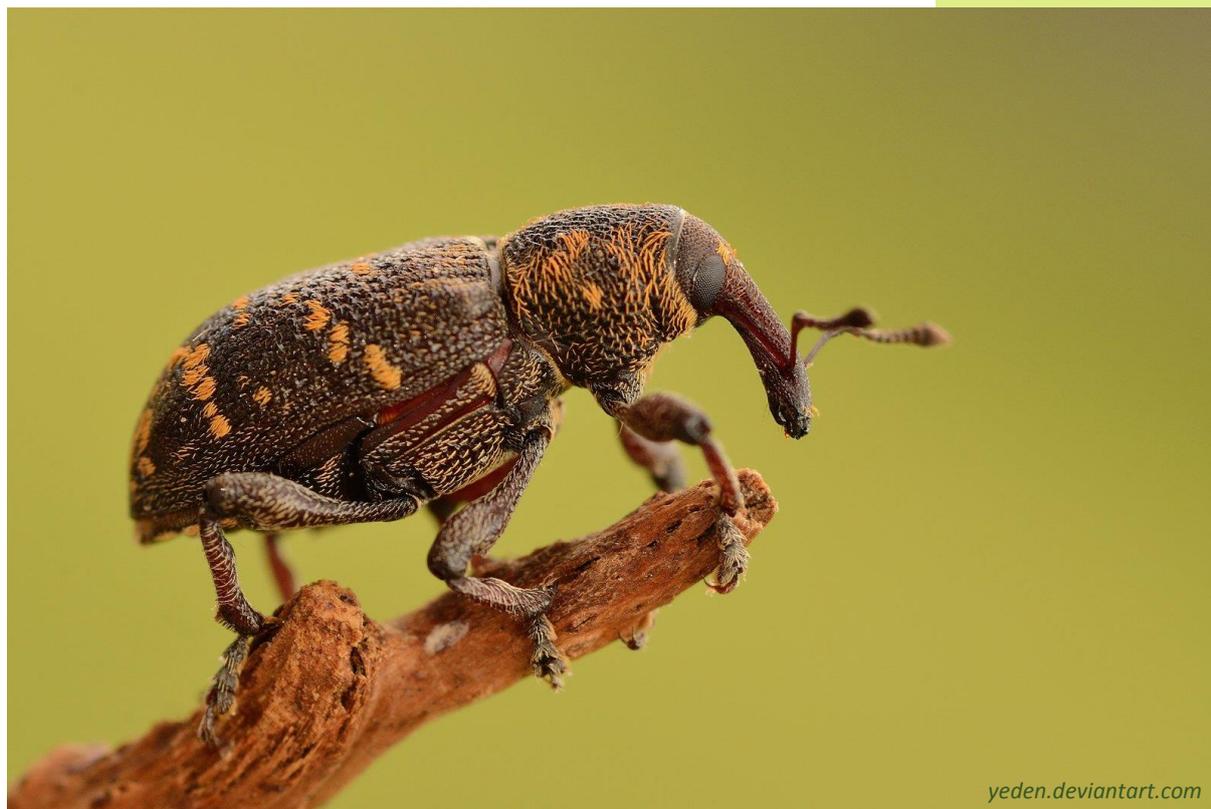


Etude bibliographique

L'Hylobe et les moyens de lutte contre cette menace pour la forêt

Des solutions alternatives à la lutte chimique ?



par Nicolas HÉLARY

Sommaire

SOMMAIRE	2
INTRODUCTION :	1
I. L'HYLOBE ET LA FORET	2
I.1. DESCRIPTION ET CYCLE DE VIE DE L'HYLOBE	2
I.2. L'IMPACT DE L'HYLOBE SUR LA FORET	3
I.3. UN RAVAGEUR A NE PAS NEGLIGER FACE AU CHANGEMENT CLIMATIQUE	3
II. LES MOYENS DE LUTTE CHIMIQUE.....	4
II.1. LA METHODE PRATIQUEE ET LES PRODUITS UTILISES.....	4
II.2. TOXICITE DE CES PRODUITS ET REGLEMENTATION EN LEUR DEFAVEUR.....	5
III. DES MOYENS DE LUTTE ALTERNATIFS.....	5
III.1. PRATIQUES SYLVICOLES INTERESSANTES ET ADAPTEES	5
<i>III.1.a. L'espacement entre la coupe rase et la replantation</i>	<i>5</i>
<i>III.1.b. Une pratique plus importante du dessouchage</i>	<i>5</i>
<i>III.1.c. La régénération naturelle ou le semis direct</i>	<i>6</i>
<i>III.1.c. Des périodes de plantations à privilégier ?.....</i>	<i>6</i>
<i>III.1.e. Préparation du sol en monticules de sol minéral.....</i>	<i>6</i>
III.2. PROTECTION PHYSIQUE	7
<i>III.2.a. Protection à la peinture au latex</i>	<i>7</i>
<i>III.2.b. Solution Ekovax®: Protection à la cire</i>	<i>7</i>
<i>III.2.c. Solution Hylonox® et Conniflex® : Protection à la craie ou au sable.....</i>	<i>8</i>
III.3. PRODUITS DE TRAITEMENT PREVENTIFS BIOLOGIQUES.....	8
<i>III.3.a. Composés répulsifs extraits du Rhododendron tomentosum.....</i>	<i>8</i>
<i>III.3.b. Composés répulsifs extraits du Tilia cordata</i>	<i>9</i>
<i>III.3.c. Répulsif naturellement produit par les hylobes femelles elles-mêmes.....</i>	<i>9</i>
III.4. LUTTE BIOLOGIQUE.....	9
III.5. LA RECHERCHE FONDAMENTALE ET APPLIQUEE POUR MIEUX COMPRENDRE L'HYLOBE	10
CONCLUSION.....	10
BIBLIOGRAPHIE	11
SITOGRAPHIE	12

INTRODUCTION :

L'Hylobe, *Hylobius abietis* (Linné, 1758), est un charançon appartenant à l'ordre des coléoptères. Il s'agit du plus grand ravageur des jeunes peuplements de résineux en France (*Département de la santé des forêts - 2012*). Il effectue en effet des morsures sur l'écorce des jeunes tiges engendrant la mort du plant (*Figure 1*). Les attaques les plus importantes peuvent se traduire par une destruction de l'ensemble d'une plantation en quelques jours seulement. Pourtant, les plantations sont indispensables au renouvellement des peuplements après une coupe rase. C'est donc une menace importante pour le renouvellement des peuplements dans les régions les plus concernées, peuplements d'autre part menacés par le gibier et d'autres ravageurs. De plus, l'hylobe est présent sur l'ensemble de la France exceptée la Corse, même si certaines zones sont plus touchées que d'autres (*Figure 2*).



