

ROK-FOR

Influence du changement climatique sur les forêts européennes et sur le secteur forestier



Influence du changement climatique sur les forêts européennes et sur le secteur forestier

Le changement climatique provoqué par les émissions des combustibles fossiles risque de créer des conditions dommageables pour le secteur forestier sans une mise en œuvre active de politiques visant à réduire ses effets.

QU'EST-CE QUE LE CHANGEMENT CLIMATIQUE ?

La température de notre planète est régulée principalement par l'effet de serre. Les gaz naturellement présents dans l'atmosphère empêchent l'énergie solaire et la chaleur venant du centre de la terre de se disperser. Sans ces gaz, la température moyenne à la surface de Terre avoisinerait les -19°C au lieu des 15°C qu'on connaît actuellement.

La modification des concentrations atmosphériques de gaz à effet de serre (GES), des aérosols, de la couverture des sols et du rayonnement solaire perturbe l'équilibre du système climatique et engendre des changements du régime climatique. Les facteurs naturels (rayonnement solaire et aérosols volcaniques) n'ont contribué que très peu aux changements planétaires depuis un siècle. Il est très probable que la majeure partie du réchauffement observé depuis 150 ans est à attribuer aux activités humaines et en particulier aux émissions de GES - dioxyde de carbone (CO_2), mais aussi méthane, protoxyde d'azote, chlorofluorocarbones et hydrochlorofluorocarbones – liées à la combustion d'énergies fossiles (Figure 2).

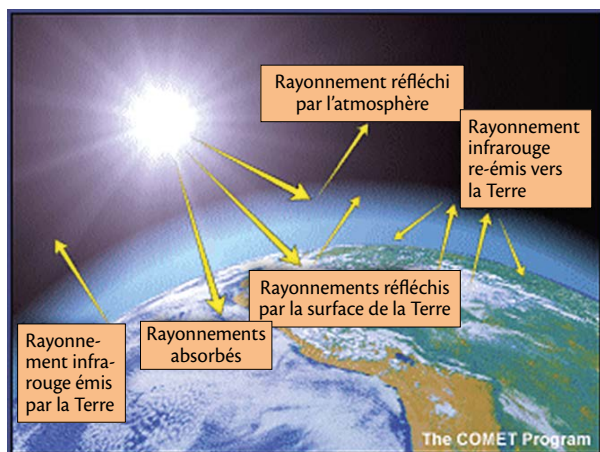


Figure 1 : L'effet de serre. Source : programme COMET

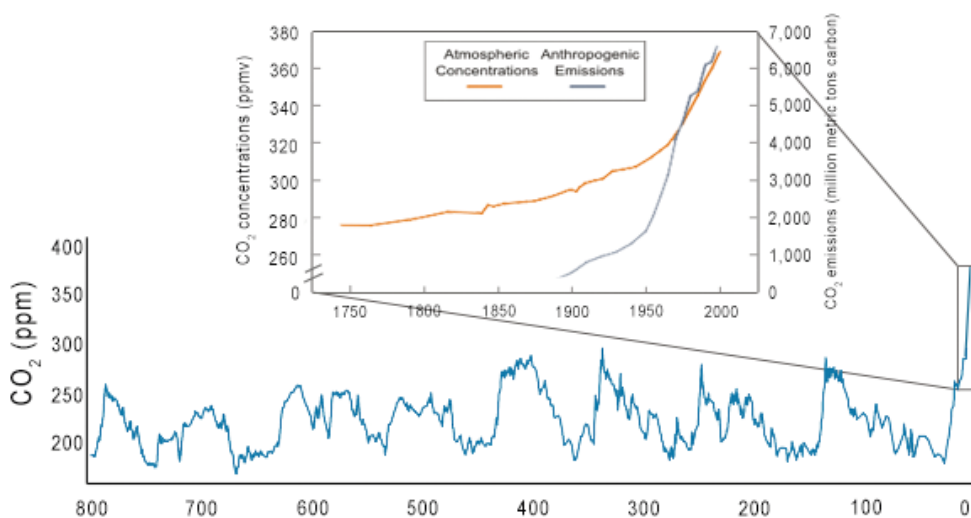


Figure 2 : Evolution des concentrations de CO_2 depuis 800 000 ans et émissions anthropiques de CO_2 depuis 150 ans. D'après Oak Ridge National Library, Carbon Dioxide Information Center et Hansen et al. 2008.

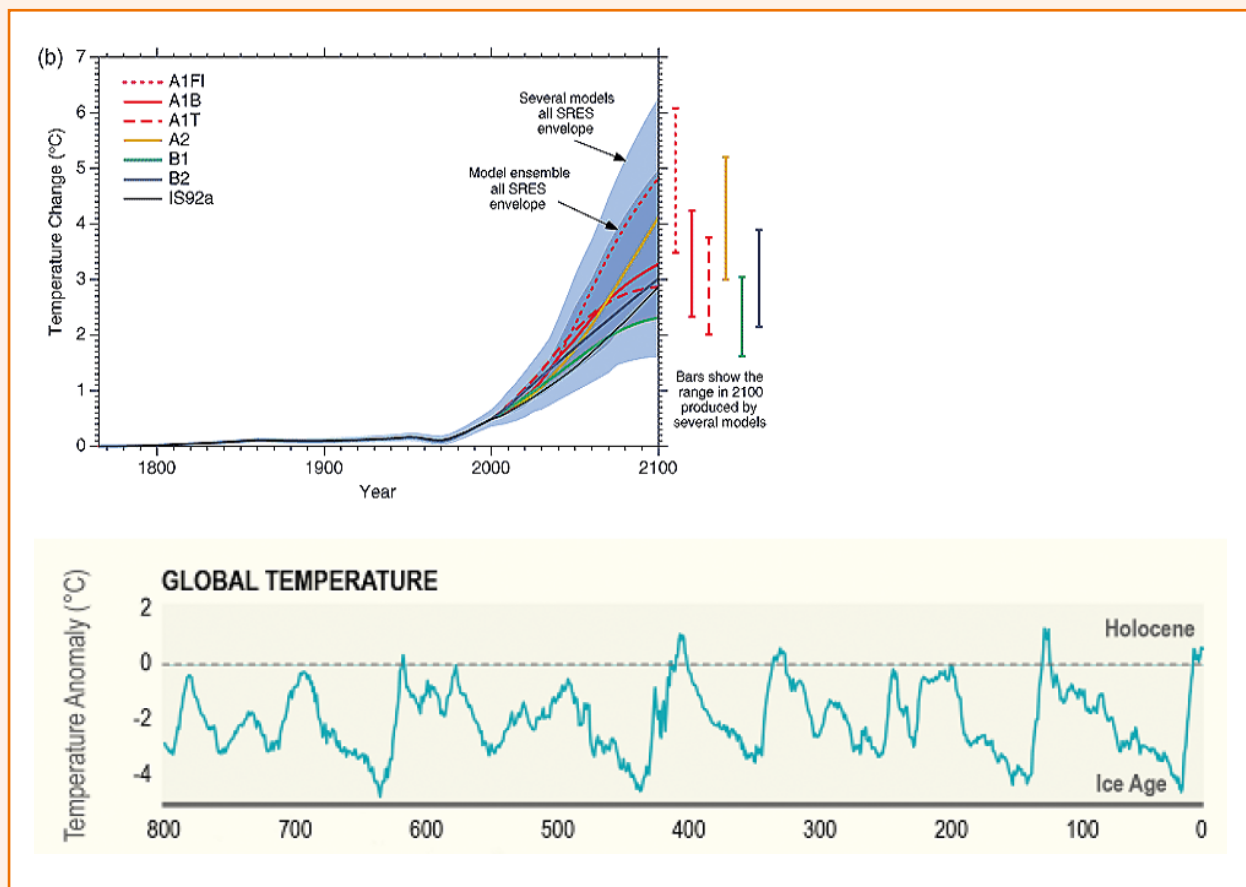


Figure 3 : Evolution moyenne de la température à la surface du globe depuis 800 000 ans et prévisions pour le siècle prochain, basées sur différents scénarios d'émission de combustibles fossiles. Au cours des glaciations passées, les températures ont diminué de 4 degrés sur plusieurs milliers d'années. Si les émissions de GES ne baissent pas, l'augmentation prévue de la température moyenne est de l'ordre de 6°C sur un siècle. Source : GIEC 2007 (en haut), Hansen et al. 2008 (en bas).

En août 2012, les concentrations atmosphériques de CO₂ ont dépassé les 392 ppm, ce qui correspond à une augmentation d'environ 25% depuis 1959, année de début des mesures modernes.

Ce phénomène étant d'origine humaine, les hommes peuvent eux-mêmes décider d'arrêter le processus en réduisant le recours aux combustibles fossiles ou en cessant de les utiliser. C'est pourquoi les prévisions climatiques comportent de fortes incertitudes, et c'est aussi pourquoi les prévisions d'émissions de GES tiennent compte de nombreux scénarios différents représentant les activités humaines potentielles dans le futur.

