

# FORÊT

## • NATURE



OUTILS POUR UNE GESTION RÉILIENTE DES ESPACES NATURELS



Tiré à part du Forêt.Nature n° 161, p. 53-60

### ÉTUDE DU CHOIX DE LIEU DE PONTE PAR LE HANNETON FORESTIER DANS LES VOSGES DU NORD

**Jérémy Cours** (INRAE), **Louis-Michel Nageleisen** (DSF-MAA et UMR SILVA), **Régine Touffait** (ONF),  
**Hubert Schmuck** (ONF), **Stéphane Brault** (ONF), **Nathalie Brêda** (UMR SILVA), **Claudine Richter** (ONF),  
**François-Xavier Saintonge** (DSF-MAA), **Vincent Boulanger** (ONF)





# Étude du choix de lieu de ponte par le hanneton forestier dans les Vosges du Nord

Jérémy Cours<sup>1</sup> | Louis-Michel Nageleisen<sup>2,3</sup> | Régine Touffait<sup>4</sup> | Hubert Schmuck<sup>4</sup> | Stéphane Brault<sup>4</sup>  
Nathalie Brêda<sup>3</sup> | Claudine Richter<sup>4</sup> | François-Xavier Saintonge<sup>2</sup> | Vincent Boulanger<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Écosystèmes forestiers (INRAE)

<sup>2</sup> Département de la Santé des Forêts (Ministère de l'Agriculture et de l'Alimentation)

<sup>3</sup> UMR SILVA (Université de Lorraine, AgroParisTech, INRAE)

<sup>4</sup> Office National des Forêts

Mieux comprendre l'écologie du hanneton forestier est une nécessité vu son potentiel caractère ravageur. Les outils de diagnostic et de surveillance permettent d'anticiper le développement de l'insecte et de travailler plus en amont pour réduire son impact sur les peuplements.

**Le** hanneton forestier (*Melolontha hippocastani* FABR. 1801) est un coléoptère d'assez grande taille, connu à travers l'Europe pour les dommages qu'il cause périodiquement en forêt par son alimentation. Son cycle biologique est de quatre années et, puisque les populations sont synchronisées dans chacun des massifs occupés par l'espèce, la dernière année du cycle est marquée par une spectaculaire phase aérienne. L'ensemble des adultes de la population se retrouvent dans les canopées, de préférence de chênes, pour la consommation des feuilles. À cette occasion, les arbres sont totalement défoliés, parfois le long d'une simple lisière, parfois à l'échelle d'un massif. Les hannetons, dans leur phase adulte, vont alors rapidement s'accoupler et la femelle ira pondre ses œufs sous terre, dans un sol sableux de préférence<sup>7, 8</sup>. En effet, cette phase aérienne remarquable est en réalité la partie émergée de l'iceberg. La majeure partie du cycle biologique du hanneton forestier est souterraine. À partir du moment où la femelle dépose sa vingtaine d'œufs en grappe sous terre, les larves y passeront près de 36 mois à consommer les racines des végétaux à proximité du site de ponte (figure 1). Le régime très polyphage de ces dernières leur permet de consommer les racines d'une large gamme d'espèces d'arbres : chênes, hêtre, pin sylvestre, etc. En cas de forte densité de larves dans le sol, les consommations racinaires réduisent voire inhibent la capacité des arbres à absorber l'eau dans le sol (figure 2). Ainsi, les semis puis les jeunes arbres développent de la microphyllie (les jeunes semis de hêtre surtout) puis meurent suite aux déficits hydriques induits par leur incapacité d'absorption d'eau dues à ces consommations racinaires. À plus long terme, une forte densité de larves pourraient contribuer au dépérissement d'arbres adultes, surtout dans des contextes où l'alimentation en eau devient difficile par cause de sécheresses successives. C'est en effet près de 60 % de la biomasse racinaire qui disparaît progressivement sous les coups de mandibules des vers blancs<sup>9</sup>.

Historiquement, l'utilisation de produits phytopharmaceutiques (insecticides) est la méthode de lutte la plus efficace face aux pullulations de hanneton forestier<sup>12</sup>. Cependant, ces produits présentent des effets délétères sur les autres guildes d'insectes et sur l'environnement forestier au sens large : en ce sens, les règlements européennes visent à interdire leur usage en forêt. Il apparaît alors d'autant plus important d'étudier l'écologie des espèces à potentiel ravageur, tel que le hanneton forestier, dans le but d'atténuer leur pullulation ou de comprendre les conditions de leur apparition ainsi que leurs rôles dans le fonctionnement des écosystèmes forestiers.

