



L'association entre le nématode du pin invasif et un insecte local menace les forêts françaises

Xavier Tassus, Marie Grosdidier, Hoël Hotte, Hervé Jactel, Emmanuel Kersaudy, Nicolas Mariette, Christelle Robinet, Géraldine Roux

► To cite this version:

Xavier Tassus, Marie Grosdidier, Hoël Hotte, Hervé Jactel, Emmanuel Kersaudy, et al.. L'association entre le nématode du pin invasif et un insecte local menace les forêts françaises. Invasion et expansion d'insectes bioagresseurs forestiers. Quels risques pour la forêt française dans le contexte des changements globaux ?, Editions Quae, pp.108-124, 2025, Synthèses, 978-2-7592-4047-0. hal-05074094

HAL Id: hal-05074094

<https://hal.inrae.fr/hal-05074094v1>

Submitted on 19 May 2025

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.



Distributed under a Creative Commons Attribution - NonCommercial - NoDerivatives 4.0 International License

INVASION ET EXPANSION D'INSECTES BIOAGRESSEURS FORESTIERS

Quels risques pour la forêt française
dans le contexte des changements globaux ?

C. Robinet, F.-X. Saintonge, X. Tassus, S. Brault, coord.



Chapitre 7

L'association entre le nématode du pin invasif et un insecte local menace les forêts françaises

Xavier Tassus, Marie Grosdidier, Hoël Hotte, Hervé Jactel, Emmanuel Kersaudy, Nicolas Mariette, Christelle Robinet, Géraldine Roux

» *Monochamus galloprovincialis* : insecte vecteur du nématode du pin en Europe

Géraldine Roux

L'histoire de l'invasion du nématode du pin

Depuis de nombreuses années, le nématode du pin *Bursaphelenchus xylophilus*, un ver de taille microscopique, est l'auteur de dégâts considérables dans les forêts de pins en Asie et, depuis 1999, en Europe (figure 7.1). Dans sa zone d'origine en Amérique du Nord, où il est largement répandu, cet organisme phytopathogène responsable de la maladie du flétrissement du pin n'affecte apparemment pas l'activité végétale des arbres infestés dans sa gamme d'hôtes d'origine. Ceci est certainement dû à une longue coévolution entre les différents partenaires. En revanche, dans les zones d'introduction, ce nématode est responsable de la mort à grande échelle d'arbres hôtes matures et sans autres facteurs de mortalité au Japon, en Chine, en Corée et aujourd'hui en Europe.

C'est en 1999, dans les peuplements de pin maritime au sud de Lisbonne, au Portugal, que le nématode a été détecté pour la première fois en Europe (Mota *et al.*, 1999), la zone infectée atteignant une superficie de plus de 1 Mha en 2006 (Naves *et al.*, 2007) (figure 7.2). Malgré une surveillance accrue et d'importantes mesures d'éradication, un second foyer est détecté dès 2008 à Coimbra, dans le centre du Portugal (Rodrigues, 2008), puis sur l'île de Madère en 2009 (Fonseca *et al.*, 2012). Tout le territoire est considéré comme zone potentiellement infectée aujourd'hui. En Espagne, ce sont des régions limitrophes qui sont touchées. Des arbres infestés sont régulièrement détectés depuis 2008 en Estrémadure à Castille-et-León (Abelleira *et al.*, 2011) et en Galice depuis 2010 (Robertson *et al.*, 2011).

Même si c'est en Europe du Sud que les conditions climatiques semblent être les plus favorables, ce nématode pourrait coloniser l'Europe du Nord sans que la maladie s'y développe (voir section « Estimation de l'invasion potentielle du nématode du pin



Figure 7.1. Symptômes causés par le nématode du pin au Portugal (© G. Roux).

en France»), aboutissant à la mise sous embargo du commerce du bois depuis ces pays. La France occupe une position géographique stratégique pour la dissémination naturelle du nématode depuis l'Espagne au reste de l'Europe, notamment par l'intermédiaire des insectes vecteurs déjà largement présents, la dissémination à plus grande distance étant liée aux activités humaines par le transport du bois.

L'association *Monochamus*-nématode : moteur d'une invasion biologique mondiale

Le nématode du pin a établi une relation étroite avec des insectes xylophages qui se développent dans les pins. À l'émergence, ces insectes transportent le nématode dans leurs trachées (réseaux de tubes respiratoires) et permettent la dissémination du nématode d'un arbre à l'autre. Cette association, qualifiée de « phorésie », a certainement contribué au succès du nématode dans sa zone native, et détermine l'invasion (la dissémination) dans d'autres régions du monde lorsque l'insecte vecteur est présent.

L'historique des invasions montre que, quels que soient le pays introduit et l'essence attaquée, les vecteurs appartiennent tous au genre *Monochamus*, des coléoptères de la famille des Cerambycidae et de la sous-famille des Lamiinae, tribu des Monochamini (LeConte 1873). Cinq espèces de *Monochamus* sont présentes en Europe : *M. galloprovincialis*, *M. sutor* (Linnæus 1758), *M. sartor* (Fabricius 1787), *M. urusovi* (Fischer 1806) et *M. saltuarius* (Gebler 1830). La biologie et les traits de vie de ces espèces (taux de survie, dynamique de l'émergence) sont d'une extraordinaire similarité (Akbulut et

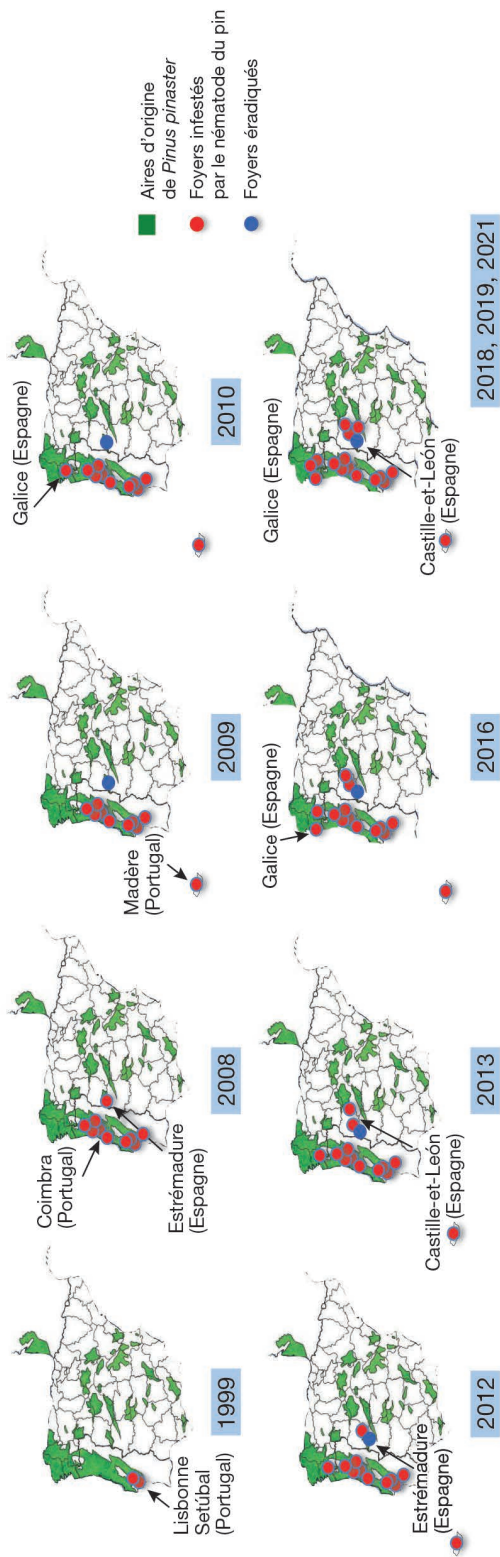


Figure 7.2. Évolution de la présence du nématode du pin dans la péninsule Ibérique de 1999 à 2021, et distribution du pin maritime (d'après www.euforgen.org).

