

## L'avenir du massif forestier des Landes de Gascogne

### Rapport d'expertise sur l'évaluation des risques biotiques

Dominique Piou (DSF) – Hervé Jactel (INRA)

Mars 2010

L'évolution des techniques culturales, le changement climatique, les introductions de nouveaux parasites font craindre un accroissement des problèmes sanitaires en forêt et celle des Landes de Gascogne n'échappe pas à cette préoccupation. Dans le cadre de l'expertise sur l'avenir de ce massif après la tempête de 2009, nous ne nous intéresserons qu'aux insectes et champignons pathogènes des pins puisque le groupe de travail sur les itinéraires sylvicoles a estimé "*que la culture du pin maritime resterait prépondérante avec le pin taeda en alternative sur les meilleures stations*".

#### 1. Etat des lieux

Les aléas biotiques des pins en Aquitaine sont bien connues grâce à l'action du DSF depuis 1989 et aux connaissances accumulées par les professionnels et les organismes de recherches depuis 1945.

Il ne saurait être question de dresser une liste détaillée de tous les organismes susceptibles de commettre des dommages sur les pins du massif landais. Pour la période 1989-2006, le DSF a recensé 31 espèces d'insectes et 27 espèces de champignons, responsables ou associés à des dommages. Même si leur nombre est probablement supérieur, moins d'une dizaine d'entre eux représente plus de 90% des signalements. Parmi ceux-ci, ce sont les insectes sous-corticaux (scolytes, pyrale), la processionnaire du pin et les pathogènes racinaires (Armillaire et Fomes) qui commettent à l'heure actuelle le plus de dégâts. Leur fréquence respective fluctue d'année en année en fonction de la biologie propre à chaque organisme (comme la processionnaire du pin), des conditions climatiques plus ou moins favorables, et de la présence de chablis comme pour les scolytes. Leur impact n'est pas véritablement chiffré mais il est probablement largement inférieur à celui des deux tempêtes de 1999 et de 2009. La part des pertes liées au Fomes – il est maintenant présent sur l'ensemble du Massif -a par ailleurs nettement augmenté depuis vingt ans.

Il est par ailleurs très difficile de prédire si des organismes peu ou non responsables de dommages hier ou aujourd'hui, sont susceptibles d'en commettre un jour sous l'effet des évolutions climatiques ou culturales. Par nature, ces organismes sont très peu étudiés ce qui empêche toute prédiction. L'exemple de craintes soulevées par l'apparition dans les années 1990 de l'agent de la maladie des taches brunes (*Mycosphaerella dearnessii*) témoigne de cette difficulté. Cet agent était vraisemblablement présent dans le massif landais, à l'état latent, mais était passé complètement inaperçu. L'introduction sur quelques dizaines d'ha de l'hybride *Pinus attenuata* × *radiata*, très sensible, en a révélé la présence probablement à l'occasion d'années climatiques favorables.

L'évaluation des risques sanitaires pour l'avenir du massif landais s'est donc focalisée à la fois sur l'évolution possible de la vulnérabilité des peuplements en fonction des différents schémas

sylvicoles proposés, des effets du changement climatique mais aussi en fonction de l'évolution possible des aléas liés à l'introduction de nouvelles essences ou de nouveaux parasites.

## **2. Sylviculture du pin maritime et méthodes de limitation des risques sanitaires**

Le tableau joint en annexe reprend le plan du groupe de travail sur les itinéraires sylvicoles et tente, **dans les grandes lignes**, d'en évaluer les effets positifs ou négatifs. En fonction des choix sylvicoles, certains agents peuvent être favorisés tandis que d'autres seront au contraire défavorisés. Il n'existe pas de techniques sylvicoles miracles qui permettraient de minimiser l'ensemble des risques sanitaires sur un massif d'un million d'ha.

Pour limiter les risques sanitaires en forêt, deux grandes options sont possibles. La première consiste à n'intervenir que lorsque des dégâts importants sont détectés, menaçant la survie des peuplements ou la rentabilité économique de la production forestière. Des **actions de lutte dite curative** peuvent alors être mises en œuvre pour réduire les niveaux de populations des insectes ravageurs ou des champignons pathogènes.

Longtemps le premier moyen de lutte envisagé a été l'usage de pesticides. Il s'avère d'un intérêt très limité en forêt car les produits insecticides ou fongicides sont en général coûteux, et peu efficaces quand la cible est difficile à atteindre (insectes cachés sous l'écorce, champignons dans les racines), soit à spectre très étroit nécessitant le recours à de nombreuses matières actives pour couvrir tout le champ des agents de dégâts soit au contraire à spectre large et donc potentiellement nuisible pour l'environnement et particulièrement les espèces prédatrices ou antagonistes de ces ravageurs et pathogènes. En pratique les derniers usages d'insecticides en forêt landaise concernent le traitement des grumes stockées en bord de route à l'aide de pyréthrinoïdes de synthèse pour prévenir des attaques de scolytes sur les peuplements voisins. Il est probable qu'à terme ces produits ne seront plus homologués. Des solutions alternatives de lutte curative, plus respectueuse de l'environnement, ont été envisagées. La lutte microbiologique s'apparente à la lutte chimique dans ses principes et modes d'application. Ainsi la toxine de la bactérie *Bacillus thuringiensis* (Bt) peut être produite en masse (en fermenteurs) et épandue en solution sur les peuplements forestiers touchés par des défoliations. Ces traitements restent les plus efficaces pour la lutte active contre les dégâts de processionnaire du pin.

La lutte mécanique consiste en une élimination des parties atteintes de l'arbre ou de l'arbre entier pour limiter la multiplication des insectes ravageurs ou champignons pathogènes. A l'échelle du massif forestier, l'écorçage des grumes, l'abattage et le débardage des bois scolytés hors forêt, lorsqu'ils sont appliqués à grande échelle, se révèlent les meilleurs moyens pour la lutte contre les scolytes des pins (notamment *Ips sexdentatus*), particulièrement en période de contraintes climatiques fortes (sécheresse) qui limitent les capacités de résistance des arbres.

Malgré de nombreux travaux consacrés à ce sujet, la lutte biologique directe, consistant en l'augmentation des populations d'ennemis naturels par lâchers inoculatifs ou inondatifs, n'a pas donné de résultats probants pour la protection des forêts contre les ravageurs endémiques, mis à part le cas du dendroctone de l'Epicéa.

L'identification du rôle des substances sémi-chimiques (phéromones, allomones, kairomones) dans la localisation et la sélection de l'arbre hôte par les insectes herbivores a conduit à des recherches sur leur utilisation pratique. L'expérience montre que le piégeage de masse à l'aide de pièges à phéromone à haute densité est rarement efficace et trop coûteux à l'échelle du massif. En revanche des résultats prometteurs ont été obtenus à petite échelle sur l'emploi de

répulsifs, comme certains composés volatils émis par les essences non hôtes, contre les scolytes et la processionnaire du pin.

