



**HAL**  
open science

## **Interactions entre les chênes et la chenille processionnaire du chêne : de l'arbre à la forêt**

Thomas Damestoy, Hervé Jactel, Hubert Schmuck, Christophe Plomion, Bastien  
Castagneyrol

### ► **To cite this version:**

Thomas Damestoy, Hervé Jactel, Hubert Schmuck, Christophe Plomion, Bastien Castagneyrol. Interactions entre les chênes et la chenille processionnaire du chêne : de l'arbre à la forêt. *Rendez-vous Techniques de l'ONF*, 2020, 65-66, pp.53-60. <hal-04253863>

**HAL Id: hal-04253863**

**<https://normandie-univ.hal.science/hal-04253863v1>**

Submitted on 9 Jul 2024

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

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



HAL Authorization

# INTERACTIONS ENTRE LES CHÊNES ET LA CHENILLE PROCESSIONNAIRE DU CHÊNE : DE L'ARBRE À LA FORÊT

Thomas Damestoy<sup>(1)</sup>, Hervé Jactel<sup>(1)</sup>,  
Hubert Schmuck<sup>(2)</sup>, Christophe  
Plomion<sup>(1)</sup>, Bastien Castagneyrol<sup>(1)</sup>

(1) INRAE, Univ. Bordeaux, UMR 1202-BIOGECO

(2) ONF, agence de Sarrebourg

En dehors de situations ponctuelles, les méthodes de lutte directe contre la processionnaire du chêne ne sont pas à la hauteur de l'enjeu. Il est donc nécessaire de se pencher sérieusement sur son écologie, assez mal connue, et en particulier sur l'ensemble complexe des interactions entre l'insecte et son hôte de prédilection. Les travaux conduits par Thomas Damestoy dans le cadre de sa thèse (soutenue par l'ONF) ont donné des résultats intéressants... et déconcertants.

## Résumé

La chenille processionnaire du chêne (*Thaumetopoea processionea* L) est un ravageur des chênes décidus en Europe, en plus des graves urtications qu'elle cause chez les professionnels et usagers de la forêt. Nos travaux menés à plusieurs niveaux d'étude (de l'arbre à la forêt) montrent que (1) le chêne sessile est plus sensible que le chêne pédonculé et favorise le développement de ce ravageur ; (2) les niveaux d'attaques sont inférieurs dans les forêts mélangées ; (3) il existe une base génétique à la résistance des chênes à la chenille processionnaire. Ces résultats ouvrent des pistes de réflexion pour la gestion et l'adaptation des forêts face à ce ravageur.

La chenille processionnaire du chêne (CPC), *Thaumetopoea processionea*, est un insecte défoliateur des forêts Européennes. Dans son aire de répartition, en Europe centrale et au Moyen Orient, elle est l'un des principaux ravageurs du genre *Quercus*. En France, les départements du Nord Est enregistrent les plus fortes pullulations du pays. Outre qu'elle compromet la croissance des chênes qu'elle défolie, la CPC occasionne de fortes réactions allergiques chez les usagers des forêts par la libération de soies urticantes. Le contrôle de ce ravageur est donc un enjeu important, non seulement pour la santé des forêts, mais également pour celle des usagers et des professionnels du secteur.

Dans ce contexte, nous nous sommes attachés à caractériser la résistance des chênes aux attaques de la CPC et à comprendre les mécanismes physiologiques et écologiques mis en jeu. Cet article résume et discute les principaux résultats des travaux conduits sur ce thème dans le cadre de la thèse de Thomas Damestoy (2019) (financement ONF-INRAE-DSF). Mais pour commencer, il faut dresser le paysage des interactions dans lequel s'inscrivent ces travaux.

## Les interactions arbres-insectes : du peuplement forestier au génotype de l'arbre hôte

Plusieurs conditions doivent être remplies avant qu'un défoliateur cause des dégâts appréciables sur un arbre : l'insecte doit reconnaître et coloniser un hôte potentiel, s'alimenter durablement en limitant l'effet des défenses des feuilles, le tout en échappant à ses propres prédateurs. La réalisation de ces conditions fait intervenir une interaction complexe d'une part entre les signaux physiques et chimiques émis par l'arbre hôte et ses voisins et les capacités sensorielles des défoliateurs, et d'autre part entre la qualité du feuillage comme source de nourriture et les capacités métaboliques des défoliateurs.

Une bonne compréhension de la résistance des arbres aux insectes défoliateurs nécessite donc d'appréhender simultanément ces différents aspects, du point de vue de l'arbre comme du point de vue de l'insecte, tant au niveau de l'individu que de la communauté.