Stamps, 2012). Ce sont tous des ravageurs de faiblesse, inféodés à différentes espèces de Pinaceae, mais ils se distinguent selon leur mode d'utilisation de l'arbre hôte (site de ponte sur le tronc ou les branches) ou par leurs exigences écologiques.

Au Portugal et en Espagne, le nématode est disséminé et inoculé aux pins par *M. galloprovincialis* (Sousa et Mota, 2001), une des espèces de plaine et de moyenne altitude les plus répandues en Europe, y compris en France. Cette espèce partage des zones de sympatrie sur les pins en moyenne altitude avec son espèce sœur, *M. sutor* (Koutroumpa *et al.*, 2013). Même si *M. galloprovincialis* est reconnu aujourd'hui comme le seul vecteur en Europe, on ne peut donc pas exclure la possibilité d'une dissémination par un autre vecteur, sorte de « passage relais » par l'intermédiaire de l'arbre hôte. Par ailleurs, sa propagation est amplifiée par la mondialisation et le commerce international du bois, entraînant ainsi d'importantes pertes financières pour l'industrie du bois. Cela conduit également à l'imposition de restrictions sur le mouvement du bois de conifères dans le commerce international (OEPP, 1986).

Insecte et nématode : des cycles de vie parfaitement adaptés

Le cycle de vie de l'insecte vecteur comporte deux phases distinctes, une phase interne de développement larvaire dans l'arbre hôte et une phase externe d'accouplement des adultes et de vol vers de nouveaux arbres hôtes (figure 7.3).

Les marques de ponte laissées par la femelle sur le tronc et les branches sont de bons indicateurs de la présence de l'insecte dans l'arbre hôte. La phase interne débute dès l'éclosion des œufs, lorsque les larves se nourrissent et creusent des galeries dans le bois en décomposition ou récemment mort. Le développement larvaire, qui comprend quatre stades, peut s'étaler sur une ou deux années, selon les conditions de température et la date de la ponte (Tomminen, 1993). Les premiers stades larvaires se développent sous l'écorce pendant l'été, avant de s'enfoncer plus profondément dans le bois pour établir une chambre nymphale et passer l'hiver. La sciure régulièrement rejetée par la larve lors de sa progression dans le bois, un autre indicateur de présence, comble les galeries et isole l'intérieur des variations de température extérieures.

La seconde phase externe, plus courte, est dédiée à la reproduction et à la dispersion de l'insecte vecteur. Un élément clé du cycle de vie du nématode, qui détermine initialement son impact final sur les arbres hôtes potentiels vivants, est l'alimentation de maturation des insectes adultes, fraîchement émergés d'un arbre hôte infesté. En effet, à la fin du printemps ou au début de l'été, les jeunes adultes forent à travers l'écorce un trou de sortie caractéristique de forme circulaire. Ces insectes immatures doivent obligatoirement effectuer une première nutrition de maturation en s'alimentant sur de jeunes pousses de pin, généralement dans les cimes des arbres vivants (Naves *et al.*, 2006). S'ils émergent d'un arbre déjà infesté, ils peuvent transporter des nématodes, qui vont ensuite pénétrer dans des arbres sains par les blessures de nutrition. Ce mode de transmission, appelé « transmission primaire », semble prédominer. Les mâles émergent en général avant les femelles, les émergences ont lieu tout l'été, avec un pic entre juin et juillet sous nos latitudes (Naves et Sousa, 2009). Les adultes atteignent leur maturité sexuelle après environ quinze jours. Ils peuvent alors se reproduire et chercher un arbre dépérissant ou fraîchement coupé pour pondre leurs œufs. Une femelle peut pondre jusqu'à 140 œufs au cours de sa vie adulte, bien que plus de 60 % des œufs soient généralement pondus au cours de la première moitié de la période

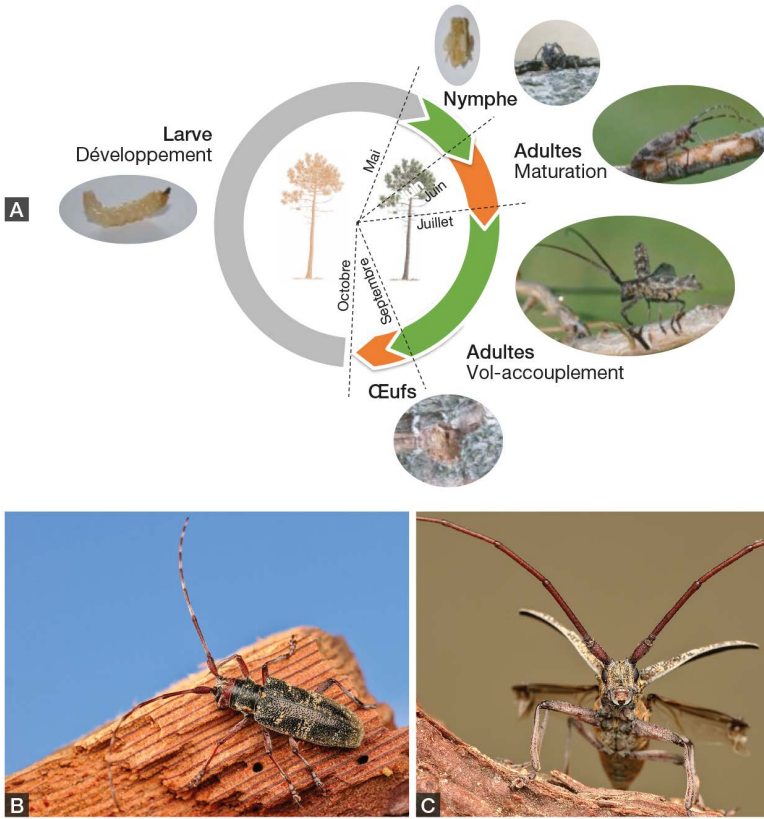


Figure 7.3. A) Cycle biologique de *M. galloprovincialis* sur pin maritime en Aquitaine. B) et C) Photos de l'adulte de *M. galloprovincialis* (© G. San Martin/CRA-W Wallonie) (source : David, 2014).

de ponte (Koutroumpa *et al.*, 2008). La transmission du nématode peut se produire lors de la ponte (Linit, 1988), et, bien qu'apparemment minoritaire, cette transmission secondaire pourrait favoriser le vol sur de plus longues distances. En effet, dans des conditions normales, alors qu'il est relativement facile pour l'insecte vecteur de trouver un pin sain pour se nourrir, il est plus ardu de trouver un arbre en décomposition pour la ponte, ces derniers étant généralement dispersés au sein des peuplements.