C'est dans ce cadre que notre étude s'est inscrite. Comme nous l'avons précédemment décrit, la phase larvaire souterraine est capitale chez le hanneton forestier, autant en termes de durée au cours du cycle biologique, qu'en termes de dommages observés par les gestionnaires forestiers. C'est donc cette phase que nous avons décidé d'étudier tout particulièrement. Plus précisément, nous avons souhaité mieux comprendre les conditions du choix du lieu de ponte par la femelle hanneton forestier. La larve semble posséder une capacité de déplacement horizontale relativement faible. En ce sens, la zone où se trouve la larve au moment de l'éclosion reste, à quelques mètres près, celle où elle poursuivra son développement.

### **Le choix du lieu de ponte chez les insectes : un compromis entre la recherche de conditions optimales pour sa progéniture et de moindre risque et dépense énergétique pour la femelle adulte**

De façon générale chez les insectes, le lieu choisi par la femelle pour pondre ses œufs est la dernière décision qu'elle prend pour assurer sa descendance. Ce

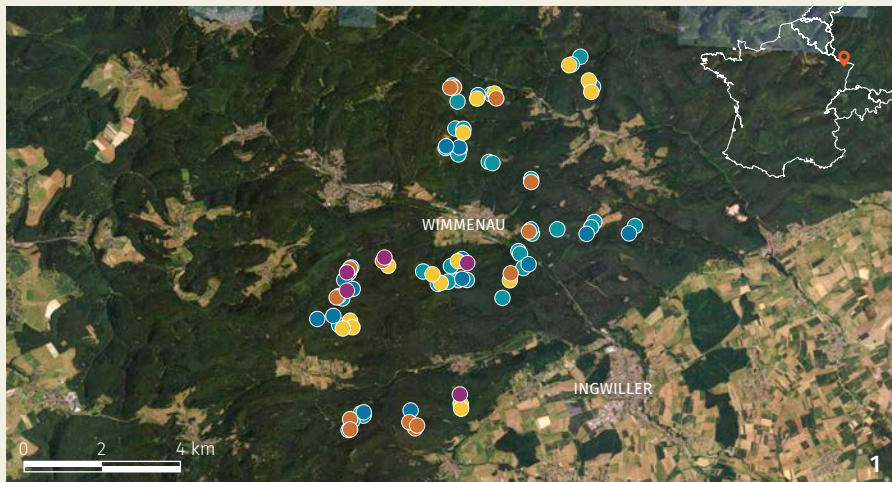
## **RÉSUMÉ**

Le hanneton forestier est une espèce importante de coléoptère à potentiel ravageur des forêts mixtes et feuillues européennes. Afin de mieux comprendre son écologie, nous avons étudié le comportement de ponte des femelles dans les Vosges du Nord. Nous avons mis en évidence qu'une strate arbustive dense est négativement corrélée à la densité de pontes et d'œufs dans le sol. Au contraire, l'ouverture de la canopée et la proportion de surface terrière de chêne

dans le peuplement alentour étaient toutes deux positivement corrélées avec les densités de pontes et d'œufs. Nous émettons l'hypothèse qu'une couche arbustive dense crée une barrière physique pour les femelles. D'autre part, une canopée ouverte pourrait améliorer les conditions pour les larves dans le sol, tout comme une proportion élevée de chênes dans la zone environnante peut fournir une bonne source de nourriture pour les larves et les adultes.

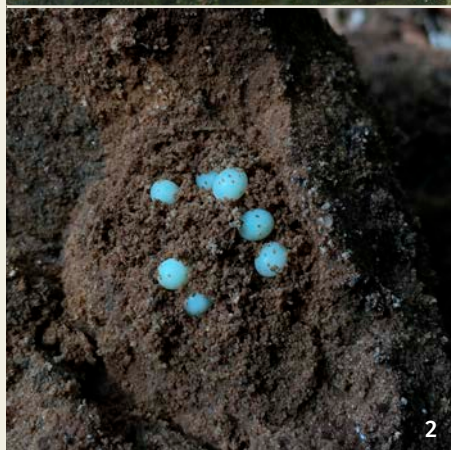
Densité d'œufs de hanneton forestier (nombre/m<sup>2</sup>)

0-64 64-152 152-260 260-428 428-578



**Figure 1**

1. Carte des placettes de l'étude. En couleur : densité moyenne d'œufs de hanneton forestier observée sur chacune des placettes.
2. Ponte de hanneton forestier sous forme d'agrégats ; les œufs mesurent approximativement 2 mm de diamètre.
3. Larve de hanneton au troisième stade (3<sup>e</sup> année de développement).
4. Adultes de hanneton forestier en position de pré-accouplement.



