

Synthèse bibliographique : relation entre les conditions environnementales et l'abondance du hanneton (*Melolontha spp.*)

Jérémy Cours – apprenti 1A – promotion 2016-2019 – 17/08/2017



Résumé : Après avoir introduit la biologie du hanneton (principalement le hanneton forestier) et contextualisé les dégâts causés, nous avons essayé de lister au mieux mais de manière non exhaustive, l'ensemble des facteurs environnementaux, biotiques et abiotiques, caractérisant l'abondance du hanneton. Nous nous sommes intéressé autant à l'insecte adulte qu'à l'insecte lorsqu'il est sous forme de larve.

Mots-clés : hanneton, forestier, melolontha, hippocastani, facteurs, environnementaux.



1 CONTEXTE :

1.1 BIOLOGIE DU HANNETON :

« Les hannetons (*Melolontha spp.*) sont des coléoptères d'assez grande taille, bien connus tant au niveau des adultes qu'au stade larvaire. Ils appartiennent à la famille des scarabéidés, laquelle comprend un grand nombre d'espèces phytophages ou coprophages. Les vers blancs qui vivent dans le sol font partie des insectes qui peuvent causer des dommages importants dans les domaines agricole et forestier » (Nageleisen, 2013), (Touffait, 2017).

Deux espèces sont mises en cause en milieu forestier :

- Le hanneton commun (*Melolontha melolontha*) ;
- Le hanneton forestier (*Melolontha hippocastani*).

Leurs caractères biologiques sont très similaires et les légères différences existantes concernent les milieux dans lesquels ils vivent (Nageleisen, 2013), (Sukovata *et al.*, 2015).

La durée des cycles biologiques est de 3-4 ans pour le hanneton forestier en Europe de l'Ouest et peut être plus long en Europe Centrale (4-5 ans) (Švestka, 2010), (Nageleisen, 2013).

1.1.1 Première année :

L'insecte parfait passe l'hiver en diapause (Nageleisen, 2013). Les premières chaleurs vont l'amener à sortir de terre pour s'alimenter et se reproduire. On observe alors des trous d'émergence. La période d'essaimage s'étend de la mi-avril jusqu'à la fin mai, début juin : selon des piégeages réalisés en République Tchèque, la période la plus intense se concentre entre le 28 avril (fin-avril) et le 12 mai (mi-mai) où il est attrapé 92,58% de la totalité du nombre d'insectes piégés (Švestka, 2007) (Cf. **Fig. 1.**). Il s'agit du vol préalimentaire, les insectes sortent de terre au crépuscule et débutent leur alimentation dans les houppiers des arbres hôtes. Il a été découvert que le hanneton est très sensible à la lumière à 520 nm (longueur d'onde du vert) caractérisant la canopée des arbres au crépuscule (Hegedüs *et al.*, 2006).

Les mâles s'orientent grâce à des composés chimiques (green leaf volatiles) émis par les feuilles consommées par les insectes femelles et grâce à une phéromone sexuelle (1,4-benzoquinone) émise par ces mêmes femelles et trouvent leur partenaire (Hegedüs *et al.*, 2006), (Ruther *et al.*, 2000). En comparaison du chêne pédonculé (*Quercus robur*) et du charme commun (*Carpinus betulus*), les feuilles de hêtre commun (*Fagus sylvatica*) sont significativement plus attractives pour les insectes mâles (Reinecke *et al.*, 2002).

En suit une période d'alimentation « de deux ou trois semaines où les insectes dévorent les feuilles et les femelles forment les œufs » (Nageleisen, 2013).

Lorsque les femelles sont prêtes, elles effectuent le vol de ponte et s'enterrent pour pondre. Il est en partie question dans cette synthèse de connaître les zones préférées par les femelles pour la ponte de leurs œufs.

Elles remontent et retournent à une seconde phase d'alimentation et de maturation et lorsqu'elles ont terminées, retournent pondre une nouvelle fois. Quelques femelles ressortent pour une troisième phase d'alimentation et de maturation afin de réaliser une troisième ponte. Sous des conditions similaires, les femelles hanneton commun pondent plus en profondeur que les femelles hanneton forestier. A partir du moment de la ponte, le développement des œufs jusqu'à l'éclosion des larves dépend de la température et de l'humidité du sol et se termine normalement après 40 à 50 jours (Švestka, 2007).

Le premier stade larvaire (stade L1) dure ensuite 2 mois, la larve se nourrit principalement dans l'humus de racines fines (Sukovata *et al.*, 2015) et « la première mue intervient fin août, début septembre en France » (Nageleisen, 2013). Sous l'effet cumulatif des ennemis naturels et des conditions défavorables, c'est durant les deux premières années que la population perd la plus grande part d'effectif de larve : Švestka parle en 2006 en se basant sur Kratochvíl et al. (1953) de 90 à 93% de perte pour les seuls stades L1 et L2 et finalement seul 2 à 3% des larves issues des pontes atteignent un développement complet (Švestka, 2006).

1.1.2 Deuxième et troisième années :

L'arrêt du développement se produit vers la mi-octobre. Les vers blancs s'enfoncent en profondeur sous terre (50-60 cm, parfois 150 cm) et demeurent inactifs jusqu'à la mi-avril. Ils remontent dès lors vers les couches superficielles du sol (5 à 20 cm). (Švestka, 2007)

La mue à lieu en juin (passage du stade L2 au stade L3), les larves des stades L2 et L3 sont celles qui causent le plus de dégât : c'est à ces stades (surtout L3) qu'elles sont les plus voraces : elles se nourrissent des racines fines et des racines plus grosses des arbres (Švestka, 2007). La larve de stade L3 se nourrit ainsi jusqu'à avoir accumulée assez de réserves à l'automne (Nageleisen, 2013). De même que les hannetons adultes mâles perçoivent des composés volatiles émis par les feuilles consommées, il a été démontré que les larves répondent à des composés organiques volatiles (COV) produit par les racines (dans l'expérience, de chêne) endommagées (essentiellement de l'eucalyptol et de l'anisole) grâce à leurs antennes (Weissteiner *et al.*, 2012).

Les vers s'enfouissent de nouveau en profondeur durant le mois d'octobre et hibernent jusqu'au printemps suivant (mi-avril) où ils remontent à la surface. D'un appétit restreint, les dégâts sont à cette période assez limités et la période d'activité est assez courte (2 mois). A ce stade, les larves sont parvenues « à leur complet développement » et s'enfouissent pour aménager « une loge où s'accomplit la métamorphose. » Cette dernière phase « dure deux mois : le hanneton est formé dans le courant d'août, mais il reste dans sa loge nymphale » (Nageleisen, 2013). Il ne ressortira que le printemps suivant pour le vol préalimentaire lors des premières chaleurs.

