

LE HANNETON FORESTIER (*MELOLONTHA HIPPOCASTANI* FABRICIUS 1801) EN PHASE ÉPIDÉMIQUE DANS LE NORD DE L'ALSACE

LOUIS-MICHEL NAGELEISEN – THIERRY BÉLOUARD – JOSEPH MEYER

Les hannetons sont des insectes connus de tous. Coléoptères de grande taille, de la famille des scarabées (*Scarabeoidea*), les enfants jouaient autrefois avec eux au mois de mai au moment de l'envol des adultes en leur attachant un fil à la patte. Leur cycle triennal était à l'étude de l'école primaire à une époque où l'histoire naturelle était au programme. Ravageur des prairies au stade larvaire, des arbres au stade adulte, leurs pullulations sont signalées dès le Moyen Âge (Albouy, 2005). Ils ont fait l'objet d'une lutte sans pitié et le recours au ramassage des adultes ou des vers blancs (larves de hanneton) par les enfants a fait place au cours du vingtième siècle à une lutte chimique de grande ampleur. DDT, lindane... ont été abondamment utilisés avec un certain succès mais avec d'importants effets secondaires méconnus à l'époque qui ont abouti à l'interdiction de l'usage de ces produits agropharmaceutiques. Devenus plus rares depuis quelques décennies, à tel point que nombre de citoyens les pensent en voie de disparition, ils font pourtant localement l'objet de la presse locale du fait de pullulation remarquable. C'était le cas en mai 2015 dans l'Est de la France.

Les éléments évoqués ci-dessus concernent essentiellement le hanneton commun [*Melolontha melolontha* (L. 1758)] et le milieu agricole. Si cette espèce peut pénétrer aisément le milieu forestier, une autre espèce, très proche du hanneton commun, est spécifique de ce dernier : il s'agit du hanneton forestier (*Melolontha hippocastani* Fabricius 1801). Une troisième espèce, *Melolontha pectoralis* Megerle 1812, est beaucoup plus rare et observable de façon anecdotique dans l'est de la France.

Plusieurs autres espèces de hanneton sont très communes en France mais observables à l'état adulte à d'autres périodes de l'année. On peut citer en particulier le hanneton de la Saint-Jean (*Amphimallon solstitiale* L. 1758) qui vole chaque année fin juin début juillet aux abords des maisons ou encore le hanneton du jardinier (*Phyllopertha horticola* L. 1758) qui envahit les pelouses au cours de l'été. Toutes ces espèces vivent au stade larvaire sous forme de vers blancs, peu différenciables, dans le sol.

Notre propos se limitera au hanneton forestier, espèce qui pullule actuellement dans le nord de l'Alsace et aux environs de Paris. Les descriptions données ci-après correspondent pour l'essentiel à des observations réalisées depuis quelques années dans les forêts à proximité d'Ingwiller (Bas-Rhin). Dans un premier temps, nous ferons un rappel de la biologie observée puis un descriptif des dommages engendrés par cette espèce. Nous décrirons enfin les caractéristiques de son habitat préférentiel à la lumière d'un inventaire systématique réalisé en 2014 et tenterons de dégager quelques pistes d'actions pour le futur.

BIOLOGIE DU HANNETON FORESTIER

Les hannetons ont un cycle de vie qui se déroule en deux phases : une phase souterraine longue durant laquelle se développent les œufs, les larves (3 stades successifs), le stade nymphal et le début de la vie imaginaire (adulte), suivie d'une phase aérienne courte au cours de laquelle les adultes se nourrissent et s'accouplent. Une des grandes différences entre le hanneton commun et le hanneton forestier est la localisation de la phase souterraine : prairiale pour le hanneton commun, intraforestière pour le hanneton forestier. Les adultes quant à eux ont un comportement relativement identique : ils recherchent des arbres adultes feuillus, essentiellement du chêne et occasionnellement du hêtre, du bouleau, des saules...

Durant la phase aérienne, les femelles fécondées pondent leurs œufs par paquets de quelques dizaines dans le sol à une profondeur de 10 à 30 cm. En présence de conditions météorologiques favorables (temps sec et assez chaud), cette opération peut se répéter jusqu'à trois fois. Elle est toujours entrecoupée de phases de consommation foliaire et d'accouplement.



Photo 1 Adulte de hanneton forestier femelle.

L.-M. Nageleisen



Photo 2 Adulte de hanneton forestier mâle.

L.-M. Nageleisen



Photo 3 Accouplement de hanneton forestier.

L.-M. Nageleisen



Photo 4 Œufs et larves néonates de hanneton forestier quelques semaines après la ponte (dimension des œufs 2 à 3 mm, des larves 8 à 10 mm).

J. Meyer

Les larves néonates (premier stade) apparaissent après quelques semaines. Au cours du stade larvaire qui dure plusieurs années, l'insecte effectue dans le sol une succession de migrations verticales selon les saisons, se rapprochant de la surface au cours des périodes chaudes pour se nourrir de racines et s'enfonçant plus ou moins profondément (jusqu'à 1 mètre de profondeur au troisième et dernier stade larvaire si la texture du sol le permet) pour se protéger du froid, notamment des gelées hivernales qui le tueraient. La nymphose est une phase relativement rapide en fin d'été et les adultes apparaissent au cours de l'automne. Comme les larves, ils s'enfoncent dans le sol pour passer l'hiver en diapause. Le climat a ainsi peu d'impact sur le hanneton forestier, en dehors éventuellement de sécheresse et canicule estivale sur les pontes et le premier stade larvaire. Le vol est conditionné par les conditions thermiques du printemps, une somme de température de 335 °C à partir du 1^{er} mars (cumul des températures moyennes journalières supérieures à 0 °C) étant nécessaire au démarrage du vol (Schwenke, 1974).