Quoiqu'il en soit, ces méthodes de lutte curatives restent difficiles à appliquer sur les grands arbres ou contre les espèces cryptiques, et leur application doit être répétée à chaque épisode épidémique, engendrant un coût élevé qui n'est pas toujours compensé par un gain de productivité dans les peuplements traités. Elles sont donc le plus souvent limitées au traitement d'arbres ou de peuplements à forte valeur économique ou lorsque des impératifs de santé humaine sont en jeu (comme avec les chenilles urticantes de la processionnaire du pin).

Il apparaît donc plus judicieux, surtout en forêt, de réfléchir à des **méthodes de lutte préventive** qui agissent sur le long terme, avant que des dégâts importants n'interviennent. Dans cette rubrique, il convient de mentionner les traitements préventifs contre le fomes par le badigeonnage des souches avec des solutions d'urée ou de bore. Bien que simple dans son principe, cette technique ne semble pas se généraliser à l'ensemble du massif alors que les dégâts imputables au Fomes sont en augmentation depuis 20 ans. Ce constat invite à généraliser le plus rapidement possible le traitement des souches de pin dans le massif landais. D'autres méthodes de lutte préventive reposent sur la capacité des écosystèmes à se défendre par eux-mêmes. En pratique elles se fondent sur l'hypothèse que la sylviculture peut être ajustée de telle sorte qu'elle contribue à réduire les niveaux de populations des ravageurs ou pathogènes et à augmenter la résistance des arbres à ces agents biotiques (Jactel et al. 2009). L'ajustement des méthodes de gestion forestière à cet objectif de prévention des risques sanitaire concerne chacune des étapes de la sylviculture.

La première étape consiste à veiller à la meilleure adéquation entre essences et conditions stationnelles. En conditions limitantes pour la fertilité du sol et l'alimentation hydrique, le risque est un stress physiologique des arbres les rendant plus sensibles aux attaques de ravageurs et pathogènes secondaires comme les scolytes ou le champignon pathogène *Sphaeropsis sapinea*. A l'inverse dans les meilleures stations, la croissance rapide des arbres peut favoriser l'attaque de ravageurs ou pathogènes primaires comme la pyrale du tronc (*Dioryctria sylvestrella*) ou la rouille courbeuse. Le choix d'essences de substitution au pin maritime pour le reboisement après tempête devrait tenir compte de ces contraintes.

La préparation du sol avant plantation peut aussi avoir un effet important sur le risque sanitaire. Différer de deux ans le reboisement après coupe rase réduit ainsi les niveaux d'attaques du grand charançon du pin (*Hylobius abietis*) qui survit dans les souches avant d'effectuer des repas de maturation sur l'écorce des jeunes plants. La fertilisation phosphatée peut avoir des effets opposés sur la résistance des arbres aux insectes ravageurs. Elle tend à augmenter leur sensibilité à la tordeuse des pousses (*Rhyacionia buoliana*) ou à l'hylobe (Zas et al, 2005) et au contraire à augmenter leur résistance aux attaques de scolytes.

Une décision importante à prendre concerne la gestion en peuplements purs ou mixtes. Des travaux récents ont montré qu'en règle générale les forêts mélangées subissent moins de dégâts que les monocultures forestières, notamment par les insectes ou pathogènes spécialisés sur une essence donnée. Dans ce cas, le mélange entre conifères et feuillus s'avère le plus efficace. La conduite en peuplements mixtes posant des problèmes techniques, des solutions alternatives peuvent être envisagées, comme par exemple la mise en place de haie d'essences feuillues (bouleaux, chênes) autour des plantations de pin, qui a montré son intérêt pour la protection contre la processionnaire du pin. Des recherches analogues pourraient être entreprises pour mesurer l'intérêt de la diversité génétique des pins à l'échelle du peuplement, débouchant par exemple sur l'utilisation de mélange de provenances adaptées ou de variétés plus ou moins améliorées de pin maritime.

Lors de la plantation il convient également de veiller à la fois à la qualité sanitaire des plants issus de pépinière pour éviter l'introduction de maladies en forêts mais aussi au respect des

règles de "bonne plantation" (plant de qualité, travail du sol...). En cas de plantation mal conduite, le choc de la transplantation peut conduire à une mauvaise croissance initiale des plants les rendant plus sensibles à certaines attaques parasitaires comme celles de pissode. Une faible densité initiale peut favoriser l'attaque d'insectes primaires ou préférant les arbres isolés comme la processionnaire du pin, la pyrale du tronc, la tordeuse des pousses. Elle laisse aussi moins de marge de manœuvre pour les éclaircies. Une trop forte densité de plantation et un manque d'éclaircie peuvent au contraire accroître la concurrence entre arbres, favorisant certains insectes secondaires ou pathogènes de faiblesses (*Tomicus piniperda*, *Sphaeropsis sapinea* ?).

La gestion de sous-bois peut également être un moyen de prévention des problèmes sanitaires. Réduire la végétation herbacée peut limiter la compétition pour l'eau et la lumière et donc éviter certains stress physiologiques favorisant les ravageurs secondaires. En revanche, comme pour le mélange des essences forestières, la diversité des plantes ligneuses du sous-bois permet un maintien des ennemis naturels permettant de réguler les populations d'insectes ravageurs mais leur maintien peut augmenter localement les risques de propagation des incendies.

Le dépressage et l'éclaircie sont des actions sylvicoles très importantes pour la gestion du risque sanitaire en forêt. Elles permettent l'élimination des arbres atteints (par la pyrale du tronc, ou les champignons pourridiés racinaires comme le fomes et l'armillaire par exemple) et un renforcement de la vigueur des arbres laissés, les rendant plus résistants aux attaques de scolytes par exemple. En revanche l'éclaircie tend à augmenter le risque de chablis dans les années suivant la coupe ainsi que les attaques d'insectes préférant les arbres vigoureux (pyrale) ou isolés (processionnaire). Les souches créées à chaque éclaircie sont aussi des voies de contamination par le Fomes.

Les éclaircies et le débroussaillage sont généralement conduits mécaniquement. Le passage répété d'engins entraînent des blessures aux racines et aux troncs des arbres restants. Leur fréquence semble augmenter. Ces blessures, tout comme celles induites par le grand gibier, constituent autant de sites favorables de ponte pour la pyrale ou de portes d'entrée pour différents pathogènes.