Ainsi, la ponte ne se produit pas sur la branche où les adultes se sont alimentés, mais nécessite la recherche d'arbres hôtes propices, ce qui contribue à la dispersion de l'espèce (Futai, 2013). Par ailleurs, la transmission primaire lors de la nutrition de maturation sexuelle modifie l'état physiologique des arbres en les affaiblissant, et contribue à l'augmentation des substrats favorables pour pondre et accroître la population de vecteurs potentiels.

Génétique des populations de *Monochamus galloprovincialis* : une espèce structurée à l'échelle de l'Europe

M. galloprovincialis présente une large distribution paléarctique et une gamme d'hôtes étendue dans le genre *Pinus* (Evans *et al.*, 1996). L'étude de la structure génétique sur

son aire native a révélé une différenciation géographique marquée des populations, et a permis d'identifier deux lignées évolutives distinctes en Europe (Haran *et al.*, 2017a; figure 7.4A). La distribution de l'essence de pin hôte ne semble pas jouer un rôle dans la structuration des populations du vecteur. En revanche, les zones d'altitude, comme la chaîne pyrénéenne (figure 7.4B), agissent comme un filtre à la dispersion de ce coléoptère. Outre le relief, les fortes densités forestières, qui représentent une ressource abondante pour le vecteur, peuvent également agir comme une barrière à sa dispersion (Haran *et al.*, 2017b). Cette étude suggère néanmoins d'importants mouvements des individus sur une échelle régionale, *M. galloprovincialis* étant par ailleurs considéré comme un bon voilier (16 km en moyenne sur la durée de vie; David *et al.*, 2014), caractéristique qui semble favorable à l'expansion naturelle du nématode du pin.

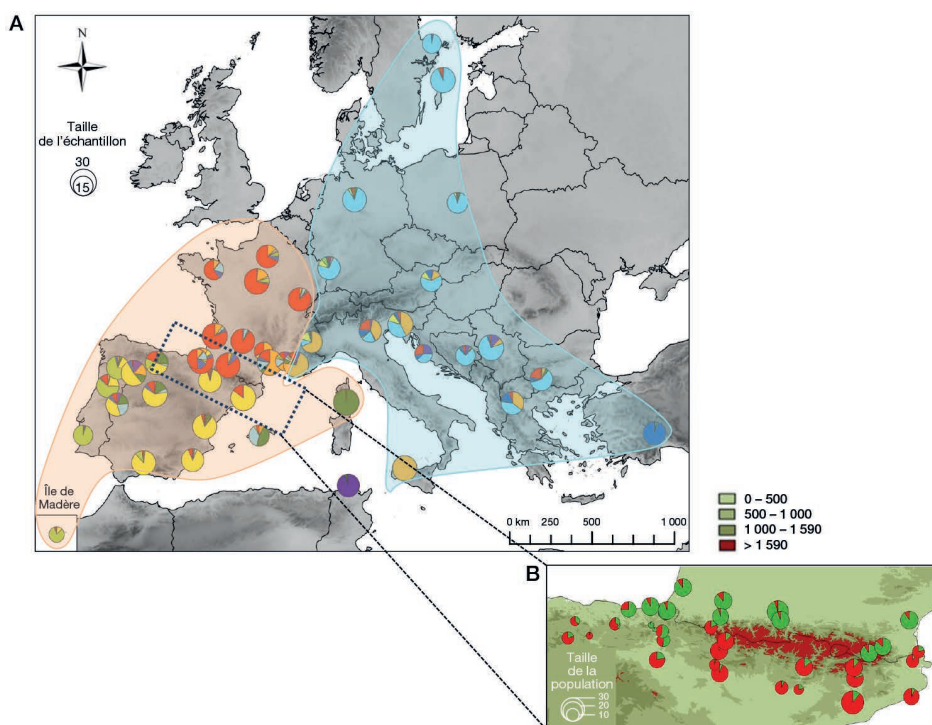


Figure 7.4. A) Structure phylogéographique des populations européennes de *M. galloprovincialis* (d'après Haran *et al.*, 2017a). B) La chaîne pyrénéenne, une zone stratégique pour la propagation naturelle du nématode en France, constitue une barrière naturelle qui limite les rencontres entre les populations espagnoles (en rouge) et françaises (en vert), sauf aux extrémités est et ouest, à l'altitude moins élevée (d'après Haran *et al.*, 2015).

► Estimation de l'invasion potentielle du nématode du pin en France

Christelle Robinet, Nicolas Mariette, Hoël Hotte, Hervé Jactel, Marie Grosdidier

Les zones d'invasion potentielle du nématode du pin sont la résultante des facteurs d'introduction (entrée et établissement) de cet organisme, d'expression de la maladie

et d'expansion. La modélisation permet de caractériser ces différentes zones. Nous présentons ici les résultats de la recherche ainsi que ceux de la Plateforme d'épidémiologie en santé végétale (ESV) (groupe de travail Surveillance du nématode du pin, GT SNP). Ces différents travaux sont souvent conduits de manière indépendante, mais leur combinaison permet de mieux caractériser l'invasion potentielle du nématode du pin dans son ensemble.

Zones d'entrée potentielle

L'entrée d'un agent pathogène correspond à son arrivée dans une aire d'où il était auparavant absent, ou bien déjà présent mais trop peu abondant pour avoir été officiellement détecté. Dans le cas du nématode du pin, une arrivée sur le territoire français pourrait se faire de trois manières : naturellement *via* le vol de son insecte vecteur infesté, par les activités humaines *via* le comportement auto-stop de l'insecte vecteur adulte infesté, et/ou *via* le transport de bois contenant la larve de l'insecte vecteur et le nématode du pin. L'hypothèse d'une arrivée du nématode en France *via* la dispersion d'insectes contaminés volant depuis des zones infestées est cependant peu probable, au moins dans un futur proche (de la Fuente *et al.*, 2018). En effet, les premières zones infestées par le nématode sont situées dans la péninsule Ibérique, soit à plus de 400 km de la France, et séparées par la chaîne pyrénéenne. L'entrée potentielle du nématode du pin en France repose donc principalement sur une dispersion à longue distance *via* l'activité anthropique, que ce soit par le comportement auto-stop ou par l'importation de bois.

