

Plan de rapport final d'un projet de recherche financé dans le cadre du plan Écophyto II+

Remarques concernant ce document

- La mise en forme de ce rapport, hormis sa partie scientifique et les annexes, doit être respectée. Ce format imposé permettra au service de la recherche une copie automatique vers d'autres documents à usage interne ou externe.
- Tous les fichiers doivent être déposés en 2 formats : au format PDF et dans des formats éditables (DOC, ODT, RTF, XLS, ODS, etc.) pour les besoins du co-pilotage de l'axe recherche et innovation. Le rapport doit être envoyé à l'équipe animation (animation-ecophyto@inrae.fr) avec copie au copilote ministériel (marie-camille.soulard@developpement-durable.gouv.fr), et à l'OFB (ecophyto@ofb.gouv.fr) en indiquant en objet l'acronyme de votre projet.
- Un envoi sous forme électronique suffit dans un premier temps.
- Les documents de ce rapport, en dehors de l'éventuelle partie confidentielle, serviront aussi bien pour l'évaluation finale du projet que pour la valorisation des résultats.
- Les versions électroniques des résumés et de la synthèse de votre rapport doivent impérativement nous parvenir sous format modifiable afin de pouvoir être réutilisés pour valorisation ou publiés (après relecture de votre part), ainsi que sous format PDF.

ProteHyl : Utilisation de répulsifs d'origine naturelle pour protéger les plantations forestières résineuses contre les dégâts d'Hylobe



[Ajouter éventuellement les logos des autres organismes partenaires]

ProteHyl : Utilisation de répulsifs d'origine naturelle pour protéger les plantations forestières résineuses contre les dégâts d'Hylobe

« **Ecophyto 2+ Axe :2 – APR Approches Globales** »
Rapport final V0 [Vincent Boulanger]
Date de la version du rapport : 17/02/2025

Office National des Forêts
Département Recherche et Développement
Pôle Recherche Développement et Innovation de Fontainebleau
Vincent Boulanger
Chargé de R&D, responsable de pôle RDI
Office National des Forêts
Boulevard de Constance
77300 FONTAINEBLEAU
vincent.boulanger@onf.fr

ProteHyl : Utilisation de répulsifs d'origine naturelle pour protéger les plantations forestières résineuses contre les dégâts d'Hylobe

Action pilotée par les Ministères chargés de la Transition Ecologique et de la Cohésion des Territoires (MTECT), de l'Agriculture et de la Souveraineté Alimentaire (MASA), du Travail, de la Santé et des Solidarités (MTSS), et de la l'Enseignement Supérieur et de la Recherche (MESR), avec l'appui financier de l'Office Français pour la Biodiversité (OFB), par les crédits issus de la redevance pour pollutions diffuses attribués au plan Écophyto II+

Table des matières

SYNTHÈSE	6
Contexte général et enjeux scientifiques et techniques	8
Objectifs généraux du projet.....	10
Quelques éléments de méthodologie (et difficultés éventuelles rencontrées)	11
Résultats obtenus	15
Implications pratiques, recommandations, réalisations pratiques, valorisation.....	18
Partenariats mis en place, projetés, envisagés	19
Pour en savoir plus (quelques références)	20
Liste des opérations de valorisations issues du contrat (articles de valorisation, participation à des colloques, enseignement et formation, communication, expertises...)	21
Résumés	24
RAPPORT SCIENTIFIQUE	26
Annexe : textes des publications	30
Annexe : partie confidentielle.....	31

ProteHyl : Utilisation de répulsifs d'origine naturelle pour protéger les plantations forestières résineuses contre les dégâts d'Hylobe

SYNTHÈSE

(Destinée aux utilisateurs et gestionnaires publics : environ 10 pages, hors liste des publications et autres valorisations)

Merci de rédiger l'ensemble de cette partie de manière à ce qu'elle soit aisément compréhensible par un utilisateur non spécialiste.

Vous mettrez en évidence les points qui vous paraissent les plus porteurs pour l'élaboration, le suivi ou la mise en œuvre de politiques publiques de diminution des risques environnementaux liés aux pesticides et notamment pour le plan Écophyto.



ProteHyl : Utilisation de répulsifs d'origine naturelle pour protéger les plantations forestières résineuses contre les dégâts d'Hylobe

« Les approches globales pour limiter l'utilisation des produits phytopharmaceutiques : coupler le préventif et le curatif au sein des filières, des agriculteurs jusqu'aux consommateurs »

Synthèse pour les décideurs V1 Boulanger et al.

Date de la version du rapport : 01/03/ 2025

Dr. Vincent BOULANGER
Vincent.boulanger@onf.fr
Office National des Forêts
Pôle Recherche Développement et Innovation
Direction territoriale Seine Nord
Boulevard de Constance, 77300 Fontainebleau

ProteHyl : Utilisation de répulsifs d'origine naturelle pour protéger les plantations forestières résineuses contre les dégâts d'Hylobe

Action pilotée par les Ministères chargés de la Transition Ecologique et de la Cohésion des Territoires (MTECT), de l'Agriculture et de la Souveraineté Alimentaire (MASA), du Travail, de la Santé et des Solidarités (MTSS) et de la l'Enseignement Supérieur et de la Recherche (MESR), avec l'appui financier de l'Office Français pour la Biodiversité (OFB), par les crédits issus de la redevance pour pollutions diffuses attribués au plan Écophyto II+

Contexte général et enjeux scientifiques et techniques

L'hylobe (*Hylobius abietis*, L.) est le premier ravageur des plantations d'essences résineuses en Europe. Présent partout en France, sa prévalence est plus forte dans les régions où prédominent les boisements de conifères plantés, notamment le long d'une diagonale Bordeaux-Metz. L'adulte pond d'avril à juillet sur les souches fraîchement coupées (préférence pour les Pins, genre *Pinus* ou l'Épicéa, *Picea abies*), notamment dans les coupes rases de résineux. Les larves se développent sous l'écorce des racines pendant 5 à 18 mois, les adultes émergent à la fin de l'été et effectuent un repas de maturation sexuelle sur l'écorce des jeunes plants de conifère avec une préférence pour le Douglas et le mélèze. Ils hivernent ensuite dans la litière puis ré-émergent au printemps suivant, où ils se nourrissent à nouveau avant de pondre. Ainsi, deux vagues d'attaques sont observées au printemps et en fin d'été. Les morsures des insectes interrompent le flux de sève, réduisent la croissance et peuvent entraîner la mort des plants (100% de mortalité dans les reboisements de Douglas, épicéa, mélèze ou pin sont souvent constatés par le DSF).