Les insectes ont développé un système sensoriel permettant de reconnaître rapidement les signaux physiques et chimiques émis par les espèces de plantes sur lesquelles ils se nourrissent et/ou se reproduisent, c'est-à-dire leurs plantes hôtes (Martin *et al.* 2011). Pour l'herbivore, la qualité nutritive des plantes est déterminée non seulement par la teneur en nutriments disponibles (carbohydrates, acides aminés etc.) mais aussi par la concentration en composés de défense chimique qui, chez les arbres, sont souvent un élément important dans la résistance aux insectes (War *et al.* 2012). Parmi ces composés, les composés phénoliques sont communément considérés comme des défenses efficaces contre de nombreux herbivores, notamment du fait de leur toxicité et de leur capacité à réduire la digestibilité des tissus consommés, entraînant une réduction des dégâts causés par les insectes.

À une plus grande échelle, la composition spécifique des peuplements forestiers joue un rôle essentiel dans les interactions entre les insectes et leur arbre hôte. Les peuplements mélangés sont généralement plus résistants aux attaques d'insectes herbivores que les peuplements purs,

un phénomène qualifié de « résistance par association » (Jactel and Brockerhoff 2007). La résistance par association peut s'expliquer par (i) une plus grande diversité des ennemis naturels des insectes herbivores (comme les oiseaux insectivores ou les chauves-souris) entraînant un contrôle biologique plus efficace, (ii) une diminution de la probabilité de détection des arbres hôtes par les insectes lorsque ceux-ci sont entourés d'arbres non hôtes, et (iii) une expression différentes des traits foliaires (comme la concentration en composés toxiques) selon l'identité de l'arbre voisin, pouvant se répercuter sur les performances des herbivores (Castagneyrol *et al.* 2018).

Principalement rapportés par les études sur la diversité spécifique, les effets d'association ont plus récemment été décrits en intra-spécifique en considérant la diversité génétique des plantes hôtes (Koricheva and Hayes 2018). La variation phénotypique des plantes hôtes peut avoir un effet sur les interactions plantes-insectes, certaines conduisant à des processus de co-évolution. De fait, la diversité génétique au sein des populations de plantes influence la composition des communautés d'insectes (Crutsinger *et al.* 2006). Le contrôle génétique de la résistance des plantes aux herbivores et la variabilité phénotypique de ces traits dans les populations naturelles sont le matériau de base de la sélection naturelle et artificielle et devraient donc être considérés dans la gestion forestière. L'identification de gènes liés à la résistance des arbres apparaît comme indispensable pour mieux comprendre les mécanismes sous-jacents.

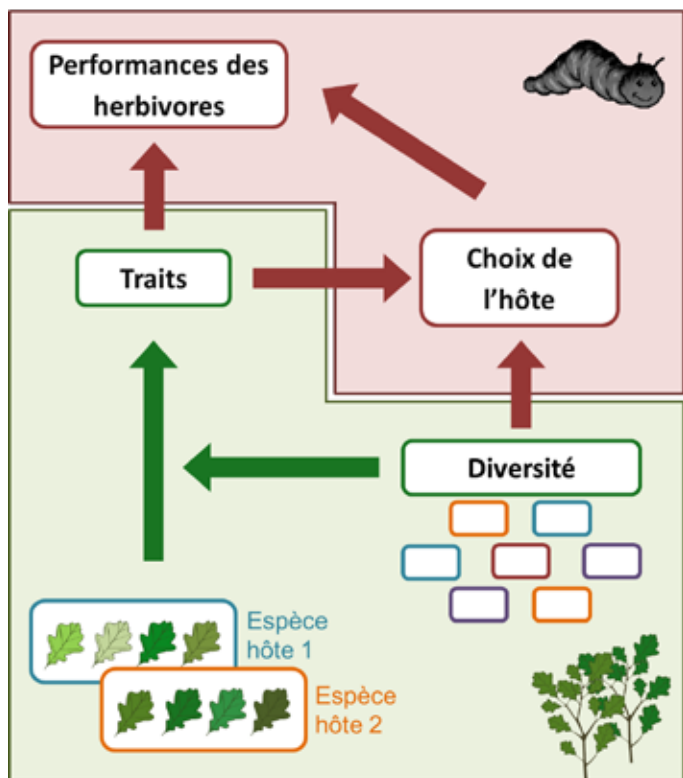


Figure 1. Schéma récapitulatif des processus affectant les préférences et performances des insectes herbivores.

