



**HAL**  
open science

# Écologie de l'insecte - mieux comprendre la niche du hanneton forestier : une étude ONF en 2018 dans les Vosges du Nord

Jérémy Cours

► **To cite this version:**

Jérémy Cours. Écologie de l'insecte - mieux comprendre la niche du hanneton forestier : une étude ONF en 2018 dans les Vosges du Nord. *Rendez-vous Techniques de l'ONF*, 2020, 65-66, pp.32-37. <hal-02989168>

**HAL Id: hal-02989168**

**<https://hal.science/hal-02989168v1>**

Submitted on 16 Nov 2020

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire HAL, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



HAL Authorization

# ÉCOLOGIE DE L'INSECTE - MIEUX COMPRENDRE LA NICHE DU HANNETON FORESTIER : UNE ÉTUDE ONF EN 2018 DANS LES VOSGES DU NORD

Jérémy Cours

AgroParisTech & ONF- Direction Forêts et Risques Naturels

Face aux pullulations de hanneton, pas de remède simple pour protéger les forêts. La lutte phytopharmaceutique, en particulier, est une méthode appartenant au passé. Il faut donc travailler plus avant sur l'écologie du hanneton pour imaginer des moyens de lutte intégrée. Voici l'exemple d'une étude sur les forêts infestées des Vosges du Nord, pour tâcher de percevoir les caractéristiques de peuplement plus ou moins propices au développement de l'insecte et d'orienter la sylviculture en conséquence.

Depuis une bonne décennie, plusieurs forêts françaises sont impactées par des phases de pullulation du hanneton forestier (*Melolontha hippocastani* Fabr.). De grands massifs forestiers picards (Compiègne-Laigue, Chantilly), franciliens (Fontainebleau) et vosgiens (Ingwiller, Mouterhouse, Hanau I et II...), souffrent de ces pullulations qui causent d'importants dégâts dans les régénérations et affaiblissent les arbres adultes.

Le phénomène n'est cependant pas récent. Pendant longtemps, la lutte contre le hanneton commun (*Melolontha melolontha*) ou forestier (*Melolontha hippocastani*) s'est faite au travers de vastes campagnes de ramassage des adultes (le hannetonnage ; Fig. 1) ou par le ramassage des vers blancs derrière le passage de charrue.

Durant la deuxième moitié du XX<sup>e</sup> siècle, les pullulations d'insectes étaient traitées chimiquement. En Pologne, au milieu du siècle dernier, on trempait par exemple les racines des plants de pin sylvestre dans une solution d'eau, d'humus et de lindane (Woreta 2016), un puissant insecticide que l'on utilisait aussi pour lutter contre les poux...

Aujourd'hui, à l'échelle européenne, les possibilités de recours aux intrants chimiques se réduisent considérablement (Directive 2009/128/CE du Parlement Européen et du Conseil). Aucun produit n'est actuellement homologué en France contre les vers blancs en forêt.



Figure 1. Le hannetonnage par des enfants. Gravure de 1937 (Lambert 1999).

Dans ce contexte, l'écologie forestière est une discipline scientifique des plus nécessaires. C'est par une meilleure connaissance des formes de vie au sein de l'écosystème forestier et de leurs interactions - entre elles, avec leur environnement propre (échelle métrique) ou avec l'environnement plus global (échelle kilométrique) - que nous serons en mesure d'adapter la gestion forestière pour réduire la vulnérabilité des peuplements aux pullulations de ravageurs.

C'est dans ce cadre que s'inscrit l'étude présentée ici, menée en 2018 sur plusieurs forêts des Vosges du Nord. **L'objectif était de mieux comprendre les interactions entre le hanneton forestier et les écosystèmes dans lesquels il vit.**

## Les forêts du massif des Vosges du Nord comme terrain d'étude

Notre étude s'inscrit dans la suite d'un premier travail exploratoire mené en 2014 dans le massif forestier des Vosges du Nord (voir encadré 1), composé pour l'essentiel de chêne, hêtre et pin sylvestre plus ou moins mélangés. Cette première étude concluait sur une plus forte densité de larves dans les peuplements mûrs à dominante gros bois (diamètre > 47,5 cm) et présentant un mélange feuillus – résineux à majorité feuillus (chêne – hêtre et pin sylvestre). Par ailleurs, elle a soulevé des interrogations concernant l'effet de la surface terrière des peuplements.