Un insecticide néonicotinoïde (imidaclopride) était utilisé jusqu'à son interdiction en 2018. Le Forester (pyréthrianoïde) est toujours autorisé en curatif par dérogation renouvelée chaque année, les autorités européennes se réservant toujours la possibilité de prononcer sur le retrait /maintien de l'autorisation du principe actif (cyperméthrine) en milieu forestier. Leur utilisation est détaillée dans le tableau suivant.

dénomination	Forester	Merit Forest	Suxon Forest
principe actif	cyperméthrine	néonicotinoïde	néonicotinoïde
spectre	hylobe +traitement des bois avant export	spécifique hylobe	insectes au sol (dont hylobe)
utilisation moyenne annuelle (période considérée)	1200 L (2009, 2017, 2018)	580 kg (2012-2017)	5949 kg (2011-2018)
nombre de plants traités par an	2 000 000 plants	6000 000 plants	1 200 000 plants
surface plantée/an (densité 1300 plants/ha ; moyenne sur période considérée)	1540 ha	4615 ha	920 ha

La France est le premier pays producteur de Douglas en Europe. Cette essence couvre environ un tiers de la production française de conifères, offrant un bois d'œuvre d'excellente qualité. En 2018, plus de 11 millions de plants de Douglas ont été commercialisés en France, soient environ 9000 ha plantés. Cinq ans plus tard ce sont plus de 13 millions de plants qui ont été vendus (Figure 1). Structuellement, la forêt française présente beaucoup de peuplements résineux issus de programmes de boisement de l'après-guerre, arrivant à maturité et devant être renouvelés. Conjoncturellement, la crise sanitaire dans le Grand Est (sécheresse et scolytes) a engendré une exploitation anticipée des plantations d'épicéa en 2018-2020, estimée à l'équivalent de 10 années de récolte, et par suite un besoin de reconstitution de plus de 60 000 ha en peuplements résineux. Ces plantations de résineux après coupe de résineux apparaissent alors particulièrement propices aux attaques d'hylobe.

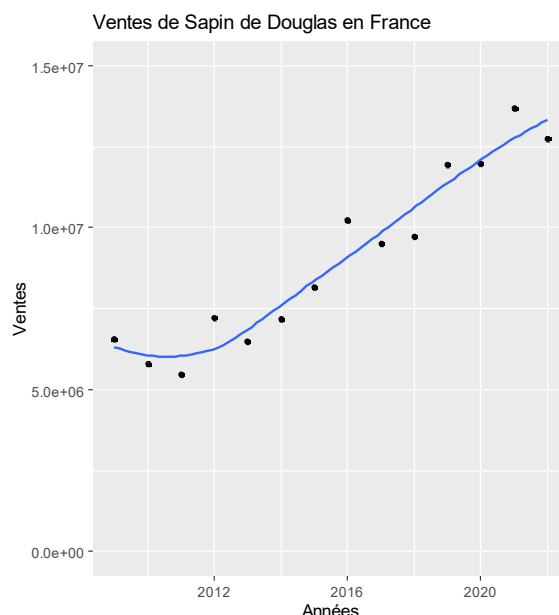


Figure 1 : évolution des nombres de plants de Douglas commercialisés en France, source Ministère en charge de l'Agriculture, Février 2025

ProteHyl : Utilisation de répulsifs d'origine naturelle pour protéger les plantations forestières résineuses contre les dégâts d'Hylobe

Les gestionnaires forestiers ont actuellement diverses options techniques pour limiter les dégâts d'hylobes, principalement en préventif mais avec une efficacité incertaine et aux coûts très conséquents. Une première famille de méthodes consiste à protéger les plants par un dispositif physique visant à empêcher le contact entre l'hylobe et le jeune plant : cires appliquées directement sur le plant, manchon de protection. Une autre famille repose sur des méthodes dites culturales : modifier la gestion de l'ensemble du chantier de plantation pour éviter les attaques d'hylobes. Ces méthodes ont été étudiées dans le cadre d'un projet conjoint, financé par France Bois Forêt (LutHyl).

La diversification des essences forestières pour prévenir les attaques de ravageurs apparaît comme une piste prometteuse. Les méta-analyses de la littérature scientifique ont montré que les espèces d'arbres sont significativement moins attaquées par les insectes ravageurs quand elles sont gérées en peuplement mixtes qu'en monoculture. Plus particulièrement, le bouleau (*Betula pendula*) offre une protection efficace du pin maritime contre les attaques de ravageurs spécialistes comme la processionnaire du pin, la pyrale du tronc et le scolyte sténographe. Cette résistance par association s'opère notamment par l'émission de substances volatiles répulsives vis-à-vis des insectes des conifères, en particulier le méthyle salicylate (MeSa), composé majoritaire de l'huile essentielle chez les espèces du genre *Betula*. Le MeSa a en outre la propriété d'attirer les insectes prédateurs et d'induire des réactions de défense chez les plantes.

Les résultats très encourageants obtenus en conditions strictement contrôlées d'une part, et les observations en conditions naturelles d'autre part, nous ont incités à engager un travail d'expérimentation *in situ*, proche des conditions de plantation forestière courante. Cette échelle expérimentale *in situ* est régulièrement citée comme nécessaire dans la suite des études publiées, mais dans les faits rarement conduite sur le sujet. L'utilisation d'essences compagnes dans les plantations forestières pour profiter de leurs émissions de composés volatiles comme mécanisme protecteur constitue une innovation dans les stratégies de renouvellement des peuplements. L'ajout de bouleaux comme essence « nurse » dans les plantations résineuses est susceptible de présenter un intérêt pour la limitation des risques de dégâts d'hylobes.

Alors que la ressource en bois résineux est déficitaire par rapport aux besoins industriels nationaux, les plantations de résineux sont souvent mal perçues par le public (monospécifiques, sombres, faibles en biodiversité). La diversification des stratégies de plantation, notamment la plantation conjointe de deux essences fait partie des stratégies prometteuses non seulement pour ses bénéfices écologiques mais aussi en vue d'une meilleure acceptation sociale de ces systèmes de production essentiels à l'économie de la filière bois. Les travaux de ce projet avaient donc pour ambition de contribuer à préparer l'avenir à travers une transition du curatif au préventif pour la gestion de l'hylobe, conciliant enjeux économiques, environnementaux et sociaux.

Objectifs généraux du projet

Dans une démarche de recherche-action, associant chercheurs, gestionnaires, producteurs et propriétaires forestiers, nous souhaitons :

1. Tester *in situ* différentes stratégies préventives basées sur les propriétés répulsives des bouleaux pour limiter les dégâts d'hylobe aux plantations de résineux, en s'appuyant sur un réseau expérimental cohérent déployé dans les régions infestées (échelle parcelle).
2. Mettre au point une méthode permettant d'estimer l'abondance des populations d'Hylobes.
3. Evaluer l'ampleur des dégâts causés par les Hylobes aux plantations résineuses en France ces dernières années.
4. Conduire une veille internationale visant à :
 - a. Positionner l'enjeu lié aux hylobes parmi les autres insectes ravageurs forestiers
 - b. Recenser les acquis et perspectives quant aux méthodes de lutte et prévention des dégâts d'hylobes.