**Figure 2.** Consommation racinaire sur des semis d'âges différents. Il ne reste plus que les racines fines présentes dans l'humus où les larves de hanneton ne semblent pas s'alimenter.

choix est donc d'une grande importance et souvent conditionné par des instincts sélectionnés au fur et à mesure de l'évolution, suite infinie de sélection des caractères et instincts améliorant la survie d'individus dans leur environnement. Aujourd'hui, le choix du lieu de ponte semble répondre, chez les insectes, à deux objectifs : (1) trouver les conditions optimales de survie de la descendance, décrit par la théorie de la ponte optimale (« *optimal oviposition theory* ») ; (2) réduire la dépense énergétique et les risques pris sur le trajet entre la zone d'alimentation (et de maturation des œufs) de la femelle et le lieu de ponte, décrit par la théorie de la recherche optimale de nourriture (« *optimal foraging theory* »).

De plus, un troisième élément, en partie lié au deuxième objectif, peut avoir pour conséquence de modifier le choix du lieu de ponte. L'hypothèse de la résistance par association (« *associational resistance hypothesis* ») prédit que le choix de l'habitat par les insectes phytophages (consommant des végétaux, comme le hanneton forestier) peut être perturbé par la présence de plantes non hôtes (et donc non consommées)<sup>5</sup>.

### Choix du lieu d'étude

Au printemps 2007 a eu lieu, dans les forêts des montagnes des Vosges du Nord, autour de la commune de Wimmenau (département du Bas-Rhin), une pullulation de hanneton forestier. Ces derniers ont à l'occasion fortement défolié les chênes. Il s'agit des premières observations récentes de vols massifs dans ce secteur par un correspondant-observateur du Département Santé des Forêts (DSF). À partir de cette année, il a été observé tous les 4 ans, le vol massif caractéristique des adultes de hanneton forestier. Le soir, au crépuscule, pic d'activité pour ces coléoptères adultes, le sous-bois se remplit d'un bourdonnement sourd. Par ailleurs, ces dernières années sont caractérisées par des mortalités subites et en grandes quantités, des semis et jeunes arbres des forêts du massif infesté. Les semis dépérissants sont singuliers de par leur absence de racines fines, marque caractéristique de l'alimentation des larves dans le sol. C'est suite à ces différentes constatations qu'il fût décidé en 2014, la réalisation d'une première étude. Elle avait pour objectif de cartographier l'abondance des larves de hannetons souterraines sur le massif des Vosges du Nord<sup>7</sup>. De plus, il fût relevé à l'occasion différentes

variables du milieu afin de mieux comprendre les préférences d'habitat de l'espèce, sous sa forme larvaire. Une autre étude, en 2018, a eu pour objectif de mieux caractériser encore ces mêmes préférences d'habitat au sein de ce même massif<sup>2</sup>. C'est cet historique d'observations, d'études et donc de bonnes connaissances sur l'historique de présence et l'écologie du hanneton qui nous a amené à sélectionner les forêts du massif des Vosges du Nord comme site d'étude.

Nous avons par ailleurs stratifié notre échantillon de placettes d'études, au nombre de 106, selon différents facteurs liés à des hypothèses écologiques. Nous souhaitons d'abord étudier le lien entre le lieu de ponte et la ressource trophique : nous avons alors choisi, à l'aide des documents de gestion, quarante et une parcelles sur un gradient de mélange d'essences, caractérisé par la proportion de chêne. Dans le cadre de la théorie de la recherche optimale de nourriture, nous avons pour hypothèse que l'abondance de pontes serait plus élevée à proximité de chênes puisqu'ils constituent la meilleure ressource trophique pour les adultes<sup>8</sup>.

Ensuite, à la suite de travaux ultérieurs publiés dans la littérature scientifique, nous avons souhaité mieux comprendre le lien entre le lieu de ponte et l'ouverture de la canopée : au sein des parcelles précédemment sélectionnées, nous avons implanté deux placettes d'étude dans l'espace le plus refermé et le plus ouvert. Notre hypothèse était que, dans le cadre de la théorie de la ponte optimale, les femelles favoriseraient les pontes en milieu forestier ouvert car les larves profiteraient de meilleures conditions (surtout plus chaudes, les insectes étant des animaux à « sang froid »). Nous avons mesuré l'ouverture de la canopée à l'aide de photos hémisphériques et d'un logiciel informatique dédié (*Gap Light Analyser*). La caractéristique de sélection principale de ces deux placettes, en plus de l'ouverture de la canopée, était l'absence de semis au sol, au moins dans un rayon de 10 mètres autour du centre.