À la suite de ces résultats, il a été jugé opportun de chercher à **préciser les phénomènes à l'œuvre dans ces peuplements mûrs et mélangés** de feuillus (chêne, hêtre) et résineux (pin sylvestre). Nous avons alors réfléchi à un échantillonnage structuré autour de ce type de peuplements et de ces questionnements.

### Résumé d'une première étude exploratoire en 2014

Une étude de grande ampleur a été menée en 2014 dans les forêts des Vosges du Nord, (Nageleisen *et al.*, 2015) pour cartographier la zone de présence du hanneton forestier (Fig. 2) et mieux comprendre son habitat. Coordonnée par Louis-Michel Nageleisen, elle visait à délimiter et caractériser la zone de présence du hanneton en s'appuyant sur une grille d'échantillonnage systématique (400 x 400 m), parcourue par les descripteurs en partant du cœur de l'infestation vers l'extérieur de la zone présumée. Le nombre de larves a été comptabilisé pour chaque placette par le creusage d'une fosse de 50 x 50 x 50 cm. La consigne était de cesser le parcours au bout de 3 placettes consécutives sans larves.

Selon ce principe, environ 1000 placettes ont été décrites en relevant un grand nombre de variables. Des variables de peuplement forestier, d'une part : mesures dendrométriques et notation du recouvrement des semis, furrés, gaulis par essences. Des données stationnelles, d'autre part : type de station, description pédologique, topographie. Le dénombrement des larves a permis d'étudier les habitats qui leur étaient plus ou moins favorables au sein de la zone de présence.

Il en ressort que les sols à texture sableuse accueillent en général un plus grand nombre de larves que les textures plus limoneuses voire argileuses. Pour le peuplement forestier, il apparaît une corrélation positive entre le nombre de larves et la surface terrière feuillue. Par ailleurs, la densité de larves apparaissait plus élevée dans les peuplements mélangés (feuillus – résineux) et mûrs (à dominance gros bois (diamètre > 47,5 cm)).

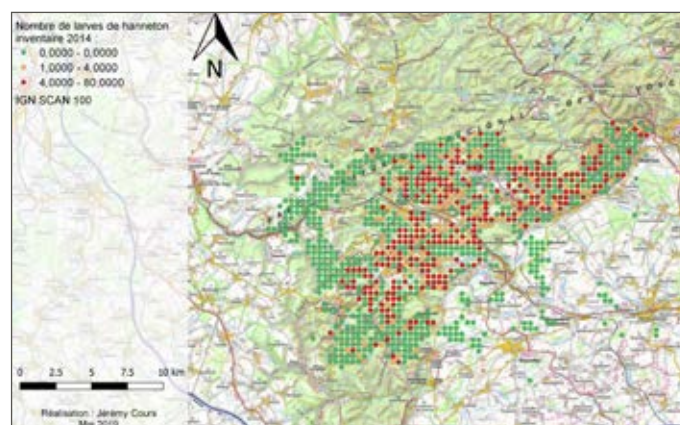
## Échantillonnage et mesures

Nous avons donc recherché des peuplements mûrs et mélangés feuillus – pin sylvestre comme indiqué, dans une gamme de surface terrière aussi ample que possible. Avec un impératif : limiter l'influence des facteurs stationnels. Les parcelles sélectionnées présentent donc des sols sableux avec une pente de moins de 10%. Neuf parcelles des forêts domaniales d'Ingwiller et de La Petite Pierre Sud, sélectionnées selon un gradient de surface terrière, ont été retenues (Tab. 1). Elles ont été volontairement choisies dans la zone infestée. Notre objectif étant de préciser l'habitat du hanneton, il était nécessaire de l'étudier au sein de sa zone de présence : dans ce périmètre, les milieux où il est absent lui sont certainement défavorables. De plus, nous avons profité de ce que les larves étaient au stade L3 en 2018 dans les Vosges du Nord. Cela nous a permis de cumuler deux informations : le choix du lieu de ponte par l'adulte femelle, puisque le déplacement latéral des larves est faible (1,5 à 5,5 mètres ; Weissteiner *et al.*, 2012), et la survie des larves.

Nous avons installé au sein de chacune de ces parcelles, un transect composé de 20 points d'échantillonnage espacés de 40 mètres. Ces transects, en forme de U pour permettre d'intercepter l'ensemble de l'hétérogénéité des peuplements de chaque parcelle, ont été implantés de sorte qu'ils soient éloignés d'au moins 30 mètres de tout chemin ou route.