Quelques éléments de méthodologie (et difficultés éventuelles rencontrées)

0. Un méta-projet pour une approche globale

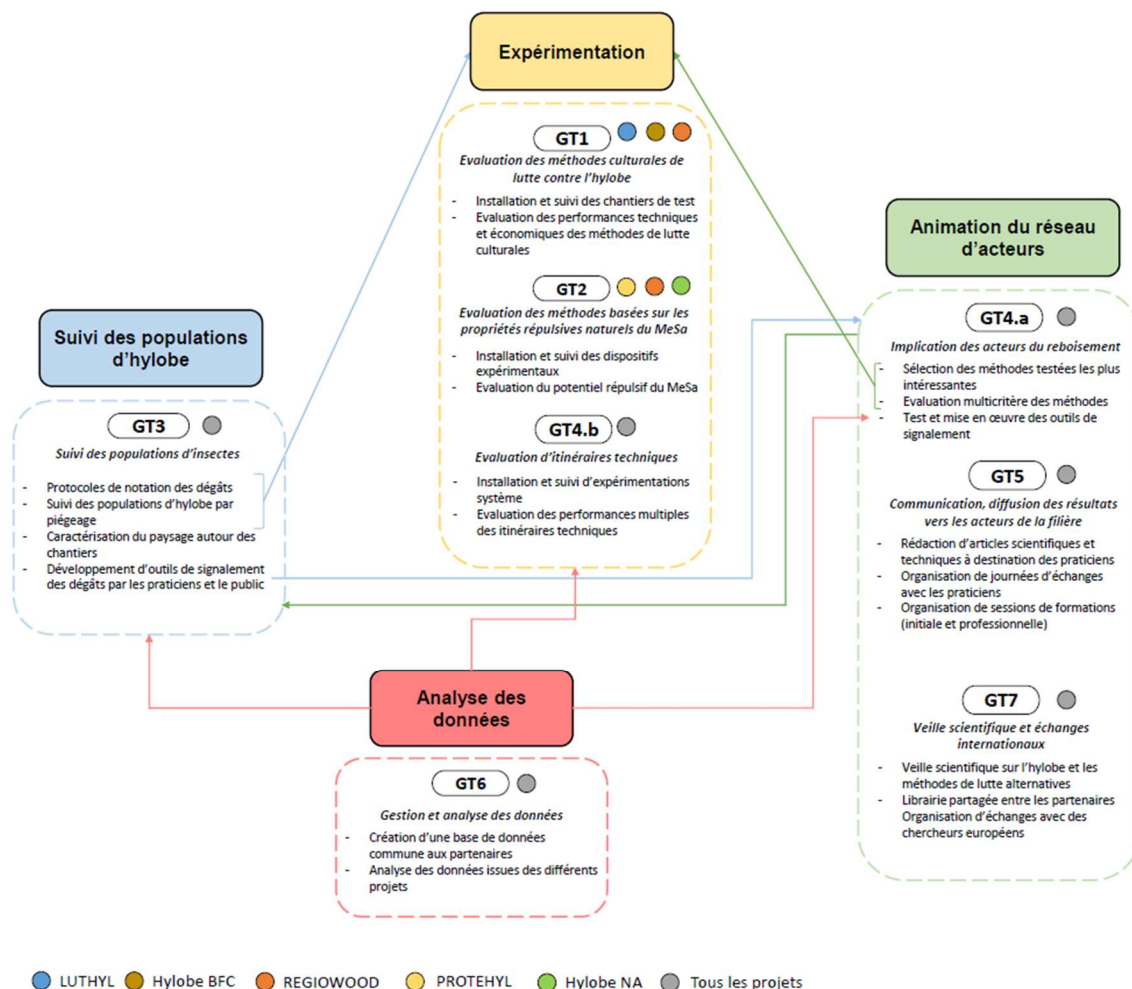


Figure 2 : Organigramme du méta-projet Hylobe

Le projet ProteHyl était l'un des deux projets structurants de ce méta-projet, donc l'objectif était d'avoir une approche large des solutions alternatives à l'utilisation des insecticides dans la lutte contre les dégâts d'hylobe. L'autre projet structurant de ce métaprojet était Luthyl : Mise au point et test de méthodes opérationnelles de lutte contre l'hylobe dans les jeunes plantations résineuses (financement France Bois Forêt).

Ce projet était complémentaire de ProteHyl, abordant pour sa part les méthodes culturelles ou les combinaisons de méthodes permettant de réduire les dégâts dans les plantations à un niveau acceptable pour la gestion. Son second objectif était d'identifier les conditions les plus favorables au développement de l'hylobe (zones géographiques, caractéristiques stationnelles, interventions sylvicoles, historique de gestion ...).

Les autres projets consistaient en une déclinaison régionale de quelques axes de travail. L'étude des méthodes culturelles a pu être approfondie en région Bourgogne Franche Comté et en Nouvelle Aquitaine grâce à deux projets financés sur fonds régionaux, portés par notre partenaire FCBA et GCF. Le projet RegioWood II a permis l'installation d'une expérimentation supplémentaire du projet ProteHyl en Belgique et a apporté des fonds complémentaires pour l'installation et le suivi du site Lorrain.

1. Expérimenter sans maîtriser les inoculum

Le ravageur qui nous intéresse présentement n'est pas manipulable, il n'y a pas de laboratoire en capacité de faire des élevages et l'introduction d'un ravageur dans un milieu naturel, même à des fins expérimentales, requerrait des procédures rigoureuses non établies à ce jour.

Ainsi, le test in situ de méthodes de prévention et lutte repose sur les populations présentes dans l'environnement. Par ailleurs, il n'existe pas d'observatoire ou d'infrastructure recensant les populations d'hylobes de manière systématique en France. Nous nous sommes appuyés sur l'expertise du département santé des forêts pour identifier des variables et critères a priori déterminants pour la présence et l'abondance des populations (stratégies de gestion, ressource résineuse, signalement des attaques les années passées, surfaces résineuses exploitées en coupe rase). Après arbitrage sur les variables clé et renseignement de la base de données, une analyse multicritère a permis de classer les secteurs forestiers (sylvo-éco-régions définies par l'IGN) selon leur propension à héberger ou non des populations d'hylobes (Figure 3).

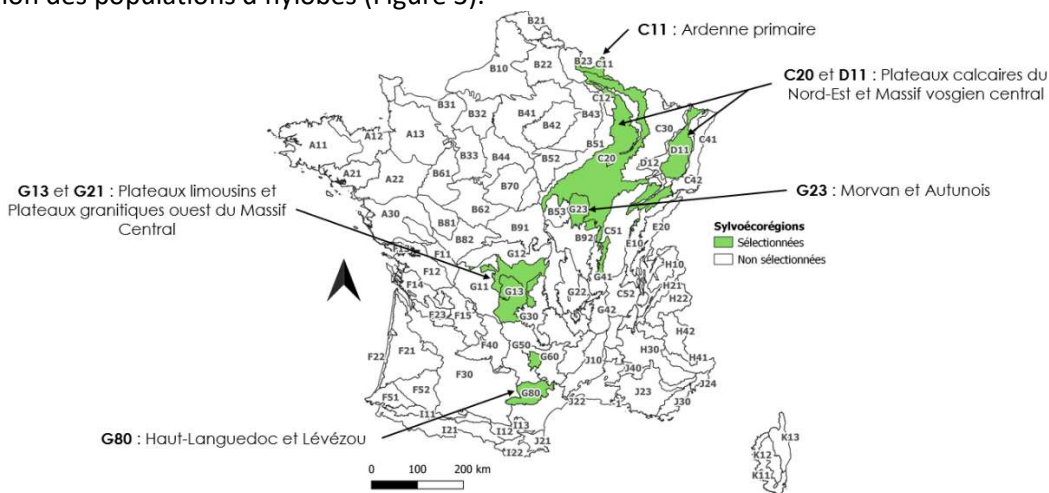


Figure 3 : Carte des Sylvo-éco-régions sélectionnées par méthode multicritère comme propices aux expérimentations sur l'Hylobe

2. Conception d'une méthode d'estimation des populations d'hylobes

L'objectif du volet monitoring des populations d'hylobe était de mettre au point une technique de piégeage standard de l'hylobe, qui soit efficace et simple à mettre en place afin d'être « déployable » dans les zones à risque. Le but étant d'obtenir des informations précises sur les comportements des populations d'hylobes et de pouvoir déployer un système d'alerte dans ces zones.