Enfin, nous voulions tester une troisième hypothèse : la présence d'une strate arbustive dense (couverture du sol supérieur à 75 %) d'un rayon minimal de 5 mètres pourrait réduire la densité de pontes dans le sol. Nos précédentes études nous ont amenés à proposer l'hypothèse qu'une strate de ce type pouvait agir comme une barrière impénétrable pour les hannetons adultes femelles, au moment du choix de lieu de ponte<sup>1,3</sup>.

Par ailleurs, dans le but d'identifier les modes d'actions des trois facteurs précédemment identifiés sur la densité de pontes dans le sol, nous avons mis en œuvre une méthode d'arbre de régression. Il s'agit



d'une méthode de régression couramment utilisée pour illustrer visuellement l'impact de variables testées (prédicteurs) sur une variable réponse (à prédire)<sup>1, 4</sup>.

## Résultats

### Bilan global : une grande densité de pontes et d'œufs suite au vol de 2019

Malgré des conditions météorologiques défavorables au hanneton aux mois d'avril et mai (températures froides accompagnées de gelées tardives et d'une météo relativement humide), les densités de pontes et d'œufs observées dans le sol étaient relativement importantes. Nous avons trouvé, en moyenne, 151 œufs/m<sup>2</sup> pour 6,7 pontes/m<sup>2</sup>. En comparaison, une étude allemande propose un seuil de danger critique pour la régénération à partir de 32 larves du premier stade, stade le plus proche de l'étape d'œuf<sup>6</sup>.

### La présence d'une strate arbustive dense

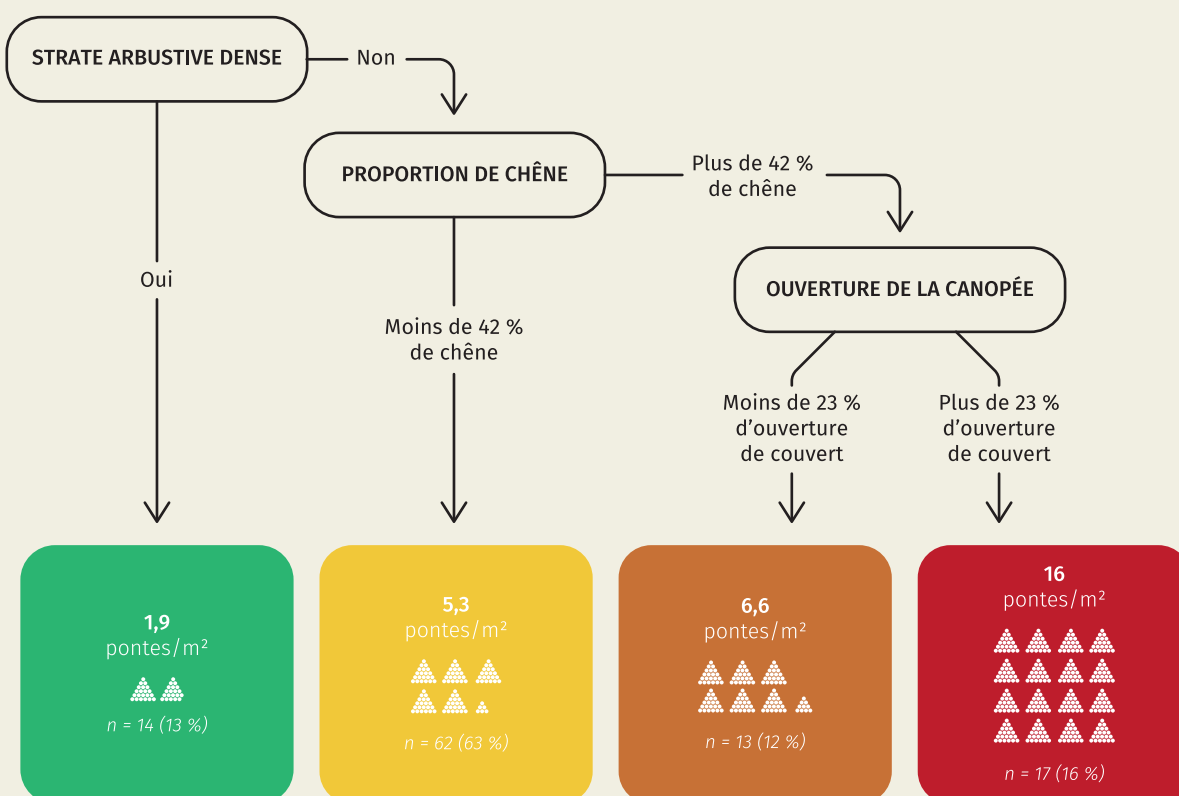
Il apparaît de notre analyse que l'élément ayant l'effet le plus important en magnitude, sur la densité de ponte de hanneton est la présence d'une strate