Photo 5
Les différents stades de développement du hanneton forestier : en bas : l'œuf, au centre : la larve au premier stade, en haut à gauche : la larve au troisième stade, en haut à droite : la nymphe.

J. Meyer

La durée du cycle est parfaitement rythmée pour le hanneton commun : 35 mois dans le sol et un mois à l'air libre au mois de mai, soit un cycle de 3 ans sur 4 années civiles. Pour le hanneton forestier, la littérature cite un cycle de vie d'une durée variable d'est en ouest en Europe : 5 à 6 ans en Russie, 4 ans en Allemagne et 3 ans en France (Schwenke, 1974). L'Alsace étant limitrophe de la Rhénanie-Palatinat où un cycle de 4 ans est observé (Späth et Schanowski, 2007), il était nécessaire de vérifier la durée effective du cycle. En forêt domaniale d'Ingwiller (Bas-Rhin) le dernier vol avait été observé en 2011. De 2013 à 2015, des fosses ont été ouvertes régulièrement dans deux parcelles de cette forêt de façon à vérifier les stades phénologiques de l'insecte (tableau I, p. 356). En automne 2013 et au printemps 2014, seules des larves au troisième stade ont été observées. Au cours de l'été 2014, ces larves se sont nymphosées puis en automne transformées en adultes qui ont hiverné. L'essaimage a eu lieu en mai 2015. Il a démarré vers le 10 avril et s'est prolongé jusqu'à début juin.

Ainsi une durée de 4 ans (48 mois sur 5 années civiles) pour le cycle du hanneton forestier est confirmée dans le nord de l'Alsace. Une même durée avait déjà été déterminée dans cette région (forêt indivise de Haguenau) dans les années 1950 (Couturier et Robert, 1956). C'est celle qui est observée dans les forêts voisines de la vallée du Rhin (Bienwald par exemple). Des observations

TABEAU I **Effectifs des hannetons forestiers dénombrés dans des fosses cubiques de 50 cm de côté en forêt domaniale d'Ingwiller.**

Quatre fosses sont creusées par site à chaque relevé ;
elles sont situées au sommet d'un carré de 25 m de côté et décalées d'un mètre à chaque relevé.

Date d'observation	Parcelle 155			Parcelle 203		
	Larves (3 ^e stade)	Nymphes	Adultes	Larves (3 ^e stade)	Nymphes	Adultes
15 octobre 2013	17			30		
17 mars 2014	12			20		
5 mai 2014	9			35		
16 juin 2014	4			9		
25 juillet 2014	2	0		0	7	
15 septembre 2014	0	3		0	17	
21 octobre 2014			4			17
1 ^{er} décembre 2014			3			27
Mai 2015			vol			vol

similaires ont été réalisées à Compiègne et ont également confirmé une durée de cycle de 4 ans. Cependant dans cette forêt, on constate que le cycle est alors décalé d'un an (vol en 2016). Un décalage d'un an dans l'autre sens (vol en 2014) a été relevé en forêt indivise de Haguenau (Bas-Rhin).

Ce décalage entre zones géographiques est classiquement observé pour le hanneton commun. Il est lié au fait que, dans une localité donnée, lorsque des adultes pondent des œufs qui vont donner rapidement des larves néonates, si des larves plus âgées (deuxième stade ou troisième stade) sont déjà présentes dans le sol (ponte d'une année précédente), ces dernières cannibalisent les jeunes larves. De ce fait, à l'échelle d'une petite région naturelle, une cohorte (c'est-à-dire l'ensemble d'une population issue de la ponte d'une année donnée) domine. Pour le hanneton commun, une cartographie a été dressée à l'échelle nationale pour situer les cohortes correspondant à une année de vol donnée (Hurpin, 1962). Dans l'est de la France, le régime 2, qui correspond à des vols en 2009, 2012, 2015..., est majoritaire (Nageleisen, 1995). De fait un vol massif de hanneton commun a été observé dans les Vosges en 2015. Pour le hanneton forestier, les données spatiales manquent pour l'instant pour établir un tel zonage.

HISTORIQUE DES PULLULATIONS DANS LES FORÊTS DU NORD DE L'ALSACE

Si le hanneton commun est particulièrement bien documenté du fait des dommages en milieu agricole, nous avons peu d'informations anciennes sur le hanneton forestier. Ce n'est que récemment qu'un dispositif d'observation régulière a été mis en place. Sur la période récente, les signalements de dommages racinaires sur des jeunes plants dans le nord de l'Alsace par le correspondant-observateur du département de la santé des forêts (DSF) de ce secteur datent des années 2000. Des vols ont été enregistrés en 2007, 2011 et 2015 en forêt domaniale d'Ingwiller. Pour une période plus ancienne, c'est uniquement à la faveur de dommages constatés ou de vols très importants (pic démographique épidémique) que des signalements ont été réalisés.