Figure 1- Hylobe adulte sur une jeune tige de Douglas avec morsures (Saintonge F. (DSF/D GAL))

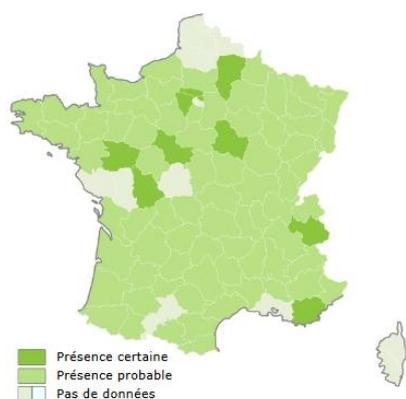


Figure 2- Carte de répartition de l'hylobe en France (données de l'INPN-Inventaire National du Patrimoine Naturel) (2013)

Il existe des solutions chimiques utilisées depuis plusieurs années pour lutter contre l'hylobe. Cependant, ce moyen de lutte menace l'environnement et impose des contraintes pour l'application des produits phytosanitaires sur les parcelles (détection d'un Certiphyto obligatoire). D'autre part, les politiques agricoles et environnementales vont dans le sens d'une diminution de l'utilisation des intrants et des produits chimiques trop concentrés. Cela est d'autant plus valable en forêt, où la préservation des écosystèmes est un enjeu encore plus important. Il faut donc chercher des moyens de lutte alternatifs, naturels et plus respectueux de l'environnement. Cela doit aussi s'accompagner de pratiques sylvicoles limitant la propagation de l'hylobe, son développement, ou son impact sur les peuplements. Des techniques existent et d'autres sont encore à l'étude.

Mais toute la difficulté réside dans le cycle de développement de l'hylobe et sur sa capacité à voler sur de longues distances, pouvant aller jusqu'à plusieurs dizaines de kilomètres (*Département de la santé des forêts - 2012*). De plus, les grands massifs de résineux en futaie régulière avec plantations présents dans les Landes ou le centre de la France sont une source de nourriture importante pour l'hylobe au dépend des plantations.

Nous nous demanderons donc quels sont les pratiques qui existent et celles qui sont prometteuses afin de lutter contre l'hylobe pouvant se substituer aux méthodes de lutte chimique. Nous chercherons donc à faire un état des lieux de l'impact de l'hylobe sur les peuplements en France. Puis nous étudierons plus en détail en quoi consiste la lutte chimique aujourd'hui largement pratiquée. Enfin, nous listerons et développerons les moyens de lutte alternatifs.

I. L'Hylobe et la forêt

I.1. Description et cycle de vie de l'Hylobe

Comme nous l'avons présenté en introduction, l'Hylobe, *Hylobius abietis* (Linné, 1758), est un charançon appartenant à l'ordre des coléoptères et de la famille des curculionidés. Il mesure de 6 à 14 mm pour une moyenne de 10mm, ce qui est une grande taille pour un charançon. Il est reconnaissable à sa couleur brune tirant vers le noir et surtout à la présence de bandes jaunes transversales sur ses élytres (*Département de la santé des forêts - 2012*) (*Figure 3*).



Figure 3- Hylobius abietis adulte (U.Schmidt)

C'est le plus grand ravageur des plantations de résineux (*Département de la santé des forêts - 2012*) et apparaît donc comme une menace pour les massifs de résineux. L'insecte se développe dans le système racinaire de souches de résineux et se nourrit d'écorce, s'attaquant préférentiellement aux jeunes plants de résineux, ce qui peut les conduire à la mort. L'hylobe présente un cycle de développement totalement adapté à l'exploitation forestière comme nous pouvons le voir sur la *Figure 4*.

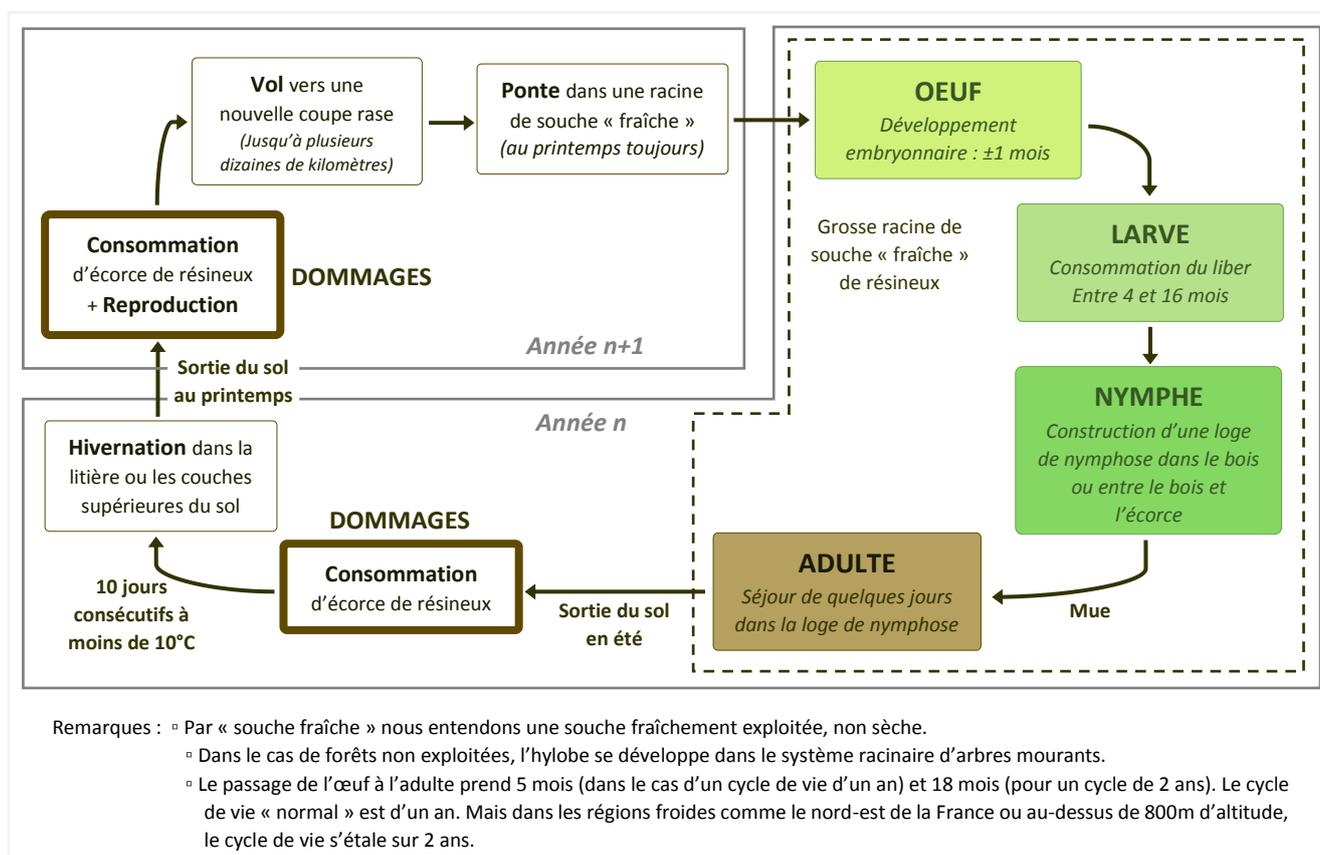


Figure 4- Schématisation du cycle de vie de l'Hylobe (réalisé d'après les informations de Département de la santé des forêts – 2012)

Ainsi, la pratique de coupes rases suivies de replantations constitue l'environnement idéal pour le développement de l'hylobe qui trouve des souches en quantité et de la nourriture qu'il apprécie. Tout ceci favorise donc le développement de l'hylobe dans les massifs forestiers, rendant certaines zones très difficiles à replanter sans moyen de lutte adapté. Les grandes campagnes de plantations de résineux, subventionnées par l'Etat français sous la forme du Fond Forestier National au cours de la deuxième moitié du XX^{ème} siècle sont probablement en partie responsables de la propagation de l'hylobe en France. Celui-ci a pu étendre son aire de répartition jusqu'à recouvrir l'ensemble du territoire aujourd'hui (*Figure 2*).

