



HAL
open science

Changement climatique et dépérissements forestiers : causes et conséquences

M. Vennetier

► **To cite this version:**

M. Vennetier. Changement climatique et dépérissements forestiers : causes et conséquences. Changement climatique et modification forestière, CNRS, p. 50 - p. 60, 2012. hal-00756083

HAL Id: hal-00756083

<https://hal.science/hal-00756083>

Submitted on 22 Nov 2012

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

**CENTRE NATIONAL DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
INSTITUT D'HISTOIRE MODERNE ET CONTEMPORAINE**

Textes réunis et présentés
par Andrée CORVOL

CHANGEMENT CLIMATIQUE ET MODIFICATION FORESTIERE



Cahier d'Études n° 22 – 2012
Forêt, Environnement et Société
XVI^e-XX^e siècle

Avec le concours
de l'Office National des Forêts

TABLE DES MATIÈRES

– Préface	
par Andrée CORVOL.....	3
<i>La gestion du risque dans les décisions d'aménagement forestier</i>	
par Christian BARTHOD	7
– <i>Les incertitudes sur l'expertise climatique et prospective forestière</i>	
par Lucien DORIZE	18
– <i>Les cadres cognitifs et pratiques pour agir sur univers incertain ?</i>	
par Guillaume DECOCQ et Bernard KALAORA.....	30
– <i>Les caractères climatiques des oliveraies, des vergers et des vignobles en France</i>	
par Daniel JOLY.....	39
– <i>Le changement climatique relance la question de l'introduction d'espèces en forêt</i>	
par Myriam LEGAY, Philippe RIOU-NIVERT, Hervé LE BOULER, et Vincent BADEAU	43
– <i>Changement climatique et dépérissements forestiers : causes et conséquences</i>	
par Michel VENNETIER	50
– <i>Les modifications climatiques en Lorraine : exemples tirés des observations météorologiques depuis le XVIIème siècle</i>	
par François LORMANT.....	63
– <i>Changement climatique simulé et réponses possibles</i>	
par Gérard BELTRANDO	76
– <i>La forêt dans le changement climatique à la télévision</i>	
par Michel DUPUY	84
– <i>La forêt et le changement climatique : tenir compte du passé pour envisager l'avenir?</i>	
par Jean-Luc PEYRON	94
Pour en savoir plus	109
Les auteurs.....	118
Table des matières	120

d'Hist
Mode
Garde
Mode
(INRA
actes
présen
Saint-
Forêt,
L'Harm
la dir
Scien
présen
bois, t
Paris :
Forêt,
humain
des Tr
L'Ense
A. Cor
1992, 2
présen
1994, 3
L'Harm
siècle,

Changement climatique et dépérissements forestiers

Vennetier Michel (michel.vennetier@cemagref.fr)

* IRSTEA, UR "Ecosystèmes Méditerranéens et Risques", 3275 Route de Cézanne, CS 40061, 13182 Aix en Provence Cedex 5

* Fédération de Recherche ECCOREV (FR 3098)

1 - Introduction :

1.1 - La forêt, un milieu très réactif au climat

La paléoécologie, à travers l'étude des pollens, charbons et autres restes végétaux, mais aussi celle des fossiles, nous révèle que les écosystèmes terrestres ont rarement été stables plus de quelques dizaines de millénaires au cours du quaternaire: périodes froides ou chaudes, sèches ou humides, ont alterné régulièrement. A chaque alternance, la végétation des régions actuellement tempérées a été plus ou moins bouleversée, passant souvent de l'état de steppe à celle de forêt plus ou moins dense et vice-versa. Au sein même des forêts, les espèces dominantes se sont succédé en fonction de leur vitesse de progression ou de régression avec les températures. La grande sensibilité de la composition des forêts au climat en fait même un excellent outil pour analyser rétrospectivement le climat à partir des plantes présentes et des arbres dominants. Lorsque les évolutions climatiques étaient progressives, échelonnées sur des milliers d'année, les successions végétales l'ont été aussi.

Mais le changement climatique actuel, avec son accélération prévue pour le 21^e siècle, est beaucoup plus rapide que la plupart de ceux qui l'ont précédé. Seules quelques catastrophes majeures, comme l'impact de météorites ou comètes et l'explosion de volcans géants, ont laissé la trace à l'échelle continentale ou mondiale de pulsions climatiques plus violentes. L'échelle du changement, entre 2,5 et 7 degrés de température moyenne annuelle en un siècle suivant les scénarios et les régions, devrait entraîner un nouveau changement majeur de la composition des forêts dans de nombreuses régions du monde. Elle correspond à une migration des aires potentielles de répartition des espèces végétales de plusieurs centaines de kilomètres vers le nord et de plusieurs centaines de mètres en altitude (Badeau et al., 2005). Cette évolution va se produire dans un délai inférieur à la durée de vie de la plupart des espèces d'arbres. On pourrait donc s'acheminer vers des dépérissements massifs de forêts en limites basses et sud des aires de répartition des espèces, le renouvellement naturel n'ayant pas le temps de se produire. Au cours d'évènements extrêmes tels que la canicule de 2003 en Europe, on a observé

que des espèces fragilisées peuvent aussi dépérir bien au nord de ces zones limites (Pauly and Belrose, 2005).

