Les bioagresseurs invasifs dans les forêts françaises : passé, présent et avenir

François-Xavier Saintonge[a] – Claude Husson[a] – Morgane Goudet[a] – Marie-Anne Auger-Rozenberg[b] – Benoît Marçais[c]

L'introduction d'agents pathogènes ou insectes ravageurs des arbres forestiers génère des crises importantes de plus en plus fréquemment (Nageleisen et Piou, 2018 ; Robin et Desprez-Loustau, 2018 ; Roques *et al*., 2016). Par exemple, les pathogènes introduits représentent désormais environ la moitié des principales maladies affectant la forêt française (Marçais, 2018). Même si l'ensemble des cultures végétales est concerné par le sujet, ces introductions sont probablement plus dommageables dans le milieu forestier compte tenu de la durée des révolutions des arbres. De plus, depuis des siècles, la domestication a entraîné des mouvements à larges échelles des plantes cultivées et de leurs organismes associés. Un tel brassage ne s'opère que depuis récemment pour les arbres forestiers : de nombreux parasites exotiques potentiellement dévastateurs, qu'ils soient identifiés ou non, s'avèrent une menace permanente pour nos forêts. Les émergences de maladies dues aux invasions peuvent ainsi fortement affecter des essences forestières en équilibre avec leur milieu physique et biologique, altérer les écosystèmes et désorganiser durablement les systèmes de production d'une grande partie du territoire.

L'augmentation constante du commerce international est la principale cause du brassage de microorganismes (Santini *et al.*, 2018). De nombreux bioagresseurs transitent clandestinement sur des végétaux, produits végétaux (bois, écorces) ou sols à travers le globe. Le changement climatique peut aussi favoriser les invasions biologiques en agissant sur les possibilités d'établissement des organismes.

Après avoir décrit les parasites invasifs qui ont durement marqué le monde forestier français depuis quelques décennies, le nouveau règlement européen de protection contre les organismes nuisibles aux végétaux sera présenté. L'organisation française de recherche de ces organismes de quarantaine de l'Union sera expliquée de même que les méthodes innovantes de détection précoce. Des perspectives pour l'avenir en matière de gestion du risque seront enfin proposées et discutées.

La forêt particulièrement sensible aux introductions

Il est désormais bien documenté que le nombre d'introductions de bioagresseurs exotiques est croissant en lien avec l'augmentation du commerce international (Santini *et al.*, 2013). Par exemple, le volume de marchandises transitant par le port de Rotterdam — premier port européen —

a Ministère de l'Agriculture et de l'Alimentation - DGAL - Département de la santé des forêts, F-75015 Paris, France
b INRAE, URZF, F-45000, Orléans, France
c Université de Lorraine, INRAE, UMR IAM, F-54000 Nancy, France

CC BY NC ND

a été multiplié par 3 en 40 ans. Ainsi, au cours du siècle passé, la grande majorité des introductions provient soit d'Asie de l'Est, soit d'Amérique du Nord, à savoir de pays avec lesquels le flux commercial est important : cynips du châtaignier, capricornes asiatiques, pyrale du buis, chancre du châtaignier, chancre coloré du platane, graphiose de l'orme (Robin et Desprez-Loustau, 2018 ; Roques *et al.*, 2016).

Les introductions de bioagresseurs ne sont menaçantes que quand elles parviennent à s'installer puis à devenir invasives et enfin à avoir un impact écologique ou économique. Fort heureusement, parmi les nombreux organismes importés depuis leur zone d'origine, très peu parviennent à s'installer durablement dans les forêts européennes et seule une petite partie de ceux-ci aura finalement un effet significatif. En effet, de nombreuses conditions sont nécessaires pour qu'une espèce exotique devienne invasive. Il faut qu'elle survive durant la durée du transport, en nombre et diversité d'individus suffisants, puis qu'elle trouve des milieux où les conditions climatiques, d'alimentation (hôte sensible) et de reproduction lui conviennent (Blackburn *et al.*, 2011). Une trop faible fréquence de l'espèce introduite dans le milieu conduit souvent à un échec d'installation. C'est le cas par exemple si les individus de sexes opposés ne se rencontrent pas assez souvent pour permettre une reproduction efficace : il s'agit de l'effet Allee (Grégoire, 2018).

Cependant l'introduction d'organismes invasifs en forêt revêt un caractère particulier et souvent problématique pour de multiples raisons :

— le milieu est peu anthropisé et les arbres sont des végétaux de grandes tailles. De ces faits, les découvertes d'invasifs y sont souvent tardives, avec des populations déjà bien installées ;

— le recours au traitement phytosanitaire est difficile voire exclu ; il peut en outre être contre-productif en masquant le bioagresseur sans l'éliminer complètement ;

— l'éradication de l'espèce introduite par coupe forestière des hôtes est à la fois onéreuse et difficile à réaliser pour éviter efficacement de nouveaux foyers. La coupe n'est généralement pas faite directement par le propriétaire, mais par un tiers et les volumes de bois concernés sont vite très importants. Cet état de fait entraîne des délais d'action incompressibles, pouvant générer une dispersion du bioagresseur avant le retrait des arbres à exploiter. La gestion des foyers et la mise en œuvre de mesures prophylactiques sont ainsi compliquées ;

— la durée du cycle de production des arbres engendre des conséquences (en particulier économiques) considérables des introductions sur les systèmes de production forestiers. Si par exemple le bioagresseur se porte sur des arbres ayant atteint la moitié de leur cycle de production (10 ans pour les Peupliers, 30 ans pour les résineux et 50-80 ans pour le Chêne), leur valeur est souvent négligeable alors que tous les investissements ont été faits ;

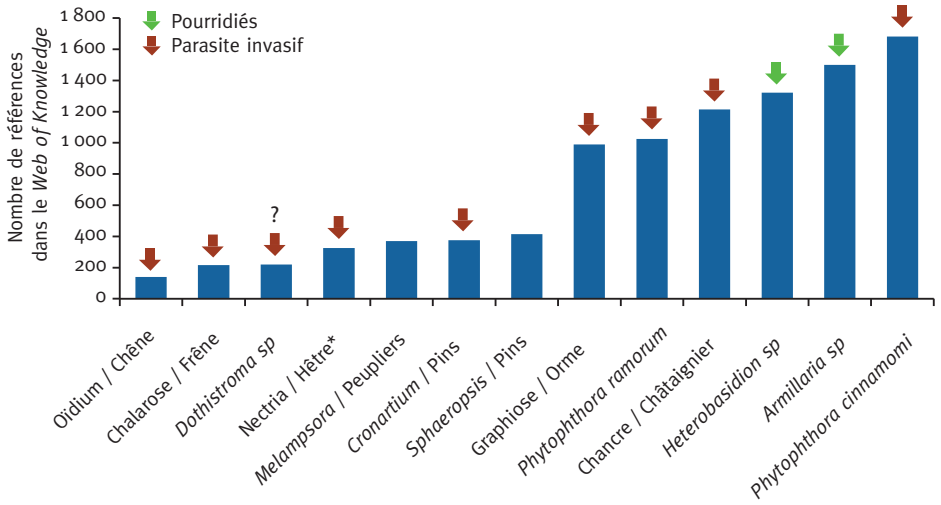
— même si la volonté des gestionnaires vise généralement la diversité des essences objectif au sein des parcelles et des massifs, force est de constater que, dans de nombreuses régions, la gamme d'essences est limitée décuplant le risque d'un fort impact en cas d'invasion : pessières dans l'Est, chênaies dans le Centre sans parler du million d'hectares de Pin maritime dans les landes de Gascogne. La longue durée du cycle de production devrait pourtant pousser à la diversité.

Des interférences fortes existent entre les différents facteurs des changements globaux (changement climatique, pollution atmosphérique, changement de pratiques sylvicoles dont la mécanisation, de gammes d'essences). Le rôle du changement climatique est croissant et des invasions, encore impossibles il y a quelques décennies, le deviennent désormais car les conditions climatiques alors inadaptées à l'acclimatation de l'organisme sont devenues favorables.