arbustive dense (figure 3). En effet, la densité de pontes et d'œufs était quatre fois moins élevée sous une strate arbustive basse que sous n'importe quel autre type forestier. Ainsi, malgré la grande quantité de ressource racinaire sous un îlot dense de végétation arbustive pour les larves, les femelles de hanneton forestier les ont largement évités pour pondre leurs œufs. Nos observations nous amènent à penser que la végétation dense pourrait jouer un rôle de barrière impénétrable pour le vol maladroit des hannetons forestiers. Ne dit-on pas d'ailleurs « être étourdi comme un hanneton » en référence au vol pataud du coléoptère ? Par ailleurs, un îlot dense de végétation pourrait jouer un rôle de barrière visuelle ou se révéler émettre des composés volatils répulsifs pour les hannetons forestiers ; hypothèses qui resteraient à étudier.



Il est reconnu que la strate arbustive est fortement dégradée par de fortes densités d'ongulés. Cet acquis nous a amené à proposer un lien indirect possible entre l'augmentation des densités d'ongulés sauvages observées depuis une trentaine d'années dans

**Figure 3.** Arbre de régression pour la prédiction de la densité de pontes (nombre/m<sup>2</sup>). La variable d'entrée dans l'arbre est la présence d'une strate arbustive basse.



les massifs forestiers du Grand-Est avec la pullulation actuelle de hanneton forestier.

### Le rapprochement avec la ressource trophique

Le deuxième facteur de contrôle sur les pontes mis en évidence dans notre étude est la proportion de chêne dans le peuplement adulte proche (relevée au relascope) : plus elle est élevée et plus grande est la densité de pontes dans le sol (figure 3). Ainsi, notre analyse montre que les peuplements comprenant plus de 42 % de chêne en surface terrière ont un nombre significativement plus élevé de pontes (figure 3). Ce constat est en accord avec les observations de terrain qui montrent les hannetons adultes recherchant avant tout des feuilles de chêne à consommer. Ce résultat pourrait à la fois être expliqué par la théorie de la ponte optimale et celle de la recherche optimale de nourriture. En effet, la littérature scientifique a établi que les feuilles de chêne sont la source de nourriture qui optimise la croissance et la survie des adultes<sup>11</sup>. De même, les racines des chênes semblent être une très bonne source d'alimentation pour les larves<sup>11</sup>.