Forêt	N° parcelle	Composition strate arborée		Surface terrière (moyenne ± écart-type)
		% de surface terrière résineuse	% de surface terrière feuillue	
Ingwiller	100	52%	48%	31 ± 7
Ingwiller	106	5%	95%	26 ± 6
Ingwiller	117_a	76%	24%	34 ± 7
Ingwiller	117_b	67%	33%	27 ± 10
Ingwiller	141	46%	54%	31 ± 8
Ingwiller	155	13%	87%	20 ± 8
Ingwiller	201	73%	27%	36 ± 11
Ingwiller	203	45%	55%	24 ± 9
La Petite Pierre Sud	13	38%	62%	22 ± 11

**Tableau 1.** Caractéristiques des peuplements présents au sein des 9 parcelles retenues pour l'étude.



**Figure 2.** Carte de situation de la zone infestée par le hanneton forestier dans le massif des Vosges du Nord.

Sur chaque point d'échantillonnage du transect, nous avons relevé les caractéristiques des différentes strates forestières : la strate herbacée (hauteur inférieure à 30 cm), la strate arbustive basse (de 30 cm à 2 mètres), la strate arbustive haute (de 2 à 7 mètres) et enfin la strate arborescente, en distinguant le statut social : tiges dominantes, dominées et sous-étage (Duplat 1992). Les strates de végétation ont été décrites sur des placettes circulaires emboîtées et centrées sur le point d'échantillonnage : placette de 1 mètre pour la strate herbacée, de 4 mètres pour la strate arbustive et de 10 mètres pour la strate arborescente. Pour les strates herbacée et arbustive (basse et haute), nous avons estimé le recouvrement selon un modèle adapté des classes d'abondance-dominance de Braun-Blanquet (Tab. 2) ; la classe 0 représentant l'absence de la strate en question et la classe 5 représentant un recouvrement total. Pour la strate arborescente, nous avons fait un inventaire dendrométrique avec mesure de la circonférence et indication de l'essence et du statut social de chaque tige. Notre objectif était de décrire au mieux l'environnement forestier du point d'échantillonnage. Enfin, 2 fosses cubiques de 50x50x50 cm ont été creusées à 1 mètre de part et d'autre du centre de la placette afin de compter les larves de hanneton. Elles ont été creusées entre mai et juin, période d'activité des larves L3 avant la nymphose en juillet. Plus généralement, l'étude a été mise en œuvre de fin avril à début juillet 2018. Pour les fosses et les inventaires, nous avons reçu l'aide d'ouvriers de l'agence travaux ONF Nord Alsace ; qu'ils en soient ici remerciés.

## Analyse

Enfin, l'analyse des données s'est faite au moyen de plusieurs modèles statistiques, qui avaient en commun de pouvoir être utilisés pour une variable de comptage (nombre de larves) et pour une distribution des données asymétrique (la distribution du nombre de larves est asymétrique vers les faibles valeurs). Ainsi, nous avons mis en œuvre des modèles de type poissonien. De cette analyse (Cours, 2019), il ressort deux facteurs principaux expliquant le niveau d'abondance des larves au sein des peuplements forestiers mûrs et mélangés. Le premier est le recouvrement par la strate arbustive basse, négativement corrélé avec le nombre de larves. Le second est la proportion de surface terrière de pin sylvestre, elle aussi négativement corrélée à la densité de larves. Plus la proportion de pin sylvestre et/ou le recouvrement du sol par des arbustes sont forts et moins il y a de larves L3 dans le sol.

## Résultats

### Un nombre moyen de larves élevé

Globalement, avec une densité moyenne de 11,4 larves L3 par m<sup>2</sup>, on peut dire que la totalité des parcelles du dispositif est hautement infestée par les larves de hanneton. Rappelons que le seuil empirique critique évoqué par Horst Delb est de 2 larves L3 par m<sup>2</sup> (cf. R. Touffait « Situation des forêts européennes... », ce dossier). Nous sommes bien au-delà de ce seuil et les dégâts constatés sur la régénération de ces parcelles témoignent du haut niveau d'infestation. De plus, sur les 180 placettes échantillonnées, 15 seulement (soit 8,3%) n'abritaient pas de larves de hanneton. Le maximum est de 48 larves par m<sup>2</sup> et 98 placettes (soit 54%) ont une densité de larves égale ou supérieure à 10 individus/m<sup>2</sup>.