La dernière décision de gestion pouvant influencer les niveaux de dégâts en forêt concerne la durée de la révolution sylvicole. Il apparaît en effet que les arbres les plus âgés s'exposent à davantage de causes de dégâts et présentent une moindre vigueur, ce qui les rend plus sensibles à ces agents biotiques. Il est donc souvent recommandé, pour le strict point de vue sanitaire, d'éviter de maintenir en place les arbres très au delà de l'âge d'exploitabilité. Plus globalement, le raccourcissement des rotations peut également contribuer à diminuer le risque sanitaire en réduisant à la fois la sensibilité des peuplements et l'impact économique des dommages. Ainsi les agents de dégât affectant la longévité des arbres ou la qualité du bois n'auraient que peu d'impact sur des systèmes à courte rotation et à vocation de production de bois – énergie. Le maintien d'ilots de vieillissement et de sénescence serait par contre utile au maintien de la biodiversité. La coupe rase permet par principe l'élimination de tous les arbres infectés. En revanche, la coupe sélective, suivie d'une régénération naturelle, permet de maintenir une continuité forestière qui favorise la régulation des insectes ravageurs par leurs ennemis naturels. Le raccourcissement des rotations risque par contre de poser le problème du maintien sur le long terme de la fertilité des sols.

Il apparaît donc que chaque opération sylvicole peut avoir des conséquences notables sur la dynamique des épidémies et des infestations mais dans un sens souvent différent en fonction des types d'agents de dégâts. Il n'est donc pas envisageable de définir un mode de gestion

unique, optimal, qui réduirait l'ensemble des risques sanitaires. Cela dit, il semble possible dans un contexte donné, croisant conditions stationnelles, composition en essences et âge du peuplement, de préciser les principaux agents de dommage potentiels et d'ajuster la sylviculture pour réduire leur impact spécifique. La lutte préventive se doit donc de combiner un diagnostic solide, fondé sur une surveillance en continu de l'état sanitaire du massif, avec un ajustement régulier des pratiques de gestion en fonction de l'évolution de l'occurrence et de l'intensité des aléas biotiques et abiotiques. Cette approche est certes plus complexe à mettre en œuvre mais elle a le mérite d'un moindre coût économique et environnemental.

### **3. La problématique du changement global**

Les différents rapports du GIEC (Groupe intergouvernemental d'experts sur l'évolution du climat) ont clairement mis en évidence un réchauffement général en cours. Ce dernier devrait perdurer et les différents scénarios proposés prédisent à l'horizon 2100 pour l'Europe une augmentation de la température moyenne de plusieurs degrés, de la pluviosité hivernale et des déficits hydriques estivaux ainsi qu'une augmentation de la fréquence des événements extrêmes: canicules, sécheresses, tempêtes... (ce dernier point étant le plus discuté).

L'ampleur de l'évolution des paramètres climatiques devrait entraîner une modification des aires de distribution des essences forestières. Dans le cadre du projet Carbofor, Badeau et al (2004) ont modélisé l'aire potentielle du pin maritime en France à horizon 2050. Celle-ci s'étendrait au nord par la vallée du Rhône et par l'ouest jusqu'au Bassin Parisien. Le massif des Landes resterait inclus dans cette aire potentielle. La composition du sous bois, en particulier la part des chênes vert et pédonculé, pourrait également évoluer puisque chaque espèce sera affectée plus ou moins fortement. Cette approche est cependant très réductrice (Badeau et al, 2004) et ne tient quasiment pas compte des contraintes édaphiques qui elles aussi vont évoluer sous l'effet du changement climatique vers, probablement, un engorgement hivernal et un déficit hydrique estival plus longs. Ces deux contraintes sont déjà très fortes dans les sols landais ; elles risquent de l'être encore plus à l'avenir et doivent être intégrées dans les réflexions sur la conduite des réseaux d'assainissement. Ces modèles ne tiennent pas compte non plus des possibilités d'adaptation des arbres, ni des interactions trophiques avec les insectes ou champignons par exemple.

Dès lors, même en proposant des rotations relativement courtes de l'ordre de 30 ans, les arbres plantés ou semés en 2010 connaîtront rapidement de profondes modifications de leurs conditions de vie, qui se répercuteront forcément sur leur physiologie et indirectement sur leur santé et leur sensibilité aux parasites. La physiologie des essences ligneuses peut dans certains cas être également affectée par l'évolution des retombées atmosphériques, notamment par l'augmentation des dépôts azotés.

Une plus forte sensibilité du massif landais aux parasites opportunistes est donc possible notamment vis-à-vis des scolytes qui pourraient provoquer plus de mortalité à l'avenir. La question se pose pour *Sphaeropsis sapinea*. Les données DSF indiquent que le pin maritime est peu sensible en France à ce pathogène sauf à l'occasion de conditions particulières (grêle, épandage de matière organique en forêt). Le pin maritime est par contre fréquemment attaqué en Afrique du Sud où il est considéré comme sensible. Cette différence de comportement ne s'explique pas facilement mais il semble cependant qu'en dehors de leur aire d'origine, les pins sont généralement plus sensibles à ce pathogène. La question se pose donc aussi pour le pin taeda. En Afrique du Sud où il a été massivement introduit, il se révèle relativement résistant

(Smith et al, 2002) sauf en cas d'apport de fertilisants (Stanosz et al, 2004). Dans la base DSF, il apparaît quelques signalements de dégâts en Aquitaine sur cette essence sans que cela permette de réellement juger de sa sensibilité. Des signalements récents de dommages sur pin taeda dans plusieurs états du Sud-est des USA justifient, selon Stanosz et al (2009), des études complémentaires pour évaluer réellement la sensibilité de cette essence à *S. sapinea*.

Outre les effets indirects via la physiologie de l'hôte, le changement global peut également affecter directement les parasites. Divers effets positifs mais aussi négatifs ont été recensés (voir par exemple pour plus de détails les articles de Roques et Nageleisen (insectes) Marçais et Desprez-Loustau (pathogènes) - 2007 - RDV techniques hors-série n°3 – ONF). Les capacités d'adaptation des parasites sont généralement supérieures à celles de leurs hôtes, ce qui pourrait se traduire par des évolutions rapides du cortège parasitaire des pins dans les Landes. Des projections pourraient être tentées notamment pour les parasites plus ou moins sensibles à la température. Les interactions entre les pins, leurs parasites et les facteurs du milieu sont cependant encore trop mal connues pour permettre une bonne prédiction de l'évolution à moyen terme des risques sanitaires à l'échelle du massif landais.

#### **4. Risques liés aux introductions d'organismes de quarantaine en Aquitaine**

##### ***4.1- Risques d'introduction du nématode du pin (*Bursaphelenchus xylophilus*)***

*Bursaphelenchus xylophilus* est un ver microscopique, originaire d'Amérique du Nord où il a été décrit pour la première fois en 1934 et où il commet peu de dégâts. Introduit au Japon probablement au début du 20<sup>ème</sup> siècle, le nématode n'a été reconnu comme responsable du dépérissement des pins dans ce pays qu'en 1972. Il a par la suite été introduit accidentellement en Chine (1982), Taiwan (1985), Corée (1988), et enfin au Portugal où il a été découvert en 1999. Malgré l'application de mesures contraignantes, le nématode du pin a continué à s'étendre au Portugal puis en Espagne où un pin atteint a été repéré en 2008.