Par ailleurs, toutes les espèces animales et végétales sont touchées par ces modifications du climat et du milieu, et parmi elles les parasites, symbiotes et pollinisateurs des arbres. En France, le déplacement moyen de 2,7 à 5 km/an vers le nord depuis 25 ans de la chenille processionnaire du pin (*Thaumetopoea pityocampa*) en est un exemple caractéristique. Certains arbres pourraient s'adapter individuellement au changement climatique mais perdre des mycorhizes indispensables à leur nutrition, ou être détruits par des parasites envahissants et jusque là inconnus d'eux. Des maladies ou parasites endémiques pourraient devenir épidémiques. Au contraire, une espèce mal adaptée pourrait se trouver dans un nouvel environnement symbiotique qui l'aiderait à survivre ou le rendrait plus concurrentiel. La prévision de l'ampleur et de la localisation des dépérissements forestiers n'est donc pas possible actuellement.

1.2 - Les dépérissements forestiers déjà en accroissement dans le monde

Une bonne façon de se persuader de la réalité du risque futur de dépérissement des forêts est de mesurer l'évolution des mortalités au cours de ces dernières décennies, où le réchauffement climatique a été pourtant d'ampleur relativement faible: 0,6 à 1,2 °C (*figure 1*). En interrogeant les bases de données scientifiques avec les mots clefs "dépérissements des forêts" ou "mortalité forestière" (leurs équivalents et variantes en anglais), on observe que le nombre de cas graves recensés à travers le monde a plus que quadruplé en 25 ans et que la tendance est en hausse quasi-constante (Allen et al., 2010). Cette mesure est bien entendu biaisée pour plusieurs raisons: d'abord l'observation des forêts a considérablement progressé durant cette période notamment à l'aide des satellites. D'autre part le nombre de pays disposant de moyens significatifs de gestion forestière et de suivi a aussi augmenté. Enfin, l'explosion démographique a étendu l'emprise de l'homme sur de vastes territoires jusque là peu ou pas habités, et d'immenses surfaces de plantations industrielles, objet de toutes les attentions, ont remplacé des forêts

naturelles auxquelles on n'accordait que peu d'importance économique. Certains dépérissements de grande ampleur aujourd'hui révélés auraient pu passer inaperçus il y a quelques dizaines d'années.

Mais même en rapportant les statistiques aux seuls pays dont les services forestiers sont fiables et bien organisés depuis longtemps, le nombre de cas a plus que triplé. Pour autant, est-on en présence d'une tendance lourde et anormale, ou d'une fluctuation cyclique ?

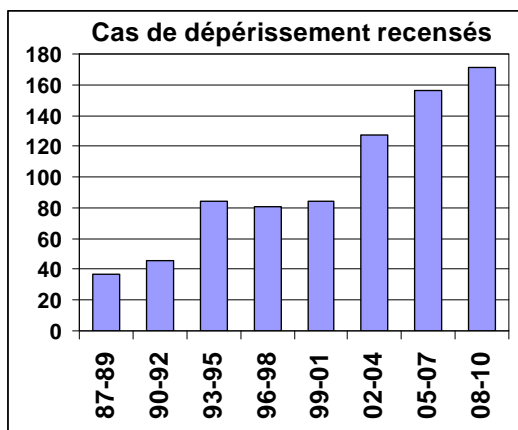


Figure 1: Nombre de cas de dépérissements forestiers importants mentionnés dans la littérature scientifique au cours de la période 1987-2010 (adapté de Allen et al. 2010)

1.3 - Les dépérissements du passé

De nombreux cas de dépérissements ont été signalés à partir de la mise en place des services forestiers européens au début du XIX^e siècle. Les plus fréquents concernent des dépérissements de chêne pédonculé (*Quercus pedunculata*) dans les zones de plaines, faisant suite à des années de forte sécheresse (Delatour, 1983). Ils touchent à tour de rôle et de façon cyclique, environ tous les 10 à 20 ans, tous les pays d'Europe entre la Russie à la France (pour ne citer que les plus importants: 1878, 1892-97, 1910-17, 1922-27, 1946-49, 1955-61, 1980-85). On retrouve des cas similaires depuis 1830 pour le sapin blanc (*Abies alba* L.) et dans une moindre mesure chez le pin sylvestre (*Pinus sylvestris* L), presque aussi nombreux et également attribués aux sécheresses, dans les zones montagneuses de Suisse, France et Allemagne. Dans quelques cas et sur des surfaces limitées, des gels tardifs suivant des hivers chauds ont provoqué des mortalités significatives à l'échelle régionale, les arbres ayant été touchés en pleine sève (Devaux and Le Bourhis, 1978; Nageleisen, 1993). Quelques cas de mortalité massive liée à des parasites ont été rapportés: par exemple la quasi-disparition des ormes de toute

l'Europe à cause de la graphiose au début du XX^e siècle puis dans les années 70 (Pinon and Feugey, 1994), ou plus localement l'hécatombe des pins maritimes dans le sud-est de la France dans les années 60 à 70 à cause de la cochenille *Matsucoccus feytaudi* (Riom, 1994). Bien que ces deux cas soient liés à une introduction accidentelle du parasite par l'homme, ils illustrent le potentiel destructif d'une arrivée naturelle ou d'une explosion démographique d'un parasite avec le changement climatique.