COMMENT FAIT-ON POUR OBSERVER ET PRÉVOIR LES CHANGEMENTS CLIMATIQUES ?

Comme nous venons de le dire, le changement climatique est principalement dû à la modification des concentrations de gaz à effet de serre dans l'atmosphère. Cependant, les conséquences principales pour les activités humaines sont liées à des variables climatiques courantes comme la température et les précipitations. Pour prévoir le climat futur dans une région donnée, les scientifiques utilisent des applications informatiques capables

de calculer les effets de concentrations croissantes de gaz à effet de serre dans l'atmosphère à l'aide de modèles de la circulation atmosphérique globale et des climats régionaux. Ces modèles sont calibrés sur des données historiques et sur différents scénarios de croissance démographique et économique et de consommation de combustibles fossiles, chaque scénario donnant des résultats différents pour les émissions de gaz à effet de serre (du scénario A1F1 du GIEC pour les émissions élevées au B2 pour les émissions faibles).

LA TEMPÉRATURE DU GLOBE AUGMENTE À UNE VITESSE ET AVEC UNE INTENSITÉ INÉGALÉE DEPUIS QUE L'HUMANITÉ EXISTE.

Les chercheurs du GIEC (Groupe intergouvernemental d'experts sur le climat) disposent de données climatiques datant de 1850 à nos jours. L'analyse de ces données a permis de conclure que la température moyenne de la Terre a augmenté de 0,8°C depuis 1900, et que le réchauffement se poursuit actuellement au rythme de 0,2°C par décennie. En août 2012, la température moyenne de la surface la Terre était la deuxième la plus chaude pour un mois d'août depuis 1850.

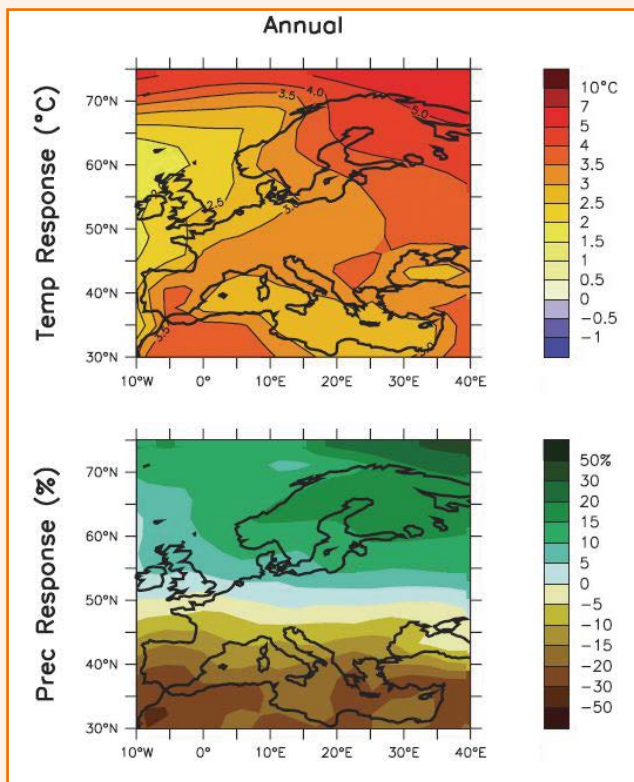


Figure 4 : Evolution de la température et des précipitations en Europe d'ici 2100, d'après le scénario A1B modélisé selon une approche multi-modèles (MMD) prenant en compte 21 modèles planétaires. Source : Christensen et al. 2007.

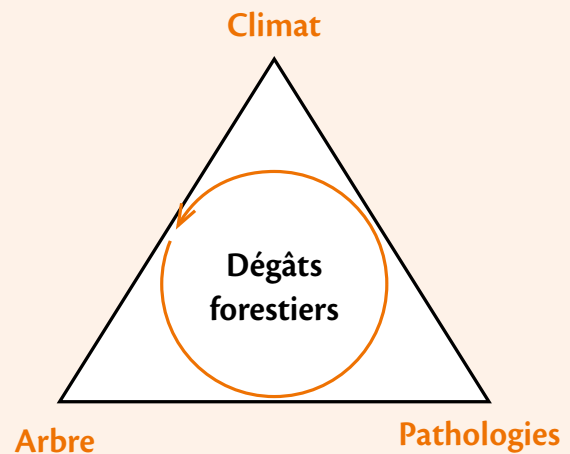


Figure 5 : Le triangle des pathologies des plantes

Si le réchauffement observé est sans précédent en termes de vitesse et d'intensité, les prévisions climatiques pour le 21ème siècle restent très incertaines et vont dépendre des activités humaines et des projections d'émissions correspondantes. Ceci dit, selon tous les experts climatologues, la probabilité du scénario B1 est désormais très faible, et notre société est aujourd'hui sur la trajectoire A1F1. Pour le secteur forestier, il est important de noter que les régions d'Europe ne seront pas toutes affectées avec la même intensité, comme le montre la Figure 4.

ÉVOLUTION DE LA PRÉCIPITATION MOYENNE

A mesure que la température augmente, les régimes des vents et la capacité de rétention de l'humidité de l'air changent également. Selon les prévisions modélisées, cela conduit à une diminution des précipitations dans le sud et au centre de l'Europe et à une augmentation en Europe du Nord.

ÉLÉVATION DU NIVEAU DE LA MER

A mesure que la température augmente, la glace continentale fond et l'eau des océans se dilate, ce qui provoquera d'ici un siècle une élévation du niveau de la mer estimée à 1 mètre.

DES ÉVÉNEMENTS EXTRÊMES PLUS FRÉQUENTS

Les températures plus élevées ont aussi pour effet d'augmenter la turbulence atmosphérique globale et la fréquence des événements extrêmes.

Il est très probable que de tels événements – canicules, pluies torrentielles, tempêtes, inondations et sécheresses – se multiplieront. Même si les modèles de prévision météorologique ne sont toujours pas en mesure de fournir des informations précises sur ces évolutions au niveau régional, il est désormais possible d'identifier certaines tendances fortes.

Les violentes tempêtes capables d'endommager les forêts pourraient se multiplier alors que leur trajectoire se déplacera vers le nord et vers l'est.

Les sécheresses en été (nombre de jours sans pluie) seront plus fréquentes et plus intenses, surtout dans le sud et le centre de l'Europe, en raison des effets conjugués de la hausse des températures et de la diminution des précipitations en été.

Cependant, les pluies torrentielles peuvent aussi devenir plus fréquentes, entraînant l'érosion des sols et réduisant les quantités d'eau disponibles pour les arbres ; ces phénomènes seront plus marqués dans les zones où la capacité de rétention d'eau des sols est faible.

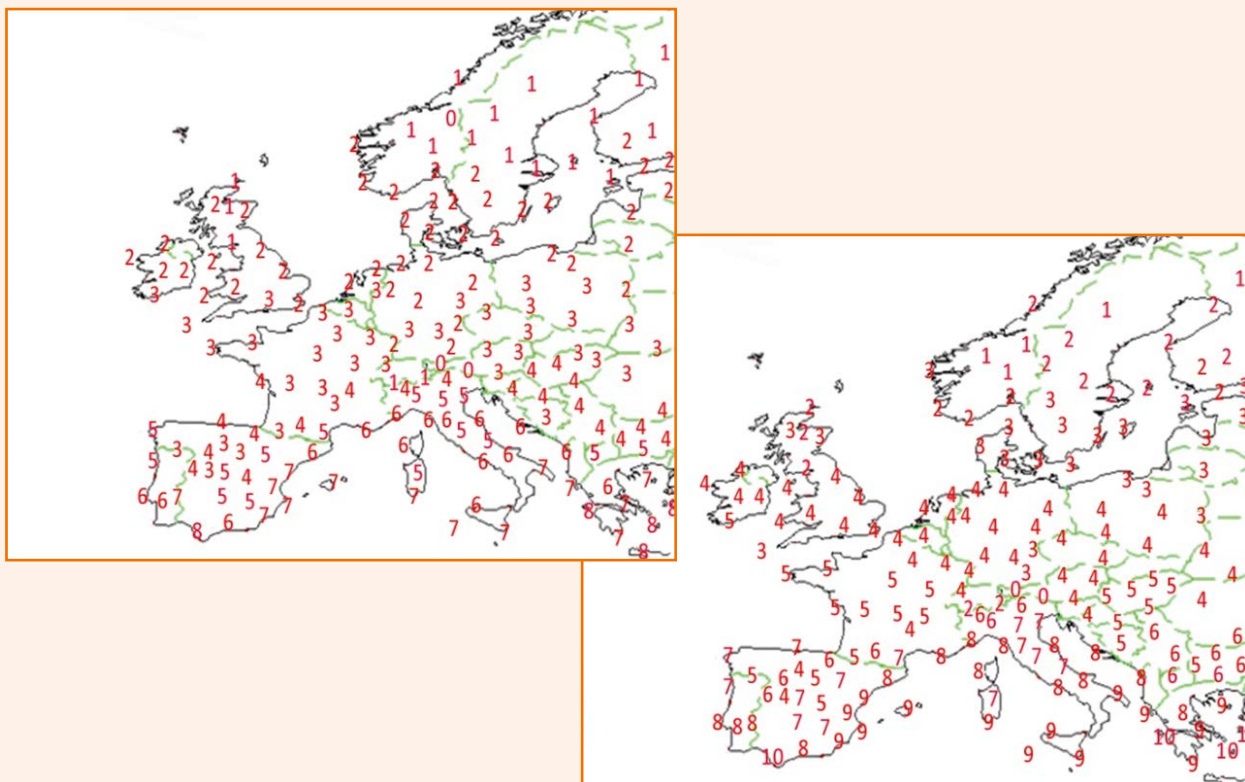


Figure 6 : Simulation du développement de scolytes (*Ips typographus*) dans la zone Fennoscandie en fonction a) des paramètres climatiques actuels et b) de l'impact d'une hausse de 3°C de la température moyenne. 1,2,3...n – nombre de générations de scolytes par an (d'après <http://www.finessi.info/ISTO/index.php?prjpage=99>).