Dans tous les pays d'introduction, le nématode du pin a provoqué d'importantes mortalités. Au Japon, les pertes annuelles ont atteint un pic de 2,5 Mo de m<sup>3</sup> au début des années 1980 et semblent fluctuer autour d'1 Mo de m<sup>3</sup> actuellement. En Chine, on estime que plus 1,6 Mo d'ha sont atteints et 100 000 ha en moyenne sont infectés en plus chaque année.

Au Portugal, l'essence affectée est le pin maritime. Les pertes réelles sont difficiles à chiffrer car elles se confondent avec celles consécutives aux mesures d'éradication. Entre 2000 et 2006, le Portugal a tenté de contenir le nématode par l'abattage d'environ 1 million d'arbres dans la zone infestée (secteur de Setubal) et dans une zone tampon de 20 km autour de cette zone. En 2007, une nouvelle ceinture de 3 km de large et de 300 km de long a été délimitée dans laquelle tous les peuplements de pins ont été coupés à blanc. Depuis avril 2008, environ 120 foyers sont apparus en dehors de la région de Setubal, principalement dans le centre et le nord du Portugal, dans des zones auparavant considérées comme indemnes. En juin 2008, le Portugal a déclaré la totalité de son territoire continental infecté par le nématode du pin. Le coût des seules mesures d'éradication a été chiffré à 24 Mo € pour la période 2001-2009 au Portugal et à 3 Mo € en 2010 en Espagne (sources EU DG SANCO).

Les observations conduites dans les pays contaminés permettent d'affirmer que la majorité des pins européens (pins noirs, pin sylvestre, pin maritime) sont sensibles. *B. xylophilus*

représente donc un risque important pour l'avenir des pins en Europe et donc pour celui du massif landais.

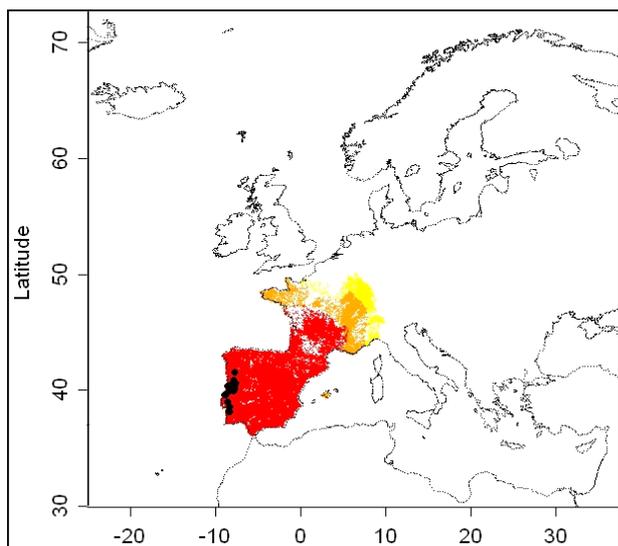
#### 4.1.1. Evaluation du risque "Nématode du Pin" en Aquitaine

Compte tenu de la diversité génétique de *B. xylophilus* au Portugal, on suppose qu'il y a eu au moins deux sources d'introduction différentes depuis l'Asie. Ces sources ne sont pas connues. Même si de plus en plus de précautions sont prises, on ne peut exclure de nouvelles introductions accidentelles ailleurs en Europe, notamment dans un des ports ou sites d'importation en Aquitaine, à partir d'Amérique du Nord ou d'Asie. Ce risque est cependant difficilement quantifiable.

L'autre possibilité d'arrivée du nématode dans le massif landais est une progression à partir du Portugal. Dans les pays où il a été introduit, les mortalités ont suivi le même schéma en deux phases. 1) La phase initiale ou phase d'établissement dure 5 à 10 ans. Durant cette phase, on observe une diffusion de proche en proche des dégâts à partir du point d'introduction. Ce type de diffusion suggère une dispersion naturelle, du fait d'insectes vecteurs. Dans le cas présent les vecteurs appartiennent au genre *Monochamus* (longicornes). La vitesse de diffusion (5 à 10 km/an) est cohérente avec les capacités de vol de l'insecte. L'espèce vectrice *Monochamus galloprovincialis* est déjà naturellement présente en Aquitaine où elle ne commet aucun dégât. 2) La seconde phase ou phase d'établissement s'observe après plusieurs années. Elle correspond à une explosion des dégâts sur un territoire très vaste, sans pattern particulier. De nouveaux foyers surgissent à quelques dizaines voire centaines de km du point d'introduction. Elle suggère une dispersion liée à l'homme, qui transporte accidentellement du matériel contaminé, surtout entre les pôles d'activités économiques. Plus ces pôles sont gros et plus les échanges entre pôles sont nombreux, plus les risques d'introduire le nématode à proximité sont importants.

Robinet et al (2009) ont modélisé la dispersion du nématode du pin en Chine, en combinant un modèle de diffusion (phase1) avec un modèle stochastique « individu-centré » (phase2). Ce modèle combiné a ensuite été appliqué à l'Europe en prenant en compte i) la distribution du nématode au Portugal en 2008; ii) la répartition spatiale des pins; iii) la densité de population humaine (indicateur du risque de transport accidentel) sur le continent européen. En intégrant dans ce modèle les contraintes climatiques liées à l'expression des dégâts (Température en juillet  $\geq 20^{\circ}\text{C}$ ), il apparaît que même sous l'hypothèse d'un réchauffement climatique nul, le risque d'infestation en Aquitaine à l'horizon 2030 est proche de 100% (voir figure 1) (Robinet et al; soumis). Cette probabilité a été calculée pour la région de Bordeaux : elle est proche de 50% dès 2018. (voir figure 2) (Robinet et al, comm. pers.)

Les résultats de ce modèle sont donnés sous réserve que le processus de dispersion en Europe soit le même qu'en Chine. Si les préconisations européennes sur la limitation du transport de matériel contaminées sont appliquées avec rigueur, il est possible que l'infestation s'étende moins rapidement. Tout acteur de la filière forêt-bois en Aquitaine et en France doit être conscient des risques pris en commerçant sans précaution avec des acteurs de la zone contaminée ; il doit appliquer de façon rigoureuse les préconisations européennes.



en 2030, prédite par le modèle d'expansion depuis le Portugal sans prise en compte de la contrainte climatique. La couleur rouge représente les zones où  $0.75 \leq P \leq 1$ , la couleur orange, les zones où  $0.25 < P < 0.75$  et jaune les zones où  $0.01 \leq P \leq 0.25$ . Les points noirs représentent les observations du nématode au Portugal en 2008.