Les insectes herbivores forestiers doivent donc surmonter plusieurs barrières générées par la diversité intra- et inter-spécifique des arbres pour (i) localiser, atteindre et sélectionner l'arbre hôte, (ii) se nourrir à ses dépens, (iii) se développer et (iv) se reproduire (Fig. 1). Les objectifs de la thèse de Thomas Damestoy (2019), dont nous présentons ici les principaux résultats, étaient de tester la résistance des forêts de chênes à la CPC, par des séries d'observations et d'expérimentations sur le terrain et en laboratoire. Au travers d'expériences menées à plusieurs niveaux d'intégration (depuis le génotype de l'arbre jusqu'au peuplement forestier), nous nous sommes intéressés à la réponse de la CPC à différents facteurs écologiques intervenant dans la résistance des chênes : (i) la composition spécifique du peuplement, (ii) l'espèce de chêne, (iii) les effets de voisinage entre arbres et les traits foliaires potentiellement impliqués dans la défense et (iv) le génotype de l'essence hôte.

## Le mélange d'essences : une barrière contre la processionnaire du chêne ?

Dans une étude de terrain menée dans les forêts de chênes du Nord Est de la France, nous avons testé l'effet de la composition du peuplement sur le pourcentage de défoliation par la CPC (Damestoy *et al.* 2020a). Pour cela nous avons compté le nombre de nids de CPC et évalué le niveau de défoliation de 300 chênes sélectionnés dans des peuplements purs de chêne sessile ou de chêne pédonculé, et des peuplements mélangés associant le chêne pédonculé ou le chêne sessile à d'autres essences feuillues (hêtre ou charme). Plus de 65 % des chênes étaient occupés par au moins un nid de CPC ; leur niveau de défoliation par la CPC était en moyenne ( $\pm$  erreur standard) de  $23.36 \pm 1.79$  % et il était deux fois plus élevé dans les peuplements purs ( $31.21 \pm 3.83$  %) que dans les peuplements mélangés avec un autre feuillu ( $15.00 \pm 1.85$  %) (Fig. 2).

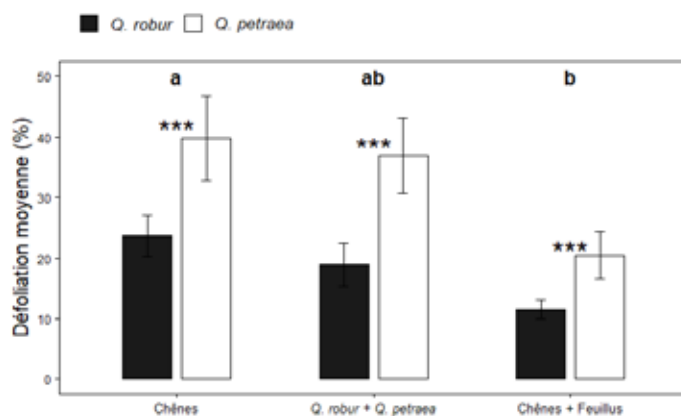


Figure 2. Effets de l'identité de l'espèce et de la composition du peuplement sur la défoliation par la CPC (moyenne  $\pm$  erreur standard). Les astérisques indiquent des différences significatives dans la défoliation entre les deux espèces de chêne. Les lettres indiquent des différences significatives dans les défoliations entre les 3 types de compositions. Chênes = peuplements purs ; Q. robur + Q. petraea = mélange de Q. robur et Q. petraea ; Chênes + Feuillus = Mélange d'une des deux espèces de chêne avec une autre essence feuillue non hôte.

Ce résultat indique bien une résistance par association, conférée par la diversité des essences, vis-à-vis de la CPC. En conséquence, la gestion de la composition spécifique des peuplements forestiers apparaît comme un levier potentiel pour augmenter la résistance des chênes à la CPC. Il confirme que la conduite des peuplements en mélange est un moyen de réduire l'impact de la CPC sur les chênes. Cependant l'augmentation de la diversité des arbres se fait au détriment de la densité de chaque espèce. Toute stratégie de gestion visant à promouvoir la diversité des essences en forêt pour réduire l'impact des herbivores se heurte donc à d'autres objectifs de gestion comme la production de telle ou telle essence. De plus, les chênes hébergent une grande diversité d'insectes herbivores et de pathogènes dont tous ne répondent pas nécessairement de la même manière à la composition spécifique du peuplement. Or, les herbivores ou les pathogènes s'attaquant simultanément ou séquentiellement à un même arbre sont en interaction (Kaplan and Denno 2007, Fernandez-Conradi *et al.* 2018). Par conséquent, tout effort de gestion orienté vers un ravageur peut avoir des répercussions sur l'ensemble des agresseurs de l'arbre. Il faudrait donc prolonger ces travaux en adoptant une approche systémique évaluant l'effet de la diversité des essences sur la résistance des chênes à d'autres insectes ravageurs et champignons pathogènes, comme le bombyx disparate ou l'oïdium du chêne par exemple (Field *et al.* 2020).