La mise au point d'une méthode de piégeage standardisée a été réalisée en deux temps : (i) optimiser le matériel de piégeage puis (ii) évaluer l'efficacité de la méthode.

L'une des principales difficultés rencontrées dans cette tâche a été de conduire l'ensemble des expérimentations in situ sans pouvoir maîtriser les populations d'Hylobes ; il nous a donc fallu installer les expérimentations sur plusieurs sites pour assurer la présence des Hylobes. Pour les expérimentations ex-situ, les méthodologies ont reposé sur une récolte des Hylobes puis un transport en laboratoire : la récolte était rendue difficile par la répartition aléatoire des Hylobes dans les peuplements, qui a nécessité la mobilisation de nombreux sites pour récupérer une quantité d'insectes suffisante. En outre, le transport des insectes a nécessité la mise en place d'une logistique adaptée.

3. Expérimentation de méthodes basées sur l'utilisation des propriétés des Bouleaux

a. Les modalités expérimentales

L'objectif du travail étant d'évaluer l'effet de l'introduction de bouleaux dans les plantations de Douglas sur l'intensité des dégâts d'Hylobes, nous avons défini 3 stratégies de plantation distinctes : le Douglas pur (témoin), le mélange pied à pied (un bouleau planté dans un rayon de 50cm autour du Douglas ; avec deux essences de bouleau testées : le bouleau verruqueux commun *Betula pendula* et le Bouleau jaune nord-américain, *Betula alleghaniensis*, identifié comme un super émetteur de MeSa) pour un effet de proximité et le mélange en bandes (alternance entre une ligne de bouleaux verruqueux et une ligne de Douglas) pour un effet de peuplement. Nous avons également installé une modalité avec traitement insecticide afin de positionner l'effet des stratégies alternatives par rapport au traitement référence. L'apport de la substance active (MeSa) est aussi testé sous deux formes : un matériau naturel (broyat de bouleau en paillage) et un diffuseur de la molécule synthétisée. Enfin, la mise à nu du sol ayant été identifiée comme une stratégie technique permettant de limiter les dégâts d'hylobes, nous avons testé sa combinaison avec la plantation d'un mélange pied à pied. Ce sont en tout 9 modalités expérimentales qui ont été testées.

		
Témoins	Plantations mélangées	Modalités techniques
1. Aucun traitement 2. Traité au forester	3. Bouleau verruqueux pied à pied 4. Bouleau verruqueux en bandes 5. Bouleaux jaunes pied à pied 6. Bouleau verruqueux pied à pied avec potet	7. Paillage avec broyat de bouleau 8. Diffuseur de MeSa 9. Plantation en potet (sol nu au pied du plant)

b. Le schéma expérimental

Ces 9 modalités ont été mises en œuvre sur 5 sites répartis en France. Deux sites en forêt publique (Forêt domaniale de Laigue, département de l'Oise, et Forêt communale de Romagne sous Montfaucon, département de la Meuse) et trois sites en forêt privée (Forêt de Prenet, Morvan ; Forêt de Peyre-Plantade, Tarn ; Forêt de Bonneval, Corrèze). S'ajoute à ce réseau un site en Belgique dans un secteur à forte dominante de peuplements résineux où le risque d'attaque d'hylobe était identifié comme fort par les experts locaux.

Sur chaque site, chaque modalité a été répétée 3 fois, selon un schéma en 3 blocs (3 groupes des 9 modalités réparties aléatoirement au sein de chaque bloc) soit un total de 27 unités expérimentales installées par site. La surface de chaque unité expérimentale était de 0.25ha, permettant d'avoir suffisamment de matériel végétal à mesurer tout en conservant une zone tampon entre chaque modalité.

c. Le suivi sur 2 saisons de végétation

Après chaque émergence des Hylobes, et donc les attaques aux plants, nous avons réalisé des relevés de dégâts. Sur chaque unité expérimentale, nous avons noté la présence et importance des morsures sur les 60 plants centraux. Les mesures ont été réalisées en juin 2022, juin 2023 et octobre 2023, au-delà, les plants ne sont plus sensibles aux dégâts d'hylobes.

A l'automne 2022, nous n'avons pas reconduit de mesures, les aléas survenus sur les sites expérimentaux nous ont obligés à des ajustements sur les modalités suivies.

ProteHyl : Utilisation de répulsifs d'origine naturelle pour protéger les plantations forestières résineuses contre les dégâts d'Hylobe

En outre, le printemps 2022 ayant connu une sécheresse très marquée couplée à des attaques parfois massives d'Hylobes, certaines plantations ont eu des taux de survie trop faibles pour que le suivi expérimental puisse se poursuivre.

Ainsi, en 2023, nous avons :

- Abandonné la modalité paillage par broyat de bouleau
- Substitué la diffusion de MeSa de synthèse seul par le test d'une stratégie de lutte couplant répulsifs et piégeage avec attractifs.
- Arrêté le suivi du site de Peyre Plantade, affecté par la sécheresse et une attaque intense d'hylobe au printemps 2022.
- Restreint le suivi du site de l'Oise à un seul bloc sur les trois, et celui de Corrèze à deux blocs ; les taux de survie étant trop faibles pour disposer d'un échantillon représentatif.

4. Evaluation du risque lié à l'Hylobe en France

La problématique liée aux dégâts d'hylobes étant assez récente, peu de données sont disponibles pour étudier la répartition de ces dégâts et tenter d'identifier les déterminants de cette répartition. La principale source de données sur la présence de dégâts d'hylobe est la base de données plantation du Département Santé des Forêts (DSF). Chaque correspondant observateur réalise une notation de 5 plantations de l'année et relève notamment le taux de reprise et les dégâts d'origine biotique observés sur 100 plants. Ces notations sont faites au printemps et à l'automne. Les données sont disponibles depuis 2007, pour un total de 8087 plantations. Ces données, suivies sur le long terme et bien réparties spatialement, peuvent être croisées avec d'autres sources de données externes afin d'analyser les déterminants des taux de reprise et des causes associées.