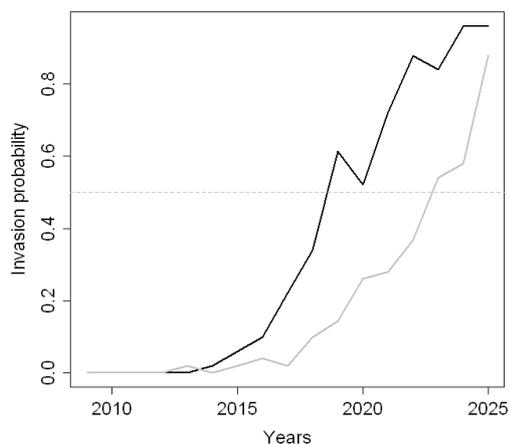


Figure 1 : Probabilité d'invasion du nématode du pin  
 Figure 2 : Evolution de la probabilité d'invasion par le nématode du pin entre 2010 à 2025 dans la région de Bordeaux (en noir) et de Barcelone (en gris)

Ce modèle peut être amélioré à la condition de mieux connaître la valeur de certains paramètres comme la capacité de vol de l'insecte vecteur et les limites des contraintes climatiques du nématode et de son vecteur, ainsi que les conditions environnementales permettant l'expression de la maladie.

#### 4.1.2.: Vulnérabilité des peuplements aquitains au Nématode du pin

##### *Vulnérabilité du pin maritime*

Le comportement du pin maritime au Portugal est manifestement celui d'une espèce très sensible et rien ne permet de dire pour l'instant que les provenances ou les variétés landaises pourrait être moins sensibles. Si de telles variations intraspécifiques ne semblent pas avoir été démontrées (ou cherchées) au sein des espèces japonaises (*Pinus densiflora*, *P. thunbergii*), elles ont par contre été trouvées pour une espèce chinoise (*P. massoniana*). Dans ce cas cependant une majorité de provenances résistantes à l'état juvénile montre une diminution de la résistance avec l'âge. Sur cette essence, certaines provenances montrent également une résistance à la consommation d'écorce par l'insecte vecteur (*M. alternatus*) lors du repas de maturation. Au sein des essences japonaises, certains individus encore sains après le passage de l'épidémie se sont révélés résistants et servent de base à une multiplication clonale.

Il y donc probablement urgence à explorer la variabilité intra-spécifique de la sensibilité du pin maritime au nématode. Le programme d'amélioration de cette essence est un des plus avancé au niveau mondial; il risque d'être profondément remis en cause par l'arrivée du Nématode en Aquitaine. Cette recherche peut cependant s'avérer délicate dans la mesure où les mécanismes de pathogénicité du nématode et de résistance des pins sont mal connus et qu'il n'existe pas de véritables marqueurs de cette résistance. Par ailleurs, les protocoles

d'inoculation ne sont pas standardisés au niveau international, ce qui a déjà abouti à certaines contradictions et rend difficile la comparaison des résultats entre équipes de recherche.

#### *Vulnérabilité des autres pins préconisés dans le massif landais.*

Introduit sur plusieurs centaines d'ha au Japon, le pin taeda (jeune et adulte) s'est révélé *in situ* très résistant au nématode du pin, alors que le vecteur local (*M. alternatus*) est à même d'y réaliser des repas de maturation. Le pin taeda est également souvent utilisé comme témoin de résistance dans les expériences d'inoculation. Son extension dans le massif landais ne devrait donc pas accroître la vulnérabilité générale du massif au nématode du pin. Des scientifiques chinois (Yang et al, 2004) signalent cependant la capacité de ce dernier à se maintenir à l'état latent dans le xylème de *P. taeda*. Des *Monochamus* se développant dans de tels pins pourraient donc se charger de *B. xylophilus* et le transmettre à des pins maritimes voisins.

*Pinus radiata* ne fait pas partie des essences préconisées dans le massif landais mais il est largement utilisé au Pays Basque espagnol (plus de 150 000 ha.). S'il se révélait sensible, sa présence aux portes du massif landais pourrait constituer un réservoir d'inoculum important. Bien que nord américain, la question de sa sensibilité est l'objet de controverses. L'analyse de risques conduite pour la Nouvelle-Zélande indique que *P. radiata* est une espèce au statut équivoque vis-à-vis de *B. xylophilus*. Quelques chercheurs classent ce pin comme sensible et d'autres comme résistant. Par exemple Bain and Hosking (1988) ont étudié *P. radiata* dans son aire naturelle (Californie), où *B. xylophilus* et ses vecteurs sont endémiques. Ils n'ont trouvé aucun exemple d'infection malgré une recherche ciblée. Par contre, Furuno et al (1993) (in Lawson and Sathyapala, 2008) rapportent près de 80% de mortalité de *P. radiata* au Japon dans une expérimentation conduite entre 1960 et 1990. La sensibilité de *P. radiata* par rapport au nématode du pin mais aussi à d'autres facteurs biotiques ou abiotiques (froid, maladie des taches brunes) mérite d'être sérieusement évaluée avant une éventuelle utilisation dans le sud ouest de la France.

#### 4.1.3. Les difficultés d'une détection précoce dans les prochaines années

Toutes les analyses de risques conduisent à souligner l'intérêt d'une détection précoce. Dans les prochaines années, cette détection risque cependant d'être très délicate compte tenu des confusions de symptômes possibles avec les attaques de scolytes qui seront probablement nombreuses après la tempête de 2009. Par ailleurs, si elles se répètent, les défoliations précoces par la Processionnaires du pin telles que celles observées en septembre-octobre 2009 pourraient également masquer les symptômes d'attaque par le nématode.

Il y aurait donc intérêt à développer rapidement des méthodes de surveillance complémentaires qui ne soient pas uniquement basées sur la détection d'arbres symptomatiques. Une solution serait d'analyser les espèces de nématodes présentes sur des *Monochamus* capturés régulièrement dans le massif landais. Cette solution passe par la mise au point d'un système efficace de piégeage des *Monochamus*, qui n'est pas encore disponible.