L'histoire récente de ces introductions a généré des perturbations fortes dans le monde forestier qui a pris conscience de l'enjeu primordial du sujet. L'analyse du nombre de publications concernant les agents pathogènes forestiers illustre bien que, excepté l'armillaire (*Armillaria* spp.) et le fomes (*Heterobasidion* spp.), deux pourridiés racinaires à distribution mondiale, les parasites invasifs sont la préoccupation majeure (figure 1, p. 121).

Figure 1 **NOMBRES D'ARTICLES PUBLIÉS SUR LES PRINCIPAUX ORGANISMES ÉTUDIÉS EN PATHOLOGIE FORESTIÈRE EN FRANCE ENTRE 1960 ET 2018**

Les articles sur *Nectria* / Hêtre concernent principalement la « Beech bark disease » nord-américaine qui est là-bas une maladie invasive. Le statut invasif des *Dothistroma,* responsables de la maladie des bandes rouges, est incertain. L'oïdium du chêne est arrivé en Europe au début du XX^{e} siècle, à un moment où la communauté scientifique était beaucoup plus clairsemée, ce qui explique sa faible représentation.



RETOUR SUR LES BIOAGRESSEURS INVASIFS QUI ONT MARQUÉ LA FORESTERIE FRANÇAISE

La liste des organismes invasifs ayant significativement affecté les peuplements forestiers français est longue et continue d'augmenter (Nageleisen et Piou, 2018). Celle qui est présentée dans un ordre chronologique ci-dessous se limite volontairement aux problèmes importants.

*Phytophthora cinnamomi**[(1)] est considéré comme un des agents pathogènes forestiers les plus dévastateurs dans le monde. Cet oomycète d'origine tropicale très polyphage est un agent tellurique qui infecte le système racinaire des plants. Il est devenu invasif dans tous les continents sur de nombreuses cultures agricoles, ornementales et forestières. Détecté en Europe au milieu du XIX^{e} siècle, il a tout d'abord affecté les châtaigneraies à fruits puis s'est disséminé par transport de sol et de plants infectés vers la forêt causant la maladie de l'encre. Avec les chênes dans le Sud-Ouest, ce sont surtout les châtaigniers qui sont très touchés en milieu forestier partout en France. Les conséquences sont aussi très fortes sur les chênes méditerranéens de la péninsule Ibérique. La recrudescence de la maladie en nombre de signalements et sévérité est notamment très inquiétante dans le Nord-Ouest et en Île-de-France ces deux dernières décennies (Robin et Gaudry, 2019). La succession d'évènements pluvieux et de sécheresses est très favorable à la dissémination de l'agent pathogène et accentue l'impact de la maladie sur les arbres qui ont un système racinaire détruit.

(1) L'astérisque renvoie au lien internet qui est indiqué dans l'encadré p. 132.

L'oïdium* du chêne est l'une des maladies forestières les plus communes en Europe. Peu de personnes se souviennent que cette maladie a été signalée en France pour la première fois en 1907 et qu'elle est causée par d'anciens parasites invasifs, *Erysiphe alphitoides* et *E. quercicola*, probablement originaires d'Asie. L'oïdium a pourtant été un sujet brûlant pour les forestiers français au début du XX^{e} siècle, suscitant parfois des propos alarmistes sur l'avenir du Chêne. Des mortalités d'arbres et même de peuplements étaient alors évoqués, notamment sur arbres têtards, sur rejets suivant les coupes de taillis ou sur certaines essences comme le Chêne tauzin. Puis, progressivement, l'oïdium a été considéré comme moins dommageable, les auteurs s'interrogeant sur les rôles respectifs des conditions climatiques ou de l'action de mycoparasites ou bien sur une meilleure appréciation de l'impact à long terme du pathogène. Cette maladie est maintenant considérée comme peu dommageable excepté sur les jeunes semis ou sur les arbres préalablement défoliés par des insectes ou en raison des gels tardifs (Marçais et Desprez-Loustau, 2014). Parce qu'il permet une vision sur le long terme, l'oïdium du chêne offre un exemple intéressant d'acclimatation d'une maladie invasive dans nos forêts.

Le chancre du châtaignier* est une maladie corticale dont l'agent pathogène, *Cryphonectria parasitica*, est originaire d'Asie de l'Est. Elle est responsable de la quasi-disparition du Châtaignier américain dans le Nord-Est des États-Unis. Détecté au milieu du XX^{e} siècle en France et dans d'autres pays européens, le parasite a été introduit par import de matériel végétal infecté en provenance d'Amérique du Nord et d'Asie causant de sévères dégâts dans les châtaigneraies du Sud-Ouest puis progressivement dans le Nord-Ouest. La sévérité de la maladie est aujourd'hui atténuée par la présence de souches hypovirulentes du champignon porteuses d'un virus qui réduit l'agressivité de l'agent pathogène et qui se dissémine naturellement constituant un moyen de lutte biologique efficace (Rigling *et al.*, 2014).

La graphiose de l'orme* est sans doute la maladie forestière la plus connue du grand public. Originaire d'Asie, l'agent pathogène *Ophiostoma ulmi* a provoqué une première épidémie dans les années 1920 en Europe et dans les années 1940 aux États-Unis. Une seconde épidémie encore plus dévastatrice, causée par une espèce asiatique apparentée introduite à partir des États-Unis, *O. novo ulmi*, a eu lieu dans les années 1970 en Europe de l'Ouest. Elle affecte sévèrement l'Orme champêtre en forêt et en milieu urbain ainsi que l'Orme lisse et l'Orme de montagne. Le pathogène est véhiculé d'arbre en arbre par des scolytes vecteurs de spores qui infectent rapidement leur hôte par les vaisseaux conduisant à un fort taux de mortalité. Les volumes de bois sur pied d'Orme ont drastiquement chuté après cette seconde épidémie, les trois espèces ne présentant pas de résistance suffisante pour lutter contre le parasite (Piou *et al.*, 2018).

La chalarose du frêne* est la plus récente des maladies forestières sévères d'origine exotique. Causée par le champignon *Chalara fraxinea* (synonyme *Hymenoscyphus fraxineus*), elle remet totalement en cause la gestion du Frêne commun en France. Originaire d'Asie de l'Est et probablement introduit en Europe par l'importation de plants de frênes asiatiques infectés, le pathogène a tout d'abord sévi en Europe de l'Est avant de se propager vers l'ouest, avec une première détection officielle française en 2008 en Haute-Saône. La maladie a désormais colonisé la quasi-totalité des frênaies de la France grâce à une dispersion aérienne très efficace du pathogène. Elle cause d'importants flétrissements, des pertes de croissance et une mortalité très élevée dans les peuplements. Les frênes âgés ou en faible densité dans les massifs forestiers sont moins affectés. Par ailleurs, en plus des phénomènes d'échappement, certains individus sont tolérants à la maladie, tolérance qui se transmet pour partie à la génération suivante, ce qui permet d'être confiant sur la pérennité du frêne dans l'écosystème forestier malgré l'ampleur considérable des dommages sur cette essence (Husson, 2018).

Parmi les insectes exotiques, certains ont généré des dégâts considérables en progressant au sein même de notre continent. Le dendroctone* (*Dendroctonus micans*) inféodé aux épicéas a ainsi

progressé depuis l'Europe de l'Est vers l'ouest de la France en plusieurs décennies, pour atteindre, dans les années 2000, la Bretagne, largement reboisée en Épicéa de Sitka avec le Fonds forestier national. En l'absence de son prédateur spécifique, *Rhizophagus grandis*, il y a engendré une mortalité très importante dans les peuplements de plus de 20 ans (Douzon, 2014).