1.2 DEGATS CAUSES :

Le hanneton commun et le hanneton forestier posent de réels problèmes dans l'ensemble des pays Européen : nous avons pu trouver des études portant sur des phases épidémiques en France (Nageleisen *et al.*, 2015) ainsi que dans le reste des pays européens : Pologne (Woreta & Sukovata, 2014), République Tchèque (Švestka, 2007), Allemagne (Wagenhoff *et al.*, 2014)...

Comme nous l'avons évoqué : le hanneton cause des dégâts importants sur le système racinaire des plantes, surtout au stade larvaire L2 et L3 avec parfois la consommation de l'ensemble du système racinaire (« sometimes destroying as much as 100% ») (Švestka, 2007). De plus, l'occurrence des dégâts a augmenté ces dernières années. Si nous prenons l'exemple de la Pologne, durant la période de 1966 à 2005, la superficie qui nécessitait un reboisement supplémentaire était de moins de 21% ; elle est après 2005 comprise entre 26 et 53%. Ceci à cause des épidémies répétées de hannetons. Les populations de larves présentes sur tout le pays rendent très difficile la régénération des peuplements forestiers de par la consommation répétée des systèmes racinaires (Woreta & Sukovata, 2014).

Les larves de hannetons sont polyphages (Sukovata *et al.*, 2015) avec un large régime alimentaire. Elles consomment donc les racines d'une large gamme de végétaux mais surtout les pins, chênes, tilleuls et autres (Švestka, 2007)...

Concrètement, le hanneton cause d'importants dégâts sur les systèmes racinaires lors des phases larvaires.

En outre, l'imago, lors des phases aériennes d'alimentation, causent des dégâts parfois important aux houppiers des arbres. Il se nourrit préférentiellement des jeunes feuilles de chêne (sessile et pédonculé) (sensibilité à « la phénologie des essences consommées » : feuilles venant de débourrer) mais peut aussi consommer les feuillages d'autres essences feuillues : hêtre, charme, châtaignier, bouleau, érable, saule, tremble, noisetier... « Par contre, le cerisier tardif (*Prunus serotina*) est délaissé » (Nageleisen *et al.*, 2015). Cette consommation a pour conséquence des pertes de croissance (mesurée sur le diamètre) (Huber, 1982).

De manière générale, la consommation racinaire est la part de l'alimentation du hanneton causant le plus de dégât aux peuplements forestiers.

2 INFLUENCES DES FACTEURS ENVIRONNEMENTAUX SUR LA PRESENCE ET L'ABONDANCE DU HANNETON FORESTIER (*MELOLONTHA HIPPOCASTANI F.*) :

2.1 CONDITIONS CLIMATIQUES LORS DE L'ESSAIMAGE :

Les essaimages de 2003 et 2007 en République Tchèque ont très bien été documentés par Švestka. Ainsi, ces observations mettent en avant l'importance des températures sur le début de l'essaimage des hannetons. De fait, le vol préalimentaire débute lorsque les températures moyennes atteignent 12-13°C (Švestka, 2010:427) ou encore dès que la somme des températures moyennes depuis le 1er mars atteint 355°C (Švestka, 2006).

Mais plus important encore, la phase d'essaimage massif survient lorsque les températures moyennes quotidiennes dépassent 15°C (Švestka, 2010).

En ce sens, d'après les pièges lumineux placé au sein d'une forêt de la région de Vracov en République-Tchèque, le pic d'essaimage est survenu du 6 au 10 mai au moment où les températures moyennes étaient de 21°C soit 6,6°C au-dessus de la température moyenne des 10 dernières années (Švestka, 2007).

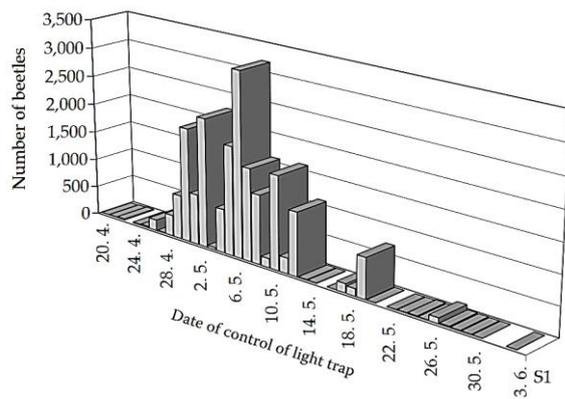


Fig. 1. Essaimage de *Melolontha hippocastani* F. en 2003 dans la localité de Vracov (Svestka, 2007a)

2.2 SELECTION DU LIEU DE PONTE :

2.2.1 Distance des zones d'essaimage et d'alimentation :

Il s'agit là du « facteur statistiquement le plus significatif » d'après Nageleisen et al. en 2015. Dans ce cas, il est constaté des populations de larves associées aux zones de « signalements DSF¹ antérieurs de dommages racinaires par les hannetons ».

C'est une information aussi renseignée par Svestka en 2006 : il constate en effet que la femelle *M. hippocastani* pond ses œufs non loin de la zone d'alimentation et de maturation (Švestka, 2006).

2.2.2 Conditions de sol :

Par ailleurs, le sol doit être « lâche » et « léger », il est donc préférentiellement sableux.

Selon Nageleisen et al. en 2015, la texture du sol est « le deuxième facteur le plus significatif : les hannetons sont observés presque exclusivement sur des textures sableuses » (Nageleisen et al., 2015:362).

De la même manière mais en étudiant la texture dans le sens inverse, Schmidt et Hurling ont montré en 2014 une corrélation négative entre le taux d'argile dans le sol (rendant théoriquement le sol plus compact) et le nombre de larves au m². Ils ont aussi montré l'effet négatif de la présence d'une nappe d'eau (dans leur étude, c'est la mesure de la nappe d'eau en octobre) (Schmidt & Hurling, 2014) (Cf. **Fig.2**).