Pour estimer les zones d'entrée potentielle du nématode du pin en France, le GT SNP de la Plateforme ESV a réalisé une analyse multicritère Promethee avec élicitation des dires d'experts. Celle-ci prend en compte les flux de marchandises arrivant en France (voies aériennes, maritimes, ferroviaires et routières), les quantités de bois de conifères approvisionnant les scieries françaises, les surfaces des zones géographiques comportant des entreprises stockant ou utilisant du bois ainsi que la distance au foyer le plus proche (Espagne). Les résultats de cette analyse montrent que le Nord, le Pas-de-Calais et la Gironde sont les départements où l'entrée potentielle est la plus élevée par rapport aux autres départements de France métropolitaine (figure 7.5A).

Zones d'établissement potentiel

Le nématode du pin est un organisme qui peut s'établir dans des conditions climatiques relativement froides. Wang *et al.* (2023) signalent en effet la présence de l'organisme en Chine dans des zones où la température moyenne annuelle est inférieure à 10°C. La température n'est donc pas un facteur retenu pour quantifier l'établissement potentiel du nématode en France métropolitaine. En outre, pour estimer cet établissement potentiel, plusieurs éléments doivent être pris en compte, notamment la présence/abondance d'arbres hôtes et d'insectes vecteurs. L'un de ses principaux vecteurs, *M. galloprovincialis*, est présent dans toutes les régions françaises (Mariette *et al.*, 2023) et ne présente donc pas un facteur limitant important pour l'établissement du nématode. En conséquence, c'est essentiellement la surface de pins sensibles au nématode (pin maritime, pin sylvestre, pin laricio ou pin noir et pin d'Alep) qui permet d'estimer son établissement potentiel, qui apparaît ainsi le plus élevé dans le Sud-Ouest (figure 7.5B).

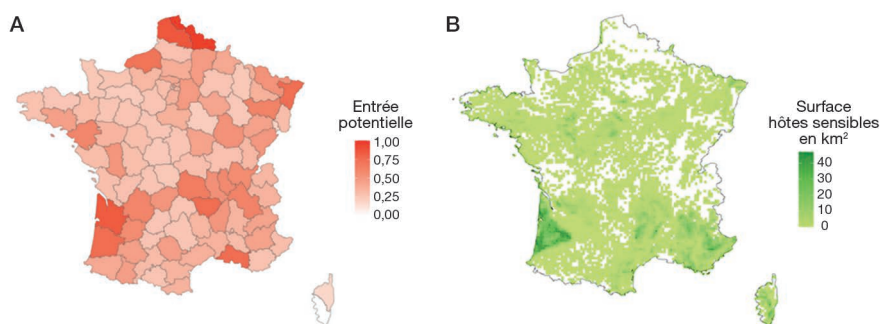


Figure 7.5. A) Hiérarchisation des départements selon l'entrée potentielle du nématode du pin en France métropolitaine selon l'analyse multicritère Promethee (version de novembre 2023; https://plateforme-esv.fr/sites/default/files/2023-11/Dashboard_PWN_Nov2023.html). B) Surfaces de forêts en km² dans chaque maille 8 km × 8 km présentant du pin maritime, du pin sylvestre, du pin laricio ou du pin noir, et du pin d'Alep en France selon la BD Forêt V2 de l'IGN.

Zones d'introduction potentielle

L'introduction d'un agent pathogène correspond à son établissement sur un territoire suite à son entrée. Les zones d'introduction potentielle résultent donc de la combinaison de ces deux facteurs (entrée et établissement). Un modèle, développé par Douma *et al.* (2017), a permis d'estimer le nombre relatif de nématodes du pin potentiellement introduits dans l'Union européenne entre 2000 et 2012 (entrée et passage sur un arbre hôte) à partir de bois de conifères importés de Chine (voir chapitre 16). D'après ces estimations, parmi les treize pays de l'Union européenne où des symptômes pourraient être observés, la France serait en 4^e position en nombre relatif de nématodes potentiellement introduits, et c'est en Nouvelle-Aquitaine que ce nombre serait le plus élevé. Toutefois, pour être plus complet, ce modèle devrait, d'une part, prendre en compte tous les pays infestés par le nématode du pin à travers le monde – et pas uniquement la Chine – comme sources d'introduction possibles, ainsi que les autres moyens d'entrée. D'autre part, il devra être actualisé régulièrement avec des données récentes d'importation et de l'état sanitaire des pays considérés.

Zones d'expression potentielle de la maladie

La présence seule du nématode du pin dans un arbre hôte n'entraîne pas toujours un dépérissement, car l'expression de la maladie dépend également des conditions environnementales. Toutefois, les arbres contaminés non symptomatiques sont des porteurs sains. Le fait que les dépérissements ne soient pas systématiques et que des arbres contaminés demeurent asymptomatiques est donc important, à la fois pour la santé des arbres, pour la dynamique des populations du nématode du pin et de son insecte vecteur, et pour la surveillance (voir section « Surveillance et gestion du nématode du pin »). Les arbres dépérissants, quant à eux, représentent des substrats de reproduction pour les insectes vecteurs induisant un effet boule de neige sur la dynamique d'invasion du nématode du pin.

Il a souvent été considéré que les symptômes de dépérissement n'avaient lieu que dans les zones dans lesquelles la température estivale moyenne dépassait les 20 °C

(Rutherford et Webster, 1987). Or, plus récemment, un modèle d'évapotranspiration de l'arbre infesté par le nématode du pin a été développé par Gruffudd *et al.* (2016), et deux modèles simplifiés ont été proposés. Ces modèles permettent de déterminer le niveau attendu d'expression de la maladie provoquant le dépérissement en un lieu donné, à savoir : apparition de symptômes sans latence, avec un dépérissement attendu dans l'année de l'infection ; dépérissement attendu avec une latence d'au moins une année ; et aucune expression des symptômes. Ce modèle a été appliqué à la France métropolitaine en prenant en compte les températures de deux périodes de trente ans : une période de « passé récent » (1991-2020) et une période de « présent-futur proche » (2021-2050) (figure 7.6). Pour cette dernière période, deux scénarios d'évolution des températures en lien avec les concentrations de gaz à effet de serre, définis par le Giec, ont été considérés : le scénario RCP2.6, le plus optimiste du point de vue du changement climatique, et le scénario RCP8.5, le plus pessimiste.

Les cartes issues de ces modélisations montrent une augmentation des zones favorables au dépérissement au cours du temps (figure 7.6). Pour la période « passé récent », les zones favorables au dépérissement (avec ou sans latence) représenteraient près de 40 % du territoire français. Toutes les régions dans la moitié sud du pays seraient ainsi concernées (ex. : Nouvelle-Aquitaine et Occitanie), mais également plusieurs régions situées dans la moitié nord (ex. : Pays de la Loire et Grand Est). Le climat attendu en France dans un futur proche pourrait devenir encore plus favorable au dépérissement, comme en témoignent les cartes modélisées à partir des deux scénarios climatiques. Dans le cas le plus optimiste (scénario RCP2.6), près de 60 % du territoire français seraient ainsi concernés, et ce serait près de 70 % dans le cas le plus pessimiste (scénario RCP8.5). Pour ces deux scénarios, les zones asymptomatiques seraient principalement limitées aux régions montagneuses et aux régions du nord du pays jouissant d'un climat océanique. Par ailleurs, une latence d'au moins un an entre l'infection et l'apparition des symptômes est attendue dans la majeure partie des zones favorables au dépérissement, et ce quelle que soit la période prise en compte. Néanmoins, la surface des zones symptomatiques sans latence augmenterait au cours des deux périodes, passant de 4,7 % pour la période « passé récent » à 13,9 % ou 18,8 % selon le scénario climatique considéré.