Originaire d'Asie et introduit en France probablement depuis l'Italie dans les Alpes-Maritimes en 2007, le cynips du châtaignier* (*Dryocosmus kuriphilus*) spécifique de cette essence a très vite colonisé le territoire national même si certaines zones où le Châtaignier est présent en sont encore indemnes. Cette petite guêpe (un chalcidien) pond dans les bourgeons du Châtaignier et entraîne une déformation importante des tissus floraux et foliaires ; les fruits avortent et les feuilles ne se développent pas. Les conséquences pour la production de fruits ont été notables mais l'impact sur les arbres forestiers reste mineur. Les arbres atteints ont probablement subi une perte de croissance significative mais les mortalités associées ont été très rares voire inexistantes. Un parasitoïde spécifique, *Torymus chinensis*, originaire de Chine s'est révélé très actif contre cet insecte. Il est utilisé en lutte biologique par certains producteurs de châtaignes et régule désormais les populations de cynips de façon efficace, permettant un retour à la normale. Le succès de telles méthodes n'est malheureusement pas très fréquent et ne peut pas être considéré comme une solution universelle dans tous les cas d'introduction (Borowiec, 2016).

Plus récemment, et toujours originaire d'Asie, la pyrale du buis* (*Cydalima perspectalis*) a été observée pour la première fois en 2008 en Alsace sur une espèce végétale jusqu'alors épargnée de problèmes phytosanitaires graves. Très utilisé dans les espaces verts comme un élément de structure des aménagements urbains, dans les jardins des particuliers et les parcs des châteaux, le buis se trouve aussi dans certains sous-bois sur sols calcaires, dans la grande moitié orientale du territoire national à l'état naturel. La pyrale a rapidement colonisé tout le territoire (Bras *et al.*, 2016). Grâce à plusieurs générations annuelles (2 à 4 en fonction de la latitude) et un cortège de prédateurs et de parasites pauvre, ses populations peuvent être très importantes, et entraîner des défoliations totales. Outre les nuisances engendrées par les fils de soie produits par les chenilles que rencontrent les randonneurs et par les nuées de papillons attirés le soir par les lumières des maisons, l'importance et la répétition des défoliations qui se succèdent dans l'année amenuisent rapidement les capacités de résilience des buis, et engendrent une forte mortalité. Dans bon nombre de massifs forestiers, les mortalités de cépées sont fréquemment au-dessus de 50 %, accroissant les risques d'incendies, d'érosion et de chutes de blocs. Ainsi, ce sont des écosystèmes très anciens et en équilibre qui sont bouleversés et, à terme, l'effet sur les arbres de l'étage dominant pourrait également être majeur (Baubet *et al.*, 2020).

Les invasions liées aux activités humaines peuvent s'opérer à différentes échelles, d'un continent à l'autre, mais également au sein d'un continent voire d'un seul pays. Dans tous les cas, quelle que soit l'échelle spatiale, ces invasions ont en commun le fait de dégrader souvent fortement les équilibres sylvicoles et économiques, les écosystèmes ainsi que l'organisation et la planification forestière basée sur une certaine stabilité temporelle (notion de « station » voire de climax).

En France métropolitaine, un bel exemple qui illustre une « introduction intrafrançaise » est celui de la cochenille du pin maritime* (*Matsucoccus feytaudi*). Elle a été introduite accidentellement par l'homme depuis l'ouest de la France vers le sud-est (massifs des Maures et de l'Estérel) dans les années 1960 (Schwester et Fabre, 2001) puis en Corse dans les années 1990 (Jactel *et al.*, 1996) et a détruit une très grande majorité des pins maritimes de cette partie du territoire.

Une autre cause d'invasion à l'échelle du pays est liée au réchauffement climatique qui permet l'expansion géographique en latitude de certains bioagresseurs : c'est le cas emblématique de la processionnaire du pin* (*Thaumetopoea pityocampa*). Outre la dispersion naturelle de l'insecte à courte distance, limitée par la capacité de vol des papillons, des introductions accidentelles par

l'homme au sein du territoire national ont permis la colonisation des zones éloignées du front de progression de l'insecte (Gaudry, 2018). Ces introductions se font par l'intermédiaire des végétaux, l'insecte pouvant très facilement voyager *via* le commerce des pins de grande taille en conteneur, soit sous forme de ponte sur les aiguilles, soit sous forme de chrysalides dans le sol. Les foyers septentrionaux de Chamouille (Aisne) et Obernai (Bas-Rhin) qui existent depuis une dizaine d'années, se maintiennent et s'étendent sans cesse géographiquement. Par ailleurs, l'expansion des insectes sous l'effet des changements globaux peut également s'effectuer en altitude. L'aire de la tordeuse grise* du mélèze (*Zeiraphera diniana*) progresse ainsi vers des altitudes plus élevées depuis quelques années.

Enfin, l'émergence du puceron lanigère du peuplier* (*Phloemyzus passerini*) à partir de la fin des années 1990 résulte d'une synergie entre la hausse des températures et les surfaces importantes du cultivar de peuplier I-214, particulièrement sensible à cet insecte. Les pullulations du puceron ont détruit bon nombre de peupleraies constituées de I-214. Cette émergence a modifié le comportement des populiculteurs et les surfaces plantées en I-214 ont été divisées par 6 en une décennie (Lieutier *et al.*, 2014).

Ce tour d'horizon des principaux bioagresseurs invasifs montre leur rôle historique majeur sur les forêts françaises et justifie pleinement la nécessité d'instaurer des règles européennes visant à limiter le nombre d'introduction et d'établissement de parasites dans les années à venir.

DEPUIS L'OUVERTURE DES FRONTIÈRES EN EUROPE, UN SUJET EUROPÉEN

Compte tenu de l'absence de frontières au sein de l'espace Schengen et, surtout, de l'absence de barrière réglementaire pour empêcher la dispersion sur le continent, le périmètre de protection des productions végétales correspond de fait à l'Europe. C'est pourquoi la réglementation concernant le sujet est prise à cette échelle.

Un règlement européen (Règlement (UE) 2016/2031 du Parlement européen et du Conseil du 26 octobre 2016 relatif aux mesures de protection contre les organismes nuisibles aux végétaux) est entré en application le 14 décembre 2019. Au niveau européen, un règlement est un acte qui assure une application homogène des règles et s'applique sans nécessiter de transposition dans les droits nationaux.

La limitation des introductions de bioagresseurs ayant une « incidence économique, environnementale ou sociale potentielle » est désormais une évidence et l'intérêt des mesures réglementaires a été montré comme par exemple dans le cas du flétrissement américain du chêne, où la réglementation européenne divise le risque d'introduction par 30 000 (Robinet *et al.*, 2016).

Le règlement mis en place a pour ambition :

— de limiter les introductions en Europe en réduisant le transport d'organismes *via* les emballages en bois, le commerce des plants ou des produits bois au sein de l'Europe,

— de rechercher activement certains organismes considérés comme particulièrement nuisibles (surveillance des organismes réglementés et émergents, dite communément la SORE),

— de préparer les professionnels et les services de l'État à réagir rapidement et efficacement en cas d'invasions par l'élaboration de plans d'urgence et par l'organisation d'exercices de simulation de crise,

— de tenter de les éradiquer s'ils sont découverts suffisamment tôt ou de contenir leur propagation lorsqu'il est admis que leur éradication est impossible.

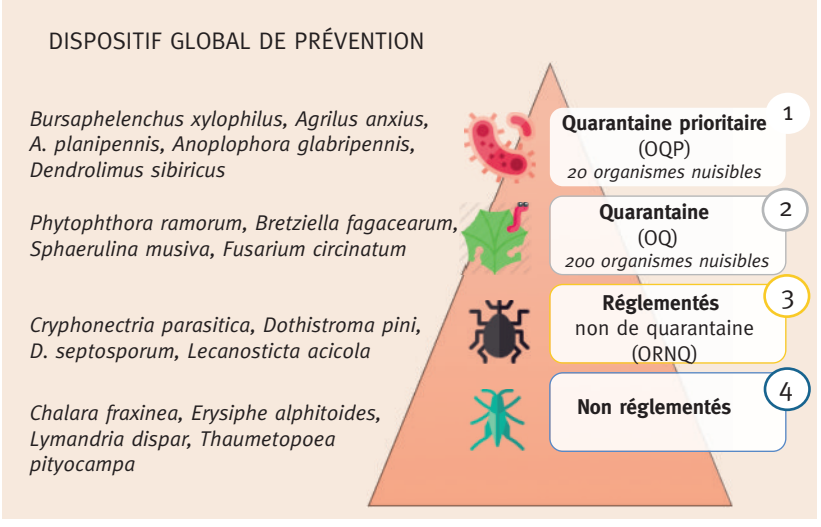
Les listes des organismes de quarantaine de l'Union sont établies par acte d'exécution, sur avis de l'Autorité européenne de sécurité des aliments (EFSA) et après consultation des États membres. L'EFSA procède à une analyse de risque et s'appuie sur les normes établies par des comités scientifiques de la Convention Internationale pour la Protection des Végétaux (CIPV) de l'Organisation mondiale pour l'agriculture et l'alimentation (FAO) d'une part et de l'Organisation européenne et méditerranéenne pour la protection des plantes (OEPP) d'autre part.