## Chêne pédonculé ou sessile : lequel est le plus à risque ?

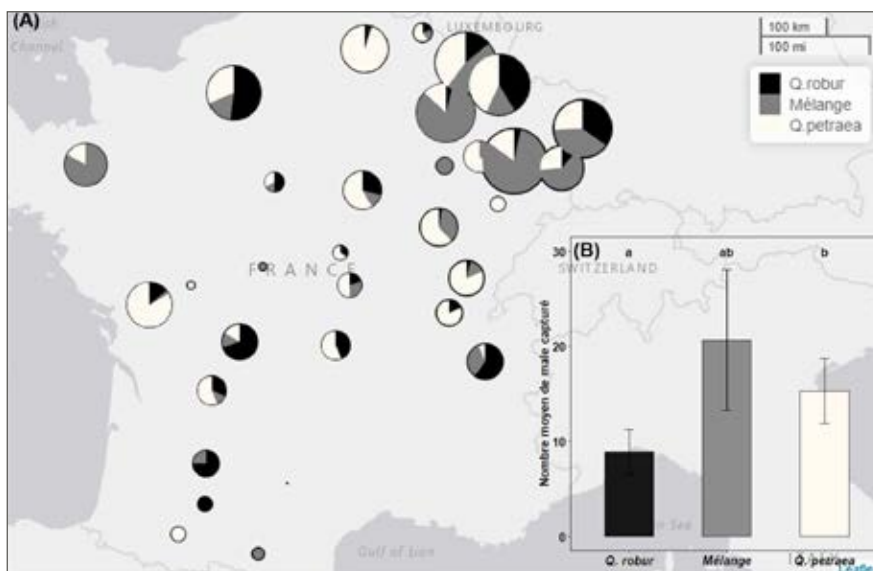
Plusieurs arguments indiquent que le chêne sessile est plus sensible à la CPC que le chêne pédonculé et qu'il favorise le développement du ravageur (Damestoy *et al.* 2020b, 2020a).

Premièrement, dans l'étude réalisée dans les forêts matures du Nord Est, nous avons montré que les niveaux de défoliation par la CPC étaient en moyenne deux fois plus élevés chez le chêne sessile ( $31.78 \pm 3.37 \%$ ) que chez le chêne pédonculé ( $16.78 \pm 1.62 \%$ ) (Fig. 2).

Ensuite, en collaboration avec les agents de l'ONF et du DSF de 30 départements, nous avons réalisé un piégeage phéromonal des papillons mâles de la CPC dans 33 triplets associant systématiquement dans la même zone géographique : un peuplement pur de chênes pédonculés un peuplement pur de chênes sessiles et un mélange des deux essences (99 peuplements). Nous avons capturé 2 756 papillons au total, majoritairement dans le Nord Est de la France (Fig. 3A), et ces papillons capturés étaient, en moyenne, 1.7 fois plus nombreux dans les peuplements purs de chêne sessile ( $15.28 \pm 3.44$ ) que dans les peuplements purs de chêne pédonculé ( $8.87 \pm 2.36$ ) (Fig. 3B).

Enfin, nous avons réalisé des tests d'alimentation au laboratoire, sur des plants de chênes pédonculé et sessile de 3 ans (50 individus de chaque). Avant le débourrement, nous avons installé une ponte de CPC sur chaque plant. Nous avons mesuré le taux de survie et de croissance de la CPC sur chacun des 100 plants et sur une durée de 26 jours après l'éclosion. La mortalité des chenilles était en moyenne deux fois plus élevée et leur croissance deux fois plus faible sur chêne pédonculé que sur chêne sessile (Fig. 4AB), indiquant que les CPC sont plus susceptibles de causer des dégâts et de développer des niveaux de population problématiques lorsqu'elles s'alimentent sur chêne sessile.

Du point de vue des orientations possibles de la gestion des forêts pour la résistance à la CPC, ces nouveaux éléments de connaissance invitent à privilégier le choix du chêne pédonculé. Rappelons cependant qu'il a une demande en eau et en nutriments plus importante que le chêne sessile, et qu'il tolère des ennoissements périodiques tandis que le