### Influence de la strate arbustive basse sur l'abondance de larves dans le sol

Selon les observations issues du terrain et de la littérature, le nombre de larves serait plus faible sous fort couvert arbustif. En particulier, Niemczyk *et al.* (2017) ont rapporté pour le stade L2, une plus faible présence de larves dans un contexte de fourré, stade de régénération correspondant à une strate arbustive basse très fermée, que dans les autres faciès forestiers étudiés. C'est le postulat que nous vérifions ici.

Nous avons effectivement mis en évidence un effet négatif du recouvrement par la strate arbustive basse sur le nombre de larves de hanneton dans le sol. Ainsi, les zones à fort couvert arbustif se caractérisent par une moindre densité de larves dans le sol (Fig. 3).

Pour l'expliquer, Niemczyk *et al.* (2017) émettent l'hypothèse d'un environnement plus favorable pour les organismes entomopathogènes, en faisant référence à une étude de Švestka et Drapela (2009) qui, ayant constaté une infestation exceptionnellement dense au stade L1 dans un contexte de fourré (de pin sylvestre), montrait que 10% seulement de ces larves avaient finalement survécu. Plus généralement, Švestka et Drapela (2009) ont observé une mortalité relative plus forte dans les milieux les plus fortement ombragés (77% de mortalité) par comparaison avec des milieux plus ouverts (59% de mortalité). Comme évoqué par Niemczyk *et al.* (2017), il est possible que ces milieux fortement recouverts favorisent l'implantation et le maintien de parasites entomopathogènes, à l'exemple d'un champignon du genre *Beauveria*, déjà utilisé en agriculture biologique pour lutter contre les insectes ravageurs des cultures (Ferron 1975). D'après différentes études, sa présence est largement conditionnée par une forte hygrométrie (Ferron 1965).

Une seconde hypothèse est que la végétation aurait un « effet barrière » contre les adultes femelles, au moment du vol de ponte. Rappelons qu'au XVII<sup>e</sup> siècle, l'expression « être étourdi comme un hanneton » se référait au vol maladroit de l'insecte qui se heurte à tous les obstacles, comme s'il ne faisait pas attention. Il est possible aussi que ces deux hypothèses se combinent.

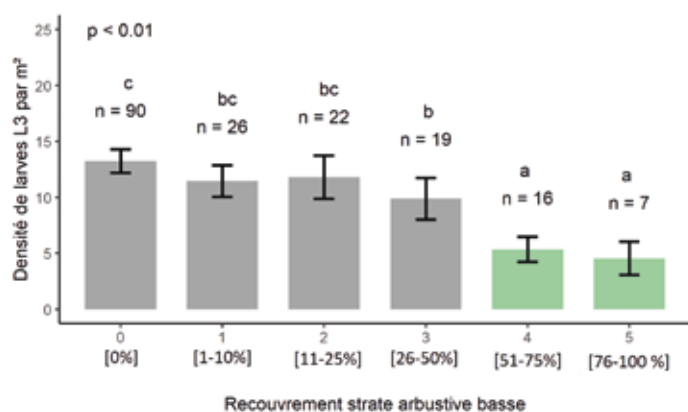
Cependant, même dans les zones « fermées » par la strate arbustive basse (en vert sur la figure 3 : ≥ 50% de couvert), la densité de larves reste élevée. On y compte encore en moyenne 5 larves L3 par m<sup>2</sup>, ce qui reste bien supérieur au seuil critique de dégâts de 2 larves L3 par m<sup>2</sup>. On peut donc difficilement interpréter « l'effet barrière » d'un fourré comme une méthode efficace de « lutte biologique », si elle n'est pas associée à d'autres recommandations.