Trois listes **d'organismes nuisibles** figurent dans le règlement de santé des végétaux de l'Union (figure 2, ci-dessous) :

— Les **organismes de quarantaine** (OQ) sont des bioagresseurs qui sont soit absents du territoire, soit présents mais peu disséminés. Leur entrée, leur établissement et leur dissémination sont considérés comme pouvant avoir une incidence économique, environnementale ou sociale inacceptable pour ce territoire. Pour qu'un organisme intègre cette catégorie, il doit en outre exister des mesures réalisables et efficaces pour en prévenir l'entrée, l'établissement ou la dissémination et en atténuer les risques et les effets. C'est pourquoi la chalarose du frêne par exemple n'a jamais été réglementée. En effet, dès les premières observations du pathogène, la zone contaminée était déjà très large et l'éradication ou l'enrayement était impossible. La liste des OQ comprend 200 organismes toutes cultures confondues, dont 40 concernent la forêt (instruction technique DGAL/SDQSPV/2020-332). Dans cette liste, 20 organismes considérés comme particulièrement dangereux sont qualifiés **d'organismes de quarantaine prioritaire** (OQP). À ce jour, huit concernent les arbres forestiers et font l'objet d'une prospection organisée qualifiée de « surveillance ».

— Les **organismes de quarantaine de zone protégée** (OQZP) sont ceux qui peuvent être présents sur le territoire de l'Union, mais pour lesquels un État membre choisit de mettre en œuvre, grâce à la réglementation de l'Union, des mesures contraignantes sur la production et la circulation des plants afin de préserver des zones indemnes qualifiées de « zones protégées ».

Figure 2 **CLASSES D'ORGANISMES NUISIBLES D'APRÈS LE NOUVEAU RÈGLEMENT DE LA SANTÉ DES VÉGÉTAUX ET EXEMPLES D'ORGANISMES CONCERNÉS PAR LA FORÊT**
(adapté de l'infographie de la DGAL)



— Les **organismes réglementés non de quarantaine** (ORNQ) sont présents dans l'Union européenne mais leur dissémination par l'intermédiaire de certains végétaux destinés à la plantation a une incidence économique estimée inacceptable au regard de l'usage prévu de ces végétaux. Ils sont soumis à une surveillance particulière en pépinières pour éviter leur dissémination par le commerce des plants.

La surveillance des OQP doit être organisée tous les ans et celle des OQ au moins une fois tous les 5 ans. Pour la forêt, elle est logiquement prise en charge par le Département de la santé des forêts et son réseau de 250 correspondants-observateurs. Parmi les OQ/OQP, les ravageurs *Dendrolimus sibiricus*, *Agrilus anxius*, *Agrilus planipennis* et les pathogènes *Bursaphelenchus xylophilus*, *Bretziella fagacearum*, *Fusarium circinatum*, *Phytophthora ramorum* et *Sphaerulina musiva* sont aujourd'hui la priorité de la surveillance en forêt, cette liste étant évolutive selon les évènements (tableau I, ci-dessous).

Tableau I **Programmation 2020-2021 du Département de la santé des forêts concernant la surveillance des organismes de quarantaine en forêt**

Tous sont présumés absents sauf *Phytophthora ramorum*, en voie d'éradication en pépinières et forêt.

Classification	Organisme	Nom vernaculaire	Principaux hôtes	Symptômes	Période de surveillance
Oomycète	*Phytophthora ramorum**	Mort subite du mélèze	*Larix* spp., *Castanea sativa*	Descente de cime, nécrose corticale et foliaire	Avril à octobre
Champignon	*Bretziella fagacearum**	Flétrissement américain des chênes	*Quercus* spp.	Flétrissement de houppier, nécrose foliaire	Avril à octobre
Champignon	*Fusarium circinatum**	Chancre poisseux des pins	*Pinus* spp.	Chancre suintant, fonte de semis	Toute l'année
Champignon	*Sphaerulina musiva**	Chancre septorien	*Populus* spp.	Nécrose corticale et foliaire	Avril à octobre
Insecte	*Agrilus anxius**	Agrile du bouleau	*Betula* spp.	Flétrissement de houppier, galeries sur tronc	Toute l'année
Insecte	*Agrilus planipennis**	Agrile du frêne	*Fraxinus* spp.	Flétrissement de houppier, galeries sur tronc	Toute l'année
Insecte	*Dendrolimus sibiricus**	–	Conifères	Défoliation	Toute l'année
Nématode	*Bursaphelenchus xylophilus**	Nématode du pin	*Pinus* spp.	Flétrissement de houppier	Toute l'année

* L'astérisque renvoie au lien internet qui est indiqué dans l'encadré p. 132.

Les plans nationaux d'intervention sanitaire d'urgence relatifs au nématode du pin[2] et à *Xylella fastidiosa* ont été publiés et déclinés en région et d'autres plans d'urgence sont en cours de

(2) [En ligne] disponible sur : https://info.agriculture.gouv.fr/gedei/site/bo-agri/instruction-2019-209

rédaction pour les autres OQP. Ils seront suivis par des exercices de simulation de cas d'introduction afin d'améliorer les outils et les méthodologies visant à l'éradication des organismes visés.

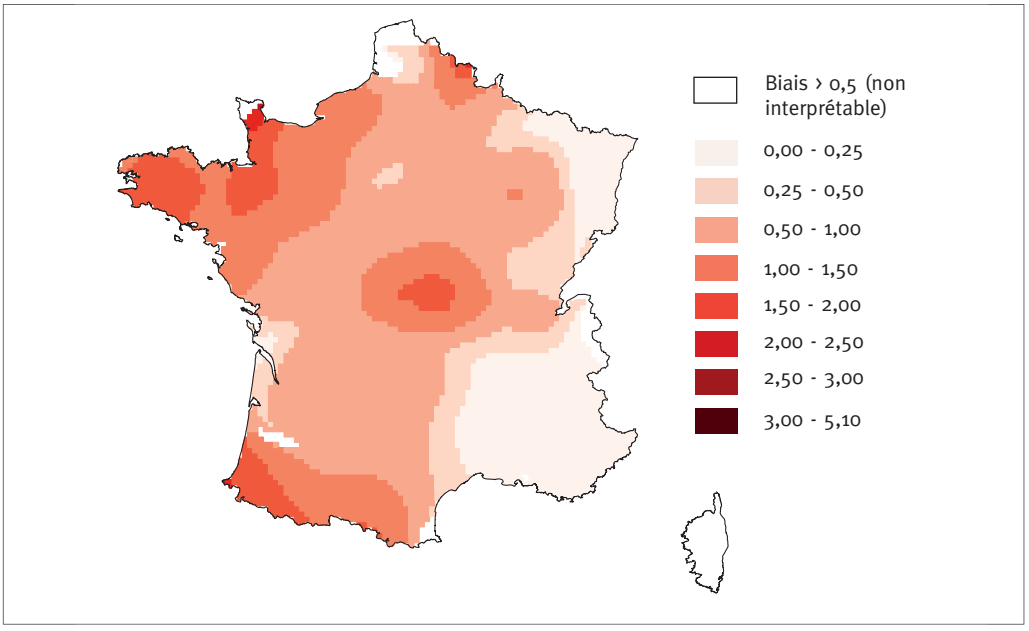
Enfin, en cas de découverte, une confirmation officielle doit être effectuée : prélèvement par une personne habilitée puis diagnostic par un laboratoire de référence. Elle est notifiée par l'autorité compétente aux États membres de l'Union européenne. Une stratégie d'éradication doit être mise en œuvre. C'est ainsi que, suite à la découverte de *Phytophthora ramorum* dans le Finistère en 2017 (Schenck *et al.*, 2018), environ 50 hectares de Mélèze du Japon colonisés par le pathogène ont été exploités en coupe rase. Par la suite, de nombreuses prospections ont été réalisées sur les peuplements de Mélèze de toute la côte ouest pour s'assurer de l'absence de nouvelles attaques. Cet exemple illustre que les démarches idoines sont déjà observées en forêt par les correspondants-observateurs depuis une dizaine d'années.