## ***4.2.- Risques d'introduction du pitch canker (Gibberella circinata) en Aquitaine***

### 4.2.1. L'extension mondiale de *G. circinata*

*Gibberella circinata* (= *Fusarium circinatum* pour la forme asexuée) est l'agent du chancre résineux (pitch canker) des pins susceptible d'attaquer la plupart des pins mais aussi le Douglas. Originaire d'Amérique centrale, ce pathogène provoque des nécroses corticales accompagnées fréquemment d'abondants écoulements de résine. La mortalité répétée de pousses et de branches provoquent, notamment chez le pin radiata, des réductions de croissance et parfois la mortalité des tiges. Ce champignon peut également provoquer des fontes de semis; il demeure dormant dans les tissus internes de la graine jusqu'à la germination puis se développe sur la plantule. *G. circinata* se disperse essentiellement par les spores et par des insectes vecteurs, notamment les scolytes. La dispersion à longue distance depuis les zones contaminées est surtout liée aux activités humaines (transport de graines et de plants contaminés). Il a ainsi été introduit dans plusieurs pays (Chili, Japon, Afrique du Sud, Uruguay) mais aussi en Europe, quasiment toujours à partir de pépinières.

### 4.2.2. *G. circinata* en Europe et en France

*G. circinata* a été détecté dans une pépinière du Pays Basque espagnol en 1997 mais son introduction est probablement plus ancienne. En 2004, les autorités espagnoles font état de la présence de ce champignon sur des semis dépérissants de *Pinus radiata* et de pin maritime dans une pépinière des Asturies. Par la suite, la détection de *G. circinata* dans 12 pépinières du Nord-ouest de l'Espagne (Asturies, Cantabriques, Castille et Léon, Galice) conduit à la destruction de plus de 3 Mo de plants de *P. nigra*, *P. pinaster*, *P. radiata* et *P. sylvestris*. Depuis, plus de 2500 ha de pin radiata ont été déclarés infectés et détruits, notamment au pays basque espagnol. Certains peuplements étaient à la frontière franco-espagnole.

*G. circinata* a également été détecté en 2005 dans des parcs et jardins, en France, à proximité de Perpignan, et dans le Sud de l'Italie.

A la suite du signalement de Perpignan, un plan de surveillance spécifique a été mis en place en 2007 par les autorités françaises, notamment en Aquitaine, Midi-Pyrénées, Languedoc-Roussillon et le long de la façade atlantique. C'est ainsi que des fontes de semis provoquées par *G. circinata* ont été détectées dans une pépinière de Vendée qui avait importé les graines d'Espagne. Pour l'instant, ces foyers semblent éradiqués. Aucun cas de *G. circinata* en peuplement forestier n'a encore été rapporté.

### 4.2.3. Les risques d'extension de *G. circinata* en Aquitaine

C'est aux Etats-Unis que *G. circinata* commet le plus de dégâts, d'une part en Californie sur *Pinus radiata* et à un degré moindre dans le Sud-est sur divers pins dont *Pinus taeda*. Les études conduites dans ce pays ont révélé l'importance des scolytes comme vecteurs du champignon, et des climats chauds et humides comme conditions favorables à l'infection. Une étude récente (Ganley et al, 2009) a évalué les risques d'établissement du chancre résineux à travers le monde, en fonction du climat. Il apparaît que le sud-ouest de la France, notamment la frange littorale et le nord ouest de l'Espagne sont climatiquement très favorables à l'extension de la maladie. D'autres études conduites en Espagne ont également démontré que les scolytes des pins sont des vecteurs de ce champignon en Europe.

On peut dès lors se demander pourquoi *G. circinata* n'a pas encore été détecté en peuplement en Aquitaine. La réponse à cette question ne peut être que fragmentaire. Il semble que dans la

partie espagnole du pays Basque, *G. circinata* fructifie peu et qu'il soit peu agressif sur pin maritime. Sa dispersion serait dès lors très lente. Dans la corniche cantabrique, le pin maritime pourrait être plus sensible mais les données scientifiques manquent. Cette différence de sensibilité pourrait s'expliquer par la diversité génétique du champignon. Les deux types sexuels sont présents en Asturies, Galice, Cantabrie, probablement parce qu'il y a eu des introductions répétées, alors qu'il n'y en existe qu'un seul au Pays Basque. La présence des deux types sexuels permet des recombinaisons génétiques conduisant à de nouveaux génotypes. L'un d'eux, sous l'effet de pressions de sélection, pourrait se révéler plus agressif sur pin maritime. Il y a donc lieu d'être prudent quant à la relativement faible sensibilité du pin maritime et de faire le maximum pour éviter l'introduction de ce pathogène en Aquitaine. Cette recommandation est d'autant plus valable qu'il est envisagé en Aquitaine une extension des surfaces en pin taeda. Dans son aire naturelle, ce pin est sensible à *G. circinata*. La mortalité annuelle est cependant faible sauf certaines années où sporadiquement, les attaques peuvent être plus fortes. Les origines génétiques utilisées en France sont sélectionnées parmi les variétés résistantes au froid issues de la provenance américaine Delmarva (Delaware, Maryland et Virginie) et des zones de piémonts appalachiens (Abraham et al, 2003). Ces provenances ne sont pas forcément situées dans des zones climatiques très favorables au développement de *G. circinata* (Cf Ganley et al, 2009); Il n'empêche que les vergers à graines de *P. taeda* de cette zone sont affectés par *G. circinata* et que les lots de graines issus de ces vergers sont contaminés. Ce champignon a déjà été retrouvé dans des lots de graines nord américaines utilisés en France. Toute importation de graines de *P. taeda* en provenance des USA devrait donc se réaliser sous un strict contrôle de quarantaine. Les observations conduites en vergers à graines ont permis de mettre en évidence un fort effet génétique, avec des clones très peu affectés par *G. circinata*, ce qui suggère qu'une sélection génétique pour la résistance est possible.

## **5. En guise de conclusions**

Dans un contexte sylvicole où le pin maritime restera prépondérant, le groupe de travail sur les itinéraires sylvicoles a réaffirmé l'utilité de diversifier les itinéraires techniques. Cette approche apparaît pertinente pour réduire les risques sanitaires à condition qu'elle se traduise par une diversité des compositions, structures et gestion des peuplements à l'échelle des paysages, par exemple avec des mosaïques de parcelles orientées "biomasse", de plantations de pin à sylviculture plus traditionnelle et d'espaces "interstitiels" riches en essences variées, notamment feuillues.

Cette diversification des itinéraires techniques pourrait également s'appuyer sur l'utilisation de nouvelles variétés de pin maritime. Des tests génétiques ont été utilisés pour évaluer la résistance de variétés de pin maritime à quelques insectes et champignons pathogènes comme la cochenille, la pyrale ou la rouille courbeuse. De même, l'évaluation de la sensibilité des hydrides Landes × Corse au Fomes est en cours dans un test grandeur nature. Il faut cependant souligner qu'il n'existe probablement pas de résistance horizontale garantissant une protection contre tous les problèmes sanitaires. Il convient donc d'envisager plutôt des variétés spécialisées, quitte à les mélanger pour répartir le risque. Par ailleurs les scientifiques ont observé des corrélations génétiques positives entre la croissance en diamètre et les dommages dus à l'hylobe (Zas et al. 2005) et à la pyrale (Kleinhentz et al.1998). Des compromis devront donc être trouvés entre des objectifs de production et de réduction des risques. Il conviendrait aussi de réfléchir rapidement à une orientation du programme d'amélioration vers une recherche de résistance au nématode du pin. Ce dernier constitue probablement la prochaine grande menace sanitaire pour massif landais.