### Influence du pin sylvestre sur l'abondance de larves dans le sol

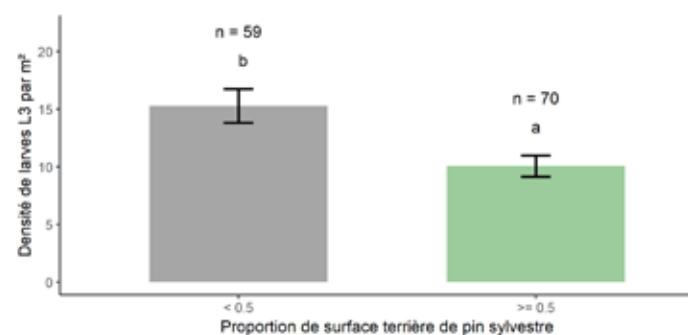
Lors de l'atelier BENCHAFOR, Marzena Niemczyk a aussi rappelé un autre résultat de l'étude qu'elle a réalisée dans plusieurs forêts polonaises, des forêts feuillues pures ou mélangées feuillues-résineux : le nombre de larves est plus faible lorsqu'il y a présence de pin sylvestre dans la placette de mesure (rayon de 5,65 mètres) (Niemczyk *et al.*, 2017).

Nous avons également relevé un effet négatif de la proportion de pin sylvestre en surface terrière sur le nombre de larves : il y a significativement

moins de larves dans les placettes majoritairement composées de pin sylvestre (dans un rayon de 10 mètres ; Fig. 4). L'hypothèse principale serait liée à l'alimentation des adultes qui ne consomment pas les aiguilles de pin sylvestre et qui seraient donc moins nombreux dans les milieux où cette espèce est abondante. Cependant, en parallèle, le nombre de larves apparaît moins élevé dans les placettes où le pin sylvestre est absent. La densité de larves la plus élevée est donc observée dans les peuplements où le pin sylvestre est présent mais seulement en minorité (de 1 à 49% de la surface terrière totale). Cela pose la question de l'attractivité des peuplements mélangés (mélange feuillus – résineux avec une majorité de feuillus) pour les hannetons forestiers, autant au moment du vol (choix du lieu de ponte) que durant sa vie larvaire (survie des individus).



**Figure 3.** Densité moyenne de larves L3 pour chaque classe de recouvrement de la strate arbustive basse. Les barres d'erreurs représentent l'erreur standard. « n » représente le nombre de placette pour chaque classe de recouvrement. Les lettres « a », « b » et « c » symbolisent les groupes significativement différents pour  $p < 0.01$  d'après un test de comparaison multiple de Tukey. Le groupe « bc » est seulement différent du groupe « a ».



**Figure 4.** Densité moyenne de larves L3 pour chaque classe de proportion de surface terrière de pin sylvestre. Les barres d'erreurs représentent l'erreur standard. « n » représente le nombre de placette pour chaque groupe de proportion. Les lettres « a », et « b » symbolisent les groupes significativement différents pour  $p < 0.01$  d'après un test de comparaison des moyennes ANOVA.

## Sur la base de ces résultats, comment réduire le risque de pullulation du hanneton en forêt ?

Pour réduire le risque de prolifération du hanneton, la stratégie pourrait être d'installer par la sylviculture un milieu forestier qui lui soit plutôt défavorable.

D'après nos résultats, le peuplement forestier qui serait plutôt défavorable à la dynamique des populations de hanneton serait composé de 2 strates de végétation : une strate arborescente relativement ouverte (permettant l'installation d'un recrû ligneux) et composée d'une importante proportion de pin sylvestre et une strate arbustive basse très recouvrante. Rappelons que ce peuplement s'inscrit dans notre stratégie d'échantillonnage, qui a ciblé des peuplements mûrs (majorité de gros bois) et composés d'un mélange feuillus – résineux (pin sylvestre essentiellement).

Pour expliciter la variabilité du nombre de larves selon différentes variables explicatives, nous avons mis en œuvre un arbre de régression (Fig. 5). Cette méthode statistique permet de sélectionner des variables pertinentes dans la séparation de notre échantillon en sous-groupes. La moyenne de la densité de larve dans chaque sous-groupe est alors jugée significativement différente de la moyenne d'un autre sous-groupe. Comme les variables décrivent le milieu forestier, chacune des branches de notre arbre représente un type de peuplement. Il est alors possible de lier des types de peuplement à un nombre moyen plus ou moins élevé de larves.

La première séparation (le premier « nœud ») correspond à la couverture de la strate arbustive basse. Si le recouvrement est supérieur à 50% (classe  $\geq 4$ ), la moyenne est de 5 larves par  $m^2$ . Si le couvert est plus faible ( $< 50\%$ ), une nouvelle variable significative intervient : la surface terrière de pin sylvestre. Si cette dernière est supérieure ou égale à  $22 m^2/ha$ , alors il y a 7,4 larves par  $m^2$  en moyenne. Le nombre de larves est ainsi présenté selon une succession de « règles de décision ».