L'ENSEMBLE DU MONDE FORESTIER EST CONCERNÉ PAR LA RECHERCHE SUR LES ORGANISMES DE QUARANTAINE

Il est évident que ce sujet est devenu stratégique et l'affaire de tous. C'est donc logiquement que le règlement précise qu'« un opérateur professionnel ou toute autre personne qui soupçonne ou constate la présence d'un organisme de quarantaine de l'Union sur des végétaux, produits végétaux ou autres objets étant ou ayant été sous sa responsabilité devrait être tenu de notifier cette suspicion ou constatation à l'autorité compétente ».

Figure 3 **MENTION STANDARDISÉE DE MALADIE DES BANDES ROUGES SUR PIN LARICIO DANS LA BASE DU DÉPARTEMENT DE LA SANTÉ DES FORÊTS DE 1989 À 2014**
(Piou *et al.*, 2015)

La maladie des bandes rouges est provoquée par les organismes réglementés non de quarantaine *Dothistroma septosporum* et *D. pini*.



Le réseau de correspondants-observateurs du Département de la santé des forêts entre complètement dans cette logique. Ces forestiers de terrain observent annuellement environ 10 000 cas de perturbation d'ordre sanitaire en forêt. Grâce à une solide formation continue en matière sylvosanitaire généraliste et spécifique sur les organismes de quarantaine à rechercher ainsi qu'une présence forte sur le terrain, ils concourent efficacement à la mise en œuvre de cette recherche. La découverte en 2017 d'un foyer isolé de *Phytophthora ramorum* en Bretagne par une correspondante-observatrice de l'Office national des forêts témoigne de la capacité du réseau à détecter de faibles signaux de présence et surtout à discriminer les symptômes spécifiques de ces organismes de quarantaine parmi d'autres symptômes d'agents biotiques ou abiotiques.

L'ensemble de ces observations programmées positives et négatives est compilé dans une base de données permettant de les tracer et de les présenter sous forme spatiale ou temporelle. Ces données permettent également d'établir des modèles de dispersion du risque qui sont très utiles pour anticiper la progression probable de ces organismes et pour orienter les choix d'essences en région dans le cadre du changement climatique tout en tenant compte du risque biotique (exemple du pathosystème Pin laricio/maladie des bandes rouges, figure 3, p. 127).

LES AUTRES MOYENS DE SE PRÉMUNIR DE CES INVASIONS

Compte tenu des enjeux liés aux bioagresseurs en forêt, et dans un cadre réglementaire rénové, il convient de mettre en œuvre conjointement plusieurs outils pour limiter les risques à tous les stades du processus invasif.

De 1995 à 2010, et à l'échelle européenne, 6 espèces d'insectes exotiques associés aux ligneux ont été interceptées pour 117 qui se sont établies (Eschen *et al.*, 2015). Ainsi, sous le contrôle du service d'inspection vétérinaire et phytosanitaire aux frontières, la surveillance et l'interception aux frontières doivent être renforcées dans les points d'entrée communautaire pour réduire les introductions de parasites lors de l'importation de produits provenant des pays tiers.

Par ailleurs, chaque citoyen a un rôle à jouer dans ce domaine et les campagnes d'information régulières dans les zones de transit intercontinentales visent à faire prendre conscience aux voyageurs du risque important que revêt le fait de mettre dans ses bagages un végétal comme souvenir ou présent à offrir. À l'importation, les acteurs de la filière ont un rôle de premier plan. L'importation de chêne ou de frêne américain constitue par exemple un risque majeur vis-à-vis respectivement du flétrissement américain du chêne et de l'agrile du frêne. Ainsi, l'introduction sous forme d'avivés plutôt que de plots limite beaucoup le risque en excluant les écorces et les agents biotiques qu'elles hébergent. Plus localement, la pépinière est une source d'introduction notable d'agents indésirables dans le milieu forestier. Les pépiniéristes forestiers l'ont bien compris et mettent en œuvre tout ce qui est en leur pouvoir pour réduire au maximum les agents biotiques dommageables sur les plants qu'ils commercialisent (Robin et Husson, 2018). Le rôle des pépiniéristes de plantes ornementales est également très important comme le montre le cas de la pyrale du buis qui a transité des forêts en Chine vers les pépiniéristes asiatiques puis européens avant de s'installer en milieu urbain puis de retourner vers le milieu naturel. C'est le cas aussi du parasite polyphage *P. ramorum*, souvent détecté depuis 2002 sur rhododendron en pépinières et passé en forêt à proximité des pépinières infectées productrices du Finistère, illustrant de nouveau la perméabilité qui existe entre compartiment forestier et compartiment urbain ou périurbain. Malgré cela, le recours à des plants produits à proximité des zones de plantation constitue une mesure de bon sens pour éviter d'accélérer la diffusion d'organismes à travers le territoire, comme ce fut dans le cas de la processionnaire du pin cité précédemment. Ces exemples montrent l'intérêt de renforcer les liens et la communication entre les filières (pépinières, forêt,

parcs et jardins, arboriculture) et avec la recherche, d'améliorer les outils de collecte et de partage de données sur les signalements de bioagresseurs, de développer les canaux de diffusion de l'information, d'intensifier la formation en pathologie, bactériologie et entomologie forestière et d'impliquer le citoyen et le professionnel par des actions de sciences participatives. Par exemple, si la surveillance en forêt est bien organisée avec des bases de données produites accessibles, il n'en est pas encore de même en milieu urbain ou périurbain.

Des actions innovantes visant à une détection précoce de ces éventuelles introductions sont mises en œuvre par les organismes de recherche. Un récent projet associant acteurs de la recherche (INRAE, ANSES) et de la surveillance (DSF) a montré qu'il est possible de détecter des agents pathogènes à dissémination aérienne *via* le réseau de capteurs volumétriques de type HIRST du RNSA, le Réseau national de surveillance aérobiologique (Aguayo *et al*., 2020). *Via* les outils de biologie moléculaire, cette technique originale permet de détecter des micro-organismes ciblés ou sans *a priori* par metabarcoding, renforçant les possibilités de détecter précocement des parasites avant qu'ils ne soient trop étendus pour une éradication. En parallèle, de nouveaux tests à détection rapide voient le jour, comme le kit Elisa pour la détection de *Phytophthora* spp. sur différents supports végétaux. Ces outils permettent un diagnostic instantané, efficace et simple d'utilisation et donc une aide précieuse pour la surveillance sur le terrain. Il serait souhaitable que ces kits se développent pour cibler une large gamme de bioagresseurs, en particulier pour les pathogènes qui présentent des symptômes peu spécifiques.

Concernant la détection précoce d'insectes exotiques xylophages à leur arrivée dans les sites potentiels d'entrée sur le territoire national, le programme PORTRAP (MAA-INRAE) a permis le déploiement de pièges à large spectre (multicomposés) dans les lieux de transit importants (ports, aéroports) sur plusieurs années et la méthode a montré son efficacité puisque plusieurs insectes inconnus en France ont été capturés (*Trichoferus campestris, Xylotrechus chinensis*) (Roques, 2019).