1.2. L'impact de l'Hylobe sur la forêt

L'impact sur les forêts matures est relativement limité puisque l'hylobe reste au niveau de la canopée et ne cause que des légers dommages. Mais l'attaque des plantations peut être quant à elle très dommageable. Chaque hylobe adulte peut s'attaquer à plusieurs plants. On peut noter plusieurs niveaux d'attaques pouvant entraîner la perte des aiguilles, une réduction de la croissance, ou pouvant conduire à la mort du plant si une trop grosse surface d'écorce a été consommée (Dillon and Griffin 2008). Ainsi, quelques hylobes adultes suffisent pour détruire l'ensemble d'une plantation si aucune mesure n'est prise. Il y a le plus souvent deux vagues d'attaques : au printemps vers mi-avril lorsque les adultes se nourrissent avant la reproduction puis la ponte, et à la fin de l'été vers mi-août lorsque les jeunes adultes sortent du sol (Département de la santé des forêts - 2012) (Figure 4). C'est à la sortie du sol des adultes que les jeunes plants sont attaqués et cela d'autant plus si les plants sont vigoureux et qu'ils ont reçus de l'engrais (Figure 4). Les jeunes plants sont également plus vulnérables que les plants de 2 et 3 ans (Tableau 1). Et les essences produisant beaucoup de résine sont également plus souvent attaquées. C'est notamment le cas du douglas ou du mélèze, plus appréciés que le sapin ou l'épicéa (Département de la santé des forêts - 2012) (Tableau 1). D'autre part, plus la densité d'un peuplement est élevée moins il a tendance à être attaqué (Département de la santé des forêts - 2012) (Tableau 1). Ainsi, les régénérations naturelles sont moins sensibles aux attaques d'hylobe que les plantations. Les morsures peuvent être présentes sur l'ensemble des plants mais préférentiellement au niveau du collet (Département de la santé des forêts - 2012) et sont assez souvent difficiles à observer.

Le Département de la santé des forêts a résumé l'ensemble des conditions les plus favorables et les moins favorables au développement et aux attaques d'hylobes dans le Tableau 1.

Tableau 1- Principaux facteurs à risques vis-à-vis des attaques par l'hylobe (Département de la santé des forêts - 2012)

Région forestière	Risque faible à faible part de résineux	Risque élevé à forte dominance résineuse
Intervalle de temps entre la coupe et le reboisement	supérieur à 2 ans	inférieur à 2 ans
Présence d'une coupe rase à proximité	non	oui
Essence exploitée	feuillus (0) Douglas ou sapins (+)	pins ou épicéas (++)
Essence de reboisement	cèdres, sapins feuillus (0)	pins ou épicéas (+) Douglas ou mélèzes (++)
Type de plant	semis, grand plant	petit plant (1-0G)
Densité de plantation	forte	faible

(0) : risque nul (+) : risque moyen (++) : risque fort

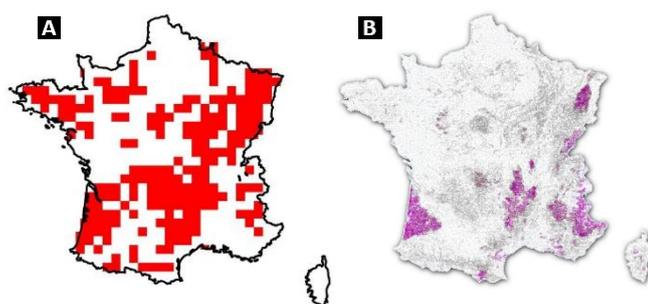


Figure 5- (A) Carte d'occurrence des dommages de l'Hylobe en France (ephytia.inra.fr) ; (B) Carte de répartition des conifères en France (en violet) (d'après ddc.arte.tv)

Concernant la répartition des attaques, on constate que l'hylobe cause des dommages sur l'ensemble du territoire français mais essentiellement dans les grands massifs de résineux (Figure 5). Cependant, il semble moins virulent dans les Alpes. Cela s'explique par le relief et les conditions climatiques qui limitent le développement de l'hylobe. Ainsi, il semble qu'il faille considérer le risque d'attaque d'hylobe selon la localisation de chaque plantation, certaines zones étant nettement plus menacées.

Selon l'analyse des campagnes de plantations 2015 et 2016 en France métropolitaine réalisée par le Département de la Santé des Forêts, près de 90 % des mortalités d'origine entomologique sont dues à l'hylobe (Département de la santé des forêts - 2017). Et en Europe du nord, le coût des dommages causés par l'hylobe s'estime à 140 millions d'euros (Evans et al. 2015) mais cela pourrait se traduire en plusieurs centaines de millions d'euros. Ainsi, la lutte contre l'hylobe est un enjeu important pour la filière à l'échelle nationale et européenne.

1.3. Un ravageur à ne pas négliger face au changement climatique

Le changement climatique et l'augmentation des températures favorisent le développement de l'hylobe. En effet, la durée de développement embryonnaire et larvaire de l'hylobe étant fortement dépendante des conditions climatiques (Département de la santé des forêts - 2012), une augmentation des températures

entraîne un raccourcissement du cycle de vie de l'hylobe (Figure 4). Ceci se traduit alors par une multiplication plus importante de l'insecte (Inward et al. 2012). Les insectes sont également plus grands et il semblerait que la taille des hylobes soit corrélée à la température (www.forestry.gov.uk) (Figure 6).

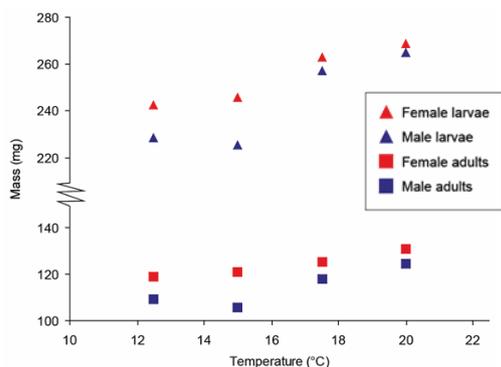


Figure 6- Effet de la température sur la masse des larves et adultes hylobes (au stade final) (www.forestry.gov.uk)

Mais cela favorise également la dispersion de l'hylobe en influençant sa capacité de vol (Tan et al. 2010). Plus les conditions climatiques sont bonnes (vitesse de vent inférieure à 4 km/h, température supérieure à 18°C et pas de pluies) plus l'insecte a tendance à voler (IMPACT). L'augmentation des périodes de sécheresses tout au long de l'année joue donc en faveur de l'hylobe. D'autre part, il a été montré que l'augmentation des températures engendre une augmentation de l'aire de répartition de l'hylobe (Barredo et al. 2015). L'insecte adulte est en effet « actif » dès que les températures dépassent 20°C (Département de la santé des forêts - 2012). De ce fait, l'aire de répartition de l'hylobe a tendance à progresser vers le nord.

Ainsi, l'hylobe est un ravageur important des plantations de conifères. Son cycle de vie est bien adapté à l'exploitation forestière sous forme de coupes rases suivies de replantations. Notre sylviculture favorise ainsi son développement. D'autre part, l'hylobe tire un avantage du changement climatique qui facilite sa multiplication et sa dispersion. Pourtant, les attaques d'hylobes sont très coûteuses et il convient de lutter contre.