GÉOGRAPHIE DU CHANGEMENT CLIMATIQUE : LES CONSÉQUENCES RÉGIONALES

Le changement climatique n'affectera pas toute l'Europe avec la même intensité. Il est important de prendre en compte non seulement les valeurs climatiques moyennes, mais aussi les changements à prévoir tout au long de l'année et les événements extrêmes (Tableau 1).

RÉGIONS MONTAGNEUSES

Des changements spécifiques sont déjà constatés dans les régions montagneuses (Alpes, Pyrénées, Carpates). La température dans les zones montagneuses d'Europe risque d'augmenter plus fortement que dans les régions environnantes (Lindner et al. 2010). Depuis un siècle, par exemple, la température dans les Alpes augmente (+1,5°C) déjà deux fois plus vite que la température moyenne mondiale. Dans les Alpes suisses, l'augmentation attendue d'ici 2050 est de +2°C en automne, en hiver et au printemps, et de +3°C en été. De plus, la durée d'enneigement dans les Alpes diminue de plusieurs semaines pour 1°C d'augmentation de la température (Christensen et al. 2007).

QUELS IMPACTS DU CHANGEMENT CLIMATIQUE SUR LES FORÊTS ?

Des risques biotiques accrus

De nombreux insectes et champignons endommagent les forêts et tuent les arbres (en dévorant le feuillage, en creusant des galeries dans le bois et en provoquant des pourritures, par exemple). Les arbres s'adaptent progressivement à ces agents pathogènes au fil des générations pour se défendre et survivre. Cependant, le changement climatique risque de perturber cet équilibre et de provoquer ainsi des épidémies. Par exemple, un insecte ravageur au Canada, profitant du climat plus doux, est en train de se multiplier et a déjà tué plus de 16 millions d'hectares de forêts en moins dix ans sur la côte ouest. Il est donc indispensable d'anticiper les effets du changement climatique sur les agents pathogènes connus.

Tout changement dans l'équilibre des trois facteurs représentés par le triangle des pathologies des plantes (Figure 5), risque de provoquer des proliférations massives de ravageurs et/ou de maladies. Le changement climatique affectera de différentes façons les trois pointes de ce triangles.

Par exemple, la distribution du nématode du pin se limite aux zones où la température moyenne en juillet ne dépasse pas 20°C. Mais si rien n'est fait pour limiter le changement climatique, ce ver parasite du pin se déplacera vers le nord, menaçant ainsi tous les pins d'Europe.

Tableau 1. Prévisions des impacts du changement climatique sur les forêts.

	ZONE BORÉALE	ZONE OCÉANIQUE TEMPÉRÉE
PAYS	Suède, Finlande, Norvège	Allemagne, Belgique, Danemark, France, Irlande, Luxembourg, Pays-Bas, République tchèque, Royaume Uni
CHANGEMENT CLIMATIQUE	Augmentation de la température de 3,5 à 5°C, plus forte en hiver (4 à 7°C) qu'en été (3 à 4°C). Augmentation des précipitations annuelles pouvant atteindre 40%. Hivers plus humides	2 à 3,5°C d'augmentation de la température annuelle moyenne. Étés probablement plus chauds et plus secs. Dégâts plus importants liés aux événements extrêmes (tempêtes, inondations, sécheresses).
IMPACTS POTENTIELS	Allongement de la période de croissance. Décomposition accrue de la matière organique du sol et augmentation de l'azote disponible, favorisant la croissance des arbres, les rendements en bois et l'accumulation de carbone dans la biomasse.	Impact positif pour la croissance des forêts vers le nord et l'ouest. Impacts négatifs vers le sud et l'est. Réduction de la diversité des essences. Conséquences plus graves des événements extrêmes (tempêtes, insectes, pathogènes). Expansion des aires de distribution et proliférations massives de ravageurs.
INSECTES RAVAGEURS	Expansion vers le nord de la nonne <i>Lymantria monacha</i> et du bombyx <i>Lymantria dispar</i> . Extension de l'aire de distribution et infestations massives plus fréquentes de <i>Neodiprion sertifer</i> et <i>Ips typographus</i> . Extension marquée vers le nord-est des espèces d' <i>Operophtera brumata</i> moins tolérantes au froid, affectant les zones dominées auparavant par des infestations de <i>Epirrita autumnata</i> . Expansion de <i>E. autumnata</i> et infestations régulières dans les zones les plus froides et les plus éloignées de la mer.	Fréquence accrue d'infestations massives de ravageurs. Développement accru de scolytes sous l'effet de périodes de croissance plus longues et plus chaudes permettant l'éclosion de générations supplémentaires dans l'année et multipliant les densités. Extension et déplacement des aires de distribution de ravageurs comme <i>Lymantria dispar</i> , <i>Lymantria monacha</i> et <i>Thaumetopoea pityocampa</i> .
MALADIES	Extension de maladies fongiques (ex. <i>Heterosidion parviporum</i> , <i>Heterosidion annosum</i>) sous l'effet de l'allongement de la période de croissance et des températures plus élevées.	Expansion d'espèces pathogènes méditerranéennes fortement thermophiles, comme <i>Biscogniauxia mediterranea</i> (maladie du charbon) ou le champignon responsable du chancre du châtaignier, sous l'effet conjugué des températures plus élevées et de la sécheresse. Développement de maladies fongiques présentes à l'état latent sur de grandes superficies (ex. <i>B. mediterranea</i> , <i>Diplodia pinea</i>) en raison des précipitations réduites, les endophytes pouvant devenir pathogènes pour les arbres en état de stress hydrique. La sécheresse est également un facteur important de déclenchement de maladies des racines provoquées par des champignons comme <i>Armillaria spp.</i> (conifères) ou <i>Collybia fusipes</i> (chênes) Les températures plus élevées en été favoriseront le développement d'une autre sous-espèce de <i>Meilampsora</i> et de <i>Heterobasidion annosum</i> , responsable de pourriture racinaire. Présence accrue de <i>Dothistroma</i> , responsable de maladies des aiguilles du pin, en période humide au printemps et pendant l'été, ou déclin en cas de précipitations déficitaires.