Par ailleurs, afin d'anticiper le plus en amont possible les risques pour nos principales essences forestières, des arbres sentinelles sont installés dans les zones d'où proviennent la majorité des produits importés selon deux types de dispositif définis par l'origine des plantes et les objectifs recherchés (Eschen *et al*., 2019). Les plantations *Ex-patria* (ou plantations sentinelles) consistent à installer des essences d'arbres d'origine européenne dans des pays exotiques comme par exemple la Chine. Elles permettent alors d'observer sans *a priori* la capacité de colonisation et l'effet potentiel des bioagresseurs exotiques sur nos hôtes européens. Les plantations *In-patria* correspondent quant à elles à des pépinières sentinelles constituées d'une gamme d'essences souvent exportées d'un pays tiers vers l'Europe (par exemple, une pépinière implantée en Chine et contenant une collection d'arbres chinois d'intérêt pour le marché européen). Gérées sans aucune protection phytosanitaire, et surveillées intensivement, elles servent à détecter les bioagresseurs pouvant être introduits avec leur plantes-hôtes lors de leur exportation (Roques, 2018). Ces dispositifs sont surtout pertinents pour détecter précocement les phyllophages mais il convient d'attendre plusieurs années pour espérer observer les xylophages. Si ce dispositif avait pu être mis en place avant 2007, il aurait pu aider à prévenir l'introduction de la pyrale du buis. Ces dispositifs sont actuellement utilisés par INRAE pour la détection d'insectes et de pathogènes. Des problèmes majeurs, souvent insignifiants sur leurs plantes-hôtes d'origine, peuvent ainsi être identifiés, ce qui améliore significativement les listes d'alerte. Ce principe peut être appliqué pour un organisme ciblé et considéré comme potentiellement dangereux. Par exemple, dans les années 1980 et face au risque potentiel de *Bretziella fagacearum*, le champignon responsable du flétrissement américain du chêne, des chênes sessile, pédonculé et pubescent européens ont été semés aux États-Unis. Quinze ans après leur installation, le pathogène a été inoculé artificiellement afin de mesurer précisément l'effet sur les arbres. Quasiment 100 % des arbres sont morts ou

complètement flétris en 1 ou 2 ans, confirmant la sensibilité majeure des chênes européens à ce pathogène (Pinon *et al.*, 2003). Ces résultats ont permis d'étayer la réglementation. Une décision spécifique à ce sujet a été prise, limitant beaucoup le risque d'introduction du pathogène en Europe [Décision de la Commission du 29 avril 2005 prévoyant une dérogation à certaines dispositions de la directive 2000/29/CE du Conseil en ce qui concerne les grumes de Chêne (*Quercus* L.) avec écorce, originaires des États-Unis d'Amérique]. Compte tenu de l'importance des chênes en France, on comprend tout l'intérêt du sujet tant sur le plan économique que patrimonial et environnemental.

Enfin, en cas d'introduction en forêt d'un parasite réglementé, il est possible de s'appuyer sur des techniques de télédétection par images satellites ou photographies aériennes pour repérer les arbres symptomatiques autour de la zone contaminée et orienter ainsi la surveillance sur le terrain. De tels outils sont actuellement en cours de validation dans le cadre du plan national d'intervention sanitaire d'urgence relatif au nématode du pin.

QUELS SONT LES RISQUES POUR LES ANNÉES À VENIR ?

Il apparaît désormais évident que l'augmentation continue du commerce international accroît notablement des risques d'invasion malgré toutes les précautions et réglementations mises en œuvre et qu'il va donc falloir s'adapter à la présence de ces parasites invasifs dans nos écosystèmes. Avec le changement climatique, ils vont constituer des menaces constantes et profondes sur les forêts de l'hexagone et toutes les planifications de long terme vont devoir inclure une forte part d'incertitude. Le monde forestier s'accorde aujourd'hui sur le fait qu'il convient de diversifier les écosystèmes forestiers à toutes les échelles pour anticiper la perte possible d'une des espèces de la gamme d'essences objectifs : c'est le cas du Frêne récemment et de l'Orme il y a une cinquantaine d'années.

Malgré tous les dispositifs d'alerte et de veille sanitaire, il est probable que les futurs invasifs des années à venir sont encore inconnus puisqu'ils sont dans la majorité des cas inoffensifs dans leur aire d'origine, voire souvent ignorés du monde des biologistes. Les cas récents de la mineuse du marronnier, de la pyrale du buis et de la chalarose du frêne en sont de parfaites illustrations. *A contrario*, certaines espèces potentiellement dangereuses comme le scolyte noir du Japon (*Xylosandrus germanus*) observé en France depuis 1988, n'ont finalement eu que des conséquences limitées.

Aucune essence forestière n'est totalement à l'abri des effets délétères d'éventuelles introductions et les essences majeures du territoire national n'échappent pas à ce constat. Chez les Chênes qui couvrent près de 30 % de la forêt française, le flétrissement américain du chêne causé par le champignon *B. fagacearum*, dont les spores sont véhiculées d'arbre en arbre par des scolytes, est la principale menace bien identifiée. Chez les résineux, les défoliateurs constituent un risque majeur (Bertheau *et al.*, 2010) puisqu'ils sont généralement polyphages et facilement véhiculés par les végétaux vivants qui constituent une source de nourriture confortable pendant leur voyage intercontinental. C'est par exemple le cas de *Dendrolimus sibiricus* que la diversité de sa gamme d'hôtes rend très menaçant. Les observations récentes de cécidomyies des aiguilles de Douglas (*Contarinia pseudotsugae*) constituent une première alerte sur une essence jusqu'alors relativement épargnée par les problèmes sylvosanitaires et qui a été introduite au XIX^{e} siècle avec un cortège parasitaire très réduit (Gaudry, 2019). De plus, comme le Douglas n'a pas de congénère en Europe, très peu d'insectes indigènes se sont acclimatés sur cette espèce (Roques *et al.*, 2006). La larve de la cécidomyie vit à l'intérieur des aiguilles et entraîne leur déformation et dessèchement partiel. Les effets (perte de croissance voire mortalité) sont jusqu'alors mal appréciés

mais l'importance croissante du Douglas en France mérite une évaluation fine de la question. Le nématode du pin, *Bursaphelenchus xylophilus* est à la porte du massif de Pin maritime landais ; un de ses insectes vecteurs, *Monochamus galloprovincialis,* est indigène en France. Ce parasite originaire d'Amérique du Nord a causé de lourdes pertes financières sur les pins en Asie de l'Est. Depuis 1999, il cause d'importantes mortalités au Portugal où il a été probablement introduit par transport de bois en provenance de Chine. Il fait de façon justifiée l'objet d'une surveillance particulière à la fois lors de l'importation de bois en provenance de pays contaminés et en milieu forestier ou non par le biais de piégeage de son insecte vecteur et de repérage de peuplements de Pin dont le dépérissement rapide est suspect (Robinet, 2018).

L'interférence avec le changement climatique est désormais un fait bien démontré. La construction de modèles de risques liés aux introductions et intégrant l'évolution des données climatiques permet d'affiner les connaissances sur les probabilités de présence, voire de gravité, d'un organisme à moyen et long terme. Mais une répétition des accidents climatiques comme canicule et sécheresse pourrait offrir un créneau aux parasites exotiques de faiblesse qui viendraient s'ajouter au risque constitué par les parasites primaires pour l'instant prépondérants.

CONCLUSION

Alors que la forêt était longtemps considérée par la société mais aussi par les professionnels qui la gèrent comme un milieu très stable et assez fermé, le changement climatique et les invasions biologiques la transforment en un lieu changeant voire instable à l'instar du monde qui l'entoure. Ces éléments deviennent des facteurs majeurs pour les acteurs du monde forestier lors des investissements, de la planification ou de la gestion courante.

Concernant les parasites exotiques, la récente réglementation européenne mais aussi les méthodes de gestion quotidienne et les recherches actives visent à limiter les risques d'invasion. Elles ont en outre la vertu d'entretenir la culture du risque. La communication sur le sujet doit être subtile pour trouver le juste discours entre la prise de conscience des risques et la nécessité d'investir.

Face à ces risques dont une part importante reste imprécise, les maîtres mots sont probablement : adaptation, anticipation et diversification. Ils ont en commun le fait qu'ils mettent en œuvre des actions volontaristes et préventives, et dans ces situations d'incertitude, le pire serait de ne rien faire.