Chaque type de zone doit être considéré différemment en matière de surveillance et de gestion du nématode. Les zones favorables au dépérissement sans latence représentent un risque majeur pour les forêts en cas d'arrivée du nématode, car les arbres infectés meurent rapidement et le nématode peut se disséminer aussi rapidement (transmissions primaire et secondaire, voir section « L'association *Monochamus*-nématode : moteur d'une invasion biologique mondiale). Dans les zones favorables au dépérissement avec une latence d'au moins un an, il est plus difficile de repérer précocement une nouvelle introduction du nématode. Enfin, les zones asymptomatiques peuvent constituer des réservoirs pour le nématode et devenir symptomatiques en fonction des conditions climatiques. En effet, nos cartes montrent des tendances sur des pas de temps de trente ans, mais il existe bien sûr des variabilités entre années (Mariette *et al.*, 2023). Par exemple, lors d'années avec des étés particulièrement chauds comme en 2003, une grande partie du pays serait classée en tant que zone symptomatique.

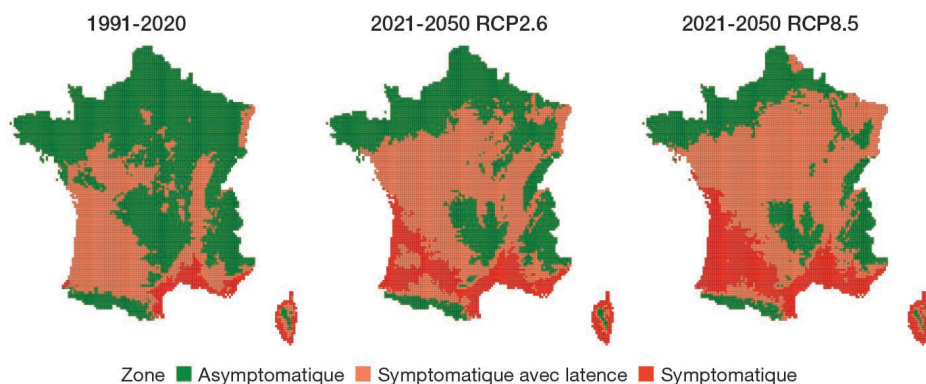


Figure 7.6. Niveaux attendus d'expression de la maladie provoquant le dépérissement des pins en France métropolitaine pour les périodes de temps 1991-2020 et 2021-2050 (d'après le modèle de Gruffud *et al.*, 2016).

Pour la période 2021-2050, deux scénarios climatiques ont été considérés. Les cartes sont obtenues sur une grille de 8 km × 8 km en utilisant les données Drias (<https://www.drias-climat.fr/>) des 19 modèles climatiques sélectionnés pour les deux périodes.

Expansion potentielle du nématode du pin et de la maladie

Pour déterminer l'expansion potentielle de la maladie, il faut prendre en compte la dynamique spatio-temporelle du nématode et de son insecte vecteur, c'est-à-dire la variation de la densité de population dans l'espace (sur le territoire) et dans le temps (année après année). Un modèle d'expansion combinant différents sous-modèles a été développé pour décrire cette dynamique de population à l'échelle de l'Europe (Evans, 2015). Ces sous-modèles décrivent les processus suivants : le taux de croissance des insectes vecteurs, la courbe d'émergence des insectes vecteurs (avec un cycle sur un ou deux ans), leur dispersion et le transport accidentel de bois infesté, la transmission du nématode de l'insecte à l'arbre et la transmission du nématode de l'arbre à l'insecte (lors du repas de maturation et lors de la ponte), le développement ou non de la maladie, et l'effet des mesures de contrôle (coupes rases sanitaires). Ce modèle permet de prédire dans le temps et dans l'espace la densité d'insectes vecteurs ainsi que la densité d'arbres hôtes infestés par le nématode du pin (symptomatiques ou non). Il est fondé sur un grand nombre de paramètres, dont les principaux sont :

- la longévité des *Monochamus galloprovincialis* adultes ;
- la distance de dispersion journalière moyenne des *M. galloprovincialis* et la probabilité journalière de vol (Robinet *et al.*, 2019) ;
- la transmission du nématode du pin de *M. galloprovincialis* à l'arbre hôte (lors de l'alimentation et de la ponte), et la probabilité qu'un *M. galloprovincialis* émergeant d'un arbre infesté porte le nématode ;
- la période de ponte des *M. galloprovincialis* femelles, la fécondité, l'efficacité de la ponte et la surface moyenne d'écorce par arbre, propice à la ponte, et le sex-ratio ;
- le nombre d'inoculations de nématodes du pin pour qu'un arbre soit considéré comme infesté ;
- la probabilité qu'un arbre infesté (dépérissant ou non dépérissant) soit testé et que le nématode soit détecté ;

- le taux de mortalité annuel des arbres (pour une autre cause que le nématode) et la proportion de rémanents après la coupe d'un arbre ;
- l'altitude maximale de présence de *M. galloprovincialis* ;
- le rayon de la coupe rase sanitaire.

Ce modèle permet de fournir une première estimation de l'expansion potentielle (figure 7.7). L'expansion de la maladie pourrait être très rapide en France, en particulier dans le cas d'une introduction dans le Sud-Ouest. Malgré les mesures de gestion (coupe rase sanitaire d'un rayon de 500 m autour des arbres détectés infestés, voir la section suivante « Surveillance et gestion du nématode du pin »), le nématode pourrait se propager en cinq ans à quasiment toute la forêt des Landes de Gascogne, avec un fort niveau d'infestation des arbres hôtes. Ces cartes montrent par ailleurs que le climat dans le Sud-Ouest est déjà largement favorable. Toutefois, certains paramètres doivent être mieux estimés de manière à confirmer ces résultats préliminaires du modèle.