II. Les moyens de lutte chimique

II.1. La méthode pratiquée et les produits utilisés

La lutte aujourd'hui pratiquée en France est essentiellement chimique. Le principe est de faire préférentiellement de la lutte préventive. Il est recommandé de faire des traitements systématiques lorsque des plantations sont effectuées dans des zones où des attaques d'hylobe sont connues. La lutte curative est pratiquée uniquement dans le cas d'attaques trop importantes de plantations mais dont les plants peuvent encore être sauvés. Elle ne vient qu'en complément de la lutte préventive.

Sur le marché, il existe trois produits communément utilisés (Tableau 2).

Tableau 2- Produits chimiques utilisés pour lutter contre l'hylobe (réalisé d'après les informations de Département de la santé des forêts – 2012 et ephy.anses.fr)

Famille de produits	Spécificités	Produits	Formulation	Principe actif	Application/Recommandation	
Pyréthrinoïdes de synthèse	<ul style="list-style-type: none"> Action: Contact et ingestion Durée d'efficacité: Courte (3 à 6 semaines) => Nécessite 2 traitements par an avant chaque période d'attaque Traitements avant ou après plantation par pulvérisation 	Forester	Emulsion aqueuse	Cyperméthrine	Pulvérisation	Préventif et curatif
		Merit forest	Granulés dispersibles dans l'eau	Imidaclopride	Pulvérisation ! Uniquement en pépinière équipée	
Néo-nicotinoïdes	<ul style="list-style-type: none"> Durée d'efficacité: une saison de végétation Délai d'absorption du produit par le plant de 2 à 3 semaines 	Suxon forest	Granulés	Imidaclopride	<ul style="list-style-type: none"> En pépinière: Dans le substrat de culture des godets Uniquement en pépinière équipée A la plantation: Granulés à mettre dans le trou de plantation 	

Les produits peuvent donc se trouver sous trois formes différentes : en émulsion aqueuse, en granulés à dissoudre, ou en granulés à mélanger au substrat. Dans le cas de la pulvérisation au Forester®, la durée d'efficacité du produit est réduite, celui-ci ne se trouvant qu'en surface du plant. L'utilisation de Suxon forest®

en préventif est préférable car il limite le nombre de traitements à un par an. Dans ce cas, le principe actif est diffusé par la sève du plant lui-même. Les pépinières incluant directement le Suxon forest® dans le substrat doivent être équipées de mélangeurs et de tapis clos (*Département de la santé des forêts - 2012*). L'utilisation de Merit forest® peut, quant à elle, uniquement se faire par des pépinières équipées pour pulvériser ce produit car il est fortement concentré et nécessite une pulvérisation en milieu clos (*Département de la santé des forêts - 2012*).

Ces produits n'ont pas d'action répulsive mais il s'agit d'insecticide. Dans les deux cas, l'hylobe ingère le produit lorsqu'il cherche à se nourrir de l'écorce du plant, entraînant sa mort.

II.2. Toxicité de ces produits et réglementation en leur défaveur

Les trois produits phytosanitaires cités précédemment sont classés par l'ANSES comme très toxiques et nocifs. Les néonicotinoïdes sont connus pour agir sur le système nerveux des abeilles et de nombreux auxiliaires de culture, et seraient responsables de leur disparition. Des mesures environnementales ont donc été prises à l'échelle nationale et européenne. Depuis fin 2013, l'imidaclopride, avec deux autres néonicotinoïdes, est interdite en Europe sur de nombreuses cultures telles que le tournesol, maïs, colza... Mais il y a une dérogation pour l'utilisation en forêt. Dans la même idée et en allant plus loin, la France a voté en 2015 la « Loi de la reconquête de la biodiversité, de la nature et des paysages » qui vise à interdire sept néonicotinoïdes. L'imidaclopride en fait d'ailleurs partie. Et cette loi devrait être appliquée dès septembre 2018 avec pour échéance maximale fixée à septembre 2020, soumis à dérogations (*sciencesetavenir.fr*). La cyperméthrine, principe actif du Forester®, est également réglementée mais son utilisation est encore autorisée. Cependant, nous pouvons supposer que cette molécule sera également interdite d'ici quelques temps.

Ainsi, les produits phytosanitaires utilisés pour le moment dans la lutte contre l'hylobe risquent très probablement d'être interdits d'ici quelques années. Le recours à d'autres moyens de lutte alternatifs sera donc nécessaire.

III. Des moyens de lutte alternatifs

Contre l'hylobe, des moyens de lutte alternatifs existent ou sont en développement. Ils pourraient venir remplacer petit à petit la lutte chimique, aujourd'hui menacée.

III.1. Pratiques sylvicoles intéressantes et adaptées

L'un des points sur lesquels nous pouvons agir pour lutter contre l'hylobe est le changement de nos pratiques sylvicoles. Cela n'implique l'apport d'aucun intrant sur les parcelles et est par conséquent plutôt neutre en terme de risque environnemental.

III.1.a. L'espacement entre la coupe rase et la replantation

Cette méthode consiste à laisser 2 à 3 années une parcelle à nue après une coupe rase. Cela permet de perturber le cycle de vie de l'hylobe, l'empêchant de se reproduire. Cette méthode est entre autre pratiquée aux Royaume-Uni et en Irlande. Au Royaume-Uni, la gestion des dates de coupes et de reboisements se fait à l'aide de systèmes d'aide à la décision et SIG afin de minimiser les attaques d'hylobes (*Kapranas et al. 2016*). Cependant, cette méthode n'est efficace que dans le cas où la parcelle en question est située à distance d'autres coupes rases. Dans un massif de résineux où sont pratiquées les coupes rases et les plantations cette méthode s'avère donc inefficace.

III.1.b. Une pratique plus importante du dessouchage

Le dessouchage est de plus en plus pratiqué. Il pourrait permettre, dans le cas de la lutte contre l'hylobe, de perturber son cycle de développement. Moins il y aura de souches de résineux, moins les hylobes pourront y pondre leurs œufs. Cependant, tout comme l'espacement entre la coupe rase et la replantation, le dessouchage

n'est efficace que dans le cas où la parcelle en question est isolée d'autres coupes rases non dessouchées dans lesquelles pourrait se développer l'hylobe. Il faut sinon procéder à l'échelle du massif. Mais il est parfois non recommandé de dessoucher sur des parcelles pentues ou en cas de sol peu profond, le risque étant l'érosion. Cette méthode n'est donc pas applicable sur l'ensemble des parcelles.

III.1.c. La régénération naturelle ou le semis direct

La régénération naturelle et le semis direct garantissent une plus grande densité et une meilleure vigueur des plants. Les plants sont donc plus résistants et plus nombreux, ce qui garantit une densité plus importante malgré les attaques d'hylobes. La nourriture étant plus abondante pour l'hylobe, celui-ci s'attaque à de nombreux plants mais ne s'acharne pas sur les quelques plants à sa disposition, comme c'est le cas parfois sur les plantations.

D'autre part, le cycle de développement de l'hylobe peut être perturbé. Dans le cas de peuplements irréguliers, l'hylobe a plus de mal à trouver des souches car celles-ci sont plus diffuses. Il en est de même pour les jeunes plants.