Il en résulte qu'au sein de la zone infestée les types de peuplements les moins favorables au hanneton sont caractérisés soit par un fort couvert de la strate arbustive basse, soit par une forte surface terrière de pin sylvestre. À l'opposé, les peuplements qui semblent les plus favorables à une grande abondance de larves sont mélangés, avec une majorité de feuillus, et la strate arbustive basse y est éparse ou absente.

Dans le contexte des Vosges du Nord, les éléments de vulnérabilité du peuplement forestier augmentant le risque de prolifération du hanneton sont ainsi l'absence ou le faible couvert d'une strate arbustive basse, une faible surface terrière de pin sylvestre et une forte proportion d'essences feuillues (majoritairement chêne – hêtre) (Fig. 5 et 6).

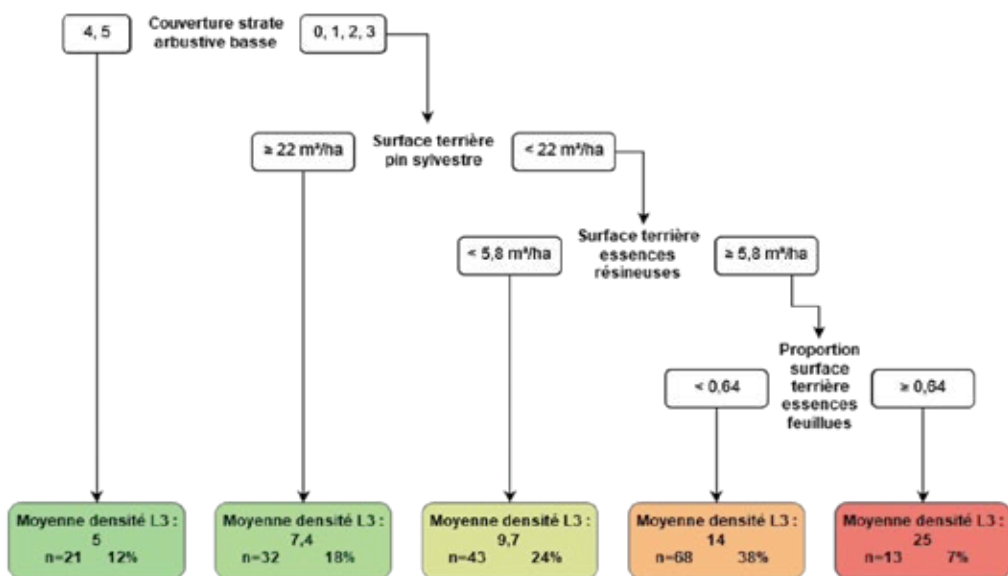


Figure 5. Arbre de régression prédisant le nombre de larves de hanneton dans le sol des peuplements mûrs des Vosges du Nord.

## Approche pédologique

Au-delà de l'approche « peuplement », il paraît également important de présenter les informations collectées dans la bibliographie concernant les préférences pédologiques du hanneton forestier, en ce qui concerne le sol.

En 2014, dans l'étude coordonnée par Louis-Michel Nageleisen, la texture du sol est apparue comme l'une des variables les plus significatives : les textures sableuses contenaient un nombre significativement plus important de larves que les textures plus limoneuses voire argileuses (Nageleisen *et al.*, 2015). L'ensemble de la bibliographie s'accorde sur le fait que le hanneton forestier comme le hanneton commun manifestent une nette préférence pour les sols sablonneux, et cette préférence est documentée depuis longtemps. À propos du hanneton forestier Couturier et Robert observaient déjà en 1956 que « [la larve] a besoin de sols légers, sablonneux, bien drainés ». Et un siècle plus tôt, un traité sur le hanneton commun indiquait que « la femelle les place [les œufs] de préférence dans les lieux découverts et parmi les terrains libres, un peu meubles et secs. Souvent elle choisit ceux qui se trouvent exposés au soleil et que l'on a récemment travaillés » (Pouchet 1853).