Mais aussi loin que l'on remonte dans les archives forestières historiques, on ne trouve aucune trace de dépérissements atteignant l'ampleur des phénomènes actuels. Curieusement, les archives plus anciennes (de l'an Mil à 1800) ne mentionnent aucun cas de grand dépérissement forestier, alors que les hommes dépendaient très largement des forêts pour leur survie, leur chauffage, la cuisson des aliments et la nourriture. Les récits de sécheresses catastrophiques, canicules ou froids terribles ayant causé des grandes famines, desséché ou tué les vergers et même les vignes à l'échelle de grandes régions (Sanson, 1945) ne mentionnent jamais la forêt. Seuls les cernes de croissance des arbres de ces époques, datés à l'aide des méthodes de la dendrochronologie, témoignent de la dure réalité pour la forêt de tels événements climatiques, mais sans possible évaluation d'éventuels dépérissements.

Il semble donc que l'ampleur actuelle des mortalités soit unique à l'échelle historique, et constitue un fait nouveau. Comprendre ces phénomènes est indispensable pour évaluer le risque d'une poursuite de la tendance actuelle.

2 - Les multiples causes de dépérissement des forêts: quelques exemples

2.1 - Association de malfaiteurs

Différentes causes humaines et naturelles sont toujours associées dans les cas de dépérissement anciens des forêts. Les plus fréquentes sont des extrêmes climatique (canicules, sécheresses, grands froids), des maladies et parasites (généralement insectes et champignons, mais parfois aussi virus ou bactéries), des conditions de sol défavorables (trop pauvres, trop acides ou basiques, peu profonds, salins), des pollutions (notamment ozone depuis quelques dizaines d'années, mais aussi pollutions acides, fluorées, soufrées), des incendies, et des erreurs de gestions (trop fortes densités, mauvais choix d'espèces ou de provenances, homogénéisation des peuplements sur de grandes surfaces, etc.).

De façon générique, il est habituel de classer ces causes dans trois catégories: les facteurs prédisposants, déclenchants et aggravants (figure 2a). Dans la première on range les causes de fond qui fragilisent les arbres de façon chronique ou limitent leur capacité d'adaptation ; dans la deuxième les événements ponctuels qui vont provoquer directement la mort des arbres ou un fort affaiblissement ; dans la troisième les facteurs qui vont achever les arbres très affaiblis ou accélérer leur mort. Le même facteur peut jouer un rôle différent suivant les circonstances, comme l'illustrent les exemples des figures 2b à 2e.

2.2 - La leçon des "pluies acides"

Les dépérissements forestiers, et particulièrement celui des résineux dont le sapin dans les montagnes de l'ouest de l'Europe dans les années 1976-84 a initialement été imputé aux "pluies acides". Mais l'analyse détaillée de la croissance des arbres a montré que contrairement aux idées reçues, ces arbres avaient largement accéléré leur croissance depuis le 19^e siècle (Becker et al., 1994). Les cernes de croissance montraient que les dépérissements avaient été déclenchés par la sécheresse de 1976, et qu'ils touchaient principalement les peuplements situés sur des sols inadaptés ou se développant à trop basse altitude, résultat d'erreurs dans la gestion passée (Becker et al., 1990). La pollution n'apparaissait alors que comme un facteur aggravant (figure 2b) pour des arbres déjà affaiblis, qu'achevaient des insectes opportunistes.

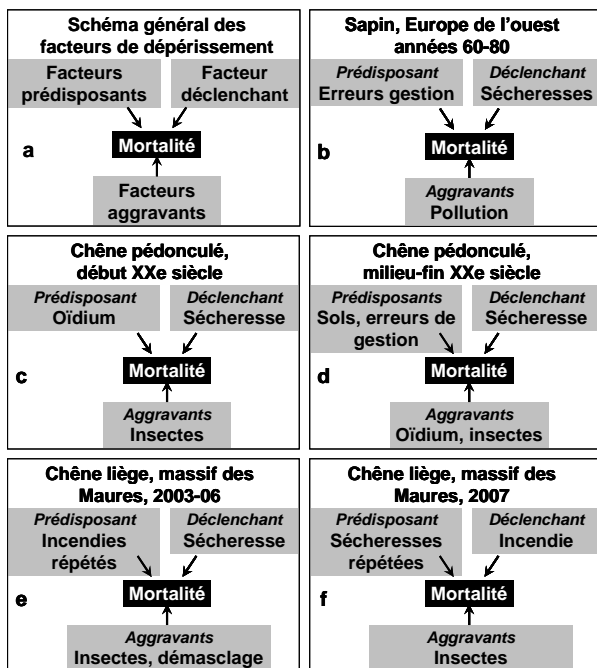


Figure 2: Schéma général et exemples de conjonction de facteurs conduisant à la mortalité forestière.