Enfin, ces pratiques visent à renforcer le service écosystémique du milieu forestier. C'est donc une solution respectueuse de l'environnement.

III.1.c. Des périodes de plantations à privilégier ?

Selon certaines études, il y aurait des périodes de plantations à privilégier pour limiter les attaques d'hylobes. D'après Nordlander et al. 2016, l'idéal serait le mois de juin. Cela correspond à la période juste après l'attaque du printemps, moment où les hylobes s'envolent vers d'autres parcelles pour pondre après s'être bien nourri et s'être reproduit (Figure 77). Mais selon une autre étude, c'est le mois d'août qui serait à privilégier. D'après Wallertz et al. 2016, les plants auraient ainsi le temps de bien s'adapter et se développer avant l'attaque des hylobes à l'automne (Tableau 3).

Ainsi, la période de plantation « idéale » semble un peu incertaine. D'autre part, cette méthode peut difficilement être mise en œuvre puisqu'il est impossible de réaliser l'ensemble des plantations d'un massif en une période très courte. Les périodes de plantations durent nécessairement plusieurs mois.

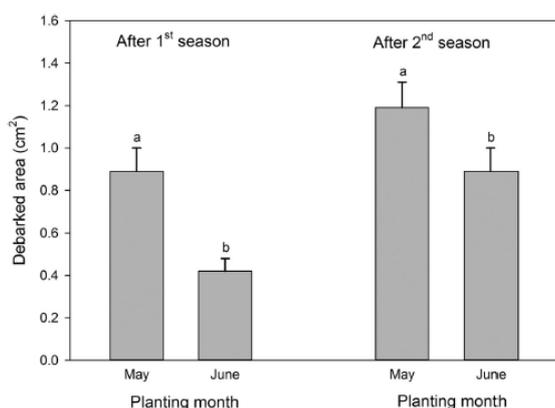


Figure 7- Surface d'écorce consommée par les hylobes en fonction du mois de plantation (Nordlander et al. 2016)

Tableau 3- Proportion de plants atteints, tués, ou sévèrement abimés par l'hylobe après une saison de végétation (Wallertz et al. 2016)

Country	Insecticide	Planting date	Attack rate	Killed	Killed or severely damaged		
Sweden	No insecticide	August	83.89	13.33	26.67		
		September	90.00	13.33	38.89		
		November	91.11	26.11	55.00		
		May	88.89	26.67	49.44		
		August	90.56	1.11	17.78		
	Insecticide	September	86.67	4.44	16.67		
		November	77.22	2.78	25.56		
		May	76.67	2.78	16.11		
		Norway	No insecticide	August	55.56	4.44	33.33
		September	55.56	2.78	36.11		
November	25.56	6.67	18.33				
Insecticide	May	28.89	1.67	21.67			
	August	43.89	0.56	13.33			
	September	50.00	2.78	27.22			
	November	27.22	0.56	13.33			
	May	25.56	0.00	9.44			

III.1.e. Préparation du sol en monticules de sol minéral

Il est également possible d'adapter la préparation du sol. Une pratique développée entre autres en Suède consiste à creuser un trou à l'aide d'une pelleuse pour constituer une butte avec le sol minéral récupéré, sur laquelle sera planté le plant à une profondeur de 8cm (Figure 88) (Luoranen et al. 2017). Le sol minéral, sableux, a pour but de repousser l'hylobe. La plantation profonde, quant à elle, permet une meilleure reprise du plant, une meilleure croissance, et améliore la résistance en cas de sécheresse (Luoranen et al. 2017). Cependant, la

croissance du plant est tout de même diminuée du fait du développement des racines dans un sol peu riche en matière organique. Il s'agit donc de trouver le bon compromis entre croissance du plant et protection contre l'hylobe. L'autre limite de cette technique est qu'elle nécessite la présence d'un sol minéral peu profond.



Figure 8- Plantation sur monticule de terre et en profondeur (Jules Lefrançois)

III.2. Protection physique

Les techniques de protection physique consistent à l'enrobage de la base du plant, partie la plus soumise aux attaques, par une matière empêchant les morsures d'hylobe. Différentes matières ont été testées et certaines d'entre-elles sont aujourd'hui utilisées.

III.2.a. Protection à la peinture au latex

Cette technique a été étudiée par Zumr and Stary dans les années 90. Elle consiste à peindre le tiers inférieur du plant avec de la peinture au latex mélangé avec de l'eau immédiatement après la plantation. Les résultats obtenus sont assez bons. Les hylobes ont tendance à moins s'attaquer aux plants traités (Zumr and Stary, 1995). Cependant, dans le cas où ils n'ont plus de quoi se nourrir, ils s'attaquent aux parties non traitées (branches et partie supérieure) ou mal traitées du plant (Zumr and Stary, 1995). D'autre part, l'application de peinture latex est nocive pour l'environnement. Il faudrait cependant comparer la nocivité de ce type de peinture avec la nocivité des produits chimiques actuellement utilisés. Cette solution ne s'avère donc pas tout à fait optimale.

III.2.b. Solution Ekovax®: Protection à la cire

La protection à la cire est très utilisée en Scandinavie et est disponible en France depuis le printemps 2017 (www.solutions-plants.com). Le traitement se fait en pépinière sur des plants en racines nues. Les plants sont donc commercialisés par des pépinières spécialisées depuis peu, localisées dans le Haut-Limousin. La technique consiste à un enrobage des 2/3 inférieurs du plant à partir du collet (Figure 99). L'application se fait à chaud et selon un protocole précis. La cire, une fois refroidie, constitue une gaine autour de la tige que les hylobes ne peuvent consommer. L'écorce est alors protégée des morsures. Cependant, la cire s'élimine naturellement au bout d'un peu plus d'un an.

Une étude de l'efficacité de cette protection a été effectuée dans le Morvan avec l'appui du Département de la Santé des Forêts en 2016. Les résultats ont montré une très bonne efficacité de la protection Elovax® qui serait même plus efficace que le traitement au Merit forest® (Figure 10).



Figure 99- Solution Elovax pendant et après application de la cire (www.solutions-plants.com)

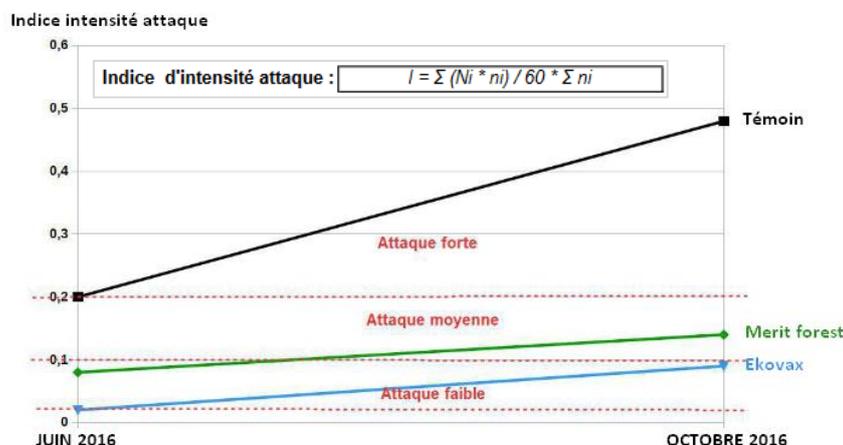


Figure 10- Comparaison de l'intensité des attaques d'hylobe sans traitement (Témoin), avec un traitement chimique (Merit forest) ou à la cire (Ekovax) (d'après Boutte, 2016)

Classes	0	1	2	3	4	5
N. de morsures	Vivant, pas de morsure	Vivant, 1 à 2 morsures	Vivant, 3 à 10 morsures	Vivant, + de 10 morsures	Mort due à l'hylobe	autre cause
Note calcul (=Nj)	0	2,5	7,5	23	60	exclue

A noter que la cire utilisée est naturelle et biodégradable. Son application ne pose donc aucun souci pour l'environnement.