Plus précisément, Schmidt et Hurling (2014) ont constaté une corrélation négative entre la présence d'un horizon argileux dans le sol et le nombre de larves de hanneton forestier. Ils ont en outre constaté la réduction du nombre de larves en cas de présence d'une nappe d'eau dans le sol à l'automne, cette nappe d'eau empêchant les larves de s'enfouir dans le sol pour l'hiver. La présence d'une couche d'argile rend le sol théoriquement plus dense et moins prospectable pour les larves ; elle lui confère aussi une propension accrue à retenir l'eau, facteur propice à la présence de certaines espèces de champignons entomopathogènes du genre *Beauveria* (Ferron 1965). En parallèle, les chercheuses polonaises participant à l'atelier BENCHAFOR ont révélé que les champignons entomopathogènes du genre *Beauveria spp.* sont sensibles au pH et préfèrent des sols neutres à alcalins (pH optimal entre 8 et 8,5 ; Niemczyk *et al.*, 2019). Cependant elles ont fait le lien entre le pH du sol et sa texture. L'hypothèse proposée pour expliquer la faible abondance de champignons dans les forêts échantillonnées est la plus forte lixiviation

des spores de champignons vivant dans les sols sableux (généralement à faible pH), tandis que les sols plus argileux (à pH plus élevé) retiennent les spores grâce au phénomène d'adsorption sur les particules d'argile (Niemczyk *et al.* 2019). Ça serait de fait la texture qui est représentée à travers la notion de pH ; inutile dès lors de faire de l'amendement calcaire pour améliorer les populations naturelles de *Beauveria*. En résumé, les populations de *Beauveria* étant moins denses dans les sols sableux secs, les larves de hanneton encourent un moindre risque de contamination.

Par ailleurs, les sols sableux sont propices au transport de composés organiques volatils (COV) exsudés par les racines dans le sol. Les larves perçoivent ces composés chimiques (via les antennes) et en suivent la trace vers les racines (Weissteiner *et al.* 2012). Eilers *et al.* (2016) ont cependant constaté une moins bonne réponse des larves aux messages chimiques émis par les racines des plantes lorsque celles-ci étaient placées dans un sol argileux. L'argile semble jouer un rôle masquant par adsorption des messages chimiques, compliquant l'accès des larves à leurs hôtes favoris. En facilitant le transport des composés chimiques issus des racines, les sols sableux facilitent indirectement l'alimentation des larves.

La préférence des hannetons pour des sols sableux a donc plusieurs causes possibles : c'est un milieu défavorable à l'activité des organismes entomopathogènes s'attaquant aux larves ; ces sols offrent aux larves une plus grande facilité de déplacement ; ils sont enfin propices à la diffusion des composés chimiques exsudés par les racines dans le sol et facilitent ainsi l'alimentation des larves.

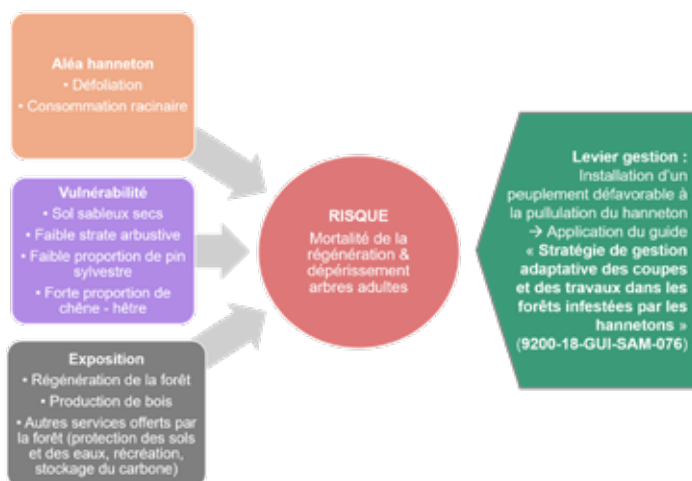


Figure 6. Schéma de risque de dommages par l'aléa "prolifération de hanneton" pour les peuplements mûrs des Vosges du Nord.

## Perspectives

Nous n'en sommes encore qu'à la construction des concepts en ce qui concerne l'écologie du hanneton forestier. Il serait donc nécessaire de poursuivre les efforts de recherche dans ce domaine.

Par exemple, afin de confirmer et préciser les éléments de connaissance du milieu de vie de la larve souterraine, un stage Master 2 a permis de mettre en œuvre une étude pédologique en forêts domaniales de Compiègne-Laigue (Désaubry, 2019). Cette étude visait à définir les probabilités de présence de larves de hanneton selon des variables de description du sol telles que la texture (mesurée en laboratoire), le pH, la profondeur d'apparition d'un horizon hydromorphe, etc.