	ZONE CONTINENTALE TEMPEREE	ZONE MEDITERRANENNE
PAYS	Autriche, Bulgarie, Croatie, Estonie, Hongrie, Lettonie, Lituanie, Pologne, Roumanie, Serbie, Slovaquie, Slovénie	Chypre, Espagne, Grèce, Italie, Malte, Portugal
CHANGEMENT CLIMATIQUE	3 à 4,5°C de hausse de la température annuelle moyenne. Jusqu'à 10% d'augmentation des précipitations annuelles moyennes, surtout en hiver. Précipitations d'été en diminution sur la plupart de la région (jusqu'à -10%).	3 à 4°C de hausse de la température annuelle moyenne. Jusqu'à 20% de diminution des précipitations annuelles. Evolution de la fréquence, de l'intensité et de la durée des événements extrêmes.
IMPACTS POTENTIELS	Déclin de la productivité forestière dans les sites exposés au stress hydrique. Endurcissement hivernal réduit par les hivers plus doux, exposant davantage les arbres aux dégâts du gel. Perturbations abiotiques en augmentation (feux de forêt, déracinement par le vent, sécheresse, etc.). Modification des distributions liées à l'altitude, prolifération et multiplication des générations de certains insectes ravageurs.	Croissance et production de biomasse plus faibles. Remplacement d'essences d'arbres. Sécheresses prolongées, fréquence accrue des journées chaudes, canicules et précipitations intenses ; diminution des journées fraîches. Feux de forêt plus fréquents. Déplacement des aires de distribution d'insectes. Virulence accrue des espèces pathogènes thermophiles. Désertification accélérée en zone sèche.
INSECTES RAVAGEURS	Déplacement de l'aire de distribution et prolifération accrue de certains ravageurs suite à l'impact de la hausse des températures sur les dynamiques des populations et la distribution des organismes exothermiques. Expansion vers le nord des aires de distribution des ravageurs <i>Lymantria dispar</i> et <i>Lymantria monacha</i>	Le stress hydrique est crucial pour la colonisation, la survie des larves et la croissance du coléoptère <i>Phoracantha semipunctata</i> , qui s'attaque au phloème de l'Eucalyptus. Restriction par le sud de la distribution des papillons ravageurs <i>Lymantria dispar</i> et <i>Lymantria monacha</i> . Certains ravageurs profitent du changement climatique, en particulier lorsque que les arbres remontent en altitudes ou que leur aire de répartition se disloque (ex., chenille processionnaire du pin, <i>Thaumetopoea pityocampa</i>). Le stress thermique estival déplacera le papillon ravageur <i>Lymantria monacha</i> vers le nord. Le ravageur <i>Lymantria dispar</i> étant sensible à l'élévation des températures hivernales, les conditions de diapause ne seront plus réunies.
MALADIES	Prédisposition accrue des arbres hôtes aux maladies racinaires (ex. <i>Armillaria spp.</i>) en raison de la précipitation estivale plus faible conduisant au stress hydrique en forêt. Incidence accrue de pourriture due au polypore du pin (<i>Heterobasidion spp.</i>), entraînée par des températures élevées en conditions xériques. Risque élevé de fortes infestations de champignons pathogènes, la sporulation et la germination étant favorisées en période chaude et humide (les précipitations prolongées associées à des températures moyennes – entre 15 et 20°C – créent des conditions optimales pour les infestations de <i>Dothistroma</i> détruisant les aiguilles des pins).	Virulence accrue des pathogènes fortement thermophiles. Développement rapide de <i>Biscogniauxia mediterranea</i> sur les chênes (<i>Quercus spp.</i>) et de <i>Diplodia pinea</i> sur les pins (<i>Pinus spp.</i>) lorsque les arbres hôte sont soumis au stress hydrique, entraînant un dépérissement brutal. La hausse des températures et la fréquence accrue des sécheresses estivales favoriseront des maladies fongiques diverses, dont la maladie hollandaise des ormes (<i>Ophiostoma ulmi</i>), la rouille du peuplier ou le chancre des châtaigniers. Les sécheresses estivales favoriseront les infestations du champignon <i>Heterobasidion abietinum</i> conjuguées à <i>Armillaria spp.</i> provoquant le dépérissement des racines. Extension du champignon du chêne <i>Phytophthora cinnamomi</i> entraînée par des périodes chaudes prolongées alternant avec de fortes précipitations de courte durée.

Les ravageurs forestiers profitent d'un climat plus chaud en Europe

Les effets du changement climatique sur les populations d'insectes se produisent soit directement par l'influence de la météo sur la physiologie ou le comportement des insectes, soit indirectement par des effets physiologiques sur leurs hôtes, leur concurrents ou leur prédateurs.

- La dynamique des populations de nombreux ravageurs forestiers dépend fortement de la température. Le réchauffement dû au changement climatique va accroître l'intensité et la fréquence des infestations.
- Les hivers plus doux favorisent la survie des larves et la multiplication du nombre d'adultes, intensifiant la défoliation par la génération suivante de larves.
- Avec le réchauffement, les espèces herbivores disposeront d'une période de reproduction plus longue favorisant des générations supplémentaires au début et à la fin de la période de croissance.
- Les aires de distribution de nombreuses espèces d'insectes s'étendront vers les latitudes et les altitudes plus élevées.
- L'augmentation du CO₂ dans l'atmosphère risque d'induire des changements importants dans les interactions entre insectes herbivores et leurs prédateurs, modifiant l'équilibre naturel et la dynamique des populations d'herbivores.

Les déficits hydriques et la hausse des températures entraînés par le changement climatique favoriseront également les maladies

Les champignons pathogènes peuvent provoquer des pourritures dans tous les organes (feuilles, troncs, racines), allant parfois jusqu'à la mort de l'arbre. Les conséquences principales du changement climatique dans ce domaine sont les suivantes :

- L'impact du réchauffement sur les maladies se produit soit par les plantes hôte, soit par les agents pathogènes.
- Le réchauffement accélère le cycle de vie de nombreux champignons pathogènes : en se développant sur des périodes plus courtes, ils accroissent les risques d'infection.
- Les générations de pathogènes sur une période donnée vont se multiplier.
- Si la durée de vie d'une génération donnée s'allonge, les végétaux pourront être infectés à des stades de croissance plus avancés.
- Des précipitations plus fréquentes et plus intenses risquent d'allonger et de multiplier les périodes favorables au développement des pathogènes.
- L'expression de gènes de résistance et leur efficacité dans les plantes hôtes risquent de diminuer.
- En raison de leur faible diversité génétique, les monocultures ou les plantations monoclonales risquent d'être touchées par des souches pathogènes nouvelles ou adaptées.

LES RISQUES ABIOTIQUES

Des feux de forêt plus fréquents

Au cours du 21^{ème} siècle, le changement climatique devrait accroître les risques de feux de forêts, en région méditerranéenne mais aussi ailleurs en Europe (Dury et al. 2011). La Figure 8

montre la zone brûlée en région méditerranéenne entre 1961 et 2100.

Des simulations pour le 21^{ème} siècle ont été menées à l'aide du modèle CARAIB. Les résultats montrent que la fréquence et l'intensité des feux de forêt augmenteront de façon significative en Europe centrale (jusqu'à 60°N), ainsi que dans l'ouest de la France, en Pologne, en Roumanie, en Russie centrale et en Ukraine. Selon certains auteurs, les risques de feux de forêt vont s'accroître dans presque toute l'Europe (à l'exception de la Scandinavie et du nord de la Russie) et la plupart des pays devront faire face à une aggravation des dégâts d'incendie (Dury et al. 2011).

La menace des feux de forêts est plus lourde encore pour la sylviculture et le bien-être des populations des zones rurales en Méditerranée (Moriondo et al. 2006). Des feux de forêt fréquents risquent d'aggraver l'érosion des sols, en limitant la régénération des végétaux et en accélérant la désertification des zones sèches (Certini, 2005).

Des tempêtes plus destructrices

Pendant la période 1950–2000 en Europe, 35 millions de m³ de bois ont été endommagés par des perturbations (soit 8% de l'ensemble des arbres abattus), dont 53% par des tempêtes et 16% par des incendies. Les tempêtes sont généralement accompagnées de fortes précipitations conduisant à une saturation plus importante des sols et un risque accru de dégâts du vent (EFI).

Trois facteurs déterminants de la stabilité des forêts seront affectés par le changement climatique, aggravant ainsi les dommages :

1. Régime des vents : vents plus violents et trajectoires changeantes,
2. Régimes des eaux : pluies plus importantes en hiver pendant la saison des tempêtes,
3. Dans les pays nordiques, changement du régime gel-dégel des sols.

Sécheresses et inondations extrêmes plus fréquentes

Une fréquence accrue des fortes inondations est une des conséquences prévues du changement climatique. Alors que le nombre de jours pluvieux devrait décroître, le nombre de jours de forte pluie devrait augmenter. Ce changement provoquera des inondations plus extrêmes en été, entraînant des dommages en forêt, et surtout dans les régions méditerranéennes et montagneuses.

La hausse des températures et la baisse prévue des précipitations vont amplifier les risques de sécheresse, entraînant une surmortalité des arbres dans les régions où leur résistance à la sécheresse est faible. Dans ces cas, il faudra remplacer les arbres mourants par des essences mieux adaptées, ce qui bouleversera les paysages en changeant la distribution des essences principales dans toute l'Europe.

CONSÉQUENCES DU CHANGEMENT CLIMATIQUE POUR LES CYCLES FORESTIERS

Modification des rythmes de croissance des arbres

Les données historiques depuis la fin du 20^{ème} siècle montrent que la croissance des arbres s'accroît partout en Europe, en