2.3 - Exemple du chêne pédonculé

Apparu en France en 1907, l'oïdium du chêne (*Erysiphe alphitoides* Griffon & Maubl.) fit rapidement des ravages dans les peuplements, défoliant précocement les arbres et réduisant considérablement leur surface foliaire. L'affaiblissement général des peuplements qui s'ensuivit est considéré comme l'un des principaux facteurs prédisposants (figure 2c) qui rendit les arbres sensibles aux sécheresses, lesquelles provoquèrent de graves dépérissements entre 1910 et 1930. Dans le centre de l'Europe, ce sont des peuplements extrêmement denses qui ont dépéri après des sécheresses dans les années 30 à 50. L'erreur de gestion est manifestement le facteur prédisposant dans ce cas (figure 2d): la concurrence excessive a à la fois affaibli les arbres sur le long terme et exacerbé celle-ci lors de la sécheresse.

En France, comme dans toute l'Europe, et depuis le 19^e siècle, c'est majoritairement sur des sols hydromorphes que ces dépérissements se sont produits en masse. Le chêne pédonculé a une croissance plus rapide que le chêne rouvre quand l'eau n'est pas un facteur limitant. C'est pourquoi lors de période climatiques favorables, il s'est imposé naturellement dans des peuplements mélangés des deux espèces: favorisé involontairement par les éclaircies ou simplement par sa croissance rapide, ou volontairement planté ou semé par les forestiers qui espéraient accroître la productivité forestière. Mais le chêne pédonculé est beaucoup plus sensible à la sécheresse, et d'autant plus que son enracinement, qui ne supporte pas l'hydromorphie, reste superficiel sur ces sols. Dans ce cas, le sol inadapté et les erreurs de gestion associées sont les facteurs prédisposants (figure 2d). Dans tous les cas anciens ou récents, la mortalité des chênes est accentuée et accélérée par des maladies et insectes s'attaquant aux racines ou au tronc des arbres moribonds. L'oïdium peut faire partie dans ce cas des facteurs aggravants. Les pourridiés (*Armillaria spp.*), champignons s'attaquant aux racines, en font souvent partie. L'infection chronique des arbres par les pourridiés dans certaines régions a été parfois classée dans les facteurs prédisposants.

2.4 - Incendies et sécheresses répétés accroissent mutuellement leurs effets

Le cas du chêne liège illustre ces effets conjugués en région méditerranéenne (Vennetier, et al. 2008).

A la suite d'un incendie, le chêne liège a la particularité de rejeter non seulement de la base mais aussi du tronc et des grosses branches, qui sont protégés par l'écorce liégeuse épaisse et

thermiquement très isolante. Après les grands incendies de 2003 dans les Maures, pourtant très violents et ayant sévi dans des conditions extrêmes de sécheresse et canicule, les houppiers de chêne liège ont rejeté à 95%. Mais cette région a subi ensuite une série de quatre années successives de fortes sécheresses. Les rejets qui s'étaient développés depuis 2003 ont fortement déperé à partir de 2006. Cette mortalité, qui a atteint 40 à 75% des arbres, s'est accentuée jusqu'en 2008 et a été d'autant plus forte que la zone concernée avait subi des feux plus nombreux au cours des 50 années précédentes. Cette fréquence d'incendie constitue un facteur prédisposant ayant préalablement affaibli les peuplements (figure 2e). Elle a notamment diminué la taille moyenne des arbres et de leurs branches, et globalement leur vigueur mais aussi l'épaisseur et les qualités physiques et chimiques du sol en raison de la combustion de la matière organique et de l'érosion répétée. Elle a aussi réduit l'épaisseur du liège, partiellement brûlé, et localement entamé celui-ci, créant des brèches thermiques au niveau desquelles les assises génératrices ont été tuées par le dernier feu. Enfin, certains troncs ont été partiellement calcinés à la base au niveau de blessures anciennes ou le bois était mort.

Dans les zones brûlées en 2007, la mortalité des arbres a atteint près de 50% et les rejets de houppiers n'ont pas dépassé 20%, contre 95% en 2003. La répétition des sécheresses constitue le facteur prédisposant qui a affaibli durablement les arbres, les rendant extrêmement sensible à l'incendie, qui est ici le facteur déclenchant (figure 2f). Dans tous les cas, des insectes, et parfois des méthodes inadaptées de prélèvement du liège (démasclage), ont achevé les arbres. Dans ces milieux méditerranéens, c'est l'ensemble de l'écosystème qui a profondément souffert de la conjonction entre sécheresses répétées et incendies fréquents, les mêmes phénomènes s'étant produit sur bien d'autres espèces animales et végétales

3 - Les types de dépérissements et leurs causes

3.1 - Dépérissement des arbres

Pendant les accidents climatiques estivaux ou ultérieurement, trois causes initiales de mortalité peuvent être évoquées.