¹ Département Santé des Forêts

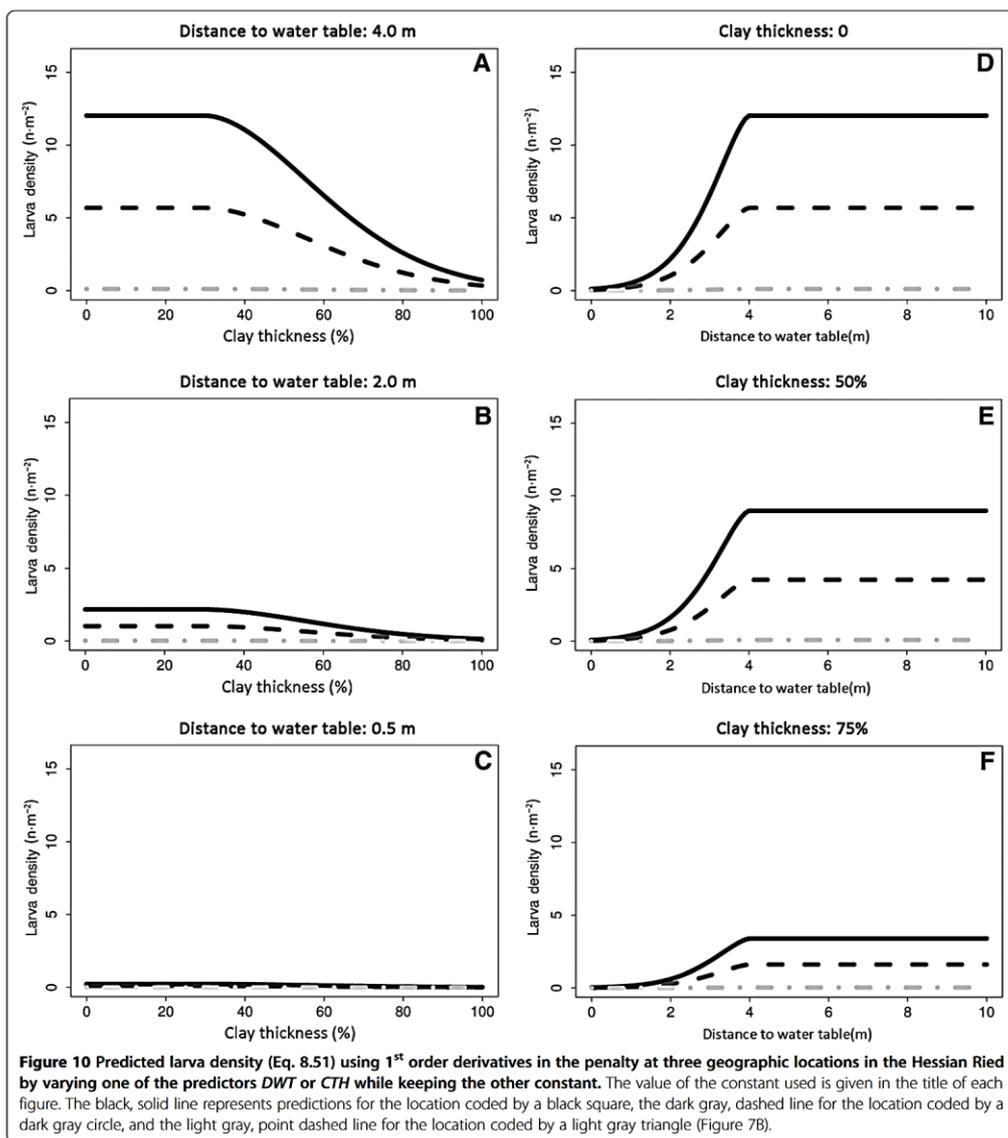


Fig. 2. Densité de larve prédite en fonction de la variation des prédicteurs « distance de la nappe d'eau » (distance to water table) ou « densité d'argile » (clay thickness) tout en gardant l'autre constant. (Schmidt et Hurling, 2014)

2.2.3 Température effective :

En outre et ce d'après la littérature, la sélection du lieu de ponte est « influencée par la température effective ». En effet, Švestka en s'appuyant des recherches menés par (Flerov *et al.*, 1954) et (Záruba, 1956) énonce que le choix de tel ou tel type d'environnement, qu'il soit fermé ou ouvert, qu'il y ait de la végétation au sol ou non, ce choix est opéré selon la température au moment de la ponte. En cela, lorsque les températures sont basses, les femelles auront une plus grande propension à pondre en milieux ouverts. Au contraire, en cas de températures élevées, les femelles vont pondre dans des zones plus ombragées, avec donc une plus grande densité d'arbres et de végétations au sol. Ainsi, dépendamment de la température au moment de la ponte, la femelle cherche un environnement qui fournira des conditions optimales pour la future population (Švestka, 2007), (Svestka & Drapela, 2009), (Szujecki, 2012:22).

2.2.4 Effet de la structure du peuplement :

Puisque « le déplacement latéral des larves, évalué à quelques mètres, semble faible » (Gaudry *et al.*, 2017:7), nous pouvons dire que les zones infestées par un grand nombre de larves ont été favorisé lors de la ponte.

Au stade larvaire L1, Švestka et Drapela (2009) découvrent en creusant des fosses au sein de forêts Tchèque infestées, une très forte fréquence de larve sous un peuplement de pin au stade fourré. Cette fréquence décroissait ensuite graduellement par la hêtraie, le gaulis de pin, la futaie de pin avec sous-bois de chêne, la futaie de pin sans sous-bois, sol-nu et enfin une plantation de pin. (Cf. **Fig. 3** et **Tab. 1**. Abondance des larves pour différents faciès de peuplement forestier (Svestka et Drapela, 2009)) Ils ont associé à chaque peuplement un degré d'ombrage. Ainsi, ils ont fait le lien entre peuplements denses et fortes densité de larves de hanneton au stade L1.

Ils mettent en lien ces densités importantes de larves sous un fort ombrage, aux fortes températures du mois de mai 2003, au moment des pontes (+ 6,6°C en comparaison à la moyenne des 10 dernières années) : à cause des fortes températures, les femelles sont allées pondre dans les zones les plus ombragées (Cf. § 2.2.3), (Svestka & Drapela, 2009).