La consultation des archives de l'ex-division phytosanitaire Cemagref de Grenoble révèle des signalements au milieu des années 1980 (dommage en 1985, 1986, vol en 1987) à Offwiller, Repeirtswiller et Wimmenau. En 1953, les chercheurs de la station de l'INRA à Colmar qui travaillaient depuis plusieurs années sur le comportement de vol et de ponte du hanneton commun en plaine d'Alsace furent sollicités pour une pullulation de vers blancs en forêt indivise de Haguenau et ont décrit avec une grande précision un vol massif en mai 1954, tout en citant un vol précédent dans cette forêt en 1950 et un vol en 1955 dans la forêt du Bienwald (Couturier et Robert, 1956). Le vol constaté à Haguenau en 2014 est donc en totale conformité avec un cycle de 4 ans régulier depuis de nombreuses décennies dans cette forêt. Par ailleurs, nous relevons dans cette région trois pics démographiques depuis les années 1950 (début des années 1950, milieu des années 1980 et actuellement). On pourrait faire alors l'hypothèse (qui cependant reste à vérifier) que cette espèce suit des cycles réguliers de pullulation (gradation) selon un rythme de 7 ou 8 cycles générationnels, comme cela est observé pour certaines espèces de lépidoptères (tordeuse grise du mélèze, cheimatobie...) mais qui dans le cas du hanneton forestier se traduirait par un pic démographique toutes les 3 décennies environ.

QUELLES CONSÉQUENCES POUR LA FORÊT ?

Le hanneton forestier est à l'origine de deux types de dommages sur les arbres, en lien direct avec les deux écophases de son cycle biologique.

Au cours de la phase aérienne, les adultes émergeant du sol se dirigent vers le houppier d'arbres feuillus d'une taille déjà importante (arbres adultes ou subadultes). Là ils consomment activement les feuilles nouvellement formées (l'essaimage se déroule au mois de mai donc peu de temps après le débourrement). Un grand nombre de hannetons (plusieurs milliers) peuvent se concentrer dans le houppier et une défoliation totale de l'arbre est possible. Les Chênes (sessile ou pédonculé) sont recherchés en priorité mais de nombreuses autres essences feuillues sont consommées : Hêtre, Charme, Châtaignier, Bouleau, Érable, Saule, Tremble, Noisetier... Le Chêne rouge est également très apprécié. Par contre le Cerisier tardif (*Prunus serotina*) est délaissé. Les hannetons sont sensibles à la phénologie des essences consommées : les feuilles préférées sont les jeunes feuilles peu de temps après le débourrement, sans doute en lien avec l'absence dans les premiers stades de développement de la feuille de certains composés chimiques (tanins, phénols...) qui apparaissent après un certain temps. Comme les hannetons ont de bonne capacité de vol, ils se déplacent pour trouver les arbres qui leur conviennent le mieux ; un déplacement de plusieurs centaines de mètres est alors possible. Ainsi, en mai 2015, les hannetons qui ont émergé dans les parcelles où le Chêne avait débourré depuis plusieurs semaines se sont portés dans les fonds de vallons, plus froids, où les chênes avaient un décalage de débourrement de deux à trois semaines et donc présentaient des feuilles plus appétentes. Les défoliations totales ont été concentrées dans ces zones. Quelques résineux (Mélèze, Douglas...) ont localement été consommés, toujours très partiellement, par effet de proximité avec un feuillu fortement colonisé.

L'impact de la défoliation du hanneton sur les arbres est connu depuis longtemps. Henry (1892) montrait dans son atlas d'entomologie forestière une rondelle d'un chêne sur laquelle on note un amincissement des cernes tous les 3 ans de 1847 à 1877 attribué à une défoliation tous les 3 ans par le hanneton commun. Une étude sur des défoliations d'une chênaie en Haute-Saône par le hanneton commun entre 1940 et 1978 révèle que le bois initial est peu touché par la défoliation, même totale, et que c'est surtout le bois final dont l'épaisseur est diminuée (Huber, 1982). Aucun arrière-effet n'est constaté l'année suivante. Il est vraisemblable que les défoliations par le hanneton forestier aient les mêmes conséquences. La précocité de la défoliation (au cours du



Photo 6 Grappe de hannetons forestiers dans le houpier d'un hêtre en forêt domaniale d'Ingwiller en mai 2015.

L.-M. Nageleisen

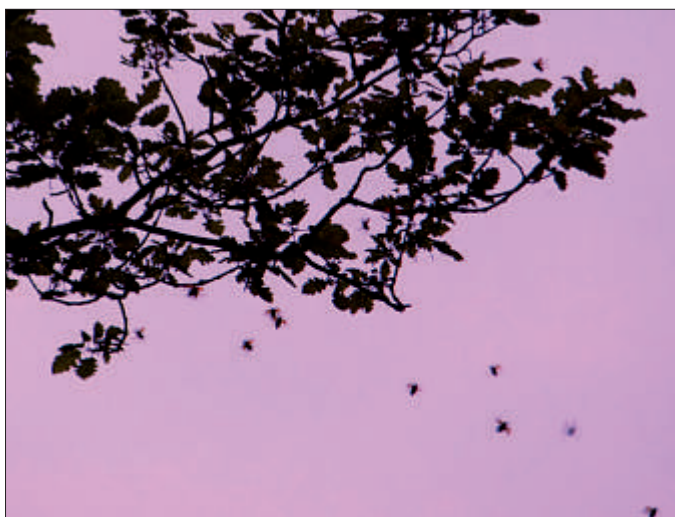


Photo 7 Vol crépusculaire du hanneton forestier dans les houppiers de chêne en forêt domaniale d'Ingwiller en mai 2015.