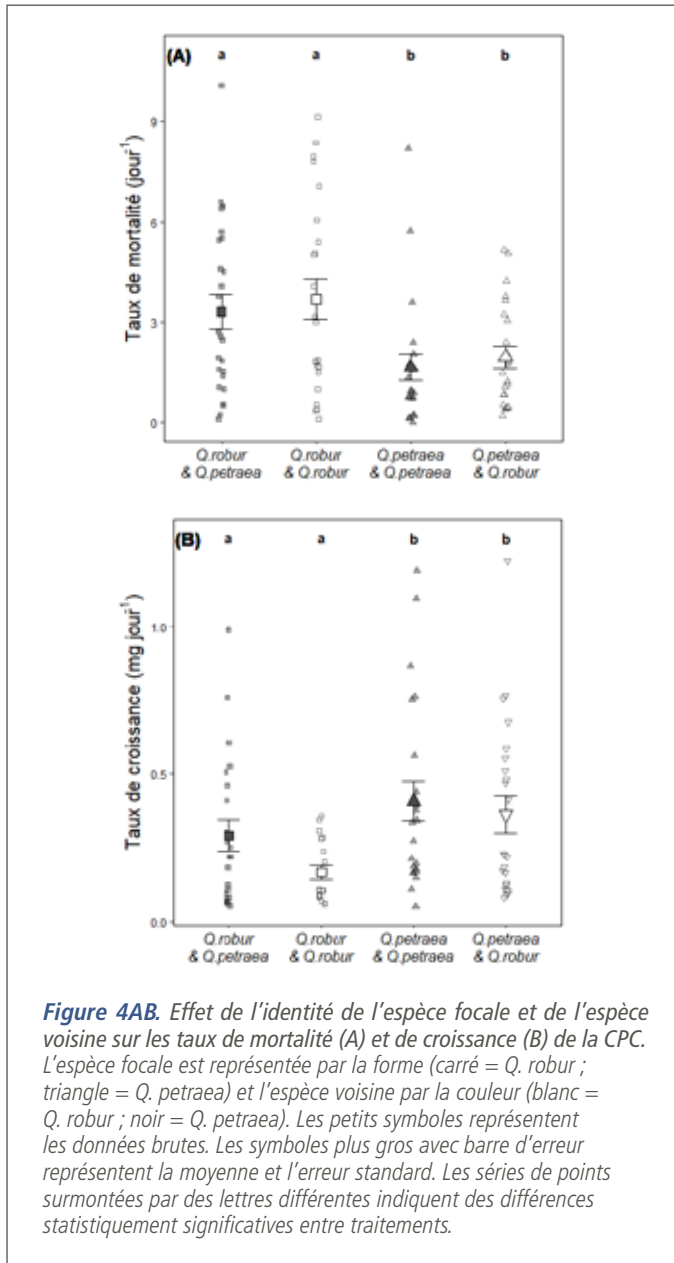


**Figure 3AB.** (A) Distribution géographique et nombre de mâles CPC capturés dans 33 chênaies réparties sur 30 départements et (B) effet de la composition du peuplement sur le nombre de mâles CPC capturés (moyenne  $\pm$  erreur standard).

(A) La taille des diagrammes est proportionnelle au nombre total de captures dans chaque triplet associant peuplements purs de chênes pédonculé et sessile et peuplements mélangés. (B) Les lettres minuscules indiquent des différences significatives dans le nombre de captures entre les trois compositions de peuplement. Q. robur = peuplement pur de Q. robur ; Mélange = peuplement mélangeant Q. petraea et Q. robur ; Q. petraea = peuplement pur de Q. petraea.



© Thomas Damestoy



Observation de l'alimentation en laboratoire.

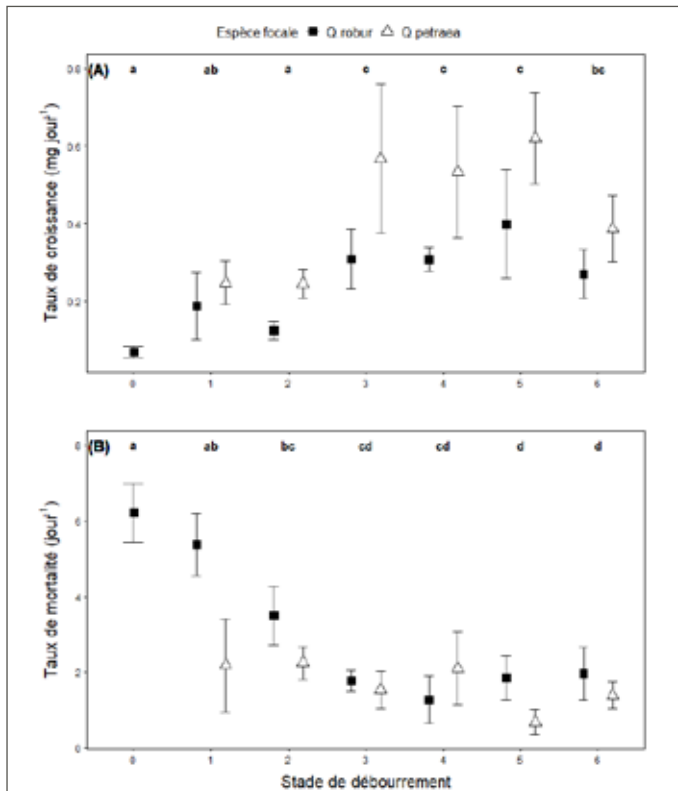
chêne sessile est plus tolérant aux événements de sécheresse et pousse préférentiellement sur des sols bien drainés (Eaton *et al.* 2016). Des analyses dendro-chronologiques ont montré que, pendant les années sèches, le chêne sessile maintenait une plus forte croissance que le chêne pédonculé (Friedrichs *et al.* 2009). Au vu de l'écologie des deux espèces et de leur niveau de tolérance aux événements de sécheresse, nous pouvons prévoir un déclin progressif du chêne pédonculé dans les forêts tempérées au profit du chêne sessile, plus résistant au déficit hydrique (Lévy *et al.* 1994, Arend *et al.* 2013).