## Articles cités

- Abraham, G.; Liarcou, J.R.; Chantre G. Fraysse J.Y. 2003 Le Pin Taeda : un potentiel de production prometteur sur les bonnes stations en Aquitaine. AFOCEL, Fiche Informations-Forêt n° 672. 6 p.
- Badeau, V.; Dupouey, J.L.; Cluzeau, C.; Drapier, J.; Le Bas, C. 2004 Modélisation et cartographie de l'aire climatique potentielle des grandes essences forestières françaises. Rapport final (tache D1); Projet Carbofor. Doc interne INRA. 49 p.
- Bain, J.; Hosking, G.P. 1988 Are NZ *Pinus radiata* plantations threatened by fine wilt nematode *Bursaphelenchus xylophilus* ? New Zealand Forestry 32 (4) pp: 19-21
- Furuno, T.; Nakai, I.; Uenaka, K.; Haya, K. 1993 The pine wilt upon the exotic pine species introduced in Kamigamo and Shirahama Experiment Station of Kyoto University- Various resistances among genus *Pinus* to pinewood nematode, *Bursaphelenchus xylophilus*. The Report of the Kyoto University Forests. 25:20-34.
- Ganley, R. J.; Watt, M.S.; Manning, L.; Iturriza, E. 2009 A global climatic risk assessment of pitch canker disease Canadian Journal of Forest Research 39(11) pp: 2246-2256
- Jactel, H.; Nicoll, B.C.; Branco, M.; Gonzalez-Olabarria, J.R.; Grodzki, W.; Langstrom, B.; Moreira, F.; Netherer, S.; Orazio, C.; Piou, D.; Santos, H.; Schelhaas, M.J.; Tojic, K.; Vodde, F.; 2009 The influences of forest stand management on biotic and abiotic risks of damage Annals of Forest Science 66(7) Article Number: 701
- Kleinhentz, M.; Raffin, A.; Jactel, H. 1998 Genetic parameters and gain expected from direct selection for resistance to *Dioryctria sylvestrella* Ratz. (Lepidoptera: Pyralidae) in *Pinus pinaster* Ait., using a full diallel mating design. Forest Genetics 5(3) pp: 147-154.
- Lawson, S.A.; Sathyapala S. 2008 The Risk of Pine Wilt Disease to Australia and New Zealand. In : Pine Wilt Disease: A worldwide threat to forest ecosystems Ed(s): Mota, M.M.; Vieira, P. pp: 41-58
- Marcais, B.; Desprez-Loustau, M. L. 2007 Le réchauffement climatique a-t-il un impact sur les maladies forestières ? Rendez-vous techniques de l'ONF, hors-série n° 3 « Forêts et milieux naturels face aux changements climatiques », pp: 47-52
- Robinet, C.; Roques, A.; Pan, H.Y.; Fang, G.F.; Ye, J.R.; Zhang, Y.Z.; Sun, J.H. 2009 Role of Human-Mediated Dispersal in the Spread of the Pinewood Nematode in China Plos One 4 (2) e4646
- Robinet, C.; Van Opstal, N.; Baker, R.; Roques, A. - Predictions of the potential spread of pine wilt disease in Europe under various scenarios of climate warming and human transportation - Biological Invasions. (soumis)

Roques, A.; Nageleisen, L. M. 2007 Impact du réchauffement global sur les populations d'insectes forestiers. Rendez-vous techniques de l'ONF, hors-série n° 3 « Forêts et milieux naturels face aux changements climatiques », pp.: 40-46

Smith, H.; Coutinho, T. A.; Wolfaardt, F. W.; Wingfield, M. J. 2002. Relative susceptibility of northern and southern provenances of *Pinus greggii* to infection by *Sphaeropsis sapinea*. *Forest Ecology and Management* 166(1-3) pp: 331-336.

Stanosz, G. R.; Trobaugh, J.; Guthmiller, M. A.; Stanosz, J. C 2004. *Sphaeropsis* shoot blight and altered nutrition in red pine plantations treated with paper mill waste sludge. *Forest Pathology* 34 pp: 345-253.

Stanosz, G.R.; Smith, D.R.; Fraedrich, S.W.; Baird, R.E.; Mangini, A. 2009 *Diplodia pinea*, the cause of Diplodia blight of pines, confirmed in Alabama, Louisiana, and Mississippi. *Plant Disease* 93(2) pp: 198.

Yang BJ, Wang LF, Xu FY, Zhang P 2004 Latent infection of *Bursaphelenchus xylophilus* and a new means of transmission by *Monochamus alternatus*. In : *Nematology monographs and perspectives* Ed(s): Mota, M.M.; Vieira, P. pp: 261-266

Zas, R.; Sampedro, L.; Prada, E.; Fernández-López J. 2005 Genetic variation of *Pinus pinaster* Ait. seedlings in susceptibility to the pine weevil *Hylobius abietis* L. *Ann. For. Sci.* 62 pp: 681–688.

**Annexes : Evaluation des effets positifs et négatifs des itinéraires sylvicoles sur la santé et la biodiversité des peuplements de pin des Landes**

<u>Itinéraires sylvicoles</u>	Santé		Biodiversité	
	effets positifs	effets négatifs	effets positifs	effets négatifs
<b>I.1. Nettoyage</b>				
I.1.a. Broyage lourd	Réduction du substrat de développement des charançons et de certains scolytes ;	Destruction de l'habitat d'ennemis naturels ; Risque de dispersion des pathogènes racinaires		Destruction de l'habitat et des ressources des espèces saproxyliques
I.1.b. Broyage moyen				
I.1.c. Déchiquetage				
I.1.d. Mise en cordons		Conservation de l'habitat d'ennemis naturels ; Risque Fomes et Armillaire en cas d'enfouissement	Conservation de l'habitat des saproxyliques	
I.1.e. Extraction et stockage				Destruction de l'habitat et des ressources des espèces saproxyliques
I.1.f. Enfouissement				
I.1.g. Andainage			Conservation de l'habitat des saproxyliques	
<b>I.2. Choix des essences de production</b>				
I.2.a. Pin maritime (variétés Landes, Landes x Corse et « vigueur »)	certaines variétés vigoureuses pourraient être plus résistantes aux ravageurs secondaires (ex. scolytes)	certaines hybrides Landes x Corse pourraient être plus sensibles à la pyrale et à la cochenille du pin maritime		
I.2.b. Pin taeda	meilleure résistance au nématode du pin?	sensibilité aux scolytes, à la processionnaire du pin, au fomes et à <i>G circinata</i>		essence exotique, moins riche en espèces associées
I.2.c. Robinier	peu d'insectes ravageurs			invasion des forêts voisines
I.2.d. Eucalyptus		introduction ravageurs exotiques: Phoracantha, Gonipterus, Ctenarytaina...		invasion des forêts voisines
<u>Itinéraires sylvicoles</u>	Santé		Biodiversité	