L.-M. Nageleisen

mois de mai) permet aux chênes de refeuiller rapidement dès le mois de juin, ce qui limite les conséquences de ces défoliations sur l'avenir de l'arbre. Cependant on sait que l'impact des défoliations même précoces peut être aggravé par l'arrivée de champignons foliaires (l'oïdium par exemple) sur les nouvelles feuilles (Marçais et Lousteau, 2012). Par ailleurs, l'impact n'est sans doute pas le même pour le hêtre qui a des difficultés à mettre en place une nouvelle feuillaison après une défoliation de printemps.

Au cours de la longue phase souterraine (elle dure 47 mois pour le hanneton forestier), les vers blancs consomment les racines fines (et moins fines !) à leur disposition dans le sol. Les larves sont actives dès que la température du sol augmente au début du printemps et dépasse 10 °C. Elles remontent vers la surface tout en se maintenant quelques centimètres sous la couche organique et s'attaquent alors indistinctement aux racines fines de toutes les espèces végétales



Photo 8 Mortalité de fourrés de hêtre à la suite des dommages racinaires dus aux larves de hanneton forestier.

L.-M. Nageleisen



Photo 9 Système racinaire de plants de chêne attaqués par les larves de hanneton forestier. L'ensemble des racines fines a disparu et les racines plus grosses sont également consommées.

L.-M. Nageleisen

ligneuses ou herbacées. Les plus grosses racines (quelques centimètres de diamètre) sont tout d'abord décapées superficiellement puis si le ver blanc s'immobilise, elles peuvent être creusées, sectionnées... à la façon dont procèdent les campagnols souterrains (les vers blancs ne laissent cependant pas de trace de dent). Toutes les essences forestières tant feuillues que résineuses sont consommées. Seul le Cerisier tardif semble être évité en Alsace.

Les dommages sont fonctions du stade larvaire : les larves de premier stade, très petites (moins de 10 mm) consomment peu alors que les larves de dernier stade (troisième stade) ont une taille importante (jusqu'à 5 cm) et sont très voraces de juillet de la deuxième année après le vol jusqu'en juillet de la troisième année après le vol (période entrecoupée d'une pause hivernale due au froid). Les dommages sont bien sûr proportionnels à la densité de vers blancs. Les seuils de dégâts déterminés en Allemagne après quatre décennies de suivi sont déclinés en

TABLEAU II **Seuils de dommages liés au hanneton forestier selon le stade larvaire et la densité (en nombre de larves par mètre carré)**
(Späth et Schanowski, 2007).

Risques pour la régénération	L1	L2	L3
Très fort	> 32	> 12	> 4
Fort	16-32	8-12	4
Modéré	8-12	4	–
Faible	4	–	–

fonction du stade et du nombre de vers blancs collectés dans des fosses d'un quart de mètre carré sur 50 cm de profondeur (tableau II, ci-dessus). Par comparaison, les densités de larves de troisième stade (L3) échantillonnées en 2014 en forêt domaniale autour d'Ingwiller sur 486 placettes d'inventaire où la présence de hanneton était attestée soit par des dommages soit par l'observation directe était en moyenne de $2,38 \times 4 = 9,52$ L3/m² avec un maximum observé de $19 \times 4 = 76$ L3/m² ! ce qui confirme l'existence d'une phase épidémique de la population de hannetons forestiers dans cette région en 2014-2015.

Les consommations racinaires ont une incidence directe sur les semis de quelques années qui rougissent au cours de la saison de végétation puis disparaissent par bris l'année suivante. Ainsi dans les parcelles en régénération le forestier constate par grandes zones l'absence de semis qui a longtemps été attribuée à des abrutissements par les cervidés. En 2014, des ronds de mortalité de toute essence ont été observés sur des peuplements aux stades semis et fourrés jusqu'à 3 à 4 m de hauteur. Sapin pectiné, Pin sylvestre, Épicéa commun, Hêtre, Chênes, Bouleau... sont touchés. L'arrachage, très facile pour des tiges pourtant déjà assez grandes, permet de constater l'absence de racines fines et les moignons de racines de plus grande taille. Ces dernières années, des plantations sur des surfaces importantes en forêt domaniale de Compiègne ou dans une moindre mesure sur station sèche en forêt indivise de Haguenau ont eu un très faible taux de réussite, imputable directement à des densités de vers blancs importantes.

Au cours de l'année 2015, le constat de descente de cime sur des hêtres ou des chênes adultes en zone de forte densité de vers blancs laisse penser que les dommages racinaires pourraient avoir des conséquences également sur la survie des arbres adultes, en particulier dans un contexte de sécheresse ou de canicule. Les premières investigations racinaires révèlent l'absence de racine fine sur tout ou partie du système racinaire de ces arbres dans une tranche de profondeur allant de 10 cm à 60 cm qui correspond à la zone d'activité des vers blancs. De façon à préciser ces observations, des couples de placettes ont été installés en zone de présence et hors zone de présence du hanneton forestier pour étudier le devenir des arbres adultes dans cette région.

La surface concernée par cette problématique dépasse 10 000 ha actuellement dans le nord de l'Alsace.

