologie, du Développement et de l'Aménagement Durables. Disponible sur <http://lesrapports.ladocumentationfrancaise.fr/BRP/084000154/0000.pdf>

SAVINI I. et CRISTOFINI B. Des scénarios d'avenir pour la forêt, l'industrie du bois et leurs liaisons au territoire. Dossier de l'environnement de l'INRA N°20, pp.294-303. Disponible sur [www.inra.fr/dpenv/pdf/SaviniD20.pdf](http://www.inra.fr/dpenv/pdf/SaviniD20.pdf)

SEBILOTTE M., 1998. La forêt, sa filière et leurs liens au territoire : les grandes lignes de la démarche de prospective coordonnée par l'INRA. Rev. For. Fr. L – 6 – 1998. Disponible sur <http://documents.irevues.inist.fr/handle/2042/5568>

La forêt française. Les résultats issus des campagnes d'inventaire 2005 à 2009. Les résultats pour la région Alsace. IFN 2010. ISSN : 1952-9813. Décembre 2010. Disponible sur le site [www.ifn.fr](http://www.ifn.fr)

Emissions de gaz à effet de serre en Alsace. Evaluation des puits et émissions de CO<sub>2</sub> liés à l'utilisation des terres, au changement d'affectation et à la foresterie. ASPA 2010. Disponible sur le site [www.atmo-alsace.net](http://www.atmo-alsace.net) sous référence ASPA-10061402-ID.

## Vulnérabilité des forêts alsaciennes face au changement climatique

La filière forêt-bois : panorama des secteurs d'activité. INSEE 2009. Chiffres pour l'Alsace. N°1 Février 2009. ISSN : 1627-2714. Disponible sur le site [www.insee.fr](http://www.insee.fr)

Les changements climatiques et la Suisse en 2050. OcCC/Proclim, 2007, Bern. Disponible sur <http://proclimweb.scnat.ch/Product/ch2050-rapport.html>

La forêt française : un puits de carbone ? Son rôle dans la limitation des changements climatiques. L'IF N°7, mars 2005. ISSN : 1769-6755. Disponible sur le site [www.ifn.fr](http://www.ifn.fr)

### Annexe 1 : tableau – aspects quantitatifs des scénarios

Les tableaux ci-dessous, proposent, à titre illustratif, un chiffrage possible des ordres de grandeur de surface occupés par les différents types d'usage des sols et les différents types de gestion forestière, dans les différents scénarios.

Aspects spatiaux (en millions d'hectares)

Scénarios	Situation 1950	Situation 2005	1 - Tout pour l'énergie	2 - Tout pour le développement durable	3 - Tout pour l'alimentation	4 Concurrence alimentation énergie	5 - Friches forestières
SAU <i>dont</i>	34	29	23	26	33	31	25
<i>Terres labourables</i>	19	18	16	17	28	26	16
<i>Superficies toujours en herbe</i>	13	10	6	8	4	4	8
<i>Cultures permanentes</i>	2	1	1	1	1	1	1
<b>Forêts de production, dont</b>	11	15	20	17	10	14	17
<i>« gros bois » et taillis sous futaie</i>	7	10	11	9	7	7	12
<i>cultivées et taillis (dont TCR)</i>	4	5	9	8	3	7	5
<i>TCR</i>	0	négligeable	5	2	négligeable	5	négligeable
<b>Forêts de protection</b>	1	1	1	1	1	1	1
<b>Landes, maquis, garrigues</b>	5	3	2	3	2	1	2
<b>Terrains anthropisés</b>	4	7	9	8	9	8	10
<b>Total dont</b>	55	55	55	55	55	55	55
<i>forêts</i>	12	16	21	18	11	15	18

Source : BOURGAU J.-M. et al., 2008, p. 61.

## Annexe 2 : grille des scénarios par l'INRA

	<b>Découplage</b> Forêt / Industrie LOGIQUE = TERRITOIRE	<b>Non-Découplage</b> Forêt / Industrie LOGIQUE = FILIÈRE
<b>Bois</b> + Multifonction  OBJECTIF = VALORISATION DU BOIS	<b>Scénario I :</b> SC. "tendanciel instable" . Au 1er plan : la ressource forestière . Attentes / forêt : fonction bois, sous contrainte multifonctionnelle dans une approche territoire global . Industrie : import croissant de bois adapté et peu cher . Risque : à terme, perte du débouché bois d'industrie, et délocalisation de certaines fonctions de production ?	<b>Scénario II :</b> SC. "Industrie et multifonctionnalité" . Au 1er plan : la fixation d'industries, d'emplois et de valeur ajoutée . Attentes / forêt : fonction bois, sous contrainte multifonctionnelle dans une approche filière . Exploitation pour le bois de l'ensemble de la forêt, sous contrainte multifonctionnelle . Plantation accrue de peupliers et résineux . Exploitation notable pour le bois d'industrie . Possibilité gestion multifonctionnelle si conditions réglementaires adaptées
<b>Non-bois</b>  OBJECTIF = VALORISATION DES AUTRES FONCTIONS	<b>Scénario III :</b> SC. du "tout territoire" . Au 1er plan : la fonction purement territoriale de la forêt . Attentes / forêt : autres fonctions, dans une approche territoire global . Forte régression de l'industrie . Tourisme, aménagement et cadre de vie . Mais difficulté de financement des fonctions non marchandes à grande échelle. D'où peut-être d'immenses surfaces "naturelles" peu entretenues ; avec recrudescence des incendies, fermeture des accès ? . Arrêt probable des plantations et e la croissance de la surface forestière (parcours, enrichissement sauvage) ?	<b>Scénario IV :</b> SC. des "forêts spécialisées" . Au 1er plan : forêts spécialisées . Spécialisation des fonctions et des espaces (bois intensif / autres fins) . Attentes / forêt : fonctions spécialisées dont bois, dans une approche filière et territoires spécialisés . L'intégration concerne une partie seulement des surfaces, avec éventuellement des "champs de bois" intensifs et adaptés à la demande industrielle . L'autre partie des surfaces (la plus importante) est laissée aux fonctions non marchandes strictement. Entretien toutefois possible, financé par une taxe sur la filière et une exploitation périodique

Source : SAVINI I. et CRISTOFINI B. Des scénarios d'avenir pour la forêt, l'industrie du bois et leurs liaisons au territoire. Dossier de l'environnement de l'INRA N°20, p. 297.