François-Xavier SAINTONGE
Département de la santé des forêts
INRAE, URZF
2163 avenue de la Pomme de Pin
F-45075 ARDON
(francois-xavier.saintonge@agriculture.gouv.fr)

Claude HUSSON
Département de la santé des forêts
INRAE UMR IAM
INRA Grand Est Nancy
F-54280 CHAMPENOUX
(claude.husson@agriculture.gouv.fr)

Morgane GOUDET
Ministère de l'Agriculture et de l'Alimentation
DGAL - Département de la santé des forêts
19 avenue du Maine
F-75349 PARIS CEDEX 15
(morgane.goudet@agriculture.gouv.fr)

Marie-Anne AUGER-ROZENBERG
INRAE, URZF
2163 avenue de la Pomme de Pin
F-45075 ARDON
(marie-anne.auger-rozenberg@inrae.fr)

Benoît MARÇAIS
Université de Lorraine, INRAE, UMR IAM
INRAE Grand Est – Centre de Nancy
F-54280 CHAMPENOUX
(benoit.marcais@inrae.fr)

Liens internet pour les organismes cités dans le texte et le tableau

Pour les organismes cités dans le texte :

Phytophthora cinnamomi : http://ephytia.inra.fr/fr/C/19129/Forets-Encre-du-chene
Oïdium : http://ephytia.inra.fr/fr/C/19061/Forets-Oidium-du-chene
Chancre du châtaignier : http://ephytia.inra.fr/fr/C/19080/Forets-Chancre-du-chataignier
Graphiose de l'Orme : http://ephytia.inra.fr/fr/C/20845/Forets-Graphiose-de-l-orme
Chalarose du frêne : http://ephytia.inra.fr/fr/C/20407/Forets-Chalarose-du-frene
Dendroctone : http://ephytia.inra.fr/fr/C/19083/Forets-Dendroctone
Cynips du châtaignier : http://ephytia.inra.fr/fr/C/20335/Forets-Cynips-du-chataignier
Pyrale du buis : http://ephytia.inra.fr/fr/C/24583/Forets-Pyrale-du-buis
Cochenille du pin maritime : http://ephytia.inra.fr/fr/C/19089/Forets-Cochenille-du-pin-maritime
Processionnaire du pin : http://ephytia.inra.fr/fr/C/19306/Forets-Processionnaire-du-pin
Tordeuse grise : http://ephytia.inra.fr/fr/C/21259/Forets-Tordeuse-grise-du-meleze
Puceron lanigère du peuplier : http://ephytia.inra.fr/fr/C/19383/Forets-Puceron-lanigere-du-peuplier

Pour les organismes cités dans le tableau I :

Phytophthora ramorum : http://ephytia.inra.fr/fr/C/24935/Forets-Phytophthora-ramorum
Bretziella fagacearum : http://ephytia.inra.fr/fr/C/26360/Forets-Fletrissement-americain-du-chene
Fusarium circinatum : http://ephytia.inra.fr/fr/C/26414/Forets-chancre-resineux-du-pin
Sphaerulina musiva : http://ephytia.inra.fr/fr/C/26473/Forets-Sphaerulina-musiva
Agrilus anxius : http://ephytia.inra.fr/fr/C/26449/Forets-Agrile-du-bouleau
Agrilus planipennis : http://ephytia.inra.fr/fr/C/25891/Forets-Agrile-asiatique-du-frene
Dendrolimus sibiricus : http://ephytia.inra.fr/fr/C/26453/Forets-Dendrolimus-sibiricus
Bursaphelenchus xylophilus : http://ephytia.inra.fr/fr/C/21257/Forets-nematode-du-pin

BIBLIOGRAPHIE

AGUAYO J., HUSSON C., CHANCEREL E., FABREGUETTES O., CHANDELIER A., FOURRIER-JEANDEL C., DUPUY N., DUTECH C., IOOS R., ROBIN C., THIBAUDON M., MARÇAIS B., DESPREZ-LOUSTAU M.L., 2020. Combining permanent aerobiological networks and molecular analyses for large-scale surveillance of forest fungal pathogens: A proof-of-concept. *Plant Pathology*, 020, pp. 1-14.

BAUBET O., DAUBRÉE J.-B., MIRABEL M., GOUDET M., 2020. *La Pyrale du buis en forêt, un ravageur exotique très impactant*. [En ligne] disponible sur : agriculture.gouv.fr/la-pyrale-du-buis-en-foret-un-ravageur-exotique-tres-impactant-le-point-en-2020 (consulté le 29 juin 2020).

BERTHEAU C., BROCKERHOFF E.G., ROUX-MORABITO G., LIEUTIER F., JACTEL H., 2010. Novel insect-tree associations resulting from accidental and intentional biological 'invasions': a meta-analysis of effects on insect fitness. *Ecology Letters*, 13, pp. 506-515.

BLACKBURN T.M., PYŠEK P., BACHER S., CARLTON J.T., DUNCAN R.P., JAROŠÍK V., WILSON J.R.U., RICHARDSON D.M., 2011. A proposed unified framework for biological invasions. *Trends in Ecology and Evolution*, 26, pp. 333-339.

BOROWIEC N., 2016. Le Cynips du châtaignier. [En ligne] disponible sur : www6.inrae.fr/cynips-chataignier/Contexte/Dryocosmus-kuriphilus (consulté le 29 juin 2020).

BRAS A., COURTIN C., KENIS M., BERNARD A., ROQUES A., ROUSSELET J., AUGER-ROZENBERG M.-A., 2016. L'Invasion fulgurante de la pyrale du buis en France et en Europe : Diversité génétique et approche phylogéographique. *In* : Actes de colloques de la 4e conférence sur l'entretien des jardins végétalisés et infrastructures. 10 p.

DOUZON G., 2014. *Le Dendroctone en Bretagne : historique de son installation*. 6 p. [En ligne] disponible sur : agriculture.gouv.fr/sites/minagri/files/documents/pdf/Le_dendroctone_en_Bretagne_1__cle818616.pdf (consulté le 29 juin 2020).

ESCHEN R., ROQUES A., SANTINI A., 2015. Taxonomic dissimilarity in patterns of interception and establishment of alien arthropods, nematodes and pathogens affecting woody plants in Europe. *Diversity and distributions*, 21, pp. 36-45.

ESCHEN R., O'HANLON R., SANTINI A., VANINI A., ROQUES A., KIRICHENKO N., KENIS M., 2019. Safeguarding global plant health: the rise of sentinels. *Journal of Pest Science*, 92, pp. 29-36.

GAUDRY J., 2018. *Le Front d'expansion de la chenille processionnaire du pin (Thaumetopoea pityocampa) progresse toujours*. 4 p. [En ligne] disponible sur : agriculture.gouv.fr/le-front-dexpansion-de-la-chenille-processionnaire-du-pin-progresse-toujours (consulté le 29 juin 2020).

GAUDRY J., 2019. *La Cécidomyie du douglas, état des lieux et risques pour le douglas*. 6 p. [En ligne] disponible sur : agriculture.gouv.fr/la-cecidomyie-du-douglas-situation-et-connaissances-sur-cette-mouche-americaine-detectee-en-France (consulté le 29 juin 2020).

GRÉGOIRE J.-C., 2018. Traits d'histoire de vie, effet Allee et risques d'introduction de scolytes exotiques. *Revue forestière française*, LXX (6) « Ateliers Regefor 2017. Émergence de bioagresseurs en forêt : comment identifier et atténuer les risques ? », pp. 597-604.

HUSSON C., 2018. L'Émergence de la chalarose en France. *Revue forestière française*, LXX (6) « Ateliers Regefor 2017. Émergence de bioagresseurs en forêt : comment identifier et atténuer les risques ? », pp. 613-619.

JACTEL H., MENASSIEU P., BURBAN C., 1996. Découverte en Corse de *Matsucoccus feytaudi* Duc (*Homoptera*, *Margarodidae*), Cochenille du Pin maritime. *Annales des Sciences forestières*, 53, pp. 145-152.

LIEUTIER F., POINTEAU S., DARDEAU F., BANKHEAD-DRONNET S., BAUDE M., SALLÉ A., VALA J.-C., 2014. Le Puceron lanigère du Peuplier : les avancées de la recherche. *Revue forestière française*, LXVI (1), pp. 25-40.