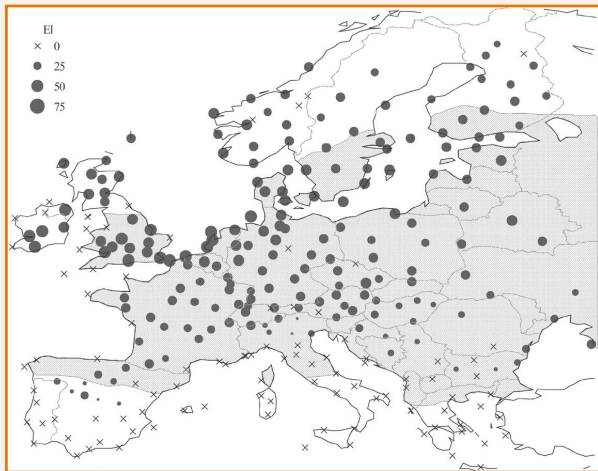
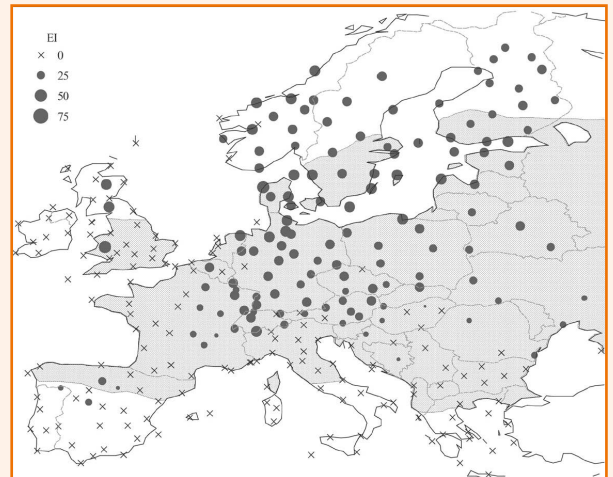
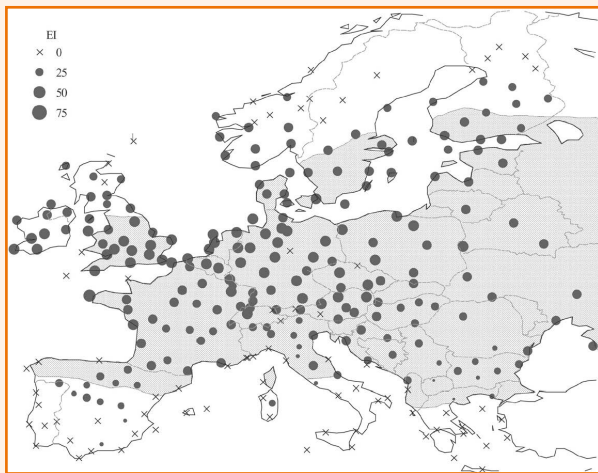


Figure 7. Impact du changement climatique sur l'aire de distribution du papillon nonne, insecte ravageur dont les chenilles dévorent les aiguilles des résineux. Extrait de la modélisation de 3 scénarios de changement climatique qui montrent que plus les émissions de gaz à effet de serre augmentent, plus cet insecte trouvera des conditions favorables dans les pays nordiques. Source : Vanhanen et al. 2007.

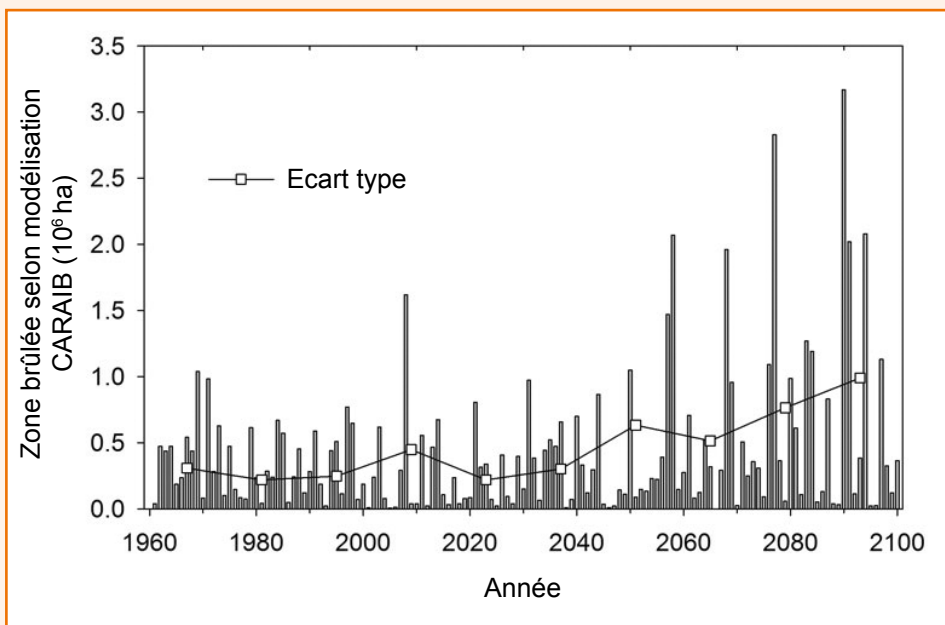


Figure 8. Projection des zones exposées aux feux de forêt en Europe, selon un scénario « intermédiaire » d'émissions de gaz à effet de serre. Source : Dury et al. 2011.

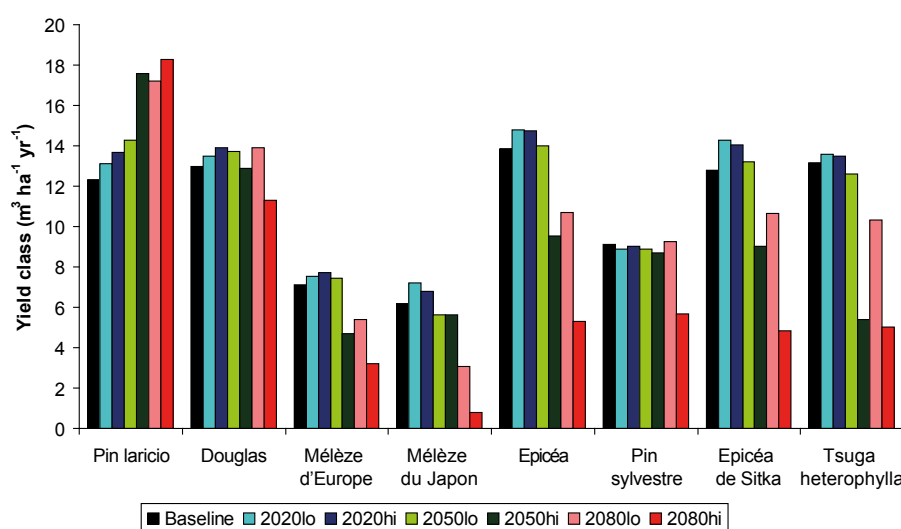
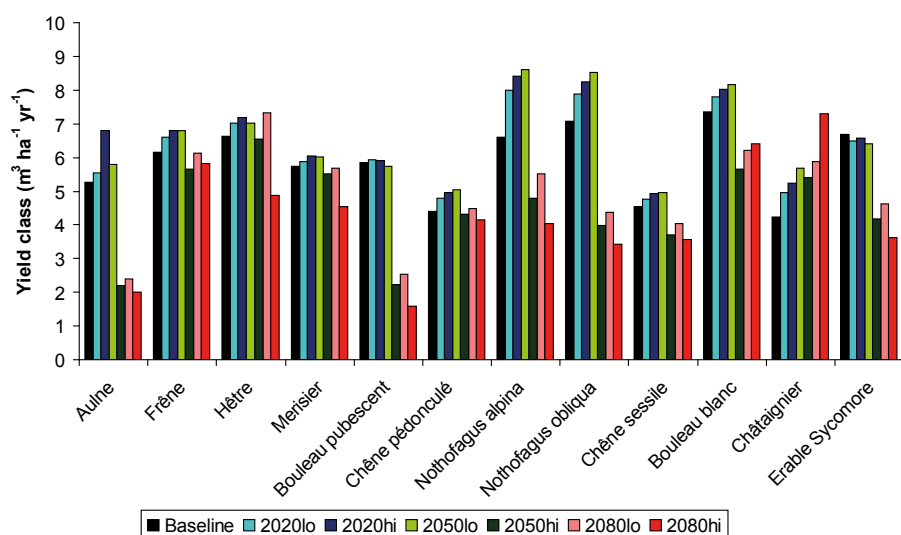


Figure 9. Evolution des rendements de feuillus (en haut) et résineux (en bas) selon différents scénarios d'émission au Royaume Uni (lo : émissions faibles ; hi : émissions élevées). Source : Gardiner, 2011.

raison de l'effet fertilisant des concentrations plus élevées de CO₂ dans l'atmosphère. Dans les décennies à venir (vers 2030-2050 dans beaucoup de régions d'Europe), le facteur limitant de la croissance sera la baisse des précipitations, et la croissance devrait donc ralentir dans la moitié sud de l'Europe. A terme, l'impact du changement climatique sur la croissance des arbres pourrait être positif uniquement en Europe du nord, où le gel limite la période de végétation : la période de croissance s'allongera à mesure que la période de gel hivernal se raccourcit.

Il est difficile de quantifier localement les impacts du changement climatique sur la croissance des arbres forestiers, tant ils sont spécifiques aux sites et aux essences. La croissance annuelle de certaines essences, comme les hêtres et les pins, est sensible aux températures d'été, tandis que d'autres, comme le chêne sessile, sont plus sensibles à des conditions chaudes et sèches en automne, qui affectent leur croissance sur le long terme. Il est évident que l'impact sera plus important sur les forêts à rotation longue (plus de 50 ans), où les impacts négatifs s'accumulent sur plusieurs décennies.

Adapter les essences

Pour développer des stratégies d'adaptation au changement climatique, il est indispensable de mieux connaître les impacts

prévisibles du changement climatique sur le potentiel de croissance et d'adaptation de chaque essence. A cet effet, différents dispositifs d'aide à la décision dans le cadre des systèmes de classification écologique des sites ont été élaborés pour rendre compte des effets prévisibles du changement climatique. Ces dispositifs permettent de produire des cartes d'adaptation en rapprochant les facteurs clés des sites et les exigences écologiques des différentes essences (Figure 10).