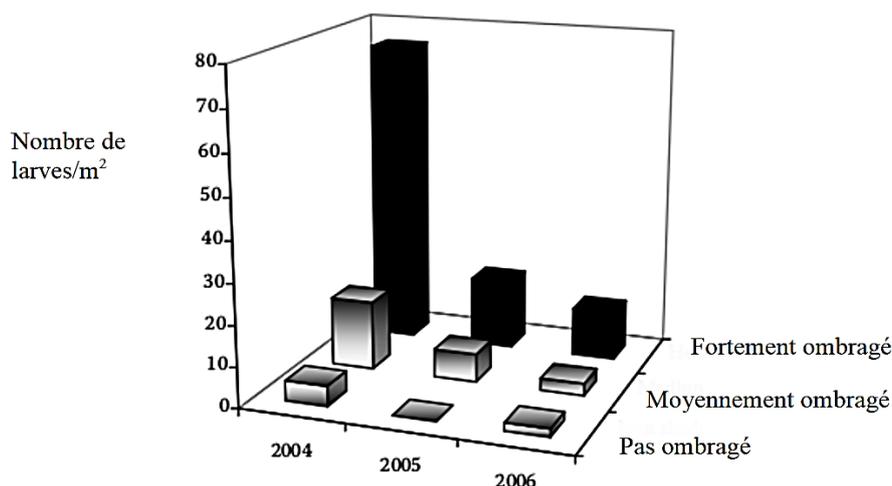


Fig. 3. Nombre de larves au m² selon le degré d'ombrage et évolution dans le temps (Svestka et Drapela, 2009)

Type de peuplement forestier	Nombre de larves / m ²		
	2004	2005	2006
1 Important couvert forestier de pin sans sous-bois	11,2	10,7	6,5
2 Important couvert forestier de pin avec sous-bois de chêne	23,0	3,2	0
3 Petit gaulis de pin	32,0	19,0	11,5
4 Fourré de pin	108,8	22,0	11,7
5 Hêtraie	84,0	10,0	9,3
6 Zone nue	8,0	0	2,9
7 Jeune pinède	1,1	0,6	1,9
Nombre moyen tous lieux confondus	38,3	9,4	6,3

Tab. 1. Abondance des larves pour différents faciès de peuplement forestier (Svestka et Drapela, 2009)

En parallèle, Niemczyk *et al.* (2017), après sélection de 3 forêts polonaises infestées par le hanneton (pas de distinction d'espèces) et la réalisation de fosses (à l'automne 2012 – printemps 2013) au sein de plusieurs faciès de peuplements, ont effectué une analyse statistique entre facteurs environnementaux et occurrence de larves de hanneton.

Ils montrent dans leur étude sur les peuplements les plus proches des zones ouvertes : les écotones, ont une plus grande probabilité d'être infesté par des larves de hannetons. Ils expliquent éventuellement ce phénomène en la sensibilité des insectes adultes à la longueur d'onde 520 nm (couleur verte) : les arbres proches des zones ouvertes captent plus de lumières au moment du crépuscule en comparaison du reste du peuplement et de ce fait sont plus attractifs (Hegedüs *et al.*, 2006).

Au contraire, il est exposé la faible probabilité de présence de larves dans le stade fourré. A ce stade, il est nécessaire de savoir que l'étude porte presque exclusivement sur des larves de stade L2. Ils expliquent cette faible densité potentiellement par une forte mortalité des larves de stade L1 causé une plus grande présence de microorganismes entomopathogènes dû à l'humidité accrue amené par un fort ombrage. Nous pouvons rajouter à cela l'éventualité de précipitations ayant augmentée les taux d'humidités. Nous pouvons mettre cette mortalité en lien avec la figure 3 : la densité en larves est certes bien supérieure en peuplements fortement ombragés mais il est constaté une grande mortalité relative (77% de mortalité entre 2004 et 2005 pour le degré d'ombrage « fortement ombragé » / 59% en « moyennement ombragé » / 80% pour le seul fourré de pin).

De plus, ils mettent en avant une tendance : la baisse de la probabilité d'occurrence de larves dans le sol avec la présence de pin sylvestre (*Pinus sylvestris* L.).

Par ailleurs, concernant l'étagement du peuplement forestier, ils concluent sur l'existence de 2 facteurs importants : un ombrage modéré par le peuplement en lui-même (strates dominantes à sous-étage) (21 à 35% d'ouverture de la canopée) et une végétation au sol importante (75% et plus) conduisent à un plus grand nombre de larves (Niemczyk *et al.*, 2017).

Le résultat de cette présence de larves dans des zones semi-ouvertes rejoint les informations apportées par Nageleisen *et al.* (2015). En ce sens, dans l'étude de Nageleisen *et al.*, « les effectifs sont les plus importants pour les surfaces terrières totales intermédiaires, c'est-à-dire comprises entre 15 et 25 m² » (Nageleisen *et al.*, 2015). En outre, cette étude met en avant de plus grands effectifs de larves lorsqu'il y a mélange d'essence (chêne – pin par exemple). Ce dernier résultat pourrait par contre sembler être au premier abord en contradiction avec l'étude de Jactel et Brockerhoff (2007), mettant en avant la réduction de l'herbivorie par les insectes forestier grâce à la diversité d'arbres. Cependant, les auteurs précisent que cette réduction de l'herbivorie, entendez la consommation de végétaux, est variable pour les espèces polyphages telle que le hanneton forestier (Jactel & Brockerhoff, 2007). Ce fait est expliqué par la possibilité donnée à ces insectes de se retourner sur d'autres espèces végétales lorsque l'espèce la plus appétente n'est plus disponible. Il est donc intéressant et nécessaire de rechercher quelles sont les espèces les plus appétentes et donc les espèces hôtes du hanneton forestier et au contraire les espèces les moins appétentes.

2.2.5 Effet des essences présentes :

Dans une étude de 2016, Woreta *et al.* établissent les liens existant entre la durée de vie, la prise de poids et la fertilité des hannetons adultes et leur alimentation. Dans ce cadre, ils vont capturer des insectes sur le terrain peu de temps après avoir quitté leur période d'hibernation. Ils ont étudié 576 insectes en 2011 et 432 en 2013 des deux espèces (*Melolontha melolontha* et *Melolontha hippocastani*). Cette étude permet de comprendre plus précisément le comportement alimentaire du hanneton. En effet, ils rappellent que la littérature indique que les hannetons se nourrissent préférentiellement sur des arbres à feuilles caduques comme le

chêne (*Quercus*), le sorbier (*Sorbus*), le hêtre (*Fagus*), le charme (*Carpinus*) et l'érable (*Acer*) ainsi que sur le mélèze d'Europe (*Larix decidua*).