MARÇAIS B., DESPREZ-LOUSTAU M.-L., 2014. European oak powdery mildew: impact on trees, effects of environmental factors, and potential effects of climate change. *Annals of Forest Science*, 71, pp. 633-642.

MARÇAIS B., 2018. Interactions entre changement climatique et agents pathogènes. *Revue forestière française*, LXX (6) « Ateliers Regefor 2017. Émergence de bioagresseurs en forêt : comment identifier et atténuer les risques ? », pp. 645-652.

NAGELEISEN L.-M., PIOU D., 2018. Évolution du paysage sylvosanitaire au cours des trente dernières années. *Revue forestière française*, LXX (6) « Ateliers Regefor 2017. Émergence de bioagresseurs en forêt : comment identifier et atténuer les risques ? », pp. 579-594.

PINON J., MACDONALD W., DOUBLE M., TAINTER F., 2003. Les risques pour la chênaie européenne d'introduction de *Ceratocystis fagacearum* en provenance des États-Unis. *Compte-rendu des séances hebdomadaires de l'Académie d'Agriculture de France*, séance du 19 novembre 2003. [En ligne] disponible sur : www.academie-agriculture.fr/actualites/academie/seance/academie/la-place-des-champignons-pathogenes-dans-lequilibre-de-la (consulté le 29 juin 2020).

PIOU D., SAINTONGE F.-X., MARÇAIS B., 2015. Quel avenir pour le Pin laricio face à la maladie des bandes rouges. *Forêt Entreprise*, 224, pp. 10-17.

PIOU D., BENEST F., COLLIN E., 2018. Est-il possible de tirer des enseignements des introductions anciennes d'agents pathogènes ? L'exemple de la graphiose de l'orme. *Revue forestière française*, LXX (6) « Ateliers Regefor 2017. Émergence de bioagresseurs en forêt : comment identifier et atténuer les risques ? », pp. 621-637.

RIGLING D., SCHÜTZ-BRYNER S., HEINIGER U., PROSPERO S., 2014. *Le chancre de l'écorce du châtaignier : Symptômes, biologie et mesures pour le combattre*. Note pour le praticien, 54. 8 p.

ROBIN C., DESPREZ-LOUSTAU M.-L., 2018. Émergences de maladies chez les arbres forestiers : Définitions, concepts et recommandations. *Revue forestière française*, LXX (6) « Ateliers Regefor 2017. Émergence de bioagresseurs en forêt : comment identifier et atténuer les risques ? », pp. 569-575.

ROBIN C., HUSSON C., 2018. Pourquoi et comment contrôler les maladies des arbres forestiers en pépinières (Synthèse de l'atelier). *Revue forestière française*, LXX (6) « Ateliers Regefor 2017. Émergence de bioagresseurs en forêt : comment identifier et atténuer les risques ? », pp. 683-690.

ROBIN C., GAUDRY J., 2019. La Maladie de l'encre complexifie la sylviculture du Châtaignier. *Forêt Entreprise*, 247, pp. 59-64.

ROBINET C., DOUMA J.-C., PIOU D., VAN DER WERF W., 2016. Application of a wood pathway model to assess the effectiveness of options for reducing risk of entry of oak wilt into Europe. *Forestry*, 89, pp. 456-472.

ROBINET C., 2018. Modélisation des risques d'entrée des pathogènes et insectes forestiers en Europe avec l'importation de bois. *Comptes-rendus des séances hebdomadaires de l'Académie Agriculture de France*. [En ligne] disponible sur : www.academie-agriculture.fr/actualites/academie/seance/academie/faire-face-aux-invasions-de-bioagresseurs-exotiques-en-foret (consulté le 29 juin 2020).

ROQUES A., AUGER-ROZENBERG M.-A., BOIVIN S., 2006. A lack of native congeners may limit colonization of introduced conifers by indigenous insects in Europe. *Canadian Journal of Forest Research*, 36, pp. 299-313.

ROQUES A., AUGER-ROZENBERG M.-A., BLACKBURN T.M., GARNAS J., PYŠEK P., RABITSCH W., RICHARDSON D.M., WINGFIELD M.J., LIEBHOLD A.M., DUNCAN R.P., 2016. Temporal and interspecific variation in rates of spread for insect species invading Europe during the last 200 years. *Biological Invasions*, 18, pp. 907-920.

ROQUES A., 2018. Le concept de plantations sentinelles pour identifier les futurs insectes exotiques envahissants. *Comptes-rendus des séances hebdomadaires de l'Académie Agriculture de France*. [En ligne] disponible sur: www.academie-agriculture.fr/actualites/academie/seance/academie/faire-face-aux-invasions-de-bioagresseurs-exotiques-en-foret (consulté le 29 juin 2020).

ROQUES A., 2019. *De nouveaux outils pour une détection précoce des insectes envahissants*. Séminaire du Groupe d'Entomologie Forestière Français, 17 septembre 2019, Quillan, France (présentation orale).

SANTINI A., GHELARDINI L., DE PACE C., DESPREZ-LOUSTAU M.-L., CAPRETTI P., CHANDELIER A., CECH T., CHIRA D., DIAMANDIS S., GAITNIEKIS T., HANTULA J., HOLDENRIEDER O., JANKOVSKY L., JUNG T., JURC D., KIRISITS T., KUNCA A., LYGIS V., MALECKA M., MARCAIS B., SCHMITZ S., SCHUMACHER J., SOLHEIM H., SOLLA A., SZABÒ I., TSOPELAS P., VANNINI A., VETTRAINO A.M., WOODWARD S., WEBBER J., STENLID J., 2013. Biogeographic patterns and determinants of invasion by forest pathogens in Europe. *New Phytologist*, 197, pp. 238-250.

SANTINI A., LIEBHOLD A., MIGLIORINI D., WOODWARD S., 2018. Tracing the role of human civilization in the globalization of plant pathogens. *The ISME Journal*, 12, pp. 647-652.

SCHENK N., SAURAT C., GUINET C., FOURRIER-JEANDEL C., ROCHE L., BOUVET A., SAINTONGE F.-X., CONTAL C., IOOS R., 2018. First Report of *Phytophthora ramorum* causing Japanese Larch dieback in France. *Plant disease*, 102, p. 2045.

SCHWESTER D., FABRE J.-P., 2001. Le Dépérissement du Pin maritime des Maures et de l'Estérel provoqué par *Matsucoccus feytaudi* Ducasse (*Homoptera*, *Matsucoccidae*), connaissances acquises de 1964 à 1990. *Forêt méditerranéenne*, 22, pp. 213-334.

LES BIOAGRESSEURS INVASIFS DANS LES FORÊTS FRANÇAISES : PASSÉ, PRÉSENT ET AVENIR (Résumé)

Les bioagresseurs invasifs affectent lourdement les forêts françaises depuis la fin du XIX^{e} siècle et le phénomène s'accélère ces dernières années. La majorité d'entre eux arrive désormais d'Asie. Une revue des dix pathogènes et insectes invasifs les plus dommageables aux forêts est réalisée. Le règlement européen sur « la santé du végétal » mis en application en décembre 2019 vise à limiter les introductions nouvelles et organise la surveillance et la lutte en cas d'introduction constatée. Sa déclinaison forestière française est exposée. Enfin, les méthodes innovantes permettant d'anticiper le risque ainsi que les principaux bioagresseurs qui présentent une menace à court terme pour la forêt française sont présentés et discutés.

INVASIVE PESTS IN FRENCH FORESTS – PAST, PRESENT AND FUTURE (Abstract)

Invasive pests have had a significant impact on French forests since the end of the 19th century, and this phenomenon has been accelerating in latter years. Most of these now come from Asia. We conducted a review of the 10 most damaging invasive pathogens and pests for forests. The goal of the European regulation on "plant health" implemented in December 2019 is to limit further introductions and organise monitoring and control in the event that an introduction is observed. We describe how the regulation is implemented for French forests. Finally, innovative methods for anticipating this hazard and identifying the pests that constitute the greatest risk for French forests in the short term are presented and discussed.

Licence Creative Commons
Attribution + Pas de Modification + Pas d'Utilisation Commerciale (BY ND NC)