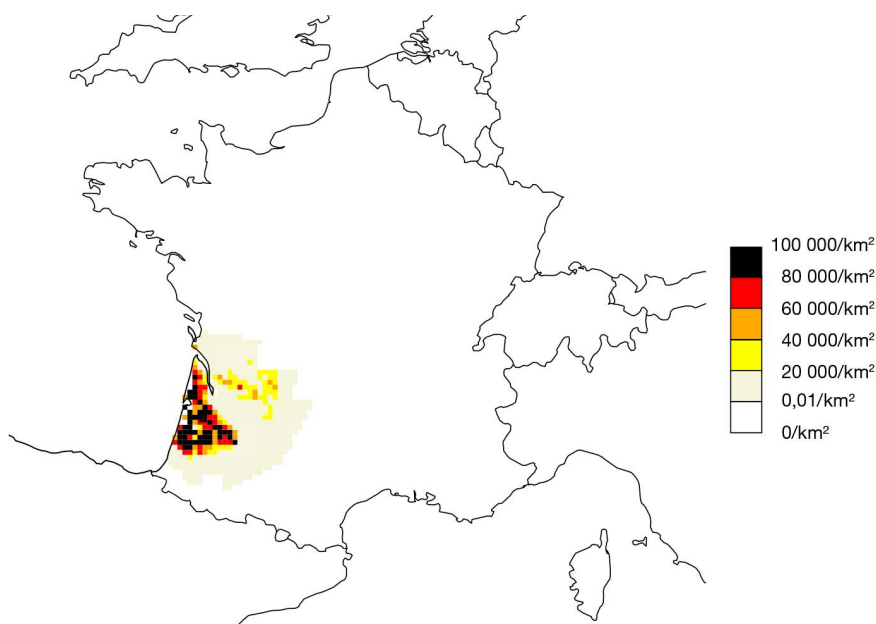


Figure 7.7. Expansion potentielle de la maladie causée par le nématode du pin en 2028 s'il était introduit dans le sud-ouest de la France en 2023, d'après le modèle d'expansion (sous le climat des années 2000).

Les couleurs représentent la densité de pins symptomatiques infectés par le nématode.

» Surveillance et gestion du nématode du pin en France

Hoël Hotte, Nicolas Mariette, Marie Grosdidier, Emmanuel Kersaudy, Xavier Tassus

La nécessité d'agir et la réglementation de l'Union européenne

Bursaphelenchus xylophilus est l'un des ravageurs forestiers les plus redoutés à travers le monde, en raison de son impact sur les pins et de son haut potentiel invasif. Détecté au Portugal en 1999, le pays a été déclaré totalement contaminé en 2008.

Un tiers de la surface couverte par les pins maritimes a disparu entre 1995 et 2015 en partie à cause du nématode du pin, et les pins ont souvent été remplacés par des eucalyptus (ICNE, 1995; 2015). Malgré les mesures d'éradication et d'enrayement, le nématode du pin couvrirait plus de 64 % des forêts de pins maritimes en 2022 au Portugal. L'arrivée du nématode dans un autre pays européen pourrait donc avoir de graves conséquences économiques et écologiques, particulièrement en France, où le risque lié au nématode du pin est très élevé (voir section « Estimation de l'invasion potentielle du nématode du pin en France »). Afin d'éviter sa dissémination, *B. xylophilus* est réglementé depuis 2012 comme organisme de quarantaine dans l'Union européenne (UE), obligeant les États membres à appliquer des plans de surveillance et à mettre en place des mesures de lutte en cas de détection. Le plan de surveillance appliqué en France sera décrit ci-après. De plus, depuis 2019, *B. xylophilus* est classé dans l'UE comme organisme de quarantaine prioritaire, un statut particulier qui impose aux États membres de rédiger un plan national d'intervention sanitaire d'urgence (PNISU), qui sera abordé à la suite (règlement (UE) 2016/2031, règlement (UE) 2019/2072 et décision 2012/535/UE). Toutes ces mesures ont pour objectif d'éviter et de prévenir la propagation du ravageur sur le territoire de l'UE.

Surveillance du nématode du pin

Le premier plan de surveillance du nématode du pin en France métropolitaine a été mis en place en 2000, et il est depuis régulièrement mis à jour en fonction de l'évolution de la réglementation européenne et des nouvelles connaissances scientifiques. Ce plan peut être divisé en trois parties (figure 7.8). La première partie concerne la surveillance des produits à base de bois entrant ou circulant en France. En effet, ces bois sont susceptibles d'être inspectés pour détecter la présence du nématode du pin ou de son insecte vecteur du genre *Monochamus*. La deuxième partie du plan se concentre sur la surveillance des arbres natifs (arbres s'étant développés sur le territoire métropolitain), par la recherche du nématode dans les peuplements de résineux ou de conifères isolés. Depuis 2013, le nématode du pin est également surveillé par la capture des insectes du genre *Monochamus* à l'aide de pièges installés pendant sa période de vol (d'avril à octobre). Ceci constitue la troisième partie du plan de surveillance. À noter que la surveillance du nématode du pin est priorisée sur les sites où son introduction potentielle est élevée (voir section « Estimation de l'invasion potentielle du nématode du pin en France »).

La surveillance en France de *B. xylophilus* implique de nombreux acteurs dont les rôles sont définis réglementairement (figure 7.8). La surveillance est assurée par la Direction générale de l'alimentation (DGAL) du ministère en charge de l'Agriculture, qui est l'autorité compétente désignée en France pour la santé des végétaux. Les inspections et les échantillonnages sont effectués lors d'inspections officielles réalisées par les services locaux travaillant pour le ministère (Service régional de l'alimentation, SRAL; Service d'inspection vétérinaire et phytosanitaire aux frontières, Sivep) et leurs délégués (y compris les fédérations régionales de défense contre les organismes nuisibles, Fredon, et les correspondants-observateurs du Département de la santé des forêts, DSF). Les échantillons collectés dans le cadre du plan de surveillance (matériel végétal et insectes vecteurs) sont envoyés dans l'un des laboratoires agréés pour la mise en œuvre d'analyses officielles de détection du nématode du pin. Ce réseau de laboratoires agréés par la DGAL est animé par le Laboratoire national de référence (LNR) des nématodes phytoparasites de l'Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation,

de l'environnement et de la santé (Anses). En cas de détection de la présence d'ADN du nématode du pin dans l'échantillon, celui-ci ou un échantillon doublon identique est envoyé au LNR pour une analyse de confirmation, avec une observation morphologique des nématodes couplée à une analyse moléculaire sur des individus isolés.

Pour la période comprise entre les années 2000 et 2019, qui couvre les vingt premières années de la surveillance du nématode du pin en France, plus de 6 000 échantillons de produits à base de bois entrant ou circulant sur le territoire français, près de 12 000 échantillons d'arbres natifs ainsi que plus de 66 000 *Monochamus* spp. ont été collectés et analysés (Mariette *et al.*, 2023). Pour les prélèvements sur bois, les chiffres comptabilisent uniquement les échantillonnages et ne prennent pas en compte les nombreuses inspections visuelles réalisées sur le terrain. Des disparités existent entre les régions, avec un effort d'échantillonnage généralement plus important pour la moitié sud du pays en raison des conditions d'établissement et de dissémination du nématode du pin, qui y sont plus favorables (voir section « Estimation de l'invasion potentielle du nématode du pin en France »). De plus, le plan de surveillance est monté en puissance depuis sa mise en place, par exemple en ce qui concerne les échantillons de bois collectés dans le cadre de la surveillance des arbres natifs : moins de 400 échantillons analysés par an entre les années 2000 et 2009, alors que plus de 800 échantillons sont analysés chaque année depuis 2013. Ce plan de surveillance a permis de mettre en évidence la présence de *B. xylophilus* dans quelques produits à base de bois importés entrant ou circulant sur le territoire français, mais aucun transfert du nématode à partir de ces produits vers les forêts françaises n'a été observé. À noter également qu'aucun vecteur n'a été contrôlé positif au nématode du pin depuis le début de la surveillance.