### L'ouverture de la canopée

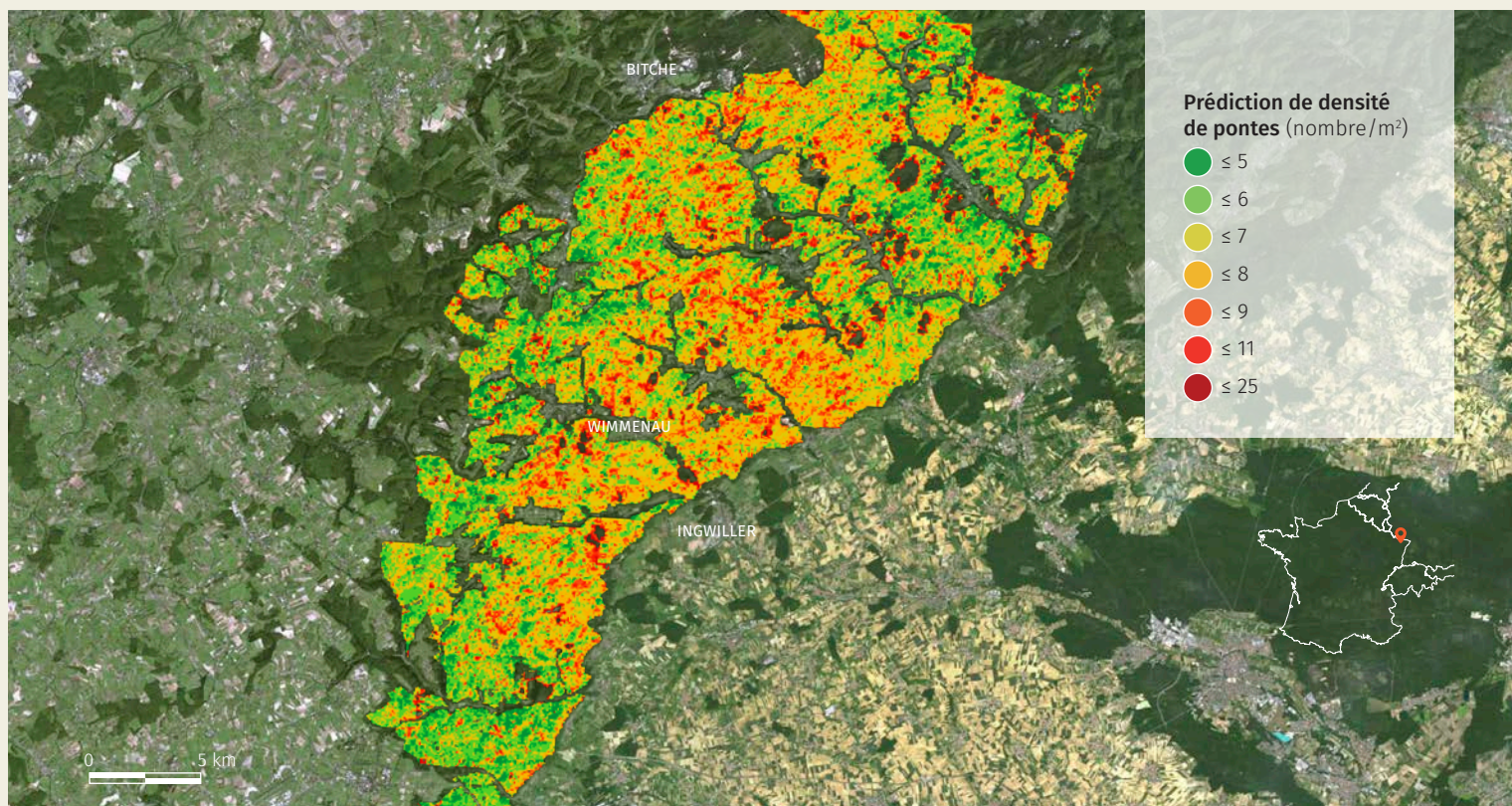
Le dernier facteur mis en évidence quant au choix du lieu de ponte, est l'ouverture de la canopée : plus elle était grande et plus élevée était la densité de pontes de hanneton forestier (figure 3). Ainsi, dans les peuplements à forte proportion de chêne (au delà de 42 %), ceux avec une ouverture de la canopée supérieure à 23 % étaient significativement plus densément occupés par des pontes de hanneton (figure 3). Nous pouvons émettre différentes hypothèses pour expliquer ce résultat. (1) Les femelles hannetons sont attirées par la lumière polarisée par les canopées de chênes lors de leur vol au crépuscule en bordure d'une zone ouverte pour s'alimenter. Ainsi, d'après la théorie de l'alimentation optimale, les femelles pondraient en milieu ouvert parce qu'elles s'alimentent à proximité. (2) Par ailleurs, le microclimat, largement conditionné par l'ouverture de la canopée, peut assurer de meilleures conditions de vie (meilleurs développement ou survie) pour les larves dans le sol, selon les conditions climatiques. Il a effectivement été proposé par des chercheurs tchèques que les femelles de hanneton préfèrent pondre en conditions fermées lorsque les conditions météorologiques au moment de la ponte sont chaudes et sèches et en conditions ouvertes lorsque les conditions sont froides et humides<sup>10</sup>. Nous notons que les mois de mai et juin 2019 furent relativement froids et humides et que cela pourrait effectivement expliquer nos observations d'une plus grande densité de pontes en conditions de canopée ouverte. Ainsi, dans le cadre de cette hypothèse qui serait à valider lors de printemps chauds et secs, c'est la théorie de la ponte optimale qui viendrait éclairer le choix du lieu de ponte par la femelle hanneton forestier.

## Cartographie de la potentialité de colonisation du hanneton forestier dans le massif des Vosges du Nord et limites de l'approche

Dans un second temps, nous avons cherché à quantifier sur l'ensemble du massif des Vosges du Nord, les peuplements vulnérables à une colonisation massive par le hanneton forestier. Il est observé au fil des vols successifs, tous les 4 ans, une avancée de la population de hanneton, principalement vers le nord. Ainsi, nous souhaitons situer les zones forestières favorables à l'accueil de pontes massives de hanneton forestier, y compris celles dans lesquels le hanneton forestier n'avait pas été décrit en phase épidémique.