Nos travaux ravivent donc une question importante à laquelle la recherche devra répondre : comment prendre en compte la problématique des insectes ravageurs, comme la CPC, dans les stratégies de gestion des forêts face à des perturbations multiples en interaction ? Cette problématique devra être appréhendée dans un contexte changeant où les contraintes abiotiques (stress hydrique, vagues de chaleur) ont aussi des effets directs et indirects bien documentés sur les performances des insectes (Castagnyrol *et al.* 2018, Netherer *et al.* 2019).

## L'implication des traits foliaires dans la résistance des chênes à la CPC

Les plantes produisent une grande diversité de composés chimiques qui jouent un rôle dans la défense des tissus contre les insectes herbivores. C'est notamment le cas des composés phénoliques tels que les tanins ou les flavonoïdes qui sont connus pour réduire la digestibilité des plantes et altérer les tissus du tube digestif des herbivores (War *et al.* 2012). Or, outre leurs différences écologiques, les chênes sessile et pédonculé se distinguent par les caractéristiques chimiques de leurs tissus. Plusieurs études ont montré que, comparé au bois du chêne pédonculé, celui du chêne sessile se caractérise par des concentrations plus élevées en composés chimiques volatils mais aussi par une quantité plus faible de certains tanins (Prida *et al.* 2006, 2007). Sous réserve que ces observations sur les tissus ligneux soient extrapolables aux feuilles, il est possible que la différence des niveaux d'attaque respectifs des chênes sessile et pédonculé s'explique par la chimie de leurs feuilles, comme cela a été montré pour d'autres défoliateurs (Foss and Rieske 2003, Milanović *et al.* 2014). Par ailleurs, il a été montré que l'identité des arbres voisins peut avoir un effet indirect sur les performances des herbivores via la modification des traits de défenses de l'arbre hôte, en réponse à différents processus comme par exemple la compétition pour la ressource en lumière ou en eau, ou l'émission de composés volatils (Ballaré 2014, Kos *et al.* 2015, Castagnyrol *et al.* 2017). Par conséquent la question des traits des chênes impliqués dans leur résistance à la CPC ne doit pas être examinée indépendamment de la question des associations d'essences.

Nous avons quantifié les composés phénoliques, le rapport C:N qui est un indicateur de qualité nutritionnelle et le stade de débourrement des bourgeons sur des plants de chêne sessile et de chêne pédonculé plantés par deux (2 chênes sessiles, 2 chênes pédonculés ou 1 chêne sessile et 1 chêne pédonculé) et maintenus sous serre au laboratoire BIOGECO (INRAE Cestas) (Damestoy *et al.* 2020b). Nous avons greffé des pontes de CPC sur un arbre par pot avant le débourrement et nous avons mis en relation la phénologie de l'hôte, la chimie de ses feuilles, et les performances des chenilles (ici : survie et croissance). Nous avons