Mort de chaud: pour les espèces montagnardes ou de sous-bois, peu habituées aux fortes températures et insolation, les premiers symptômes à apparaître sont des brûlures de la cuticule des feuilles ou des aiguilles. La conjonction d'une canicule et d'une forte

insolation fait monter la température de surface de ces organes au dessus de 43°C, un seuil léthal pour les tissus de ces espèces. Le risque est d'autant plus grand que le manque d'eau ne permet plus à la plante de réguler cette température par évapotranspiration. Lorsqu'une part importante de l'appareil foliaire est détruite, la plante peut mourir. C'est ainsi que l'on a vu rougir en quelques semaines des pins sylvestres de basses altitudes en région méditerranéenne au cours de l'été 2003.

Mort de soif: la deuxième cause relativement rapide en général est liée au manque d'eau, qu'il résulte d'un déficit de pluie ou d'un simple déséquilibre entre la ressource et la consommation de la plante en raison de la chaleur excessive. Lorsque les besoins de la plante ne sont plus assurés, la dépression dans les vaisseaux conducteurs de sève passe au dessus d'un seuil critique, propre à chaque espèce et au sein de chaque espèce à chaque individu (en fonction de son histoire). Il se produit alors une "cavitation", apparition de bulles d'air dans les vaisseaux, qui perturbent la circulation. Les feuilles et les branches ne sont plus alimentées, et leur mort se produit en peu de temps. La cavitation est parfois réversible si elle est de courte durée. Dans les cas extrêmes, certains vaisseaux implosent et sont définitivement hors service. Les espèces ont deux stratégies différentes pour limiter ces phénomènes: résistance ou évitement. Dans le premier cas, les vaisseaux sont très résistants à la cavitation, généralement en ayant de faibles diamètres et des parois épaisses. Cette stratégie est surtout efficace contre les stress de courte durée car elle permet de maintenir la photosynthèse et donc la production de ressources énergétiques. Elle est par contre dangereuse quand les stress se prolongent car elle épuise rapidement les ressources en eau du sol. Dans le deuxième cas, les végétaux ferment rapidement leurs stomates dès qu'un stress hydrique apparaît. Cela limite leur consommation d'eau, et fait donc durer les réserves du sol et leurs réserves internes. C'est une stratégie efficace contre les stress prolongés d'intensité faible ou moyenne. Mais ce faisant ils arrêtent aussi la photosynthèse et donc la production de ressources énergétiques. Ils s'exposent donc à un affaiblissement durable.

Mort de faim : lorsque des stress trop intenses ou prolongés ont empêché les arbres de produire des réserves carbonées, la plante utilise ses ressources internes, dont elle dispose en quantités variables. Après une forte sécheresse ou canicule, elle essaye de reconstituer sa surface foliaire, mais ne parvient pas en général à la rétablir intégralement sur un ou deux ans; il peut

subsister un déficit entre les besoins de la plante et sa production. Ce phénomène est en général accentué par les parasites (insectes, champignons) et maladies opportunistes, qui attaquent les plantes affaiblies au niveau des racines (Guillaumin et al., 1983) ou des tiges. Ils réduisent encore plus le prélèvement d'eau dans le sol ou la circulation de la sève. Lorsque la plante a épuisé ses réserves, elle meurt "de faim", ne pouvant plus produire de nouveaux tissus. Les symptômes sont en général une mortalité brutale au printemps juste après le débourrement, ou même une absence de débourrement printanier. Chez les arbres sempervirents, les déficits de ramification lors des périodes de stress et le faible nombre de feuilles ou d'aiguilles produites, ainsi que la petite taille de ces dernières, peuvent prolonger le déficit foliaire durant 3 à 8 ans après l'accident (Vennetier et al., 2010), et contribuer ainsi à ce type de dépérissement différé. Dans le cas des chênes, il est classique que la mortalité survienne entre 3 et 6 ans après la sécheresse (Nageleisen, 1993). Celle de 1976 a produit ses effets de 78 à 1983, celle de 1989 entre 1992 et 94, celle de 2003 entre 2007 et 2010. En Suisse, de fortes mortalités chez le pin sylvestre ont pu être reliées à des sécheresses de 10 ans antérieures (Bigler et al., 2006).

Mort de froid : Les dégâts de gel qui détruisent les assises génératrices et conductrices peuvent donner des résultats semblables aux sécheresses extrêmes, car ils empêchent ou réduisent aussi la circulation de la sève. Les grands froids de 1929, 1956 et 1985 ont laissé des trouées dans de nombreux peuplement. Si l'année 1956 a été particulièrement meurtrière dans le sud-est de la France, c'est que ce coup de gel début février a suivi un mois de janvier anormalement chaud qui avait permis à la végétation méditerranéenne, très réactive, de débourrer.