HABITAT DU HANNETON FORESTIER

Le comportement du hanneton commun et ses préférences d'habitat ont été beaucoup étudiés par le passé. Ils ont fait l'objet de nombreuses publications (Régnier, 1952 ; Couturier et Hurpin,

1957 ; Schwenke, 1974), notamment sur les migrations depuis les milieux prairiaux vers les lisières des massifs forestiers pour se nourrir et s'accoupler, suivies d'un retour pour la ponte dans un milieu prairial (Chopard, 1959). Les dommages larvaires du hanneton commun sont essentiellement dans les prairies permanentes. Les zones régulièrement retournées (prairies artificielles, cultures annuelles) leur sont très défavorables et leur extension au cours des dernières décennies au détriment des prairies permanentes explique en partie la régression généralisée de l'espèce sur le territoire national. Le hanneton commun reste assez rare en forêt et sa présence dans le sol se limite essentiellement à des zones ouvertes d'une certaine dimension. Les dommages se limitent aux plantations notamment sur terrain agricole, aux pépinières ou aux vergers à graine (Abgrall, 1981). Le hanneton forestier a quant à lui fait l'objet de peu de travaux en France sur son habitat qui reste intraforestier tout au long de sa vie. Aussi, vu la diversité des peuplements forestiers et la présence en forêt d'espaces non boisés, permanents ou temporaires, se posait la question du préférendum de cette espèce et de son extension dans la région d'Ingwiller. C'est pourquoi un inventaire systématique par placettes a été réalisé sur une vaste surface (20 000 ha environ) au cours de l'année 2014 par les personnels techniques de l'ONF (agence Nord-Alsace).

Matériel et méthodes

Les placettes ont été installées systématiquement aux nœuds d'une maille carrée de 400 m de côté soit avec une densité d'une placette pour 16 ha. Sur chaque point a été réalisé un inventaire dendrométrique selon les méthodes d'inventaire mises en œuvre par l'ONF (protocole ONF-ANAFOR version 2004 A1). Il consiste en un relevé relascopique par essence de toutes les tiges précomptables (diamètre à 1,30 m supérieur à 17,5 cm) et en un dénombrement des perches, des fourrés et des semis sur une surface fixe. Des informations complémentaires sur des dommages visibles (mortalité, rougissement des feuilles ou aiguilles) ou non (arrachage de semis pour observer les dégâts aux racines) ont également été relevées. Enfin, sur chaque point d'inventaire, une fosse cubique de 50 cm de côté a été creusée pour dénombrer le cas échéant les larves de hanneton. Un total de 1 100 points a ainsi été inventorié de mai à novembre 2014. Les données ont été saisies directement sur le terrain à l'aide d'ordinateurs de terrain (Workabout) et transcrites dans un tableau récapitulatif.

De façon à éliminer les placettes de l'inventaire qui sont en bordure externe de la zone de présence (l'installation de placettes s'arrêtait lorsque deux placettes successives étaient sans indice ou présence avérée de hanneton), une enveloppe convexe des placettes où le hanneton était effectivement présent a été calculée sous SIG pour délimiter la zone de présence potentielle. Les placettes à l'intérieur de cette enveloppe — elles sont au nombre de 975 sur un total de 1 100 (figure 1, p. 362) — ont fait l'objet d'une analyse statistique détaillée.

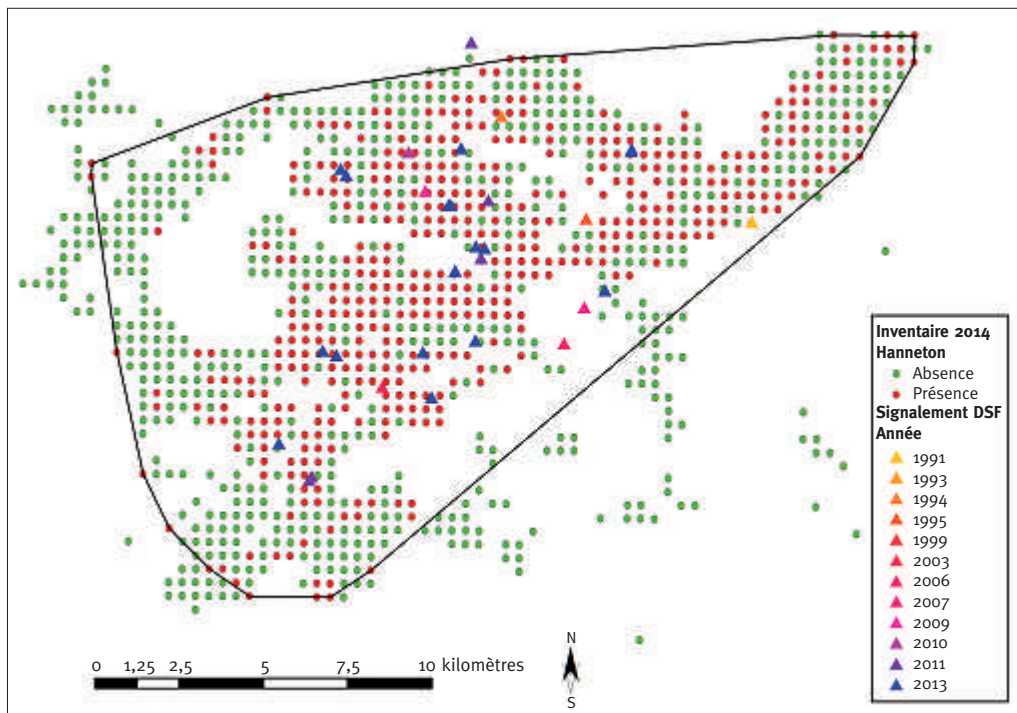
L'objet de cette analyse était d'expliquer les effectifs de larves à partir de facteurs explicatifs potentiels. Les facteurs testés étaient de différente nature :