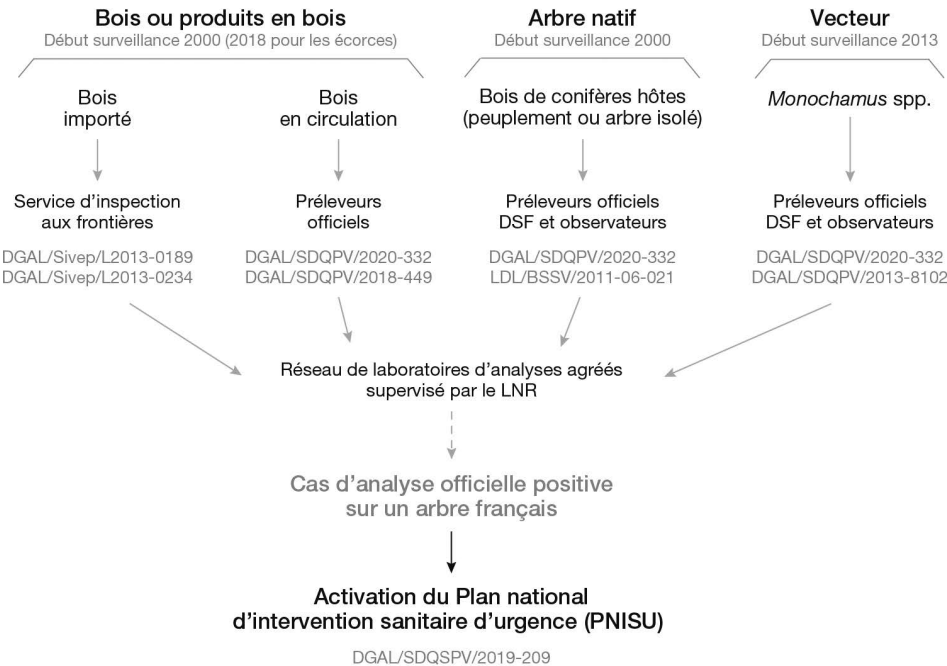


Figure 7.8. Organisation de la surveillance du nématode du pin en France métropolitaine (d'après Mariette *et al.*, 2023).

Par conséquent, il n'a jusque-là pas été nécessaire d'appliquer les mesures de gestion requises par le PNISU contre cet organisme de quarantaine prioritaire dans l'UE.

Le plan de surveillance du nématode du pin évolue en lien avec les dernières données scientifiques disponibles dans un but d'optimisation continue, tout en respectant la réglementation européenne. Ainsi, les stratégies de surveillance sont adaptées et calibrées en fonction de différents objectifs, comme surveiller les zones d'entrées potentielles par le piégeage du vecteur, ou surveiller les peuplements en réalisant des prélèvements sur des pins dépérissants ou par le piégeage du vecteur. Des pistes d'amélioration sont envisagées, comme mieux cibler les sites où l'introduction potentielle du nématode est élevée, et mieux calibrer les moyens mis en œuvre dans la surveillance, tout en associant les différentes techniques disponibles. Enfin, depuis 2019, la DGAL a constitué un groupe de travail au sein de la Plateforme d'épidémiosurveillance en santé végétale (ESV) pour mener des réflexions sur la thématique « préparer des outils pour la surveillance post-foyer ». L'objectif est d'améliorer le plan d'urgence et d'orienter les actions à mettre en œuvre en cas de foyer détecté sur le territoire.

Gestion de foyer du nématode du pin

En cas de détection du nématode du pin en France, le PNISU sera mis en œuvre. Celui-ci décrit les mesures de gestion à mettre en œuvre pour éradiquer les foyers de l'agent pathogène (instruction technique DGAL/SDQSPV/2019-209).

Délimitation de la zone infestée et de la zone tampon

En cas de détection du nématode du pin, une zone infestée d'une taille de 500 m et une zone tampon d'une taille minimale de 20 km sont mises en place autour de l'arbre infecté, conformément à la réglementation européenne (figure 7.9). Afin de faciliter la mise en œuvre des mesures d'éradication et le contrôle du transport du bois, le rayon de la zone tampon peut être augmenté ou diminué sur la base de résultats d'une analyse de risque. Par ailleurs, ces zones infestées et tampons sont élargies en cas de détection d'autres arbres infectés par le nématode du pin en dehors de ces zones.

Mesures mises en place dans la zone infestée

Dans les plus brefs délais suivant la découverte du foyer (idéalement 48 h, comme indiqué dans le PNISU), tous les végétaux sensibles contaminés, morts ou dépérissants (ainsi que ceux ayant subi un incendie ou une tempête) présents dans la zone infestée sont abattus et broyés (voir section « Gestion des produits de coupe » ci-dessous). Par la suite, une coupe rase sanitaire est appliquée à tous les végétaux sensibles présents dans cette zone pendant au moins quatre ans. Cette coupe rase doit être réalisée hors de la période de vol de l'insecte vecteur (soit de novembre à mars). Si, dans le cas général, le rayon de la zone infestée est fixé à 500 m, celui-ci peut aussi être diminué à 100 m lorsque l'application de coupes rases sanitaires est inacceptable d'un point de vue environnemental ou sociétal. Dans certains cas dérogatoires, la coupe rase sanitaire peut aussi être remplacée par une coupe sélective dans le cadre d'une gestion dite « arbre centré ». Par exemple, la coupe rase sanitaire n'est pas indiquée dans une forêt continue de pins (Anses, 2015) et n'est pas adaptée à des parcs avec des arbres remarquables. Dans le cas d'une coupe sélective, seuls les arbres identifiés comme étant infectés et les arbres symptomatiques sont abattus.