Mort par agression : jusqu'à une époque récente, les insectes xylophages, étaient considérés comme des facteurs essentiellement aggravants, achevant des arbres affaiblis. On sait cependant que suite à de catastrophes comme les tempêtes ou grands verglas, les pullulations de scolytes sont responsables de la mort de peuplements sains, à la périphérie des zones touchées. Ils imposent une lutte rapide, mais les forestiers avaient jusqu'alors plus ou moins contrôlé ces explosions démographiques qui se faisaient des dégâts pendant un à trois ans. Depuis 2004, certaines populations d'insectes ont échappé à tout contrôle même en absence d'accident, et causent les plus grands dépérissements jamais observés d'un seul tenant, dans le nord-est du

Canada (cf. & 4). Ces pullulations sont liées au changement climatique: le manque de froid en hiver permet la survie généralisée de populations jusque là décimées par le gel, et dont la reproduction est rendue exponentielle par la multiplication des générations durant une saison de végétation très allongée. Dans ces conditions, même les arbres les plus vigoureux succombent sous le nombre des agresseurs.

3.2 - Dépérissement des sous-bois

Si les arbres ont beaucoup souffert des accidents climatiques de 2003 en France et des nombreuses sécheresses et canicules dans le monde depuis 15 ans (cf. & 1.2 et 4), le reste de la flore est également très affecté. En Provence, le climat de la période 1998-2008 a été anormalement chaud et sec, reproduisant à l'avance ce que les scénarios climatiques prédisent dans cette région pour les années 2040-2050. Le suivi de placettes permanentes a démontré que 15% de la flore avait changé dans cette période, et que cette transformation était entièrement liée au changement climatique (Vennetier and Ripert, 2009): multiplication des espèces thermophiles et xérophiles, disparition par mortalité de nombreuses plantes mésophiles (figure 3).

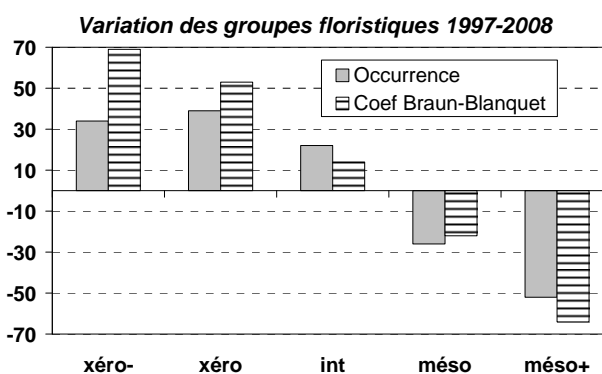


Figure 3: Variation en 10 ans de la somme des occurrences et des coefficients d'abondance-dominance (Braun-Blanquet) pour la flore de 50 placettes permanentes de Provence. Plantes classées en 5 groupes suivant leur adaptation à la sécheresse et à la chaleur: méso+ = plantes les plus exigeantes en humidité et fraîcheur, méso = plantes demandant de l'humidité et de la fraîcheur, int = groupe intermédiaire, xéro = plantes supportant les sécheresses habituelles et fortes températures, xéro-: plantes les plus résistantes aux sécheresses fortes et canicules.

Au sein d'une forêt, c'est donc bien l'ensemble de la flore qui est touché par les dépérissements, et pas seulement les arbres. Les changements floristiques et mortalités ont été d'autant plus marqués que les conditions stationnelles locales

étaient bonnes (fonds de vallons, versants frais, altitudes élevées et sols profonds à bonne réserve hydrique) ce qui est contre intuitif. En fait, le déficit hydrique d'origine climatique (combinaison chaleur/sécheresse) a été tel au cours de ces années que sa compensation par les conditions locales n'a plus été assurée même dans les stations les plus favorables (Vennetier and Ripert, 2010). Un seuil critique a été franchi.

3.3 - Seuils de dépérissement et incendies

De façon générale, les dépérissements forestiers rapportés dans le monde ne sont pas un phénomène progressif mais souvent un phénomène de seuil. Ce seuil peut être établi pour chaque essence ou groupe d'essences forestières dans un contexte géographique donné (figure 4). A cause du changement climatique, ce seuil est franchi de plus en plus souvent dans de nombreuses régions, et le risque est qu'à terme la plupart des années se situent au-delà du seuil. Même lorsque les pluies ne diminuent pas, l'accroissement de température et de longueur de la saison de végétation est suffisant pour allonger les périodes de stress ou en créer là où il n'y en avait pas. Ces seuils peuvent aussi correspondre non pas à une limite de résistance des arbres, mais à une limite de prolifération de maladies et parasites, comme en témoignent les grandes pullulations actuelles de scolytes en Amérique du nord.