III.2.c. Solution Hylonox[®] et Conniflex[®] : Protection à la craie ou au sable

Selon la même idée, d'autres procédés ont été développés. C'est le cas du procédé Hylonox[®] qui consiste à l'application d'un mélange de silicium, craie et colle (www.organox.se). L'application se fait par pulvérisation sur les plants. Le produit est supposé tenir deux ans et se dégrade naturellement. Dans le cas du procédé Conniflex[®], il s'agit de sable fixé sur la tige grâce à solution acrylate (Nordlander et al. 2009). L'application se fait ici en pépinière à l'image de procédé Ekovax[®]. Cependant, contrairement au procédé Ekovax[®], il n'y a pas de chauffage lors de l'application de ces deux types de protection.

Des essais sur le terrain ont montré que le revêtement Conniflex[®] est tout aussi efficace que des traitements à l'imidaclopride (principe actif du Merit forest[®] et du Suxon forest[®]) (Nordlander et al. 2009).

III.3. Produits de traitement préventifs biologiques

Au même titre que les solutions de pesticides, les chercheurs tentent d'identifier des molécules naturelles répulsives ou anti-appétissantes pour les hylobes afin de limiter les dommages sur les plantations.

III.3.a. Composés répulsifs extraits du *Rhododendron tomentosum*

Le *Rhododendron tomentosum* (ou *Ledum palustre* L.) est un petit arbuste de la famille des Ericacées originaire des zones boréales d'Amérique du nord et d'Eurasie. Cette plante était traditionnellement utilisée pour éloigner certains insectes comme les mites ou punaises de lit au nord de l'Eurasie, et serait également un bon répulsif contre les tiques (Egigu et al. 2010).

Mais une étude de 2010 a montré que des extraits de *Rhododendron tomentosum* ont aussi la capacité de perturber l'orientation et le comportement alimentaire de l'hylobe (Egigu et al. 2010). Des composés ont été extraits du *Rhododendron tomentosum* à partir d'éthyle acétate (EA-RE), de méthanol (MeOH-RE), et d'hexane (HE-RE). Ces composés ont clairement un effet sur la consommation d'écorce par l'hylobe (Figure 10), qui en est réduite. Plusieurs composés volatils ont été identifiés comme pouvant être en cause dans ce phénomène. Il s'agit essentiellement de terpènes dont une trentaine a été identifiée dans les solutions MeOH-RE, EA-RE et HE-RE. Beaucoup d'entre-eux sont présents dans ces trois solutions. Mais on y trouve également une dizaine de composés non-terpènes.

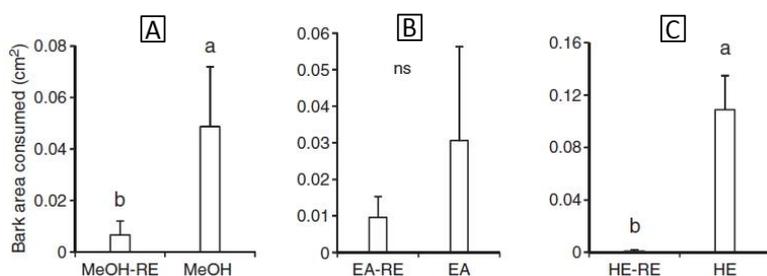


Figure 10- Surface d'écorce consommée par des hylobes adultes sur *Pinus sylvestris* L. traité avec (A) les extraits au méthanol de *Rhododendron tomentosum* (MeOH-RE) et MeOH ; (B) les extraits à l'éthyle acétate de *R. tomentosum* (EA-RE) et EA ; et (C) les extraits à l'hexane de *R. tomentosum* (HE-RE) et HE (d'après Egigu et al. 2010)

Il a été montré que les hylobes s'éloignent spontanément des solutions MeOH-RE et EA-RE, ce qui suggère que celles-ci contiennent des composés répulsifs pour l'hylobe adulte (Egigu et al. 2010). Des composés extraits et identifiés sont d'ores-et-déjà connus pour leurs propriétés répulsives alors que d'autres auraient des propriétés plutôt attractives. Cependant, le mélange de ces composés et la proportion de chacun fait que l'ensemble apparait comme répulsif pour l'hylobe adulte (Egigu et al. 2010). D'autre part, certains composés seraient aussi anti-appétissant pour les hylobes expliquant les résultats observés dans la Figure 10 (Egigu et al. 2010).

III.3.b. Composés répulsifs extraits du *Tilia cordata*

L'hylobe se nourrit de nombreux arbres autres que les résineux. Il s'attaque préférentiellement aux résineux, attiré par l'odeur de résine, mais peut aussi se contenter de feuillus. Cependant, l'hylobe ne se nourrit que très rarement de tilleul. L'écorce de cet arbre aurait des propriétés fortement anti-appétissantes pour l'hylobe adulte grâce à sa teneur en acide nonanoïque notamment (Månsson et al. 2005). Il s'agit d'un acide non toxique à l'ingestion et l'inhalation en petite quantité, qui est reconnu comme additif alimentaire par l'Europe (eur-lex.europa.eu). Celui-ci se dégrade rapidement dans l'environnement et ne présente pas de risque pour l'Homme et l'environnement en application pesticide (Månsson et al. 2005). D'autre part, il est commercialement disponible et ne nécessite pas d'être extrait des plantes puisqu'il peut être synthétisé.

Cependant, l'acide nonanoïque n'est pas le seul composé anti-appétissant pour l'hylobe contenu dans l'écorce de tilleul. Cet arbre présente donc des propriétés intéressantes pour lutter contre les attaques d'hylobe. L'huile essentielle de tilleul pourrait donc être à terme utilisée comme traitement contre l'hylobe.

III.3.c. Répulsif naturellement produit par les hylobes femelles elles-mêmes

Il a été observé que plusieurs hylobes femelles peuvent pondre dans la même souche. Mais en réalité, les femelles ne pondent jamais à côté d'œufs pondus par une autre femelle. Les chercheurs ont voulu comprendre ce phénomène. Et il s'est alors avéré que juste après la ponte, les femelles hylobes couvrent leurs œufs avec leurs fèces, qui jouent le rôle répulsif vis-à-vis des autres femelles (Norin 2007). Les composants de ces fèces ont été analysés et les composants actifs sont en réalité des composés phénoliques simples qui peuvent être utilisés comme répulsif. Ce sont des produits de la digestion de bois. Pour le moment, il n'existe pas encore de produit à la vente mais cela pourrait être une solution intéressante qu'il faudrait approfondir.

III.4. Lutte biologique

La lutte biologique consiste à faire appel à des ennemis naturels de l'hylobe pour limiter sa population. On connaît aujourd'hui des nématodes, champignons, ou prédateurs pouvant servir de lutte biologique (Figure 112).