Afin de mieux évaluer l'enjeu associé aux ravages d'Hylobes sur les plantations de résineux en France, nous avons évalué la prévalence des dégâts d'hylobes dans les forêts Françaises. Sur la saison de plantation 2022-2023, nous avons analysé les constats de reprises réalisés par les gestionnaires à la fin de la saison de végétation qui suit les plantations de l'année. Le taux de reprise est systématiquement noté, et en fonction des habitudes de chaque organisme, certains dégâts ou causes de mortalité biotiques facilement identifiables sont recensées. C'est notamment le cas des dégâts d'hylobes. En forêt privée nous avons ainsi récupéré les informations de 715 plantations. Une enquête conduite auprès des gestionnaires de forêts publiques ont permis de remonter les informations pour 111 plantations.

5. Veille sur les ravageurs et méthodes de lutte et prévention

En 2023, nous avons organisé un premier colloque sur les ravageurs forestiers (Bordeaux, du 29 au 31 août). Sous l'égide de l'IUFRO, des chercheurs du monde entier sont venus faire part de leurs travaux sur les insectes ravageurs forestiers. Les interactions entre d'une part la crise des scolytes, les récoltes anticipées et massives des arbres résineux touchés et d'autre part les conséquences en termes de risques pour les plantations en reconstitution ont été le fil conducteur des présentations et échanges. Sur le cas précis des dégâts d'Hylobes, ce colloque a vu la présentation des travaux de ce projet et une seule autre présentation de la part de collègues tchèques menant des investigations proches des nôtres.

De ces échanges et d'un travail de veille bibliographique est ressorti l'enjeu de créer une occasion de partager plus spécifiquement dédiée au cas de l'Hylobe, entre organismes européens. Nous avons ainsi organisé un atelier de travail dédié à l'hylobe, afin de dresser un panorama des méthodes de surveillance, prévention et lutte. Les 29 et 30 octobre 2024, 26 chercheurs, gestionnaires et opérateurs venus de toute l'Europe se sont réunis à l'université de Prague pour partager sur les résultats déjà obtenus, les solutions à l'étude, les perspectives de travail à court, moyen et long terme. L'atelier de travail a abouti à la mise en chantier de deux publications, l'une de synthèse et l'autre de perspectives quant à une analyse du risque hylobe.

Résultats obtenus

- Une méthode de référence pour l'estimation des populations d'Hylobes

Les travaux de la tâche sur le monitoring des populations d'hylobes grâce à des pièges attractifs a abouti à une méthode de piégeage de l'hylobe standardisée. Les travaux menés ont révélé que les pièges de type « Pitfall » équipés de diffuseurs d' α -pinène en mélange racémique et éthanol comme attractifs sont la combinaison la plus performante dans la capture d'hylobes. Dans un second temps, une autre expérimentation a montré que le rayon d'action est de 10 m. Une troisième étude a montré que les attractifs sont efficaces jusqu'à 3 semaines. Enfin, la dernière étape du travail expérimental a établi que ces pièges capturent environ 25% des hylobes passant dans le rayon d'action. Ultimement, nous avons pu montrer que les dégâts constatés dans les plantations étaient bien corrélés avec les populations capturées dans les pièges (Figure 4).

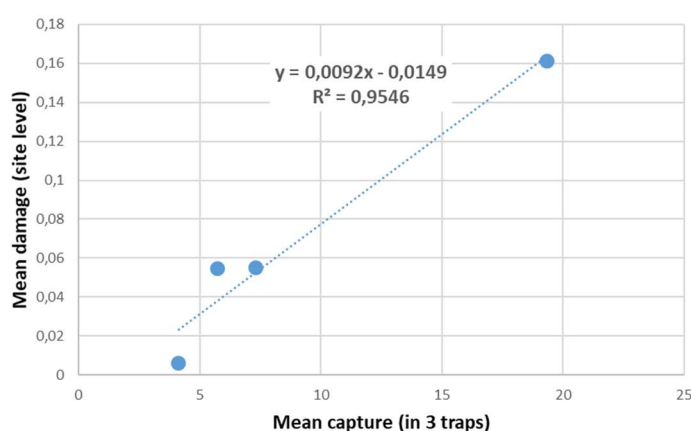


Figure 4 : moyenne des captures d'hylobes en fonction des indices d'intensité d'attaque mesurés à l'été 2023, avec 3 pièges/site

- Stratégies de prévention des dégâts

Les expérimentations menées sur 6 sites ont tout d'abord révélé qu'en cas de très forte attaque, aucune des stratégies testées ne permettait de réduire significativement les dégâts. Ces très fortes attaques, constatées au printemps 2022 sur l'ensemble du site du Tarn, deux blocs du site de l'Oise et un bloc du site de Corrèze, ont eu pour conséquence des taux de mortalité très élevés dans les unités expérimentales, et nous ont obligés à abandonner leur suivi. Il est notable que dans ces cas, les traitements à base d'insecticide ont été inopérants pour limiter les dégâts d'hylobes.

Dans l'ensemble, les expérimentations n'ont pas révélé de différences significatives de dégâts entre les différentes modalités testées. En d'autres termes, aucun traitement expérimenté n'a permis de réduire significativement les dégâts par rapport au témoin. Néanmoins, la modalité avec traitement insecticide est en moyenne celle qui présente le taux de dégâts le plus faible, bien que cette différence ne soit pas significative avec le témoin.

Les dégâts sur les modalités avec apport de MeSa sous forme de la molécule synthétisée diffusée, ou sous forme de broyat de bouleau sont celles aux plus forts taux de dégâts au printemps 2022. Vu les difficultés logistiques d'approvisionnement en broyat de bouleau (produit non commercialisé, la production avait été faite à la demande par des équipes locales) et les questionnements sur le sens et la faisabilité des opérations de paillage avec du matériau exogène en forêt, nous avons choisi d'abandonner cette modalité qui n'a pas révélé de plus-value contre les dégâts d'hylobe. L'utilisation des

ProteHyl : Utilisation de répulsifs d'origine naturelle pour protéger les plantations forestières résineuses contre les dégâts d'Hylobe

diffuseurs n'a pas non plus montré de plus-value à l'issue du printemps 2022, toutefois, les informations sur la concentration du produit dans le diffuseur ainsi que ses modalités d'application étaient peu détaillées. Forts des résultats sur l'utilisation des pièges, nous avons choisi de combiner l'approche répulsif (par diffusion de MeSa) et l'approche attraction-destruction avec les pièges, mettant ainsi en œuvre une double stratégie de push-pull et catch-kill, connue en agronomie mais jamais testée en contexte forestier. Suivie en 2023, cette méthode n'a pas non plus montré de plus-value, les dégâts restaient en moyenne plus élevés (mais non significativement) que sur le témoin.