- Caractéristiques du peuplement : composition en essences issue de l'inventaire mais également extraite de la cartographie forestière IGN (IFN, 2008), surface terrière et sa répartition par classes de dimension et par groupes d'essences, type selon la typologie des peuplements du massif vosgien (Asael *et al.*, 1999), importances du perchis, du gaulis et de la régénération ;
- Station : topographie (altitude, pente, exposition, rayonnement solaire potentiel), sol (texture, présence d'une couche noire dans l'humus), présence d'un tapis végétal ;
- Épidémiologie : distances aux observations antérieures du hanneton forestier (signalements du DSF).

Comme la grandeur à expliquer est un effectif, le modèle linéaire généralisé est parfaitement adapté. La famille de Poisson avec le logarithme comme fonction de lien s'imposait (Venables, 2002). Les traitements statistiques ont été réalisés à l'aide du logiciel R (R Core Team, 2014). Le

FIGURE 1

**CARTOGRAMME DES PLACETTES D'OBSERVATION
DU HANNETON FORESTIER DANS LE BAS-RHIN**



critère d'information d'Akaike (AIC) a été utilisé pour déterminer les facteurs statistiquement significatifs ; le meilleur modèle est celui pour lequel ce critère est le plus faible. Ce critère présente l'intérêt d'éviter le surparamétrage du modèle (parcimonie).

Résultats

L'analyse statistique a porté sur 967⁽¹⁾ placettes parmi lesquelles 453 placettes, soit un peu moins de la moitié (46,8 %), ont fait l'objet d'une observation directe de hanneton dans le sol (tableau III, p. 363).

Le facteur statistiquement le plus significatif est le minimum de la distance aux signalements DSF antérieurs de dommages racinaires par les hannetons, distance pondérée par l'inverse de l'ancienneté. Ce très fort effet spatial dans la pullulation actuelle de hannetons apparaît clairement sur la figure 1 (ci-dessus) : les signalements des années antérieures sont situés à proximité des hannetons observés lors de cet inventaire. On peut considérer qu'il y a une « zone cœur » de la population de hannetons forestiers qui persiste au cours du temps (au moins depuis les premières observations standardisées en 1991).

Le deuxième facteur le plus significatif est la texture du sol : les hannetons sont observés presque exclusivement sur des textures sableuses (sableuse pure, sablo-limoneuse et sablo-argileuse). Cette information est en totale conformité avec la littérature.

(1) Quelques placettes incluses dans l'enveloppe convexe ont été écartées de l'analyse car des données manquaient.

TABLEAU III

**Résultats de l'analyse statistique des données de 967 placettes
de l'inventaire réalisé en 2014 dans les forêts autour d'Ingwiller
par application d'un modèle linéaire généralisé.**

Seuls les facteurs statistiquement significatifs ont été retenus ($\Delta AIC > 2$). Un facteur est d'autant plus significatif que ΔAIC est élevé. ΔAIC correspond à l'augmentation de l'AIC lorsqu'on enlève le facteur en question au modèle complet (c'est-à-dire au modèle comprenant tous les facteurs statistiquement significatifs).

Facteur	AIC	ΔAIC
Tous les facteurs statistiquement significatifs	3 491,17	–
Surface terrière totale (3 classes)	3 497,31	6,13
Exposition	3 497,51	6,34
Altitude	3 498,26	7,09
Couvert du semis	3 499,35	8,18
Surface terrière des bois moyens	3 500,44	9,27
Pente	3 505,43	14,26
Distance au signalement DSF le plus proche	3 509,98	18,81
Part des feuillus dans la surface terrière totale	3 513,55	22,38
Jour de l'année	3 527,99	36,82
Type de formation végétale IGN	3 536,83	45,66
Surface terrière feuillue	3 542,67	51,50
Structure du peuplement (typologie du massif vosgien)	3 555,80	64,63
Texture du sol	3 560,36	69,18
Minimum de la distance aux signalements DSF antérieurs pondérée par l'inverse de l'ancienneté	3 634,88	143,71

Parmi les autres variables stationnelles, l'altitude influe un peu, au moins dans le domaine du présent inventaire (altitudes comprises entre 250 et 500 m). On note une forte diminution des signalements de hanneton au-delà de 400 m. La topographie, à travers la pente et l'exposition, ressort également mais selon des modalités qui semblent *a priori* complexes et que cette analyse n'a pas permis d'établir parfaitement.