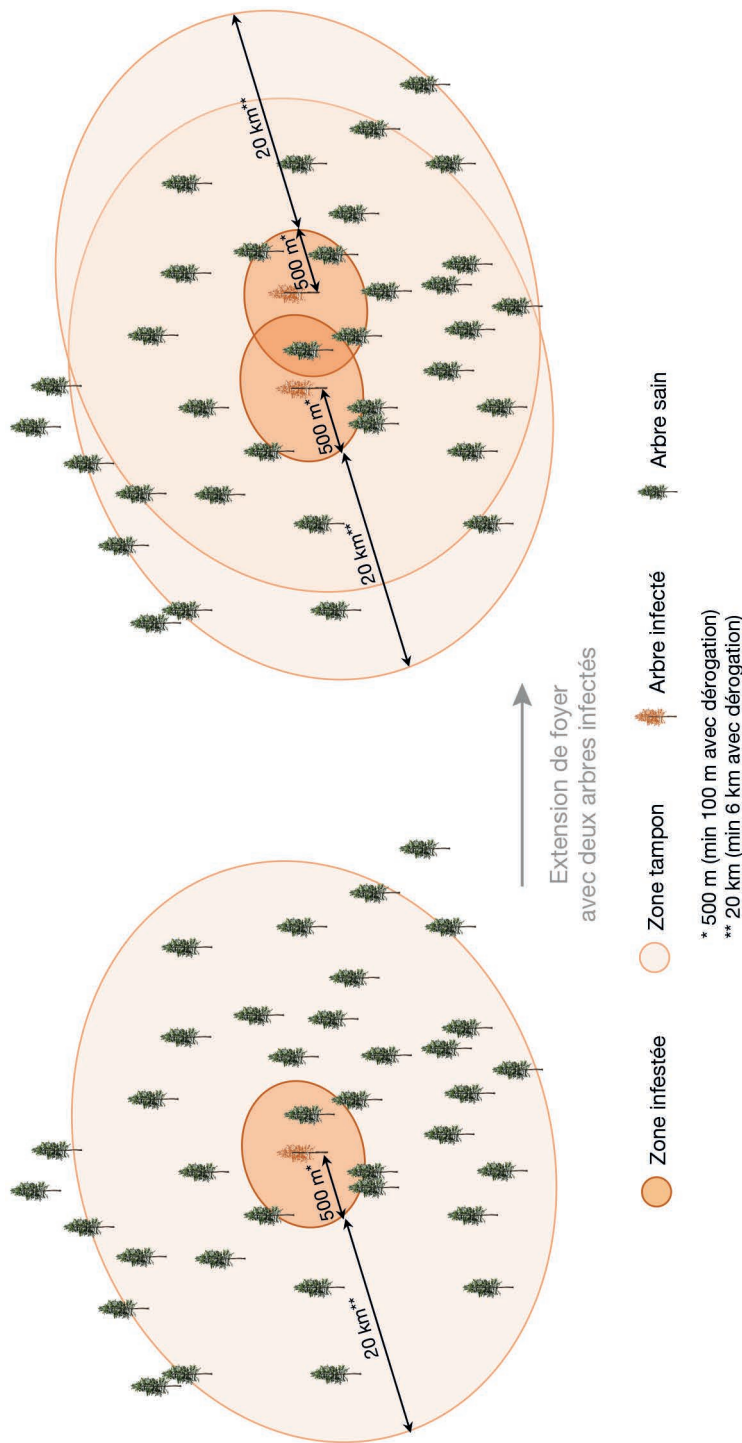


Figure 7.9. Mesures de délimitation de zones dans le cadre de la décision d'exécution 2012/535/UE.

En zone infestée, tous les travaux de coupe, d'élagage ou de taille d'arbres sensibles asymptomatiques sont interdits pendant la période de vol de l'insecte vecteur (d'avril à octobre) afin d'éviter la dissémination des insectes porteurs du nématode. En dehors de cette période, les travaux d'abattage en zone infestée sont soumis à une autorisation administrative.

Mesures dans la zone tampon

La zone tampon, entourant la zone infestée, a pour objectif de protéger les zones indemnes de nématode du pin de la zone infestée par un contrôle des mouvements de matériel sensible et une surveillance intensive de la présence du nématode du pin et de son insecte vecteur. En zone tampon, l'abattage porte uniquement sur les arbres identifiés qui sont des végétaux sensibles (arbres morts, dépérissants, dont les arbres parcourus par une tempête ou un incendie) pouvant être contaminés en nématodes du pin lors de la ponte de son vecteur. Hors période de vol de l'insecte vecteur, les travaux d'abattage en zone tampon sont soumis à une autorisation administrative.

Gestion des produits de coupe

Les produits de coupe issus de la zone infestée et de la zone tampon doivent être broyés sous forme de copeaux d'une taille maximale de 3 cm de large. Cette taille permet d'empêcher le développement de la larve de *M. galloprovincialis* jusqu'au stade adulte de l'insecte. Ainsi, l'insecte adulte ne peut pas émerger du copeau et contribuer à la dissémination du nématode du pin. Les arbres contaminés par le nématode du pin, broyés en copeaux, sont transportés de manière sécurisée jusqu'à un site habilité pour y être détruits.

Efficacité de la coupe rase sanitaire

Dans le cadre de la lutte contre le nématode du pin en forêt, la réglementation européenne (décision d'exécution 2012/535/UE) impose aux États membres de réaliser une coupe rase de 500 m autour des arbres infectés (figure 7.9). Les expériences acquises au Portugal et en Espagne ont mis en évidence que des coupes trop importantes nécessitent de mobiliser beaucoup de bois, ce qui peut favoriser la dissémination de l'insecte vecteur. Dans son rapport de 2015, l'Anses a réexaminé la stratégie de lutte fondée sur les coupes rases sanitaires telle que préconisée par la réglementation européenne, afin de déterminer si ces mesures sont toujours adaptées à l'éradication d'éventuels foyers de nématode du pin. Le travail s'est appuyé à la fois sur une analyse bibliographique approfondie (tenant compte en particulier des données les plus récentes concernant la distance de vol de l'insecte vecteur en Europe) et sur la production de données originales (modélisation permettant de simuler la dispersion de l'insecte vecteur, la transmission du nématode du pin et enfin la coupe des arbres sur une surface de rayon croissant).

Pour estimer l'efficacité de cette mesure, un modèle de simulation a été développé et calibré à l'aide de données expérimentales précisant les capacités de dispersion de l'insecte vecteur *M. galloprovincialis*. Ces données ont été obtenues au laboratoire (en manège de vol) et *in natura* (expériences de marquage-lâcher-recapture) dans le contexte de la forêt des Landes de Gascogne, zone forestière parmi les plus exposées à un établissement potentiel du nématode du pin en France. Les simulations ensuite

réalisées sous différents scénarios (préventifs ou curatifs) montrent que les coupes rases sanitaires préconisées actuellement dans les réglementations européenne et française ne seraient pas efficaces dans une configuration de paysage de plantations continues de pin maritime. En effet, avec le rayon de 500 m recommandé par la directive européenne, la coupe rase empêcherait au mieux 11 % des transmissions. De plus, pour obtenir une efficacité supérieure à 99,9 %, il faudrait mettre en place des coupes rases sanitaires d'un rayon compris entre 15 et 38 km, ce qui n'est pas envisageable en pratique (Anses, 2015). Ces simulations, réalisées dans le contexte d'une forêt continue, restent cependant à compléter dans le cas de forêts de pin très fragmentées.

Depuis 2015, les nouvelles données et connaissances acquises par l'expérience espagnole dans la gestion de foyers sporadiques (hors front de progression) permettent aujourd'hui d'enrichir l'avis de l'Anses et d'envisager une lutte soit à l'arbre centré, soit par des coupes rases avec un diamètre adapté au contexte du nouveau foyer. La réussite d'une telle opération nécessite de bien maîtriser la période de coupe (hors période de vol du *Monochamus*) et la gestion des bois, dont les résidus de coupe. La rigueur dans la gestion des bois, en zones délimitées pour la lutte contre le nématode du pin, est la condition *sine qua non* pour envisager de réussir une éradication.