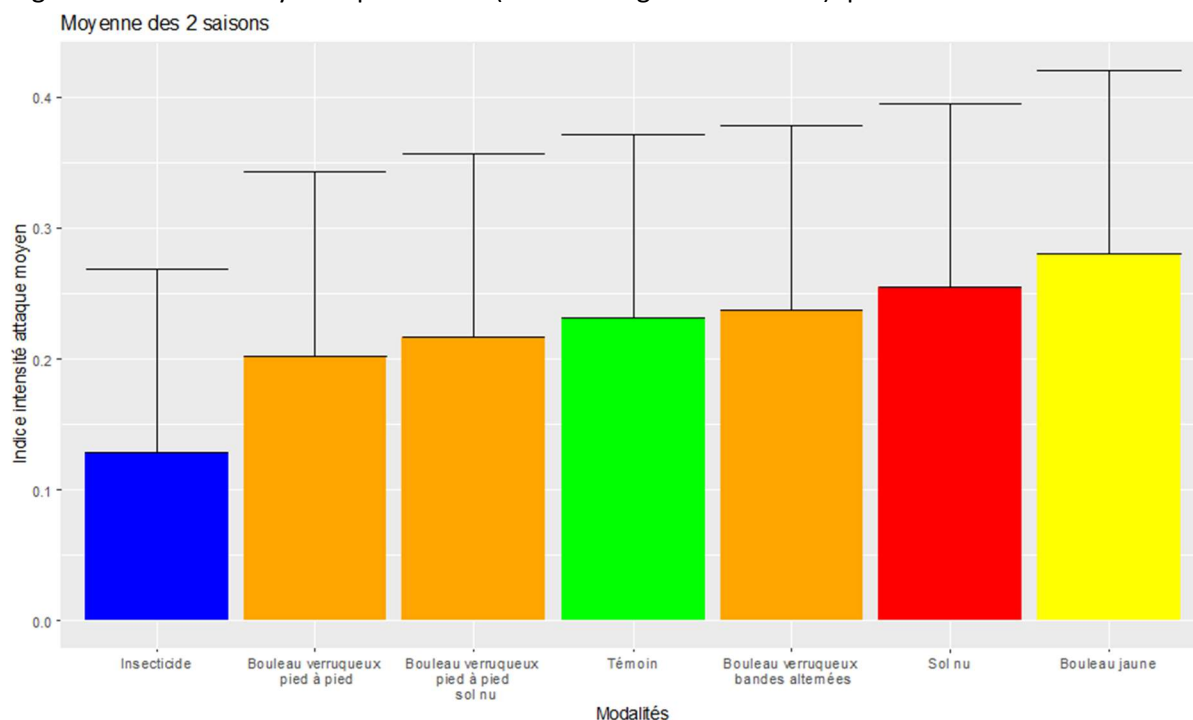


Figure 5 : Indice d'intensité d'attaque moyen observé dans les différentes modalités expérimentées, suivies sur les 3 saisons d'attaques.

Les dégâts d'hylobes constatés dans les modalités de plantations mélangées sont en moyenne semblables à ceux du témoin, et se classent entre la modalité témoin et la modalité insecticide.

Le mélange à bouleau jaune (américain) n'a pas de plus-value par rapport au témoin ou par rapport à son équivalent en bouleau verruqueux (indigène).

A l'échelle du peuplement, l'agencement du mélange (pied à pied ou par bande) ou la mise à nu du sol autour des plants sont sans effet visible sur les dégâts d'Hylobes aux plants de Douglas (Figure 5). A l'échelle individuelle, les plants de Douglas ayant un bouleau vivant dans leur proximité présentent, en moyenne, des dégâts moins élevés que les plants de Douglas dont le bouleau de proximité est mort (Figure 6).

- Evaluation de risque

Les analyses des taux de survie et de dégâts aux plantations résineuses de la saison automne 2022 - printemps 2023, identifiées comme vulnérables ont révélé que :

- Les plantations de Douglas sont les plus touchées par les dégâts d'hylobes avec 15% des plantations avec signalement de dégâts ; contre 4% des plantations de Mélèze et 1% des plantations de Pin maritime.
- Les taux de dégâts sont faibles et jamais identifiés comme un facteur d'échec à la réussite de la plantation.
- Les résultats sont semblables entre forêt publique et forêt privée.

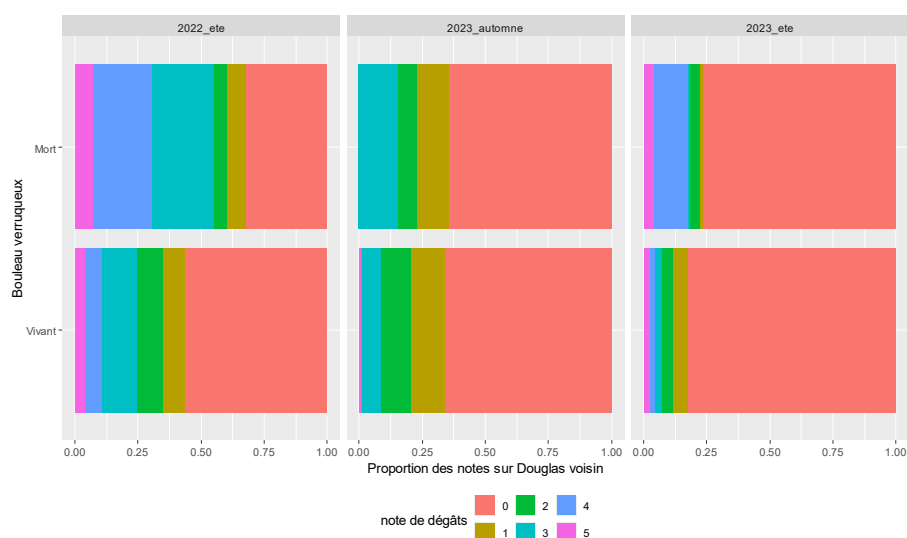


Figure 6 : Distribution des indices d'attaque constatés sur les Douglas, selon l'état de survie du bouleau planté à proximité.

Les analyses des données du DSF montrent que :

- 7% des plantations de Douglas présentaient de la mortalité liée aux Hylobes en 2023, en baisse constante depuis le début des mesures.
- La grande région écologique du Massif Central est la plus touchée par les dégâts d'hylobes (24% des plantations présentaient des mortalités causées par les Hylobes).
- Les attaques d'hylobes constatées sont sans corrélation avec l'intensité des attaques de scolytes affectant le peuplement antécédant.
- L'analyse d'ensemble des facteurs de dégâts d'hylobes ne montre pas de variation entre essences plantées contrairement aux données de gestion, la variable la plus discriminante est la répartition géographique, suivie de paramètres climatiques (température notamment).

- Collaboration internationale

Le premier événement organisé (août 2023) avait vu un grand nombre de présentations consacrées aux insectes ravageurs des arbres adultes, et finalement seule une présentation venait en écho à nos travaux sur l'Hylobe. Les travaux menés par les collègues tchèques s'attachaient, comme les nôtres, à étudier l'effet de la présence de bouleaux sur les dégâts causés par les hylobes aux plants résineux, mais dans un contexte où le bouleau était présent spontanément (issu de semis naturel).

Parallèlement, la veille bibliographique et les échanges initiés à travers les autres actions du méta-projet Hylobe ont mis à jour des innovations, à des degrés d'avancement divers, quant aux méthodes de prévention et lutte contre les dégâts d'Hylobe en Europe. L'opportunité d'un atelier de travail, ciblé sur les méthodes de suivi des populations, prévention et lutte contre les dégâts d'Hylobes est apparue. En collaboration étroite avec l'université de Prague, nous avons donc réuni (octobre 2024) ces différents acteurs afin de mettre en commun les connaissances et projets en cours sur trois thèmes : (i) Suivi des populations et évaluation des dégâts des hylobes, (ii) Méthodes de protection mécaniques et biologiques et (iii) interactions plantes-hylobes. De cet atelier sont ressorties deux projets de publications scientifiques et des pistes de projets de recherche européens.