Pour cela, nous avons utilisé les images multi-spectrales prises par le satellite *Sentinel-2* le 2 juillet 2019. À partir des bandes spectrales relevées, nous avons calculé divers indices de végétation. Nous avons ensuite mesuré la moyenne de chacun de ces indices dans un rayon de 25 mètres autour de nos placettes sur le terrain. Par la suite, nous avons cherché à modéliser à partir de ces indices de végétation, les facteurs de vulnérabilité des peuplements identifiés : l'ouverture de la canopée, la proportion de chêne des peuplements et la couverture par une strate arbustive dense. L'objectif était d'utiliser nos placettes d'étude comme placettes de calibration, nous permettant ensuite d'estimer la densité de pontes que nous aurions pu observer sur l'ensemble du territoire des Vosges du Nord. La strate arbustive étant présente sous la canopée, et difficilement observable depuis le ciel, il nous a été impossible de la modéliser. Cependant, nous avons pu mettre au point des modèles explicatifs pour l'ouverture de la canopée ( $R^2 = 35,8 \%$ ) et pour la proportion de chênes dans le peuplement ( $R^2 = 34,6 \%$ ) à partir des indices de végétation calculés. Nous avons alors prédit sur l'ensemble des Vosges du Nord, l'ouverture de la canopée et la proportion de chênes des peuplements. Enfin, à partir de ces premières prédictions et d'un modèle simplifié expliquant la densité de pontes (excluant la variable « présence d'une strate arbustive »), nous avons pu proposer une carte de prédiction des densités de pontes de hanneton sur la totalité du massif des Vosges du Nord (figure 4).

Malgré des limites évidentes (modèles explicatif des variables environnementales peu explicatifs, faible nombre de variables explicatives pour un processus aussi complexe que le choix du lieu de ponte), notre prédiction fournit des résultats relativement satisfaisants lorsqu'on la superpose à la carte de présence actuelle et des défoliations par les adultes en 2019<sup>1,7</sup>. En lien avec les observations de terrain, on observe que le potentiel de colonisation s'étend surtout en direction du nord du massif.



**Figure 4.** Carte de prédiction de la densité de pontes dans le sol sur l'ensemble du territoire des Vosges du Nord. Elle a été réalisée par apprentissage entre des données relevées dans le cadre de l'étude et des indices de végétation issus des images Sentinel-2.

## Conclusion

Tout d'abord, il apparaît important de maintenir les efforts de recherche sur l'écologie du hanneton forestier. Par exemple, il serait intéressant aujourd'hui de mieux connaître sa contribution dans les phénomènes de dépérissement d'arbres adultes après les sécheresses exceptionnelles récentes. Ceci est envisagé par dendrochronologie et calculs de bilan hydrique sur un réseau de placette de suivi de présence et de dommage du hanneton.

Par ailleurs, l'effet négatif de la présence d'une strate arbustive basse sur la densité de pontes nous a amené à questionner le rôle des ongulés dans les pullulations récemment observées. Comme évoqué plus haut, l'augmentation chronique et forte de la densité d'ongulés observée dans les forêts des Vosges pourrait contribuer indirectement à créer un biotope favorable au hanneton par une baisse significative du couvert arbustif. Ainsi, cette hypothèse de relation indirecte mériterait d'être creusée par la comparaison entre des enclos et des exclos.

La relation positive entre la proportion de chêne, ressource trophique principale du coléoptère, et la densité de pontes nous pousse à questionner les effets du mélange d'essence sur le hanneton forestier, ceci dans le cadre de l'hypothèse de résistance par association<sup>5</sup>.

En outre, l'importance de l'ouverture de la canopée dans le choix du lieu de ponte reste à préciser. Par exemple, la relation est-elle indépendante (c'est-à-dire plus la canopée est ouverte, plus la densité de pontes est grande) ou dépendante d'autres facteurs (c'est-à-dire la relation dépend-elle de la température de l'air au moment du choix de lieu de ponte) ?

Enfin, nous mettons en avant, dans le cadre de ce travail, la grande utilité du couplage entre des observations au sol et des données satellitaires afin de fournir aux gestionnaires des outils supplémentaires de diagnostic et de surveillance. La carte prédictive produite, permet aujourd'hui de cibler les surfaces

## POINTS-CLEFS

- ▶ Le hanneton forestier est une espèce importante à potentiel ravageur des forêts mixtes et feuillues européennes.
- ▶ Les femelles pondent leurs œufs dans le sol et les larves dévorent les racines des plantes, pouvant conduire à la mort des semis des espèces ligneuses.
- ▶ Il apparaît de nos observations, un effet négatif de la présence d'une strate arbustive dense sur la densité de pontes et d'œufs dans le sol.
- ▶ En revanche, nous observons un effet positif de l'ouverture de la canopée et de la proportion de chêne sur la densité de pontes et d'œufs dans le sol.