Voici quatre ennemis naturels de l'hylobe :

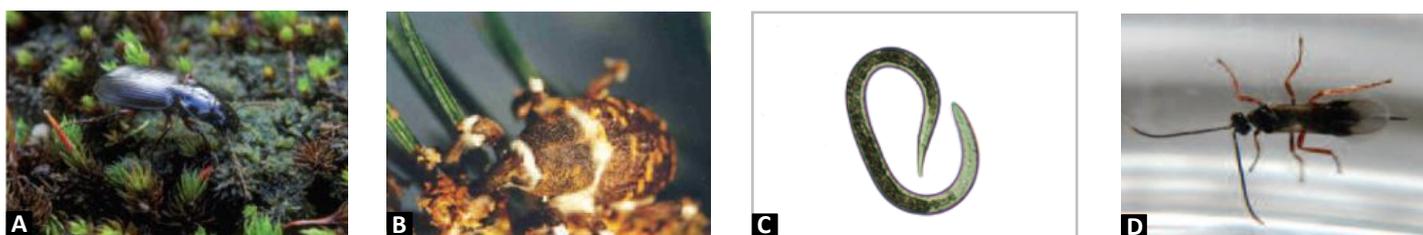


Figure 11- Quelques exemples d'ennemis naturels de l'hylobe : (A) *Pterostichus madidus* adulte (Roy Anderson); (B) Un hylobe adulte tué par un champignon entomopathogène (Dillon and Griffin 2008) ; (C) Le nématode entomopathogénique *Steinernema carpocapsae* (Dillon and Griffin 2008) ; (D) La guêpe parasite *Bracon hylobii* qui attaque les larves d'hylobe se développant dans les souches (Dillon and Griffin 2008)

Il apparaît que l'utilisation de nématodes soit la plus efficace. L'introduction de nématodes se fait via une solution aqueuse et est épanchée par pulvérisation. On pourrait d'ailleurs parler de biopesticide. Lorsque l'hylobe s'attaque au plant, il ingère donc le nématode qui le parasite et finit par le tuer. Le recours au nématode entomopathogène s'avère efficace pour limiter la population d'hylobe. Nous pouvons d'ailleurs le voir sur la Figure 123.

Il apparaît clairement ici que lorsque les souches sont traitées avec une solution contenant des nématodes entomopathogènes le nombre d'hylobes adultes est bien moins important (Figure 123). Et cela est vrai pour les trois sites d'étude. L'espèce *Steinernema carpocapsae* semble plus efficace pour le premier site mais c'est l'inverse pour les deux autres sites (Figure 123) (Kapranas et al. 2016). D'autre part, les résultats observés sont les mêmes pour des sols riches en matière organique que pauvre (Kapranas et al. 2016).

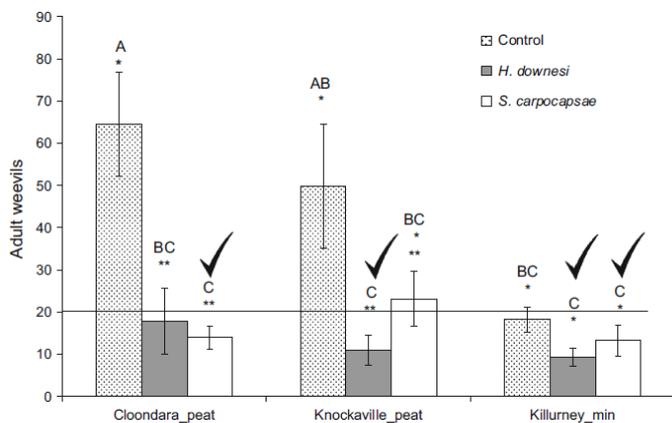


Figure 12- Nombre d'hylobes adultes provenant de souches non traitées et de souches traitées avec une solution contenant des nématodes entomopathogènes (*Heterorhabditis downesi* et *Steinernema carpocapsae*) sur 3 sites différents (Cloondara, Knockaville, Killurney) en 2014 (Kapranas et al. 2016)

Cette technique est utilisée essentiellement en Irlande et en Angleterre où le vent et une bonne répartition des précipitations dans l'année limite les vols d'hylobes et donc l'arrivée de nouveaux hylobes sur les parcelles de plantation. Ainsi, les populations d'hylobes sont assez rapidement parasitées par les nématodes introduits, limitant ainsi leur taille.

De plus, ces nématodes ne posent pas de risque environnemental et n'ont que peu d'impact sur les autres espèces présentes dans le même habitat que l'hylobe (Dillon et al. 2012). Leur introduction en forêt ne devrait donc pas poser de réels problèmes.

III.5. La recherche fondamentale et appliquée pour mieux comprendre l'hylobe

Les chercheurs s'affairent à trouver des réponses aux forestiers qui voient leurs plantations décimées et les produits phytosanitaires de plus en plus réglementés. De nombreuses études sont entreprises en Scandinavie. Cela peut s'expliquer par les surfaces importantes de forêts de résineux qui y sont présentes. En France, la recherche semble plus tournée vers le Pin maritime car les problématiques dans le massif des Landes sont similaires à celles rencontrées dans les forêts scandinaves en terme d'attaques d'hylobes. Mais c'est aussi le Massif central, le Morvan, les Vosges et les Ardennes qui sont fortement touchés par l'hylobe. La demande vient donc aussi des propriétaires de parcelles plantées en douglas, essence qui prend une place de plus en plus importante en France.

Mais les chercheurs ne sont pas les seuls à travailler sur ce sujet. Des organismes tels que des associations de propriétaires forestiers ou des coopératives font de l'expérimentation sous forme de recherche appliquée. Le but est de trouver de nouvelles techniques de lutte adaptées à leur territoire.

Conclusion

Ainsi, bien que l'hylobe apparaisse comme une menace importante pour les jeunes plantations, il existe des solutions alternatives à la lutte chimique. Nous avons vu qu'il existe quatre grands types de lutte alternative :

- Le recours à de nouvelles pratiques sylvicoles adaptées ;
- L'utilisation de protections physiques ;
- La pulvérisation de produits de traitement préventifs biologiques ;
- La lutte biologique grâce aux nématode entomopathogènes entre autres.

Certaines solutions semblent plus pertinentes et efficaces que d'autres mais tout dépend de la forêt en question et de son environnement. Le recours à des protections physiques est une solution intéressante mais qui doit aller de pair avec une adaptation de la sylviculture et une préparation de sol adaptée. Ainsi, une association de quelques-unes de ces solutions alternatives serait probablement la chose la plus pertinente à faire.

A noter que pour l'ensemble de ces techniques de lutte contre l'hylobe, nous n'avons pas cité de prix. Celui-ci est variable d'une technique à l'autre et d'un fournisseur ou prestataire à l'autre. Il est donc difficile d'y mettre un prix. De plus, de nombreuses solutions de lutte sont relativement récentes et le prix n'est pas communiqué.