Implications pratiques, recommandations, réalisations pratiques, valorisation

Implications pratiques :

La méthodologie développée et mise en œuvre pour déterminer les zones propices à l'expérimentation in situ constitue, à notre connaissance, une première au moins dans le domaine des ravageurs forestiers. Elle est appelée à être diffusée et reprise pour de futurs travaux faisant face aux mêmes contraintes techniques (non maîtrise des inoculum).

La méthode de piégeage mise au point est opérationnelle pour un suivi de terrain et peu coûteuse (moins de 40 euros par piège), à condition qu'il soit possible de relever le contenu des pièges toutes les deux à trois semaines. Il s'agit donc d'une première étape décisive en vue de l'élaboration d'une stratégie de veille et suivi du ravageur dans les territoires. En revanche, elle n'apparaît pas efficace pour du piégeage de masse en tant que méthode de lutte contre le ravageur.

Les principaux enseignements opérationnels des expérimentations in situ sont en fait des exclusions d'options inopérantes. L'apport de broyat de bouleau (matériau naturellement riche en MeSa) étant sans effet sur les dégâts d'hylobes, son usage n'est bien entendu pas recommandé d'autant que le produit n'a pas de filière de production. Le bouleau jaune d'origine américaine n'a pas non plus d'effet protecteur particulièrement marqué ; il n'est donc pas opportun de recommander l'utilisation de cette essence exotique (non règlementée comme matériel forestier de reproduction et donc non utilisable en gestion courante) par rapport au bouleau verruqueux indigène. L'emploi des diffuseurs de MeSa de synthèse, seuls ou combinés aux pièges n'est pas non plus recommandé au vu des résultats des tests ; il n'est donc pas nécessaire d'engager une filière de production pour ce produit, actuellement non distribué en France.

Le phénomène de résistance par association entre bouleau et Douglas donne des signaux faibles dans les expérimentations. A ce stade il n'est pas possible de conclure que le bouleau confère une protection efficace contre les dégâts d'Hylobe dans les plantations résineuses. La plantation mélangée n'apparaît donc pas, en l'état des connaissances, être une option technique alternative à l'usage des insecticides en curatif.

Recommandations

- Organiser un système de surveillance des dégâts d'hylobes afin de mieux appréhender les niveaux de l'aléa aux échelles régionales et locales, et contribuer à un système d'alerte permettant de gagner en efficacité dans l'usage des solutions curatives.
- Poursuivre les investigations quant au rôle du bouleau dans la résistance par association : si la plantation couplée bouleau-douglas dans notre cas n'a pas montré d'effet significatif, les publications et les travaux conduits par les autres équipes européennes laissent entrevoir des pistes sur la stratégie de résistance par association. Une trajectoire à étudier est la combinaison de méthodes (culturelles + résistance par association).
- Engager une réflexion globale sur le risque hylobe avec deux volets : (i) la réduction de ce risque en combinant des actions sur la vulnérabilité des plantations (résistance du système), connaissance des populations (abondance, fréquence, dynamique) et enjeu (estimation des valeurs menacées) et (ii) une évaluation d'opportunité des actions de lutte et stratégies de prévention au vu du niveau de risque.

Limites ou généralisations éventuelles des résultats :

- La méthode de piégeage mise au point peut être utilisée à des fins de surveillance de l'insecte, pour déterminer plus précisément ses périodes de recherche de nourriture et donc les périodes à risques pour les plantations. Ils ont d'ailleurs servi à une expérimentation de grande ampleur, dans 17 SER pour nous aider à mieux comprendre la phénologie de l'hylobe.

ProteHyl : Utilisation de répulsifs d'origine naturelle pour protéger les plantations forestières résineuses contre les dégâts d'Hylobe

- Les bases de données disponibles pour l'analyse des déterminants des dégâts d'hylobes (issues des informations de gestion ou du DSF) ont permis une première approche mais qui nécessiterait d'être reconduite avec un plus grand nombre d'observation. En l'état, leur couverture temporelle (BDD métier uniquement sur la saison 2022-2023) ou densité spatiale (BDD DSF repose sur des enquêtes annuelles à raison de 5 plantations par département, toutes essences plantées confondues) sont limitantes pour les analyses approfondies.
- Les résultats des expérimentations reposent sur 3 sites (sur les 6 initialement installés), dont deux avec des abondances de population assez faibles. Ces travaux ont permis d'éliminer des modalités non pertinentes sur le plan opérationnel ; la résistance par association requiert de plus amples investigations, notamment un déploiement dans une plus grande diversité de situations, pour évaluer son rôle dans la réduction des risques *in situ*.

Réalisations pratiques et valorisation :

Des plantations mélangées douglas bouleau ont été installées ponctuellement, dans plusieurs secteurs géographiques (Massif Central, Grand Est) lors de la saison de plantation 2023-2024, mais aucune présence d'Hylobe n'a été signalée sur les secteurs en 2024. Ces dispositifs n'ont pas apporté d'information quant à la résistance par association, mais ils témoignent d'un début de déploiement de ces stratégies à travers des démarches de recherche-action.

Dans les faits, les expérimentations menées *in situ* ont abouti à la plantation de 10200 Douglas, 3000 bouleaux verruqueux et 1200 bouleaux jaunes pour chaque site, soit un total de 86400 plants ; l'emprise totale des expérimentations était de plus de 40ha.

Ce projet a également permis de réunir des chercheurs sur les ravageurs forestiers par deux fois ; ces rencontres ont permis de partager l'état des connaissances, des travaux conduits et surtout de confronter les situations dans les différents pays et la variabilité dans la gestion des risques. Un article de synthèse de ces échanges a d'ores et déjà été publié dans une revue technique à destination des gestionnaires forestiers publics.

Les investigations sur la répartition des dégâts d'hylobe, à travers les données de gestion, a mis en lumière l'intérêt de l'acquisition de ce type d'information à des fins de signalement et de monitoring des dégâts. Une guide de reconnaissance des dégâts d'Hylobes a été déployé afin de faciliter la conduite des observations par les gestionnaires forestiers, contribuant ainsi à la montée en compétences sur l'identification des pressions biotiques subies par les plantations.

Partenariats mis en place, projetés, envisagés

Dans la filière des acteurs du reboisement, ce projet a mobilisé les compétences et engagé les gestionnaires forestiers privés et publics sur l'ensemble des tâches. Depuis la mise au point de la méthode de sélection des zones propices aux expérimentations jusqu'à la mise en œuvre et au suivi des expérimentations *in situ*, leur implication a été constante. Ils ont ainsi été acteurs de la démarche de recherche de solutions, associés aux orientations stratégiques, à l'interprétation des résultats et même dans la valorisation. Au sein de la forêt publique, les agences territoriales de l'ONF ont été associées dans la mise en œuvre des chantiers expérimentaux ; le site de la Meuse étant situé en forêt communale, nous avons associé étroitement la commune avec des échanges réguliers sur le déploiement du projet et ses résultats. En forêt privée, la mise en place des expérimentations s'est faite avec l'accord tacite des propriétaires. Ces partenariats sont poursuivis dans le cadre de projets sur d'autres thématiques, toujours en lien avec les enjeux de renouvellement des peuplements forestiers.