De même, en 2019, nous avons cherché à préciser les éléments déterminant le choix du lieu de ponte par la femelle hanneton forestier et principalement selon la présence d'une strate arbustive basse très abondante et selon la composition du peuplement (Cours, 2019).

## Références

Cours J., 2019. *Étude de la niche écologique du hanneton forestier (Melolontha hippocastani Fabr. 1801) dans les forêts des Vosges du Nord*. Mémoire d'ingénieur. AgroParisTech, Office national des forêts DFRN.

Couturier A., Robert, P., 1956. Observations sur *Melolontha hippocastani* F. *Annales des Epiphyties*. Vol. 3, pp. 431-450

Désaubry G., 2019. *Le Hanneton forestier (Melolontha hippocastani) en Forêt Domaniale de Compiègne-Laigue : Précision de son écologie dans un contexte de lutte et d'adaptation à sa dynamique de population*. Mémoire de stage Master 2. Université de Picardie Jules Verne, Office national des forêts.

Duplat P., 1992. La conduite des jeunes peuplements naturels de chêne sessile (*Quercus petraea* Liebl.) - Pratiques actuelles - Recherches à entreprendre. *Bulletin Technique de l'ONF* n° 23, pp. 3-36

Eilers E.J., Veit D., Rillig M.C., Hansson B.S., Hilker M., Reinecke A., 2016. Soil substrates affect responses of root feeding larvae to their hosts at multiple levels: Orientation, locomotion and feeding. *Basic and Applied Ecology* vol. 17, pp. 115-124

Ferron P., 1965. Etude en laboratoire des facteurs déterminants la mycose à *Beauveria tenella* (Delacr.) Siem. chez les larves de *Melolontha melolontha* L. *Annales de la Société entomologique de France* N.S. 1, pp.619-625.

Ferron P., 1975. Les champignons entomopathogènes : Évolution des recherches au cours des dix dernières années. Mémoire. Paris : Organisation internationale de lutte biologique contre les animaux et les plantes nuisibles, Section régionale ouest paléarctique. 354 p.

Lambert S., 1999. Quand l'écologie et la biologie s'appelaient histoire ou sciences naturelles. *Le Courrier de l'environnement de l'INRA* n° 38, pp. 23-40.

Nageleisen L.-M., Bélouard T., Meyer J., 2015. Le hanneton forestier (*Melolontha hippocastani* Fabricius 1801) en phase épidémique dans le nord de l'Alsace. *Revue Forestière Française* vol. 67 (4), pp. 353-366

Niemczyk M., Karwański M., Grzybowska U., 2017. Effect of environmental factors on occurrence of cockchafer (*Melolontha* spp.) in forest stands. *Baltic Forestry* vol. 23, pp. 334-341

Niemczyk M., Sierpińska A., Tereba A., Sokolowski K., Przybylski P., 2019. Natural occurrence of *Beauveria* spp. in outbreak areas of cockchafers (*Melolontha* spp.) in forest soils from Poland. *BioControl* vol. 64, pp. 159-172

Pouchet F.-A., 1853. *Histoire Naturelle et Agricole du Hanneton et de sa Larve ou Traité de Leurs Mœurs, de Leurs Dégâts, et des Moyens de Borner Leurs Ravages*. Rouen : Imprimerie de H. Rivoire. 71 p.

Schmidt M., Hurling R., 2014. A spatially-explicit count data regression for modeling the density of forest cockchafer (*Melolontha hippocastani*) larvae in the Hessian Ried (Germany). *Forest Ecosystems* 1, 19.

Švestka M., Drapela K., 2009. The effect of environmental conditions on the abundance of grubs of the cockchafer (*Melolontha hippocastani* F.). *Journal of Forest Science* vol. 55 (7), pp. 330-338

Weissteiner S., Huetteroth W., Kollmann M., Weißbecker B., Romani R., Schachtner J., Schütz S., 2012. Cockchafer Larvae Smell Host Root Scents in Soil. *PLOS ONE* vol. 7 (10), pp. 1-12

Woreta D., 2016. Reduction of population numbers of *Melolontha* spp. adults – a review of methods. *Folia Forestalia Polonica* vol; 58 (2), pp. 87-95