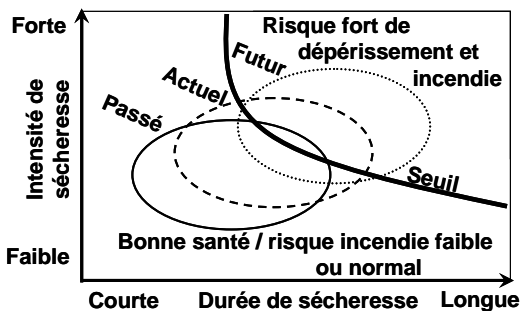


Figure 4: Evolution des risques de dépérissement et d'incendie en fonction de la durée et de l'intensité de la sécheresse, rapporté aux écosystèmes forestiers actuels. En trait plein: enveloppe des variations du climat passé. Pointillé large: climat actuel. Pointillé fin: climat 2070-2100 (d'après Allen et al, 2008)

Par ailleurs, l'accumulation de biomasse sèche dans les forêts stressées, progressivement ou au cours des dépérissements massifs, entraînent un risque accru d'incendie même s'il n'y a pas de forte sécheresse et encore plus s'il y a des sécheresses récurrentes. Les plus grands incendies d'Europe de l'Ouest en 2003, de Grèce et de

Californie en 2007, d'Australie en 2009, de Russie en 2010 se sont tous produits en période de canicule, plus qu'en raison de la sécheresse. Les mêmes phénomènes sont de plus en plus souvent observés en forêts tropicales humides. Les incendies risquent donc de modifier les écosystèmes plus que le changement climatique lui-même et l'interaction feu-sécheresse plus que les effets pris séparément du feu et des sécheresses.

4 - Exemples de grands dépérissements forestiers dans le monde

Plus de 200 cas de grands dépérissements touchant de quelques dizaines de milliers à plusieurs millions d'hectares ont été relatés au cours des 15 dernières années. Si l'Amérique du nord et l'Europe avec plus de 50 cas chacune sont les plus touchées, aucun continent et aucun type de forêt n'y échappe. Il peut s'agir soit de dépérissements massifs, d'un seul tenant, ou d'une mortalité plus insidieuse et diffuse mais sur de grandes surfaces. Nous relatons ci-dessous les cas emblématiques et les plus représentatifs.

En Australie, ce sont plusieurs centaines de milliers d'hectares d'Eucalyptus qui sont touchés; essentiellement dans l'est et le sud du continent, les mortalités variant de 40 à 100%. En Afrique, les cédraies de l'atlas ont perdu entre 80% et 15% de leurs peuplements suivant un gradient sud-nord, certains peuplements en limite du Sahara ayant même totalement disparu. Des fortes mortalités ont aussi été enregistrées dans les forêts claires et savanes arborées de la zone soudano-sahélienne. En Amérique du sud et centrale, on enregistre des mortalités diffuses mais à grande échelles dans les forêts de montagnes, par exemple pour les *Nothofagus* dans le nord de la Patagonie. Le suivi de placettes permanentes en Amazonie a montré que la mortalité de fond avait doublé en 20 ans, passant de 1 à 2%, et que celle-ci touchait particulièrement les grands arbres émergents ainsi que les lianes, les palmiers et le sous-étage étant moins sensibles. L'ambiance forestière en est modifiée et le cycle du carbone perturbé. En France, les forêts de pin sylvestre et de sapin du sud des Alpes ont payé un lourd tribut à la canicule de 2003 et aux sécheresses qui ont suivi. En Espagne, la situation est bien pire dans les montagnes du sud, où des dizaines de milliers d'hectares sont morts, découvrant des pans entiers de montagne. Plus généralement, la canicule de 2003 a directement conduit au dépérissement diffus de plusieurs millions d'arbres, et ses conséquences indirectes se faisaient encore sentir en 2010 dans certaines chênaies de plaines et pinèdes de montagne. La quantité de carbone

réémise du fait de cette année exceptionnelle correspond à ce que la forêt européenne fixe habituellement en 3 ans. Des phénomènes identiques se sont produits ces dernières années notamment en Chine, et en Corée où les pinèdes de basse et moyenne altitude ont beaucoup souffert. En Amérique du nord, trois causes principales ont provoqué la disparition de plus de 25 millions d'hectares en moins de 10 ans: des canicules, dont celle de 2002, on tué en quelques mois près de 4 millions d'hectares au nouveau Mexique et dans le sud des Rocheuses, et 2 millions d'hectares de feuillus dans le centre du Canada, notamment des peupliers-trembles. Les proliférations de scolytes ont tué plus de 15 millions d'hectares dans l'ouest canadien. Si ces dégâts sont clairement d'origine climatique (manque de froid en hiver pour contrôler les populations), elles sont aussi largement imputables au mode d'exploitation qui a prévalu dans ces forêts depuis un siècle: les gigantesques coupes à blanc sans effort de régénération d'une forêt mélangée ont conduit à des millions d'hectares mono ou bi-spécifiques et équiennes, de structure totalement régulière à l'échelle de surfaces vastes comme la France: un paradis pour les parasites !!! Dernière cause de mortalité massive touchant actuellement des millions d'hectares dans les forêts les plus boréales, en Amérique comme en Russie: la fonte superficielle du permafrost, qui transforme les sols en boue liquide: impossible pour les arbres de résister au vent ou même à leur propre poids avec des racines très superficielles s'ancrant dans ce qui s'apparente à des sables mouvants. Dans ce qu'on a appelé de façon imagée les "forêts ivres", ils tombent en désordre dans tous les sens et meurent déracinés, formant un entrelacement impénétrable qui rend la vie impossible aux grands animaux comme aux hommes.