Les feuilles de chêne (*Quercus robur* et *Quercus petraea*) ont des effets positifs sur la durée de vie, le poids et la fertilité des hannetons. Dans la mesure où au moment de la sortie des imagos, les feuilles de chêne sont jeunes, elles sont donc d'une part plus tendres. D'autres parts, elles sont composées de grandes quantités d'acides aminés et de peptides plutôt que de substances toxiques et de tannins. Cela rend la feuille de chêne très attrayante pour les hannetons. L'expérience du DSF en France confirme cette recherche de jeunes feuilles : « en mai 2015, les hannetons qui ont émergé dans les parcelles » de chênes ayant débouffés « depuis plusieurs semaines se sont portés dans les fonds de vallons, plus froids, où les chênes » avaient des feuilles plus appétentes de par le retard de croissance (Nageleisen *et al.*, 2015).

Les feuilles de hêtre et de mélèze apportent aussi de bons résultats mais pas au même niveau que pour les chênes. Pour le hêtre, ceci est expliqué par des biais d'expérimentation ainsi que par la présence de flavonoïdes, un élément dissuasif lors de la consommation par des insectes.

Dans le cadre du bouleau (*Betulus pendula*), les femelles n'ont simplement pas pondu d'œufs. L'aulne glutineux (*Alnus glutinosa*), le sureau noir (*Sambucus nigra*), le cerisier tardif (*Prunus serotina*), le robinier faux-acacia (*Robinia pseudoacacia*) ont des effets négatifs sur la survie et le développement des insectes.

A propos du cerisier tardif, les effets négatifs amenés par sa consommation sont expliqués par un mécanisme de défense. Lorsqu'une blessure se forme sur la plante (par exemple, lors de l'alimentation des insectes), le sucre contenu dans les molécules est éliminé par un phénomène enzymatique et en contrepartie, du cyanure d'hydrogène apportant un goût amer, est libéré. De même, Woreta *et al.* affirment que les tissus du robinier faux-acacia sont toxiques mais cependant, avec des concentrations considérablement différenciées (Woreta *et al.*, 2016) (Woreta & Sukovata, 2010).

2.3 FACTEURS SOUS-TERRAIN D'ABONDANCE DES LARVES :

Tout d'abord, d'après la littérature ainsi qu'empiriquement, malgré le caractère polyphage de la larve de hanneton, il est observé des essences favorisées ou non lors de l'alimentation. Ainsi, d'après Švestka en 2007, les larves préfèrent se nourrir sur les racines de pin (*Pinus*), de chêne (*Quercus*) ou encore de tilleul (*Tillia*). Par contre, elles n'attaquent pas les racines des saules (*Salix*), des peupliers (*Populus*) et des aulnes (*Alnus*) (Švestka, 2007).

En ce sens, Woreta et Sukovata démontraient en 2014 des taux de survie les plus importants pour le stade L1 sur le chêne pédonculé (*Quercus robur*) (25% de survie) et le chêne sessile (*Quercus petraea*) (20%). Au stade L2, nous retrouvons une fois encore le chêne pédonculé associé au pin sylvestre (*Pinus sylvestris*) avec 100% de survie. Par contre, pour les deux stades L1 et L2, nous notons les effets négatifs d'une alimentation faite de racines d'aulne glutineux (*Alnus glutinosa*) : 100% de taux de mortalité pour les larves L1 et 26,6% de taux de mortalité concernant le stade L2. Pour ce dernier stade, nous devons mettre en avant le taux de mortalité le plus important sur le bouleau verruqueux (*Betula pendula*) avec 33,3% (Woreta & Sukovata, 2014).

En outre, d'autres études ont été menées pour d'autres plantes. Sukovata *et al.* en 2015 ont mené ce type d'étude sur les larves de hannetons commun. Nous avons décidé d'ajouter cette étude à la bibliographie puisque la biologie du hanneton commun et forestier est très similaire

comme rappelé dans l'introduction. De ce fait, les auteurs ont pu relever des plantes, lorsque leurs racines étaient consommées, induisant des retards de développement, une plus forte mortalité et un plus faible gain de poids : le sarrasin (*Fagopyrum esculentum*), le navet (*Brassica para subsp. rapifera*) et le colza (*Brassica napus*). Au contraire, d'autres plantes favorise les performances des larves : tanaisie commune (*Tanacetum vulgare*), trèfle blanc (*Trifolium repens*) et le lupin à folioles (*Lupinus polyphyllus*).

Nous pourrions être amenés à croire que les racines des plantes du 1^{er} groupe et défavorisant la croissance des larves contiennent des métabolites jouant un rôle de défense. Cependant, d'après leur étude, il n'existe pas de relation entre une baisse de croissance des larves et la contenance en tannins et phénols. Il existe par contre un lien positif entre le gain en poids et donc entre la croissance de la larve et la concentration en sucres solubles (non-structurés) et en amidon des racines des plantes (Sukovata *et al.*, 2015).

L'importance des sucres contenus dans les racines est rappelée par Woreta et Sukovata en 2014. Ces sucres permettent un meilleur passage du stade L1 vers le stade L2. Ils rappellent aussi de l'importance de la présence d'acides aminés dans l'alimentation des larves de hanneton. De ce fait, en s'appuyant sur les auteurs Lee *et al.* (2012) et Andersen *et al.* (2013), ils précisent qu'une insuffisance en acides aminés a pour conséquence une baisse significative de la croissance et une augmentation de la mortalité des larves (Woreta & Sukovata, 2014).

Néanmoins, comment ces larves prenant naissance à 30-40 cm de profondeur peuvent-elles retrouver des racines qui leurs sont favorables lors de l'alimentation et ce, dans le noir complet qui définit l'environnement du sol ?

Un modèle général tend à expliquer le mouvement des larves dans le sol. Cf. **Fig. 4**