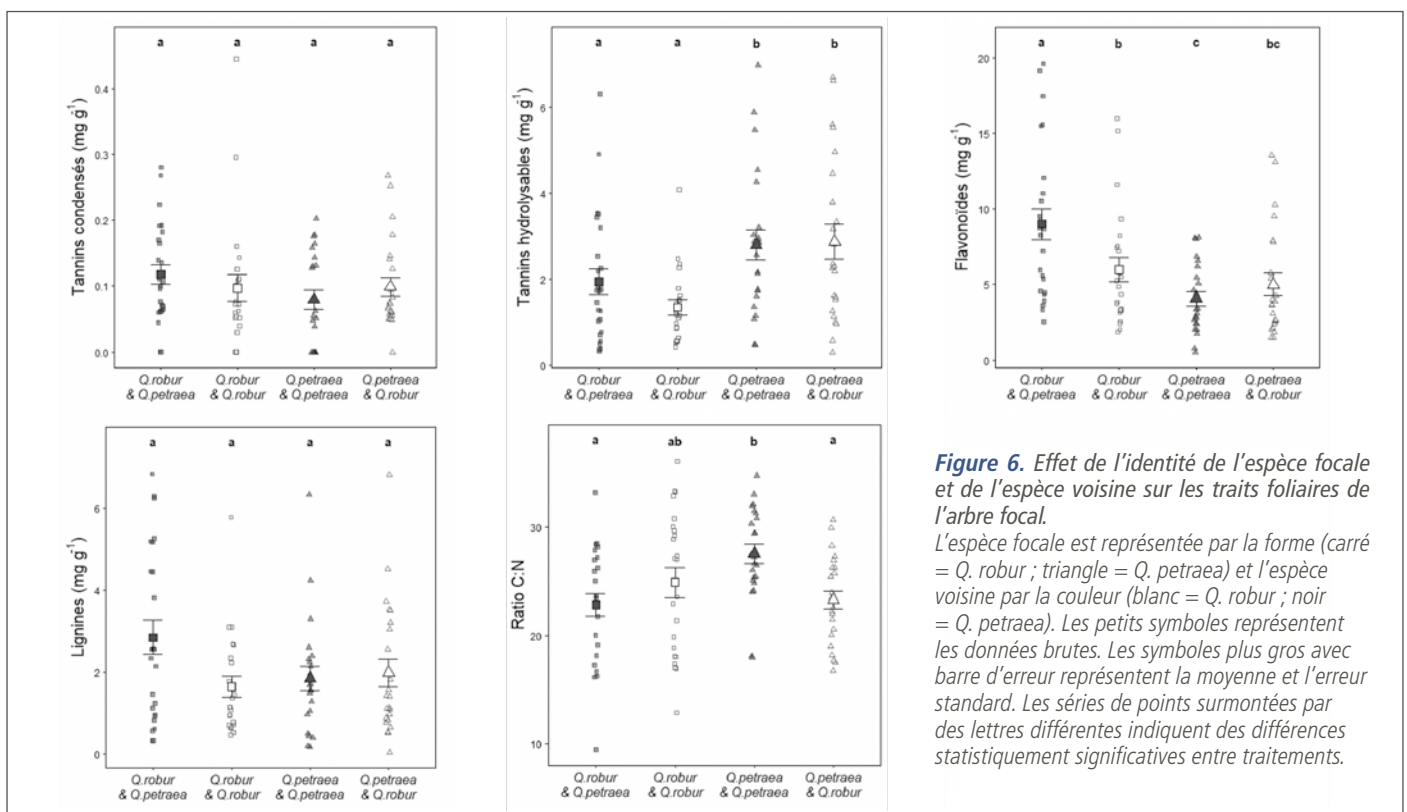
**Figure 5AB.** Effet du stade de débournement au moment de l'éclosion des chenilles sur les taux de croissance (A) et de mortalité (B). Le stade de débournement est mesuré avec une échelle ordinale à sept niveaux de 0 (bourgeon apical fermé) à 6 (feuilles complètement déployées) Les symboles et barres d'erreur représentent les moyennes ± erreur standard. □ : *Q. robur*; △ : *Q. petraea*. Les lettres différentes indiquent des différences statistiquement significatives entre stades de débournement.

montré que les chenilles survivaient et grandissaient mieux lorsqu'elles avaient commencé leur développement sur des bourgeons ouverts (à partir du 3<sup>e</sup> stade du débournement) indépendamment de l'essence sur laquelle elles se nourrissaient (Fig. 5AB). En revanche, bien que nous ayons montré que les concentrations en flavonoïdes et en tanins hydrolysables différaient entre les deux essences (Fig. 6), nous n'avons établi aucune relation entre ces composés chimiques et les performances de la CPC dans cette expérience.

Cette expérience a également mis en évidence une différence de concentration en polyphénols et du rapport C:N des feuilles d'une espèce au voisinage d'un chêne de l'autre espèce. La concentration en flavonoïdes était plus élevée dans les feuilles de chêne pédonculé lorsque le voisin était un chêne sessile, alors que le C:N des feuilles était plus faible (indiquant une meilleure qualité nutritive) dans les feuilles de chêne sessile lorsque le voisin était un chêne pédonculé (Fig. 6). En dépit de l'absence d'effet du voisinage sur les performances de la CPC, ces résultats tendent à montrer que le voisinage pourrait jouer un rôle dans le choix de l'arbre hôte par l'insecte et dans les performances de ce dernier en agissant sur les traits physiques et chimiques des feuilles.