	effets positifs	effets négatifs	effets positifs	effets négatifs
1.2.e. Autres résineux (pins pignon, sylvestre, laricio ; cèdre de l'Atlas, séquoia sempervirens, cryptomeria japonica, sapin de Céphalonie, cyprès chauve)		introduction de ravageurs et pathogènes exotiques (sauf pins européens)	supplémentation/complémentation d'habitats ou de ressources pour espèces forestières locales?	invasion des forêts voisines
<b>1.3. Choix des essences d'accompagnement</b>				
1.3.a. Feuillus indigènes (chêne pédonculé, chêne tauzin, bouleau verruqueux, aulne glutineux, saules roux et marsault, châtaignier, chêne liège, tremble, chêne vert, poirier, pommier, cormier, frêne...)	réduction des dégâts d'insectes ravageurs des pins et d'attaques de pathogènes racinaires si ces essences sont en mélange avec le pin maritime	Les bouleaux sont relativement sensibles au fomes et la rouille courbeuse des pins alterne sur tremble	supplémentation/complémentation d'habitats ou de ressources pour espèces forestières locales?	
1.3.b. Feuillus exotiques éventuellement intéressants (robinier, chêne rouge...)	réduction des dégâts d'insectes ravageurs des pins et d'attaques de pathogènes racinaires si ces essences sont en mélange avec le pin maritime	Sensibilité à P. cinnamomi pour le chêne rouge	supplémentation/complémentation d'habitats ou de ressources pour espèces forestières locales?	
1.3.c. Feuillus exotiques potentiellement gênants (cerisier tardif, ailanthe, érable négundo, catalpa...)				invasion des forêts voisines
<b>Itinéraires sylvicoles</b>	<b>Santé</b>		<b>Biodiversité</b>	
	effets positifs	effets négatifs	effets positifs	effets négatifs

<b>I.4. Stratégie sylvicole pour le pin maritime</b>				
I.4.a. Haute qualité en 45 à 60 ans de révolution.			L'augmentation de la durée de la révolution forestière favorise la succession et les espèces de fin de cycle (saproxylophages, lichens...)	
I.4.b. Qualité standard en 35 à 45 ans.				
I.4.c. Courte révolution en 30-35 ans	réduction de la diversité des dégâts d'insectes ravageurs; La réduction du nombre d'éclaircies et de la durée de la révolution peut limiter l'impact du fomes à condition de traiter préventivement contre le fomes.	Homogénéisation du paysage augmentant le risque de contagion		réduction du nombre d'espèces forestières, surtout les spécialistes et de fin de succession, Homogénéisation du paysage
I.4.d. Courte révolution en 25 ans				
I.4.e. Itinéraire semi-dédié de biomasse en 9 ans et bois d'œuvre en 35 ans ou plus				
I.4.f. Itinéraire dédié biomasse en 8 à 12 ans.				
<b>I.5. Mode de régénération du pin maritime</b>				
I.5.a. Régénération naturelle	maintien des ennemis naturels	Le dépressage offre une porte d'entrée supplémentaire au Fomes	continuité temporelle favorable au maintien de la diversité biologique	
I.5.b. Régénération artificielle par plantation		introduction plants contaminés, sensibilité aux ravageurs primaire		remise du compteur à zéro après chaque coupe rase
I.5.c. Régénération artificielle par semis	possibilité de dépressage sanitaire	compétition entre arbres; Le dépressage offre une porte d'entrée supplémentaire au Fomes		

Itinéraires sylvicoles	Santé		Biodiversité	
	effets positifs	effets négatifs	effets positifs	effets négatifs

<b>I.6. Assainissement</b>				
I.6.a. Réseau de drainage fonctionnel	augmentation de la vigueur et de la résistance aux ravageurs secondaires sauf si drainage excessif -(cf zonage avec terres cultivées.)	augmentation de la vigueur et de la sensibilité aux ravageurs primaires ;		assèchement lagunes, impact sur flore et faune des landes humides
I.6.b. Réseau de drainage non fonctionnel		anoxie racinaire pouvant augmenter la sensibilité aux ravageurs secondaires ; conditions probablement plus favorables au Fomes en landes mésophiles	conservation des lagunes et zones humides ?	
<b>I.7. Débroussaillage</b>				
I.7.a. Débroussaillage mécanique (rouleau débroussailleur)	augmentation de la vigueur et de la résistance aux ravageurs secondaires	Destruction de l'habitat d'ennemis naturels; dispersion d'un inoculum d'Armillaire et de Fomes dans la parcelle. Risque de blessures aux arbres restant		destruction flore et faune associée
I.7.b. Débroussaillage chimique (glyphosate sur molinie)				destruction flore et faune associée, pollution, toxicité
<b>I.8. Fertilisation</b>				
I.8.a. Pas de fertilisation	réduction de la vigueur et de la sensibilité aux ravageurs primaires	réduction de la vigueur et de la résistance aux ravageurs secondaires	maintien de la flore du sous bois	
I.8.b. Fertilisation modérée (40 à 80 unités de phosphore à l'hectare)	augmentation de la vigueur et de la résistance aux ravageurs secondaires	augmentation de la vigueur et de la sensibilité aux ravageurs primaires		substitution de flore

<u>Itinéraires sylvicoles</u>	<b>Santé</b>	<b>Biodiversité</b>
-------------------------------	--------------	---------------------

	effets positifs	effets négatifs	effets positifs	effets négatifs
<b>I.9. Travail du sol</b>				
I.9.a. Labour en plein y compris opérations associées comme l'émiettage	Réduction du substrat de développement des charançons et de certains scolytes	Dispersion d'un inoculum d'Armilaire et de Fomes dans la parcelle		Destruction de l'habitat et des ressources des espèces saproxyliques, destruction de la flore du sous-bois
I.9.b. Labour en bandes, y compris opérations associées comme l'émiettage et le travail complémentaire du sol de l'interligne				
I.9.c. Autres techniques comprenant le décapage décompactage, le fraisage, le sous-solage, le travail localisé, le travail à la planteuse de type tchèque, les travaux superficiels.			les travaux superficiels minimisent l'impact sur les saproxyliques et la végétation du sous bois	