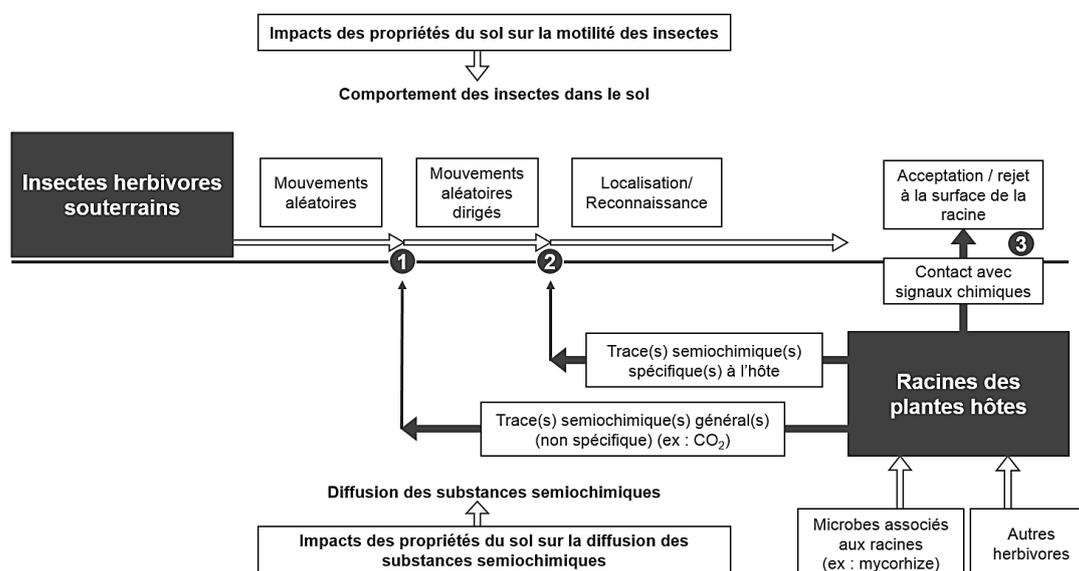


Fig. 4. « Représentation schématique du model conceptuel pour la localisation et la sélection chimique d'une plante hôte par les insectes se nourrissant des racines. Des exsudats non-spécifiques libérés par les racines peuvent agir en modifiant la recherche et/ou les mouvements des insectes (1), ce qui entraine le passage d'un mouvement totalement aléatoire vers un mouvement aléatoire dirigé. Des substances semiochimiques plus spécifiques sont libérées depuis les racines des plantes hôtes permettant aux insectes de localiser et de reconnaître leur plante-hôte (2). L'acceptation ou le rejet ultérieur s'effectue à la surface de la racine de par la présence de signaux chimiques de contact, soit « phagostimulant », soit « dissuasif » (3). Les effets des microbes associés aux racines ainsi que les espèces herbivores des racines cohabitantes, auront clairement un impact sur ces procédés. Les conditions du sol affectent significativement à la fois la diffusion des substances semiochimiques et la motilité des insectes. » (Johnson & Gregory, 2006:2)

Ainsi, comme le rappelle Weissteiner et al. (2006), en citant Horber (1954), Hauss & Schütte (1976) et Hasler (1986), « l'hypothèse commune concernant le comportement des organismes vivant dans le sol suggère que l'orientation en direction des plantes hôtes des larves de hanneton est principalement guidée par un gradient de CO₂ causé par la respiration racinaire » (Weissteiner & Schütz, 2006). Cependant, d'après Eillers et al. (2016), en s'appuyant d'accords avec les travaux de Reinecke et al. (2008), la concentration en CO₂ ne peut expliquer l'attraction des larves de hanneton (Eillers *et al.*, 2016).

De ce fait, s'il ne peut être qu'un indice pour les larves dans leur recherche de nourriture, le CO₂ n'est pas l'élément central expliquant les mouvements dirigés vers les racines des plantes hôtes.

En réalité, ce sont des composés organiques volatiles libérés par les plantes qui expliquent l'orientation et le choix de la plante hôte (Weissteiner & Schütz, 2006), (Weissteiner *et al.*, 2012), (Eillers *et al.*, 2016).

Concrètement, pour le seul cas du chêne, les dommages infligés à la racine induisent la libération de composés volatiles. Nous notons comme étant les plus importants l'eucalyptol et l'anisol (Cf. **Fig. 5** et **Fig. 6**) (Weissteiner & Schütz, 2006), (Weissteiner *et al.*, 2012). Ces composés présent dans l'air du sol, sont détectés par les antennes des larves et provoquent leurs mouvements dirigés en direction de la « source d'odeur ». Nous pouvons alors faire le parallèle entre ce mode de détection des larves sous-terraines et le mode de détection des insectes adultes concernant les composés émis par les feuilles attaquées.

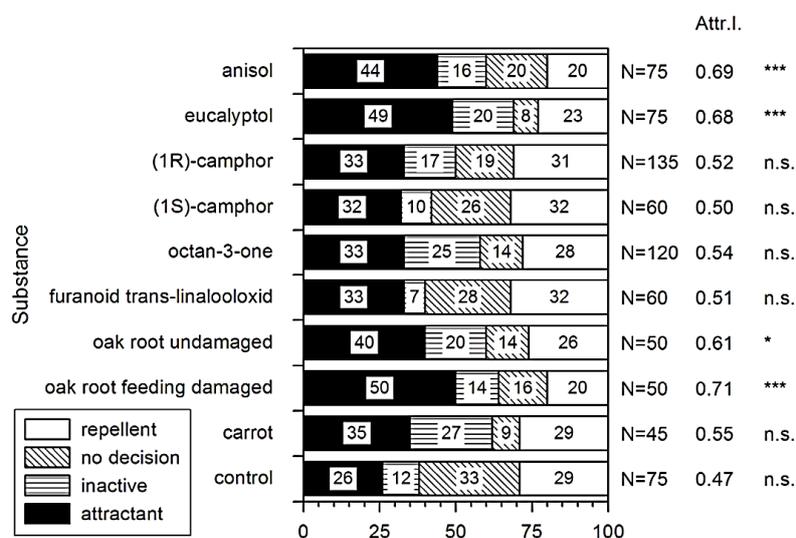


Fig. 5. « Données comportementales de *M. hippocastani* dans les tests à double choix dans le sol. Les chiffres dans les barres montrent le pourcentage de larves orientées vers la source d'odeurs (noire). Les nombres à côté des barreaux indiquent le nombre total d'individus dans les différentes expériences. L'indice d'attractivité (Attr. I.) a été calculé en rapportant le nombre de larves attirées par le composé en question au nombre total de larves présentant une décision. La significativité statistique est indiquée par *** ($p < 0,001$), * ($p < 0,05$) et n.s. ($P > 0,05$, non significatif, test de χ^2 , $\alpha = 0,05$). » (Weissteiner *et al.*, 2012)