5 - Conclusions

Le risque de grands dépérissements forestiers se multiplie dans le monde. La plupart de ceux qui ont été observés de puis 15 ans, où ils ont été multipliés par trois, peuvent être clairement imputés au changement climatique, sécheresse et températures trop élevées, en été comme en hiver. Les scénarios du climat futur font craindre que ces phénomènes ne s'amplifient encore rapidement. Les incendies qui accompagnent le changement climatique et les dépérissements devraient en aggraver les conséquences écologiques.

Bibliographie

- Allen, C.D., Macalady, A.K., Chenchouni, H., Bachelet, D., McDowell, N., Vennetier, M., Kitzberger, T., Rigling, A., Breshears, D.D., Hogg, E.H., Gonzalez, P., Fensham, R., Zhang, Z., Castro, J., Demidova, N., Lim, J.H., Allard, G., Running, S.W., Semerci, A., Cobb, N., 2010. A global overview of drought and heat-induced tree mortality reveals emerging climate change risks for forests, *For. Ecol. Manag.*, (259) 4: 660-684.
- Badeau, V., Dupouey, J.L., Cluzeau, C., Drapier, J., 2005. Aires potentielles de répartition des essences forestières d'ici 2100, *Forêt Entreprise*, (Dossier " la forêt face aux changements climatiques ") 162: 25-29.
- Becker, M., Bert, G.D., Bouchon, J., Picard, J.F., Ulrich, E., 1994. Tendances à long terme observées dans la croissance de divers feuillus et résineux du Nord-Est de la France depuis le milieu du 19e siècle, *Revue Forestière Française*, (XLVI) 4: 335-341.
- Becker, M., Bräker, O.U., Kenk, G., Schneider, O., Schweingruber, F.H., 1990. Aspect de houppiers et croissance des arbres au cours des dernières décennies dans les régions frontalière d'Allemagne, de France et de Suisse, *Revue Forestière Française*, (XVII) 3: 284-300.
- Bigler, C., Bräker, O.U., Bugman, H., Dobbertin, M., Rigling, A., 2006. Drought as an Inciting Mortality Factor in Scots Pine Stands of the Valais, *Schweizerland, Ecosystems*, (9): 330-343.
- Delatour, C., 1983. Les Dépérissements de Chênes en Europe, *Revue forestière française*, (XXXV) 4: 265-282.
- Devaux, J.P., Le Bourhis, M., 1978. La limite septentrionale du pin d'Alep en France. Etude dendroclimatique de l'impact des froids exceptionnels, *Biologie Ecologie méditerranéenne*, (V) 4 133-158.
- Guillaumin, J.-J., Bernard, C., Delatour, C., Belgrand, M., 1983. Le Dépérissement du Chêne à Tronçais : pathologie racinaire, *Revue forestière française*, (XXXV) 6: 415-424.
- Nageleisen, L.-M., 1993. Les dépérissement d'essences feuillues en France, *Revue Forestière Française*, (XLV) 6.
- Pauly, H., Belrose, V., 2005. La santé des forêts françaises : actualités de l'année 2004 - Sécheresse et canicule de l'été 2003 : observation en 2004 des conséquences sur les peuplements forestiers adultes. Ministère de L'Agriculture, de l'Alimentation, de la Pêche et de la Ruralité, Département Santé des Forêts, Paris. 11 p.
- Pinon, J., Feugey, L., 1994. La graphiose de l'orme, une maladie dévastatrice aux causes bien identifiées, *Revue Forestière Française*, (46) 5: 422-430.
- Riom, J., 1994. Le dépérissement du pin maritime dans le Sud-Est de la France au cours des années 1960-1970. Le rôle de la cochenille *Matsucoccus feytaudi*, *Revue Forestière Française*, (XLVI) 5: 4 3 7 - 4 4 5.

Sanson, J., 1945. Recueil de données statistiques relatives à la climatologie de la France. Météorologie Nationale, Paris. 121-133 p.

Vennetier, M., et al. 2008. Etude de l'impact d'incendies de forêt répétés sur la biodiversité et sur les sols: recherche d'indicateurs. Rapport final. Cemagref, Ministère de l'Agriculture et de la pêche, Union Européenne, Aix en Provence. 238 p.

Vennetier, M., Girard, F., Ouarmim, S., Thabeet, A., Ripert, C., Cailleret, M., Caraglio, Y., 2010. Climate change impact on tree architecture may contribute to forest decline and dieback. In: Parrotta, J.A., Carr, M.A. (eds.), XXIII IUFRO world congress, Seoul, Korea, 23-28 August 2010, Commonwealth Forestry Association, International Forestry Review 12(5), pp. 45.

Vennetier, M., Ripert, C., 2009. Forest flora turnover with climate change in the Mediterranean region: a case study in South-Eastern France " For. Ecol. Manag., (258): S56-S63.

Vennetier, M., Ripert, C., 2010. Flore méditerranéenne et changement climatique: la course-poursuite est engagée, Forêt Méditerranéenne, (XXXI) 1: 15-24.