En Europe, la substitution d'essences aura également des conséquences pour les volumes de production : en effet, selon les prévisions, entre 20 et 60% des superficies forestières en Europe d'ici 2100 seront devenues plus favorables à la croissance de forêts de chêne de type méditerranéen, à faible rendement tant productif qu'économique.

Changements phénologiques

La phénologie des végétaux (débourrement, floraison, chute des feuilles, etc.) sera affectée par l'irrégularité croissante des régimes météorologiques. Pour de nombreuses essences, les concentrations de CO₂ plus élevées et les hivers plus doux favoriseront un démarrage précoce de la végétation qui les exposera davantage aux dégâts du gel, même si les gelées sont moins fréquentes. En Europe, il a été constaté qu'une variation

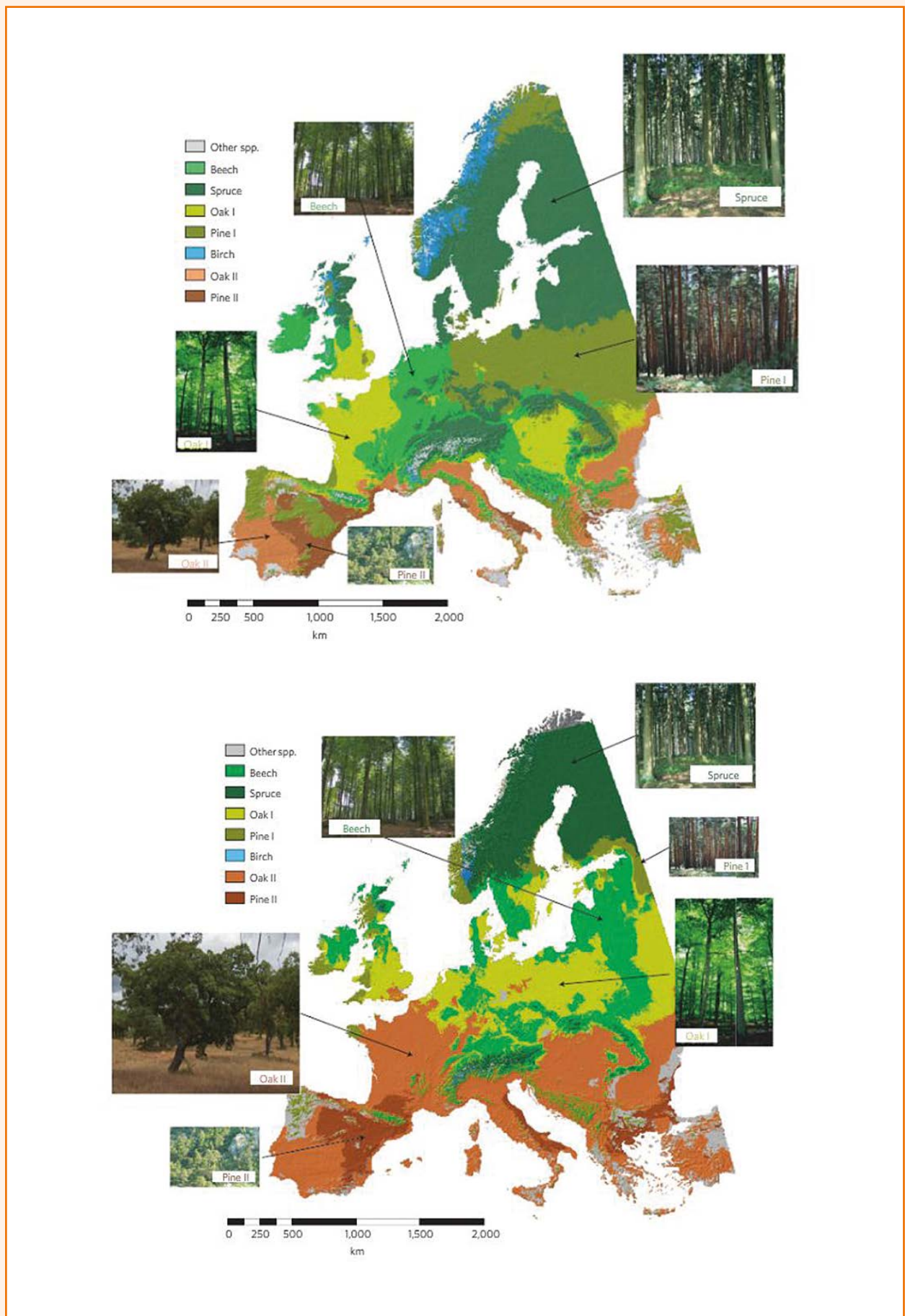


Figure 10. Classification écologique des sites pour la distribution des principales essences forestières selon un scénario de réchauffement modéré entre 2000 et 2100. La carte fait clairement apparaître l'extension d'essences méditerranéennes (source : Hanewinkel et al. 2012).

Tableau 2. Impacts des facteurs de changement climatique sur la croissance de certaines essences forestières au Royaume Uni et sur la qualité de leurs bois. Source : Gardiner, B. 2011.

Changement climatique	Essences	Impacts directs	Impacts potentiels sur les qualités du bois
Élévation des températures	Epicéa de Sitka	Croissance accrue, croissance en été	Densité plus faible, branchaison plus développée
	Pin sylvestre	Croissance accrue, croissance en été	Pas d'impact sur la densité, branchaison plus développée
	Chêne	Croissance accrue, croissance en été	Densité plus élevée, branchaison plus développée
Étés plus secs	Epicéa de Sitka	Formation précoce du bois final	Densité plus élevée, fentes de sécheresse, roulure
	Pin sylvestre	Croissance plus faible	Faible impact sur la densité
	Chêne	Stress hydrique	Roulure plus marquée
Hivers plus humides	Epicéa de Sitka	Enracinement moins profond et inclinaison plus marquée	Bois de compression, conformation moins bonne
	Pin sylvestre	Inclinaison plus marquée	Bois de compression, conformation moins bonne et branchaison plus développée
	Chêne	Inclinaison plus marquée	Bois de tension
Hivers plus doux	Epicéa de Sitka	Débourrement plus précoce	Risques de dégâts du gel
	Pin sylvestre	Débourrement plus précoce	Risques de dégâts du gel, bleuissement accru
	Chêne	Débourrement plus précoce	Risques de dégâts du gel, vaisseaux plus étroits
Tempêtes plus marquées (?)	Epicéa de Sitka	Dégâts du vent plus importants, perte de flèches	Compression accentuée, tiges mal conformées
	Pin sylvestre	Dégâts du vent plus importants, perte de flèches	Compression accentuée, tiges mal conformées
	Chêne	Inclinaison plus marquée	Tension accentuée
Développement accru de ravageurs et maladies	Epicéa de Sitka	<i>Dendroctonus micans</i> , <i>Armillaria heterobasidion</i>	Croissance affaiblie
	Pin sylvestre	<i>Dothistroma septosporum</i> , <i>Tomicus</i>	Croissance affaiblie et mortalité accrue
	Chêne	<i>Phytophthora</i> , <i>Armillaria</i> , <i>Biscogniauxia spp.</i>	Croissance affaiblie et mortalité accrue

de +1°C de la température moyenne allonge la période de croissance annuelle des arbres forestiers de 7 à 13 jours selon l'essence et la localité.

Il est aujourd'hui démontré que le réchauffement du climat mondial est une des menaces les plus graves pour la biodiversité. Les forêts sont particulièrement sensibles au changement climatique parce que la longue durée de vie des arbres ne leur permet pas de s'adapter assez rapidement aux changements dans leur environnement. De plus, toutes les essences ne profiteront pas de la même façon de l'effet fertilisant du CO₂. Les

sensibilités différentes des essences induiront des changements rapides du paysage forestier, avec des impacts sur les services écosystémiques (stockage du carbone, protection des sols, etc.) et sur les habitats associés, notamment ceux identifiés comme zones d'intérêt pour la biodiversité. La dynamique de cette évolution sera variable selon les régions.

Impacts sur la qualité des bois

Au-delà de la croissance des arbres, la qualité générale du bois peut également souffrir d'un rythme de croissance irrégulier

d'une année sur l'autre et des dégâts éventuels sur les arbres. La productivité ligneuse par essence ou par région peut augmenter pendant quelques décennies dans la partie nord de leur aire de distribution, où les conditions seront optimales. Cependant, pour les arbres restants dans la partie sud, les conditions deviendront peu favorables à leur croissance et à la qualité de leur bois. Ces changements peuvent se produire sur une centaine d'années, soit la durée de révolution de beaucoup d'essences forestières.

MODIFIER LES PRATIQUES POUR AIDER LES FORÊTS À S'ADAPTER AU CHANGEMENT CLIMATIQUE

Que peuvent faire les sylviculteurs ?