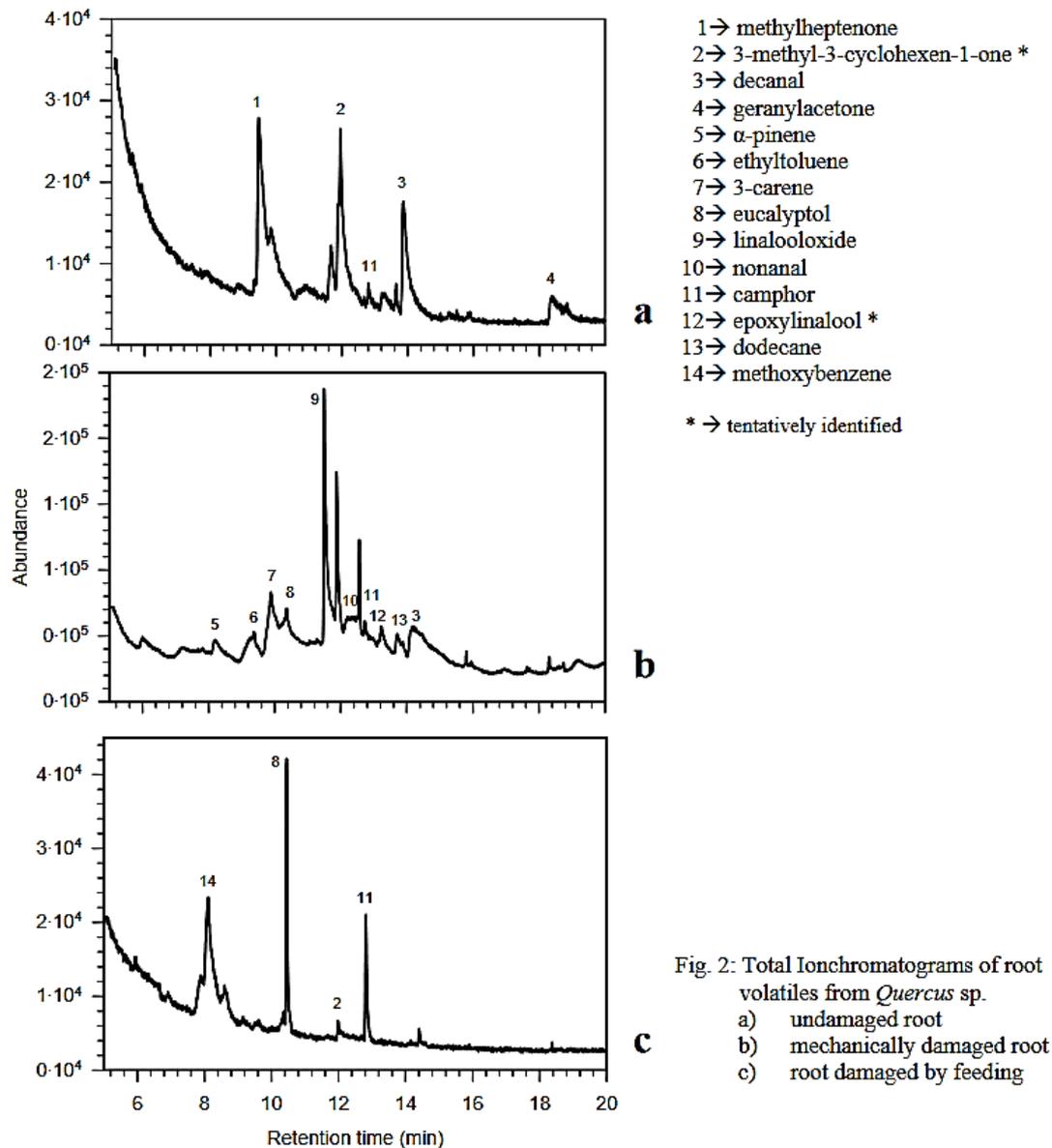


Fig. 2: Total Ionchromatograms of root volatiles from *Quercus* sp.
 a) undamaged root
 b) mechanically damaged root
 c) root damaged by feeding

Fig. 6. Composés volatiles émis par les racines de chênes selon plusieurs modalités : a) racine non endommagée ; b) racine mécaniquement endommagée ; c) racine endommagée suite à une alimentation. (Weissteiner & Schütz, 2006). Nous remarquons l'abondance d'émission d'eucalyptol dans le cas d'une racine consommée (c).

Cette hypothèse concernant l'importance des composés organiques volatiles dans l'orientation des larves de hanneton est illustrée par des réponses différentes en fonction du substrat du sol. En effet, l'étude d'Eillers et al. (2016) met en avant que le type de substrat affecte les réponses des larves rhizophages aux composés émis par les racines hôtes et ce indépendamment des gradients de CO₂. Dans l'expérience, l'orientation des larves est moins bonne dans un substrat composé de vermiculite². Les auteurs avancent que la vermiculite pourrait absorber les signaux chimiques, modifier la composition des exsudats : limiter la propagation du message chimique. Ainsi, le sable, tout en permettant aux larves de se déplacer à moindre effort, permet aussi une meilleure transmission des composés organiques volatiles améliorant l'orientation des larves en direction des racines hôtes.

² Minéral à structure argileuse remarquable de par sa force d'absorption.

3 CONCLUSION :

Nous avons essayé de lister l'ensemble des caractéristiques stationnelles favorisant la présence de hanneton dans une forêt.

Concernant l'insecte adulte, l'essaimage a lieu à partir d'une certaine température minimale seuil d'environ 15°C en moyenne dans la journée.

Le lieu de ponte est proche du lieu d'alimentation et de maturation. Le hanneton femelle recherche de préférence un sol meuble à texture principalement sableuse et sans une humidité excessive. Par ailleurs, il semble que la température effective au moment du vol de ponte ait une importance : en cas de températures élevées, le hanneton femelle recherchera une place plus ombragée ; dans le cas contraire, si les températures sont basses, elle recherchera une place plus ouverte et plus ensoleillée. Concernant le faciès des peuplements forestier, nous n'avons pas réussi à conceptualiser un peuplement type favorisant la présence de hanneton. La tendance générale va vers un peuplement semi-ouvert avec éventuellement une forte végétation au sol et à l'interface avec une zone plus ouverte (écotone). Par ailleurs, le hanneton adulte va favoriser dans son alimentation des feuilles de chênes encore jeunes en mai, des feuilles de hêtre ou encore de mélèze. Au contraire, il évite de s'alimenter avec des feuilles d'aulne glutineux, sureau noir, robinier faux-acacia et cerisier tardif qui entraînent des effets négatifs sur son développement.

De même pour les larves, si elles préfèrent une alimentation en racines de chênes ou de pin assurant des taux de survie plus important, une alimentation composée de racines d'aulne glutineux assure une plus grande mortalité. Le bon développement de la larve est corrélé à une concentration élevée en sucres solubles, en amidon et en acides aminés.