sur lesquelles il n'est pas observé actuellement de pullulations mais où les facteurs de vulnérabilité sont présents. C'est dans ces zones à risque de pullulation qu'il faut dès à présent appliquer une surveillance accrue de tout symptôme de présence du hanneton forestier, comme par exemple les mortalités importantes de semis dans un premier temps. ■

## Bibliographie

- <sup>1</sup> Cours J. (2019). *Study of ecological niche of forest cockchafer (Melolontha hippocastani FABR. 1801) in Northern Vosges forests*. Mémoire d'ingénieur, Nancy, Office national des forêts, AgroParisTech.
- <sup>2</sup> Cours J. (2020). Écologie de l'insecte - Mieux comprendre la niche du hanneton forestier : une étude ONF en 2018 dans les Vosges de Nord. *Rendez-vous Techniques ONF 65-66* : 32-37. 
- <sup>3</sup> Cours J., Nageleisen L.-M., Touffait R. (2019). Gestion forestière intégrée des insectes ravageurs : exemple par l'étude de la niche écologique du hanneton forestier (*Melolontha hippocastani* FABR. 1801). *Revue Forestière Française* 71(6) : 553-567. 
- <sup>4</sup> Cours J., Nageleisen L.-M., Touffait R., Schmuck H., Brault S., Bréda N., Richter C., Saintonge F.-X., Boulanger V. (2021). Oviposition preference of the forest cockchafer (*Melolontha hippocastani* FABR. 1801) at the stand scale depends on oak proportion, canopy openness and ground accessibility. *Annals of Forest Science* 78(2) : 53.
- <sup>5</sup> Jactel H., Castagneyrol B. (2018). Effet de la diversité des forêts sur leur résistance aux insectes ravageurs natifs et exotiques (Résumé). *Revue Forestière Française* 70(6) : 639. 
- <sup>6</sup> Nageleisen L.-M. (2013). Note technique - Les hannetons en forêt.
- <sup>7</sup> Nageleisen L.-M., Bélouard T., Meyer J. (2015). Le hanneton forestier (*Melolontha hippocastani* FABR. 1801)

en phase épidémique dans le nord de l'Alsace. *Revue Forestière Française* 67(4) : 353-366. 

- <sup>8</sup> Nageleisen L.-M., Cours J. (2020). Biologie des hannetons : bilan des connaissances. *Rendez-vous Techniques ONF 65-66* : 13-17. 
- <sup>9</sup> Serre T. (2017). *Caractérisation écologique et stratégie d'évaluation de la biomasse de racines fines sur l'observatoire Hanneton, massif forestier des Vosges gréseuses - Objectif n°2 stratégie d'évaluation de la biomasse de racines fines sur l'observatoire Hanneton, massif forestier des Vosges gréseuses*. Rapport de stage Master 1, Nancy, AgroParisTech, Université de Lorraine, INRA.
- <sup>10</sup> 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 - UZEI (Czech Republic)*.
- <sup>11</sup> Touffait R. (2020). Écologie de l'insecte - Arbres ou autres plantes défavorables au développement des hannetons : expérimentations en Pologne. *Rendez-vous Techniques de l'ONF 65-66* : 38-40. 
- <sup>12</sup> Woreta D. (2016). Reduction of population numbers of *Melolontha* Spp. adults - a review of methods. *Folia Forestalia Polonica* 58(2) : 87-95.

**Crédits photos.** Adobe Stock (p. 53), J. Cours (p. 55, 56 et 57).

---

Jérémy Cours<sup>1</sup>

Louis-Michel Nageleisen<sup>2,3,4</sup>

Régine Touffait<sup>5</sup>

Hubert Schmuck<sup>6</sup>

Stéphane Brault<sup>7</sup>

Nathalie Bréda<sup>4</sup>

Claudine Richter<sup>8</sup>

François-Xavier Saintonge<sup>3</sup>

Vincent Boulanger<sup>8</sup>

jeremy.cours.2@gmail.com

<sup>1</sup> INRAE, UR 1455 EFNO, F-45290 Nogent-sur-Vernisson

<sup>2</sup> Retraite

<sup>3</sup> Département de la Santé des Forêts, Ministère de l'Agriculture et de l'Alimentation, F-75015 Paris

<sup>4</sup> UMR 1434 SILVA Université de Lorraine, AgroParisTech, INRAE, F-54000 Nancy

<sup>5</sup> Direction forêts et risques naturels, ONF, F-75570 Paris

<sup>6</sup> Agence de Sarrebourg, ONF, F-57400 Sarrebourg

<sup>7</sup> Département Recherche et Développement, ONF, F-60400 Compiègne

<sup>8</sup> Département Recherche et Développement, ONF, F-77300 Fontainebleau