Bibliographie

- Barredo JI, Strona G, de Rigo D, Caudullo G, Stancanelli G, San-Miguel-Ayanz J (2015) Assessing the potential distribution of insect pests: case studies on large pine weevil (*Hylobius abietis* L.) and horse-chestnut leaf miner (*Cameraria ohridella*) under present and future climate conditions in European forests. *Bull EPP0* 45:273–281. doi:10.1111/epp.12208
- Boutte B. (Novembre 2016). *Résultats notations attaques Hylobe à Ouroux-en-Morvan*. Département de la santé des forêts – Ministère de l’agriculture, de l’agroalimentaire et de la forêt.
<http://www.solutions-plants.com/wp-content/uploads/2017/01/DSF-Synthese2016-Ekovax.pdf>
- Département de la santé des forêts – Ministère de l’agriculture, de l’agroalimentaire et de la forêt (Novembre 2012). *Information Santé des Forêts : L’hylobe*.
<http://www.solutions-plants.com/wp-content/uploads/2017/01/info-sante-forets-hylobe.pdf>
- Département de la santé des forêts – Ministère de l’agriculture, de l’agroalimentaire et de la forêt (Décembre 2017). *Suivi national « Plantation de l’année », Bilan des campagnes 2015 et 2016*. (Rédigé par : Boutte Bernard).
<http://agriculture.gouv.fr/suivi-national-plantation-de-lannee-bilan-des-campagnes-2015-et-2016>
- Dillon A. B., Foster A., Williams C. D., Griffin C. T. (2012) Environmental safety of entomopathogenic nematodes – Effects on abundance, diversity and community structure of non-target beetles in a forest ecosystem. *Biological Control* 63 (2012) 107–114, Elsevier.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.biocontrol.2012.07.006>
- Dillon A. and Griffin C. (2008) Controlling the large pine weevil, *Hylobius abietis*, using natural enemies. *Coford Connect Silviculture/Management* No.15.
<http://www.coford.ie/media/coford/content/publications/projectreports/cofordconnects/ccn-sm15.pdf>
- Egigu M. C., Ibrahim M. A., Yahya A. & Holopainen J. K. (2010) *Cordeauxia edulis* and *Rhododendron tomentosum* extracts disturb orientation and feeding behavior of *Hylobius abietis* and *Phyllodecta laticollis*. *Entomologia Experimentalis et Applicata* 138: 162–174. doi: 10.1111/j.1570-7458.2010.01082.x
- Ehlers R-U, Hokkanen HMT (1996) Insect biocontrol with nonendemic entomopathogenic nematodes (*Steinernema* and *Heterorhabditis* spp.): conclusions and recommendations of a combined OECD and COST workshop on scientific and regulatory policy issues. *Biocontrol Sci Technol* 6:295–302
- Evans H, McAllister F, Saunders T, Moore R, Jenkins T, Butt T, Ansari M., Griffin C, Williams C, Teck, R, Sweeney J (2015) The Impact project guide to *Hylobius* management 2015.
http://www.impactproject.eu/uploads/impact_hylobius_publication.pdf
- IMPACT (Integrated management of forest pests addressing climate trends) Pest profile – Large Pine weevil.
http://www.impactproject.eu/uploads/pine_weevil1.pdf
- Inward DJG, Wainhouse D, Peace A (2012) The effect of temperature on the development and life cycle regulation of the pine weevil *Hylobius abietis* and the potential impacts of climate change. *Agric For Entomol* 14:348–357
- Kapranas A, Malone B, Quinn S, Mc Namara L, D. Williams C, O’Tuama P, Peters A, T. Griffin C (2016) Efficacy of entomopathogenic nematodes for control of large pine weevil, *Hylobius abietis*: effects of soil type, pest density and spatial distribution. *J Pest Sci* (2017) 90:495–505. Doi: 10.1007/s10340-016-0823-y
- Luoranen J, Viiri H, Sianoja M, Poteri M, Lappi J (2017) Predicting pine weevil risk: Effects of site, planting spot and seedling level factors on weevil feeding and mortality of Norway spruce seedlings. *Forest Ecology and Management* 389 (2017) 260–271. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foreco.2017.01.006>
- Månsson E, Eriksson C, Sjödin K (2005) Antifeedants against *Hylobius abietis* Pine Weevils: An Active Compound In Extract of Bark of *Tilia cordata* Linden. *Journal of Chemical Ecology*, Vol. 31, Issue 5, pp. 989–1001, 2005. Doi: 10.1007/s10886-005-4243-3

- Nordlander G., Hellqvist C. and Hjelm K. (2016) Replanting conifer seedlings after pine weevil emigration in spring decreases feeding damage and seedling mortality. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 32:1, 60-67. doi:10.1080/02827581.2016.1186220
- Nordlander G., Nordenhem H. and Hellqvist C. (2009) A flexible sand coating (Conniflex) for the protection of conifer seedlings against damage by the pine weevil *Hylobius abietis*. *Agricultural and Forest Entomology* (2009), 11, 91–100. doi: 10.1111/j.1461-9563.2008.00413.x
- Norin T. (2007) Semiochemicals for insect pest management. *Pure Appl. Chem.*, Vol. 79, No. 12, pp. 2129–2136, 2007. Doi:10.1351/pac200779122129
- Tan JY, Wainhouse D, Day KR, Morgan G (2010) Flight ability and reproductive development in newly emerged pine weevil *Hylobius abietis* and potential effects of climate change. *Agric For Entomol* 12:427–434
- Wallertz K., Hanssen K. H., Hjelm K. and Fløistad I. S. (2016) Effects of planting time on pine weevil (*Hylobius abietis*) damage to Norway spruce seedlings. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 31:3, 262-270. doi:10.1080/02827581.2015.1125523
- Zumr V. and Star P. (1995) LATEX paint as an antifeedant against *Hylobius abietis* (L.) (Col., Curculionidae) on conifer seedlings. *Anz. Schädlingkunde., Pflanzenschutz, Umweltsechutz* 68, 42-43 (1995), Blackwell Wissenschafts-Verlag, Berlin. ISSN 0340-7330

Sitographie

- Cypermethrin* [en ligne]. E-Phy, ANSES, 20.11.2017 [Consulté le 12/01/2018].
Disponible sur : <https://ephy.anses.fr/substance/cypermethrin>
- D.S.F. (Département de la Santé des Forêts). *Hylobius abietis* [en ligne]. E-Phytia, INRA, 07.03.2017 [Consulté le 09/01/2018].
Disponible sur : <http://ephytia.inra.fr/fr/C/18716/Forets-Hylobe-du-pin>
- EKOVA* c'est quoi ? [en ligne]. Solutions & Plants [Consulté le 15/12/2017].
Disponible sur : <http://www.solutions-plants.com/ekovax-lutte-contre-hylobe-foret-pepiniere/>
- Hylonox* [en ligne]. ORGANOX [Consulté le 10/01/2017].
Disponible sur : <http://www.organox.se/produkter/hylonox-k13/>
- Imidacloprid* [en ligne]. E-Phy, ANSES, 11.01.2018 [Consulté le 12/01/2018].
Disponible sur : <https://ephy.anses.fr/substance/imidacloprid>
- Mulot Rachel et Lascar Olivier. Néonicotinoïdes : l'Europe veut en interdire 3, la France 7... Macron combien ?. *Sciences et avenir*, 27.06.2017 [en ligne] [Consulté le 22/01/2018].
Disponible sur : https://www.sciencesetavenir.fr/nature-environnement/neonicotinoïdes-pour-sauver-les-abeilles-l-europe-veut-en-interdire-3-la-france-7-macron-combien_114205
- The influence of a changing climate on development and life cycle in the pine weevil, Hylobius abietis* [en ligne]. Forest Research [Consulté le 12/01/2018].
Disponible sur : <https://www.forestry.gov.uk/fr/INFD-8XZDWS>