Les données dendrométriques disponibles qui décrivent le peuplement sont très nombreuses. Peu sont cependant apparues comme statistiquement significatives à l'analyse. La surface terrière semble toutefois jouer un rôle non négligeable. La densité de hannetons est corrélée positivement avec la surface terrière feuillue, mais négativement avec la part de surface terrière feuillue dans la surface terrière totale, ainsi que négativement avec la surface terrière des bois moyens. Cela révèle l'importance du mélange d'essences (la présence de hanneton est plus forte dans les peuplements mixtes feuillus-résineux comme dans les mélanges Hêtre-Pin sylvestre) mais aussi l'effet négatif d'un fort matériel sur pied (les peuplements fermés sont peu colonisés). Les effectifs sont les plus importants pour les surfaces terrières totales intermédiaires, c'est-à-dire comprises entre 15 et 25 m². Les données synthétiques de la typologie des peuplements du massif vosgien qui reposent sur la proportion des différentes catégories de diamètre (petits bois, bois moyens, gros bois et très gros bois) interviennent de la même façon : moins de hannetons dans les zones

très ouvertes (vide boisable ou peuplement très clair à petits bois) et dans les peuplements les plus denses (perchis, futaie à petit bois), plus de hannetons dans les peuplements réguliers, à bois moyens et gros bois, pauvre en perchés.

Il convient toutefois de rester prudent sur les résultats de cette analyse statistique dont le pouvoir explicatif reste globalement faible. En effet, la généralisation du coefficient de détermination R^2 au modèle linéaire généralisé (Nakagawa, 2013) s'élève uniquement à 18,6 %. Les résultats obtenus sont donc à prendre avec circonspection.

Malgré tout, cette analyse conforte globalement les observations réalisées directement sur le terrain, tant en Alsace qu'aux environs de Paris, sur la présence de dommages et le comportement de ponte des femelles après accouplement en mai 2015 : absence de hanneton forestier dans les zones très ouvertes d'une certaine superficie (prairie à gibier par exemple) ou dans les peuplements très fermés (taches de fourré-gaulis-perchis ou futaie dense avec un sous-étage important), présence dans les peuplements semi-ouverts (peuplements fortement éclaircis, sans sous-étage).

CONCLUSIONS

Beaucoup de questions restent en suspens au sujet de cette pullulation du hanneton forestier dans le nord de l'Alsace. L'apparente nouveauté de ce phénomène doit-elle être interprétée comme un changement dans la dynamique de population suite à des modifications environnementales (peuplement forestier, climat, défaut de prédation...) ou simplement par un déficit d'observations ou d'écrits sur des phases épidémiques anciennes ? Les conséquences sur les peuplements, de la régénération au peuplement adulte, vont-elles se pérenniser et, dans l'affirmative, le forestier a-t-il des moyens d'intervention ?

De façon à répondre le plus objectivement possible à ces questions, un observatoire constitué de placettes de suivi biologique du hanneton forestier et de placettes de suivis des symptômes sur les peuplements a été installé pour quelques cycles générationnels (pour 2 cycles au minimum soit 8 ans de façon à confirmer la dynamique de population).

Au sujet des interventions contre le hanneton, l'utilisation des insecticides chimiques après la Deuxième Guerre mondiale a été généralisée pour lutter contre les hannetons, avec un succès certain mais avec des conséquences considérables sur les espèces non cibles, liées au spectre très large de ces insecticides, épandus sur de grandes surfaces. Ils ne sont désormais plus autorisés.

Un seul produit reste homologué actuellement contre les vers blancs (aucun contre les adultes). Il s'agit d'un insecticide systémique à base d'imidaclopride que l'on place soit directement dans le sol au moment de la plantation, soit dans le substrat lors de la mise des plants en godet. Sa durée d'action limitée dans le temps (2 ans) pose la question du renouvellement du traitement à l'occasion d'une nouvelle phase de ponte et d'une nouvelle génération de larves.

En Rhénanie-Palatinat, région allemande voisine, le hanneton forestier cause des dommages depuis plusieurs décennies dans les forêts de la vallée du Rhin. Les tentatives de lutte biologique contre le hanneton forestier, menées par le centre de recherches forestières de Fribourg-en-Brisgau (FVA Bade-Wurtemberg) à l'aide de champignons entomophages (*Beauveria brognartii*) ou de nématodes, se sont pour l'instant soldées par des échecs.

Aussi, le forestier reste actuellement relativement démuné contre ce ravageur et l'expérience allemande montre que la problématique du hanneton forestier pourrait devenir une préoccupation durable dans les forêts sur sol sableux.

Louis-Michel NAGELEISEN
 DÉPARTEMENT DE LA SANTÉ DES FORÊTS
 (MAAF/DGAL/SDQPV)
 UMR1137 EEF
 INRA – Centre de Nancy-Lorraine
 F-54280 CHAMPENOUX
 (louis.michel.nageleisen@gmail.com)

Thierry BÉLOUARD
 DÉPARTEMENT DE LA SANTÉ DES FORÊTS
 (MAAF/DGAL/DEVP)
 UMR1202 BIOGECO
 INRA – Centre de Bordeaux-Aquitaine
 69 route d'Arcachon
 F-33612 CESTAS CEDEX
 (Thierry.Belouard@bordeaux.inra.fr)

Joseph MEYER
 OFFICE NATIONAL DES FORÊTS
 correspondant observateur du DSF
 Agence Nord-Alsace
 12 côte de Weinbourg
 BP 37037
 F-67340 INGWILLER
 (joseph.meyer@onf.fr)