Il a été mis en avant le rôle important des composés organiques volatiles dans l'orientation des larves vers les racines. Par exemple, il en existe deux importants pour les chênes : l'eucalyptol et l'anisol. Dans ce cadre, le substrat a au moins deux actions sur les larves : leur motilité et la transmission des messages chimiques jusqu'à elles.

Enfin, si nous avons constaté dans la littérature les essences préférées autant par les larves que par les imagos, nous n'avons pas d'information quant à la survie de ces essences. Empiriquement, il est constaté de graves dépérissements sur les essences feuillues (chêne et hêtre principalement) mais il est pertinent de poser la question de la survie pour le pin par exemple. En effet, son enracinement traçant lui permet-il de s'adapter et de survivre aux attaques répétées de hannetons ?

Par ailleurs, nous avons pu relever l'importance de la température effective quant au choix du lieu de ponte. Il pourrait être intéressant d'utiliser les données de températures du printemps/été de 2015 grâce aux stations météo aux alentours d'Ingwiller et mettre en lien ces informations avec les futures données terrains pouvant être relevées lors du diagnostic d'extension de l'aire de présence du hanneton.

Aussi, si la densité de larve L1 est une bonne indication du lieu de ponte, le lieu n'est pas obligatoirement optimal pour la croissance des larves. Ainsi, il est noté une très forte mortalité entre le stade L1 et le stade L2. Pour connaître les zones les mieux adaptées à la croissance des larves, il semble préférable de réaliser des diagnostics au stade L3 où la mortalité est très faible.

4 BIBLIOGRAPHIE :

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*. 17(2):115–124.

Flerov, S.K., PONOMAREVOVÁ, E.N., KLJUŠNÍK, P.I., & Voroncov, A.I. 1954. Ochrana lesů. Praha, SZN. 352.

Gaudry, J., Brault, S., & Duez, F. 2017. La problématique hanneton en forêt : synthèse des connaissances 2013-2016 : forêts publiques de l'Oise. DRAAF Centre Val de Loire. Service régional de l'alimentation: Orléans.

Hegedüs, R., Horváth, Á., & Horváth, G. 2006. Why do dusk-active cockchafer detect polarization in the green? The polarization vision in *Melolontha melolontha* is tuned to the high polarized intensity of downwelling light under canopies during sunset. *Journal of Theoretical Biology*. 238(1):230–244.

Huber, F. 1982. Effet de défoliations des chênes par les hannetons sur la structure du bois. *Revue Forestiere Francaise*. 34(3):185–190.

Jactel, H. & Brockerhoff, E.G. 2007. Tree diversity reduces herbivory by forest insects. *Ecology Letters*. 10(9):835–848.

Johnson, S.N. & Gregory, P.J. 2006. Chemically-mediated host-plant location and selection by root-feeding insects. *Physiological Entomology*. 31(1):1–13.

Nageleisen, L.-M. 2013. Note technique - Les hannetons en forêt. Département Santé des Forêts (DSF).

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 Forestiere Francaise*. 67(4):353–366.

Niemczyk, M., Karwański, M., & Grzybowska, U. 2017. Effect of Environmental Factors on Occurrence of Cockchafer (*Melolontha* spp.) in Forest Stands. *Baltic Forestry*. 23(2):334–341.

Reinecke, A., Ruther, J., Tolasch, T., Francke, W., & Hilker, M. 2002. Alcoholism in cockchafer: orientation of male *Melolontha melolontha* towards green leaf alcohols. *Naturwissenschaften*. 89(6):265–269.

Ruther, J., Reinecke, A., Thiemann, K., Tolasch, T., Francke, W., & Hilker, M. 2000. Mate finding in the forest cockchafer, *Melolontha hippocastani*, mediated by volatiles from plants and females. *Physiological Entomology*. 25(2):172–179.

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.

Sukovata, L., Jaworski, T., Karolewski, P., & Kolk, A. 2015. The performance of *Melolontha* grubs on the roots of various plant species. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry; Year: 2015 Volume: 39 Issue: 1; 107-116*.

Švestka, M. 2006. Distribution of tribes of cockchafers of the genus *Melolontha* in forests of the Czech Republic and the dependence of their swarming on temperature. *Journal of Forest Science*. 52(11):520–530.

Švestka, M. 2007. Ecological conditions influencing the localization of egg-laying by females of the cockchafer (*Melolontha hippocastani* F.). *Journal of Forest Science*. 53:16–24.

Švestka, M. 2010. Changes in the abundance of *Melolontha hippocastani* Fabr. and *Melolontha melolontha* (L.) (Coleoptera: Scarabeidae) in the Czech Republic in the period 2003-2009. *Journal of Forest Science*. 56:417–428.

Svestka, M. & Drapela, K. 2009. The effect of environmental conditions on the abundance of grubs of the cockchafer (*Melolontha hippocastani* F.). *Journal of Forest Science - UZEI (Czech Republic)*.

Szujecki, A. 2012. *Ecology Of Forest Insects*. Springer Science & Business Media.

Touffait, R. 2017. Guide - Savoir détecter le rôle des hannetons dans les dégâts sur peuplements forestiers. Document interne ONF.

Wagenhoff, E., Blum, R., & Delb, H. 2014. Spring phenology of cockchafers, *Melolontha* spp. (Coleoptera : Scarabaeidae), in forests of south-western Germany : results of a 3-year survey on adult emergence, swarming flights, and oogenesis from 2009 to 2011. *Journal of Forest Science*. 60(4):154–165.

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*. 7(10):e45827.

Weissteiner, S. & Schütz, S. 2006. Are different volatile pattern influencing host plant choice of belowground living insects?, Beeinflussen verschiedene Volatilenmuster die Wirtspflanzenwahl unterirdisch lebender Insekten? *Deutsche Gesellschaft für Allgemeine und Angewandte Entomologie*. 15:51–55.

Woreta, D., Lipiński, S., & Wolski, R. 2016. Effects of food source quality on the adults of *Melolontha melolontha* and *M. hippocastani*. *Forest Research Papers*. 77(1):14–23.

Woreta, D. & Sukovata, L. 2010. Effect of food on development of the *Melolontha hippocastani* F. beetles (Coleoptera, Melolonthidae). *Forest Research Papers*. 71(2):195–199.

Woreta, D. & Sukovata, L. 2014. Survival and growth of the *Melolontha* spp. grubs on the roots of the main forest tree species. *Forest Research Papers*. 75(4):375–383.

Záruba, C. 1956. Ponravy-škůdci lesních školek a kultur. SZN.