Pour les forêts à révolution courte (arbres récoltés à moins de 50 ans d'âge), les plus menacées sont celles exposées aux événements extrêmes. Il convient donc de prendre des mesures pour assurer au mieux leur stabilité et éviter l'érosion. Les recommandations pour assurer la stabilité des arbres comprennent l'établissement de cartes de risques liés au vent, une gestion sylvicole qui minimise les éclaircies, des choix appropriés pour la préparation des sites et la régénération et des peuplements de hauteur modérée (donc rotations plus courtes). Pour les autres types d'événements extrêmes, les stratégies de prévention des incendies doivent être étendues vers le nord et la gestion des risques biotiques doit être renforcée pour gérer l'exposition accrue des forêts à ces nouveaux aléas.

Pour les essences à durée de révolution plus longue, même si des mesures d'atténuation du changement climatique sont mises en œuvre, la vitesse et l'intensité du changement climatique sont trop élevées pour permettre à la sélection naturelle d'opérer de façon efficace. Les sylviculteurs devront privilégier les matériels génétiques les mieux adaptés aux contextes locaux (résistance à la sécheresse, aux ravageurs, aux maladies, aux incendies, etc.). Pour ces essences, le choix des révolutions, des produits ligneux et des essences cibles doivent être révisés en se basant sur les prévisions climatiques régionales. Face aux incertitudes importantes quant à l'intensité réelle du changement climatique, le défi en ce concerne la substitution d'essences, leur enrichissement ou la « migration assistée » (déplacement délibéré d'essences ou de variétés adaptées au climat futur d'une autre région) consistera à définir des pratiques sylvicoles permettant aux peuplements de s'adapter au climat actuel et futur. L'association d'essences au sein d'un même peuplement ou en alternance peut s'envisager dans certains cas, pour permettre aux essences résistantes à la sécheresse ou aux maladies biotiques de compenser les pertes de production ligneuse dues aux agents biotiques ou abiotiques.

Dans les régions méridionales où la sécheresse posera les plus gros problèmes, tous les moyens permettant d'améliorer la disponibilité en eau pour les arbres devront être étudiés : limitation de la concurrence (densité plus faible, contrôle des adventices), amélioration de la capacité de rétention d'eau des sols (amendements aux biocharbon), sélection de matériel génétique plus résistant à la sécheresse, etc.

Toutes ces modifications, qu'il s'agisse du choix des essences ou des pratiques sylvicoles, auront un impact sur l'offre de bois (quantité et qualité, dimensions des produits et stocks sur pied) et ces conséquences devront être prises en compte à la fois par

les producteurs et par la filière bois en général, à l'échelon régional, en combinant les recommandations les plus appropriées parmi celles indiquées ci-dessus.

Les politiques à privilégier

Les politiques doivent anticiper le changement climatique et les risques associés en prévoyant :

- La mise en place de systèmes permettant un suivi précis des impacts du changement climatique sur les forêts,
- Des plans d'urgence pour faire face aux événements extrêmes : incendies, insectes ravageurs, sécheresse, tempêtes, proliférations de pathogènes, etc.
- L'adaptation des politiques en matière d'utilisation de matériel génétique, compte tenu du fait que les provenances locales ne seront pas toujours le meilleur choix : en effet, le changement climatique semble progresser trop rapidement pour permettre à de nombreuses essences de s'adapter naturellement.
- La préparation du secteur forestier à la modification de l'offre de produits bois (quantité, qualité, essences différentes, etc.).
- L'appui à toute action d'atténuation du changement climatique (arrêt ou réduction des émissions de carbone fossile dans l'atmosphère en substituant l'énergie fossile et le plastique pétrolier par des ressources renouvelables) et aux politiques nationales et internationales de lutte contre le changement climatique et de réduction de ses impacts sur les forêts.

Quelles implications pour la recherche et les activités du secteur forestier dans les dix années à venir ?

Le résultat principal attendu des recherches scientifiques sur le climat par les gestionnaires forestiers est une réduction des incertitudes concernant le changement climatique. Des connaissances plus approfondies sur la gestion forestière adaptative sont également attendues. De telles avancées seraient favorisées par :

- L'intégration de scénarios de changement climatique dans les outils d'aide à la décision (modèles de croissance, agents pathogènes, etc.).
- Une meilleure connaissance de la tolérance des essences, des provenances et des familles d'arbres aux changements climatiques, en prenant en compte non seulement les paramètres climatiques moyens mais aussi les paramètres extrêmes pour évaluer la résistance du matériel génétique utilisé et en recommander de plus appropriées.
- Une meilleure connaissance des risques climatiques et l'identification de seuils pour permettre un suivi plus précis et le déclenchement d'alertes précoces.
- L'amélioration des recommandations de gestion des écosystèmes pour renforcer leur résistance, en prenant notamment en compte les caractéristiques des sites, la structure des forêts et leur composition.
- L'étude de dispositifs innovants pour la reconstitution des forêts, à appliquer au lendemain d'événements dévastateurs pour mieux gérer les suites des différents scénarios climatiques.

CONCLUSION

L'évolution du climat et de la variabilité climatique menace la planète entière en générant des risques significatifs pour l'environnement et pour tous les êtres vivants. La Convention Cadre des Nations Unies sur le Changement Climatique (CCNUCC 1992) a été signée par quasiment tous les pays du monde, qui ont reconnu la nécessité de lancer des activités d'atténuation et d'adaptation au changement climatique. De par sa vitesse et son amplitude, le changement climatique en cours est sans précédent pour l'humanité, et toutes ses conséquences pour l'ensemble des secteurs économiques sont encore loin d'être connues. Cependant, les incertitudes restent très fortes, y compris sur les politiques qui seront adoptées et les éventuelles

erreurs des modèles mathématiques. Si des politiques sont adoptées pour réduire les émissions de gaz à effet de serre et maîtriser le changement climatique, elles peuvent créer de nouvelles opportunités pour le secteur forestier. Les décideurs et les gestionnaires forestiers doivent s'y pencher sérieusement, sachant que la foresterie pourra s'adapter à des changements climatiques modérés mais probablement pas aux situations prévues par les scénarios d'émissions extrêmes. Des actions significatives et immédiates sont indispensables pour limiter l'intensité du changement climatique et préparer le secteur forestier au régime climatique nouveau qui se profile.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Ashton, M.S., Tyrrell, M.L., Spalding, D., Gentry, B. (Eds.). 2012. *Managing Forest Carbon in a Changing Climate*. Springer. 414 p. <http://www.springer.com/life+sciences/forestry/book/978-94-007-2231-6>
- Battisti, A., Stastny, M., Netherer, S., Robinet, C., Schopf, A., Roques, A., Larsson, S. (2005). Expansion of geographic range in the pine processionary moth caused by increased winter temperatures. *Ecological Applications* 15, 2084–2096.
- Bergot, M., Cloppet, E., Pérarnaud, V., Déqué, M., Marçais, B., Desprez-Loustau, M. (2004). Simulation of potential range expansion of oak disease caused by *Phytophthora cinnamomi* under climate change. *Global Change Biology* 10, 1539–1552.
- Caldeira, M.C., Fernandez, V., Tome, J., Pereira, J.S. (2002). Positive effect of drought on longicorn borer larval survival and growth on eucalyptus trunks. *Annals of Forest Science* 59, 99–106.
- Christensen et al. (2007). In: *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Solomon, S., Qin, D., Manning, M., Chen, Z., Marquis, M., Averyt, K. B., Tignor, M. and Miller, H. L. (eds). Cambridge University Press. Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- Climate Change for Forests Policy-Makers. An approach for integrating climate change into national forest programmes in support of sustainable forest management. FAO, 2011. <http://www.fao.org/docrep/015/i2429e/i2429e00.pdf>
- Desprez-Loustau, M., Marçais, B., Nageleisen, L., Piou, D., Vanini, A. (2006). Interactive effects of drought and pathogens in forest trees. *Annals of Forest Science* 63, 597–612.
- Desprez-Loustau, M., Robin, C., Reynaud, G., Déqué, M., Badeau, V., Piou, D., Husson, C., Marçais, B. (2007). Simulating the effects of a climate-change scenario on the geographical range and activity of forest-pathogenic fungi. *Canadian Journal of Plant Pathology* 29, 101–120.
- Dury, M., Hambuckers, A., Warnant, P., Henrot, A., Favre, E., Ouberdous, M. and François, L. (2011). Responses of European forest ecosystems to 21st century climate: assessing changes in interannual variability and fire intensity. *iForest* 4: 82–99.
- Forest Management and Climate Change: a literature review. Forests and Climate Change Working Paper 10. FAO, 2012. <http://www.fao.org/docrep/015/md012e/md012e00.pdf>
- Forest Management and Climate Change: Stakeholders perceptions. Forests and Climate Change Working Paper 11. FAO, 2012. <http://www.fao.org/docrep/015/md510e/md510e00.pdf>
- Forests and Climate Change. Forestry Research Agency. Forestry Commission, UK. <http://www.forestry.gov.uk/climatechange>
- Gardiner, B. (2011). Climate Change, Tree Growth and Timber Properties. [http://www.forestry.gov.uk/pdf/CCTTFeb11_Barry_Gardiner_tree_growth_and_timber_properties.pdf](http://www.forestry.gov.uk/pdf/CCTTFeb11_Barry_Gardiner_tree_growth_and_timber_properties.pdf/$FILE/CCTTFeb11_Barry_Gardiner_tree_growth_and_timber_properties.pdf)
- Hanewinkel, M., Cullmann, D. A., Schelhaas M-J., Nabuurs, G-J. and Zimmermann, N. E. (2012). Climate change may cause severe loss in the economic value of European forest land. *Nature Climate Change*.
- Hanninen, H. (2006). Climate warming and the risk of frost damage to boreal forest trees: identification of critical ecophysiological traits. *Tree Physiology* 26, 889–898.
- Hansen, J., Sato, M., Kharecha, P., Beerling, D., Berner, R., Masson-Delmotte, V., Pagani, M., Raymo, M., Royer, D.L., Zachos, J.C. (2008) Target atmospheric CO₂: Where should humanity aim? *Open Atmos. Sci. J.*, 2, 217–231.
- Hodar, J.A., Castro, J., Zamora, R. (2003). Pine processionary caterpillar *Thaumetopoea pityocampa* as a new threat for relict Mediterranean Scots pine forests under climatic warming. *Biological Conservation* 110, 123–129.