BIBLIOGRAPHIE

- ALBOUY (V.). — Le Cycle des hannetons de la guerre de Cent Ans à la cinquième république. — *Insectes*, n° 136, 2005, p. 14.
- ABGRALL (J.-F.). — Observations biologiques et essais de lutte contre le hanneton commun dans les vergers à graine. — *Revue forestière française*, vol. XLIII, n° 6, 1991, pp. 489-500.
- ASAEI (S.), ANCEL (P.), LACOMBE (E.), WILHELM (M.-E.). — Peuplements forestiers du massif vosgien : typologie et sylvicultures. — CRPF Lorraine-Alsace, 1999. — 52 p.
- CHOPARD (L.). — Les migrations du hanneton. — *La Nature*, n° 3288, avril 1959, pp. 164-167.
- COUTURIER (A.), HURPIN (B.). — Les Hannetons et l'agriculture. — *Cahiers des Ingénieurs agronomes*, vol. 112, 1957, pp. 23-29.
- COUTURIER (A.), ROBERT (P.). — Observations sur *Melolontha hippocastani* F. — *Annales des Épiphyties*, n° 3, 1956.
- HENRY (E.). — Atlas d'entomologie forestière. — Berger-Levrault et Cie éditeurs, 1892. — 102 p.
- HUBER (F.). — Effet de défeuillaisons des chênes par les hannetons sur la structure du bois. — *Revue forestière française*, vol. XXXIV, n° 3, 1982, pp. 185-190.
- HURPIN (B.). — Superfamille des *Scaraboidea*. In : Entomologie appliquée à l'agriculture. Tome I – Coléoptères / A.-S. Balachowsky. — Paris : Masson Ed., 1962. — pp. 24-204.
- IFN, 2008. — Nouvelle cartographie forestière - De la production à l'utilisation. — [En ligne] disponible sur : http://inventaire-forestier.ign.fr/spip/IMG/pdf/IF20_carto.pdf (consulté en décembre 2015).
- MARÇAIS (B.), DESPREZ-LOUSTAU (M.-L.). — European oak powdery mildew : impact on trees, effects of environmental factors, and potential effects of climate change. — *Annals of Forest Science*, 2012, DOI 10.1007/s13595-012-0252-x.
- NAGELEISEN (L.-M.). — Le Hanneton commun : régime II en 1994 dans le Nord-Est. In : La santé des forêts en 1994. — Paris : Ministère de l'Agriculture – DSF, 1995. — p. 26.

- NAKAGAWA (S.), SCHIELZETH (H.). — A general and simple method for obtaining R^2 from generalized linear mixed-effects models. — *Methods in Ecology and Evolution*, 4, 2013, pp. 133-142. DOI 10.1111/j.2041-210X.2012.00261.X.
- R Core Team. — R : A language and environment for statistical computing. — Vienna, Austria : R Foundation for Statistical Computing, 2014. — URL <http://www.R-project.org/>
- RÉGNIER (R.). — Recherches sur les hannetons : évolution de la population larvaire en fonction des cultures et du climat. — *Comptes-rendus de l'Académie d'Agriculture de France*, 1952, pp. 448-454.
- SCHWENKE (W.). — Die Forstschädlinge Europas. Zweiter Band : Käfer. — Verlag Paul Parey, 1974. — pp. 85-128.
- SPÄTH (V.), SCHANOWSKI (A.). — Maikäfer und Waldschutz. — Ministerium für Ernährung und Ländlichen Raum Baden-Württemberg. 5/2007-55. — 28 p.
- VENABLES (W.N.), RIPLEY (B.D.). — *Modern Applied Statistics with S*. — Fourth Edition. — Ed. Springer, 2002.

LE HANNETON FORESTIER (*Melolontha hippocastani* Fabricius 1801) EN PHASE ÉPIDÉMIQUE DANS LE NORD DE L'ALSACE (Résumé)

Le hanneton forestier (*Melolontha hippocastani*, *Coleoptera*, *Scarabeoidea*) pullule depuis quelques années dans les forêts du nord de l'Alsace et du pourtour de Paris. Un suivi biologique a permis d'établir que cette espèce avait un cycle de 4 ans dans ces deux régions. Au cours de la phase souterraine qui dure 47 mois, les larves très polyphages consomment les racines de nombreuses espèces ligneuses (Hêtre, Chênes, Pins, Sapins...) causant des mortalités importantes des jeunes tiges. Les adultes essaient au mois de mai (en 2015 en forêt domaniale d'Ingwiller, en 2016 en forêt domaniale de Compiègne) et se portent préférentiellement sur des chênes dont ils consomment les feuilles avant de s'accoupler. Les femelles fécondées pondent alors leurs œufs dans des sols sableux à l'intérieur de peuplements relativement clairs.

THE FOREST COCKCHAFFER (*Melolontha hippocastani* Fabricius 1801) AT THE EPIDEMIC STAGE IN NORTHERN ALSACE (Abstract)

The forest cockchafer (*Melolontha hippocastani*, *Coleoptera*, *Scarabeoidea*) has multiplied in the last few years in the forests of northern Alsace and around Paris. Biological monitoring has established that this species has a life cycle of 4 years in these two regions. During the subsoil phase, which lasts 47 months, the highly polyphagous larvae eat the roots of many woody species (beech, oaks, pines, fir trees, etc.), causing significant mortality amongst young stalks. Adults hatch in May (in 2015 at the Ingwiller state forest, and in 2016 in the Compiègne state forest) and feed preferentially on oak leaves before mating. The fertilized females then lay their eggs in sandy soil inside relatively sparse stands.