A l'international, notre projet a permis de structurer une communauté de travail autour des enjeux de surveillance, lutte et prévention des dégâts d'Hylobe. Ce collectif rassemble des équipes ayant capitalisé des connaissances et réalisant des travaux sur les stratégies de protection physique des plants, les pratiques sylvicoles visant à réduire les dégâts, les stratégies de piégeage de masse, la mise au point d'insecticides, les méthodes de contrôle biologique (champignons entomopathogènes, nématodes), la résistance génétique, l'induction de défenses et la résistance par association. Lors

ProteHyl : Utilisation de répulsifs d'origine naturelle pour protéger les plantations forestières résineuses contre les dégâts d'Hylobe

d'une première réunion physique à Prague en octobre 2024, ce collectif s'est donné pour ambition de rédiger deux articles de synthèse à destination de journaux scientifiques. Le premier article rassemblera les connaissances actuelles des méthodes de contrôle (curatif et préventif) des Hylobes en Europe et dressera les perspectives de recherche. Le second article s'attachera à proposer des éléments permettant de raisonner une analyse du risque lié aux Hylobes pour les plantations forestières dans la perspective des changements climatiques, en analysant les facteurs agissant sur les aléas, la vulnérabilité et l'exposition.

Plus spécifiquement, nous collaborons actuellement avec une équipe tchèque afin de publier conjointement les résultats des expérimentations du projet ProteHyl et ceux de leurs expérimentations, tous deux ayant en commun le test, in situ, des effets de résistance par association lié à la présence de bouleaux.

Pour en savoir plus (quelques références)

Deux sites en ligne :

Sur onf.fr un site dédié au projet ProteHyl : <https://www.onf.fr/vivre-la-foret/+995::protehyl-vers-une-solution-ecologique-de-lutte-contre-lhylobe.html>

Sur le site du pôle RenFor de l'INRAe, une page dédiée au méta-projet Hylobe : <https://renfor.hub.inrae.fr/projets/meta-projet-hylobe>

Liste des opérations de valorisations issues du contrat (articles de valorisation, participation à des colloques, enseignement et formation, communication, expertises...)

PUBLICATIONS SCIENTIFIQUES Publications scientifiques parues Publications scientifiques à paraître Publications scientifiques prévues	Aucune Aucune 1. Associational resistance with Birch to prevent large pine weevil damages to Douglas fir plantation : insights from in situ experiments in Europe. Cible : Forest Ecology and Management / Annals of forest science. Soumission : été 2025. 2. A standardized trapping method to monitor pine weevil populations. Cible à définir. Soumission : été 2025. 3. Current knowledge of methods for controlling the large pine weevil (<i>Hylobius abietis</i>) in Europe and recherche prospects. Cible : Current Forestry Report. Soumission : printemps 2025. 4. A risk analysis on <i>Hylobius abietis</i> for European forest in the context of climate change. Cible : à définir. Soumission : fin 2025.
COLLOQUES Participations passées à des colloques	Bakouri K. et al. Alternative control methods of large pine weevil damage. IUFRO Conference "Global challenges and innovative management of bark and wood borers in planted and natural forests". 28/08/2023, Bordeaux Jactel H. et al. Monitoring of the large pine weevil (<i>Hylobius abietis</i> L.) with attractive traps. IUFRO Conference "Global challenges and innovative management of bark and wood borers in planted and natural forests". 28/08/2023, Bordeaux Bakouri et al. Recherche de méthodes de lutte contre les dégâts d'hylobe dans les plantations de douglas et méthode de monitoring des populations d'hylobe. Usages orphelins en forêt, 23/11/2023 Bakouri et al. Méthodes alternatives de contrôle des dégâts causés par l'hylobe.

	Colloque annuel du Groupement des Entomologistes Forestiers Français. 3/10/23. Van Halder I. et al. Mise au point du piégeage de l'hylobe (<i>Hylobius abietis</i> L.). Colloque annuel du Groupement des Entomologistes Forestiers Français. 3/10/23. Boulanger V. et al. ProteHyl : Vers une solution de lutte écologique contre les dégâts d'Hylobe. Rencontres Xylodating 6 octobre 2023, Clermont-Ferrand. Jactel H. et al. Development of attractive traps for monitoring <i>Hylobius abietis</i>. Hylobious workshop, 29/10/2024, Prague Boulanger et al. Use of birch (<i>Betula</i> sp.) as a repellent to protect softwood plantations from <i>Hylobius</i> damage. Hylobious workshop, 29/10/2024, Prague
Participations futures à des colloques	
THÈSES	
Thèses passées	Aucune
Thèses en cours	Aucune
ARTICLES DE VALORISATION/ VULGARISATION	
Articles de valorisation parus	Boulanger, V., 2024. Dégâts d'hylobes aux plantations résineuses : quelles alternatives aux insecticides dont l'usage est désormais proscriit en forêt publique ? Rendez-vous techniques de l'ONF, n°80, p.41–44.
Articles de valorisation à paraître	Aucun
Articles de valorisation prévus	Expérimenter in situ les plantations mélangées comme stratégie de résistance par association contre les ravageurs. Cible : Revue Forestière Française. Echéance : fin 2025. Synthèse sur les déterminants météorologiques et sylvicoles de l'intensité des dégâts d'hylobes, conséquences pour les stratégies de gestion du risque. Cible : Rendez-vous techniques de l'ONF. Echéance : fin 2025.
AUTRES ACTIONS VERS LES MÉDIAS	
Actions vers les médias (interviews...) effectuées	15/06/2021 : Communiqué de Presse lancé par Xylofutur. « Lancement du projet PROTEHYL : vers des solutions fondées sur la nature pour protéger les plantations de douglas contre l'hylobe ! »

Actions vers les médias prévues	28/06/2021 : « Forêt de pins: pour lutter contre un ravageur du Douglas, le bouleau est-il une alternative aux insecticides ? » Sud Ouest Sept. 2021 : « le bouleau est-il le meilleur ennemi de l'hylobe ». Forêts de France Videos de restitution du projet ProteHyl : en ligne sur la chaine YouTube de l'ONF (https://youtu.be/26lyMSuvLh8) Aucune à ce jour.
ENSEIGNEMENT/ FORMATION	
Enseignements/formations dispensés	
Enseignements/formations prévus	
EXPERTISES	
Expertises menées	Aucune
Expertises en cours	Aucune
Expertises prévues	Aucune
MÉTHODOLOGIES (GUIDES...)	
Méthodologies produites	Guide d'identification des dégâts d'Hylobes aux plantations résineuses
Méthodologies en cours d'élaboration	Méthode d'estimation des populations d'Hylobes par piégeage.
Méthodologies prévues	
AUTRES	
Précisez...	