- IPCC (2007). Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Core Writing Team, Pachauri, R.K. and Reisinger, A. (Eds.).
- Jepsen, J.U., Hagen, S.B., Ims, R.A., Yoccoz, N.G. (2008). Climate change and outbreaks of the geometrids *Operophtera brumata* and *Epirrita autumnata* in subarctic birch forest: evidence of a recent outbreak range expansion. *The Journal of animal ecology* 77, 257–264.
- Karolewski, P., Grzebyta, J., Oleksyn, J., Giertych, M.J. (2007). Effects of temperature on larval survival rate and duration of development in *Lymantria monacha* (L.) on needles of *Pinus sylvestris* (L.) and in *L. dispar* (L.) on leaves of *Quercus robur* (L.). *Polish Journal of Ecology* 55, 595–600.
- Kellomäki, S., Vaisanen, H., 1997. Modelling the dynamics of the forest ecosystem for climate change studies in the boreal conditions. *Ecological Modelling* 97, 121–140.
- La Porta, N., Capretti, P., Thomsen, I.M., Kasanen, R., Hietala, A.M., Von Weissenberg, K. (2006). Forest pathogens with higher damage potential due to climate change in Europe. Symposium contribution: The Effects of Climate Change on Tree Diseases, 29 July – 2 August 2006, Québec, Qué.
- Lindner M. et al (2008). Impacts of Climate Change on European Forests and Options for Adaptation, Report to the European Commission Directorate – General for Agricultural and Rural Development, contract nr. AGRI-2007-G4-06, European Commission.
- Lindner, M., Maroschek, M., Netherer, S., Kremer, A., Barbati, A., Garcia-Gonzalo, J., Seidl, R., Delzon, S., Corona, P., Kolstrom, M., Lexer, M., Marchetti, M. (2010). Climate change impacts, adaptive capacity, and vulnerability of European forest ecosystems. *Forest Ecology and Management* 259, 698–709.
- Mattila, U., Nuutinen, T., (2007). Assessing the Incidence of Butt Rot in Norway Spruce in Southern Finland. *Silva Fennica* 41, 29–43.
- Moore, B., Allard, G. 2009. Los impactos del cambio climático en la sanidad forestal. In: Documentos de trabajo sobre sanidad y bioseguridad forestal. FAO, 2009.
- Moriondo, M., Good, P., Durao, R., Bindi, M., Giannakopoulos, C., Corte-Real, J., (2006). Potential impact of climate change on fire risk in the Mediterranean area. *Climate Research* 31, 85–95.
- Ogaya, R., Penuelas, J., Martinez-Vilalta, J., Mangiron, M. (2003). Effect of drought on diameter increment of *Quercus ilex*, *Phillyrea latifolia*, and *Arbutus unedo* in a holm oak forest of NE Spain. *Forest Ecology and Management* 180, 175–184.
- Penuelas, J., Boada, M., 2003. A global change-induced biome shift in the Montseny mountains (NE Spain). *Global Change Biology* 9, 131–140.
- Puddu, A., Luisi, N., Capretti, P., Santini, A. (2003). Environmental factors related to damage by *Heterobasidion abietinum* in *Abies alba* forests in Southern Italy. *Forest Ecology and Management* 180, 37–44.
- Resco De Dios, V., Fischer, C., Colinas, C. (2007). Climate change effects on Mediterranean forests and preventive measures. *New Forests* 33, 29–40.
- Schutz, J.P., Gotz, M., Schmid, W., Mandallaz, D. (2006). Vulnerability of spruce (*Picea abies*) and beech (*Fagus sylvatica*) forest stands to storms and consequences for silviculture. *European Journal of Forest Research* 125, 291–302.
- Seppälä, R., Buck, A., Katila, P. (Eds.). 2009. Adaptation of forests and people to climate change. A global assessment report. IUFRO World Series Volume 22. Helsinki, Finland. 224 p.
- Thuiller, W., Lavorel, S., Sykes, M.T., Araujo, M.B. (2006). Using niche-based modelling to assess the impact of climate change on tree functional diversity in Europe? *Diversity and Distributions* 12, 49–60.
- Vanhänen, H., Veteli, T.O., Päivinen, S., Kellomäki, S., Niemelä, P. (2007). Climate change and range shifts in two insect defoliators: gypsy moth and nun moth – a model study. *Silva Fennica* 41, 621–638.



Influence du changement climatique sur les forêts européennes et sur le secteur forestier

Auteurs :

Christophe Orazio
Srdjan Stojnic
Dejan Stojanović
Nahia Gartzia
Stéphanie Hayes

Ce document a été produit dans le cadre du projet RoK-FOR (Régions Of Knowledge for FORestry/Régions de la connaissance pour le secteur forestier). Ce projet, financé dans le cadre du 7ème Programme Cadre de Recherche et de Développement Technologique (PCRD) de l'Union Européenne a pour but de former un pôle européen d'excellence "Forêt" compétitif et innovant. Il regroupe 20 partenaires des forêt-bois de 5 régions européennes (Allemagne, Espagne, Finlande, France, Croatie et Serbie).

Lancé en 2010 pour trois ans, le projet développe les complémentarités existantes entre les cinq régions partenaires. Bien que présentant des secteurs forestiers aux développements différents, ces régions européennes font face aux mêmes défis et opportunités pour le secteur forestier : énergie renouvelable, normes environnementales pour les matériaux de construction, innovations prometteuses pour les bioproduits, changement climatique etc.

Le projet doit permettre d'accroître les capacités de recherche des régions partenaires et de fournir un environnement dynamique aux P.M.E en trois étapes : (1) Inventaire des capacités R&D régionales, (2) Définition des priorités de recherche régionale, (3) Financement de programmes de recherche concertés.

Pour en savoir plus : <http://www.rokfor.eu/>

Cette brochure met en évidence les enjeux associés au changement climatique et pouvant impacter le secteur forestier. Il s'appuie sur l'état des lieux et les connaissances des différents pays partenaires. Il fait état des évolutions attendues du climat à l'échelle européenne (zone boréale, océanique tempérée, continentale tempérée et méditerranéenne) ainsi que des impacts sur les forêts déjà observés et de leur aggravation possible à plus ou moins long terme. Quelques pistes d'adaptation nécessaires du secteur forestier, des politiques publiques et de la gestion sont évoquées. L'objectif est de sensibiliser à l'importance d'orienter rapidement les actions futures vers une réduction des effets du changement climatique, de concentrer les efforts de recherche sur une meilleure connaissance des impacts et des évolutions du climat et enfin, de promouvoir un changement des pratiques de gestion.

Poursuivant ce même objectif de sensibilisation, le RMT AFORCE a soutenu la traduction en français de ce document conçu dans un premier temps en anglais. AFORCE est un réseau consacré à l'adaptation des forêts au changement climatique. Il rassemble 14 partenaires forestiers français parmi les organismes de recherche, de développement, de gestion et d'enseignement. Il a pour vocation d'informer, de sensibiliser et de faciliter les échanges et le transfert des connaissances autour du changement climatique pour permettre la production d'outils d'aide à la décision.



AFORCE
RMT Adaptation des forêts
au changement climatique



RoK-FOR est un projet de coopération "Pour une gestion durable de la forêt, source d'énergie renouvelable, de matériaux de construction durable et de bioproduits", avec un budget total de 1,7 M€, financé par le 7ème Programme Cadre de Recherche et de Développement Technologique de l'Union Européenne (Capacités/Régions de connaissance).

Crédits photos de couverture (de gauche à droite) :

Rangée 1: Petr Kapitola / bugwood.org, Nightman1965 / Fotolia, James Thew / Fotolia
Rangée 2: Jaroslav Machacek / Fotolia, (central photo) Ken Schulze / Shutterstock, Kubais / Shutterstock
Rangée 3: grivelphoto / Fotolia, (central photo as above), minicel73 / Fotolia
Rangée 4: Brasillao / Shutterstock, Greg Pickens / Fotolia, Burkov Andrew / Fotolia