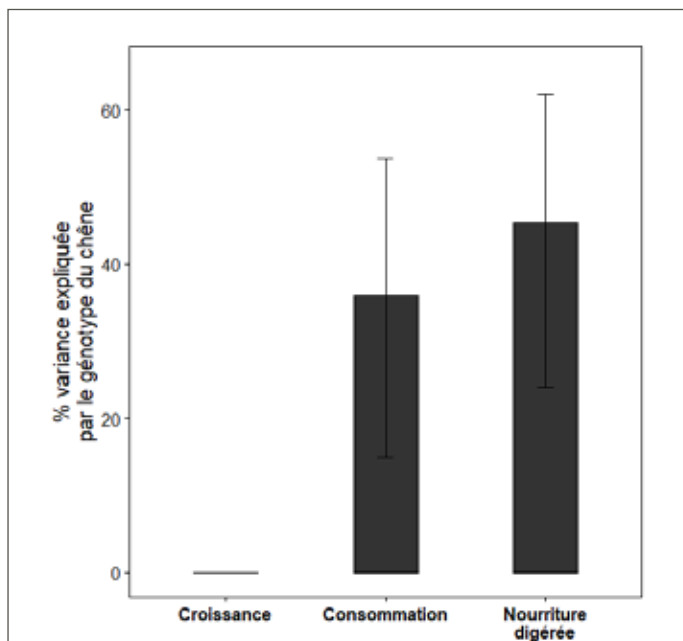
### La résistance des chênes à la CPC est-elle contrôlée génétiquement ?

Au cours des dernières décennies, de nombreuses études ont mis en évidence un contrôle des interactions plantes-herbivores par le génotype de la plante et une relation positive entre diversité génétique des populations de plantes et diversité des insectes associés. Nous avons cherché à quantifier la part de variabilité dans les performances de la CPC expliquée par le génotype

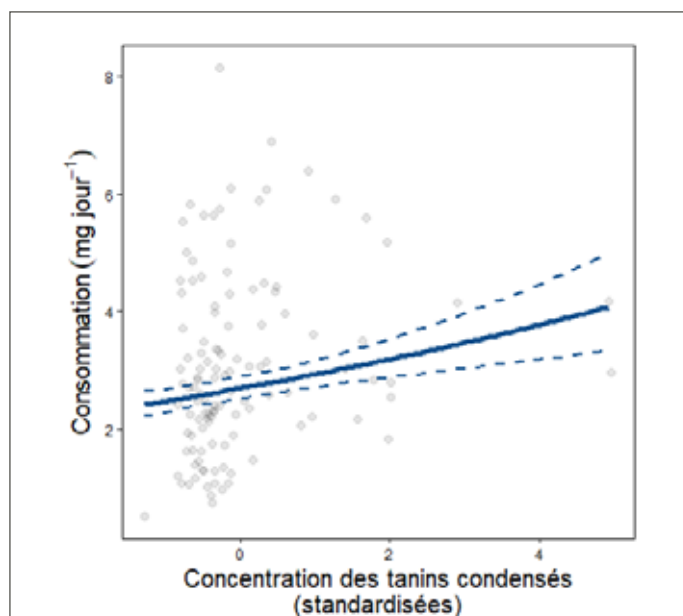


**Figure 6.** Effet de l'identité de l'espèce focale et de l'espèce voisine sur les traits foliaires de l'arbre focal. L'espèce focale est représentée par la forme (carré = *Q. robur*; triangle = *Q. petraea*) et l'espèce voisine par la couleur (blanc = *Q. robur*; noir = *Q. petraea*). Les petits symboles représentent les données brutes. Les symboles plus gros avec barre d'erreur représentent la moyenne et l'erreur standard. Les séries de points surmontées par des lettres différentes indiquent des différences statistiquement significatives entre traitements.

de l'arbre hôte, directement et indirectement au travers de l'expression différentielle des défenses chimiques (Damestoy *et al.* 2019). Sur 120 jeunes chênes pédonculés correspondant à quatre clones de 30 génotypes issus d'un même croisement contrôlé entre deux parents (Bodénès *et al.* 2016), nous avons mesuré les concentrations des feuilles en composés phénoliques (tanins hydrolysables et condensés, lignines et flavonoïdes)



**Figure 7.** Pourcentage de variance des performances des chenilles expliqué par le génotype du chêne. Les histogrammes représentent le pourcentage de variance expliquée par le génotype du chêne pour chaque trait. Les barres d'erreur représentent l'intervalle de confiance à 95 %.



**Figure 8.** Effet de la concentration en tanins condensés (axe x) sur le taux de consommation de la processionnaire. La figure représente les prédictions du modèle (courbe pleine) et l'erreur standard correspondante (lignes pointillées). Les points représentent les données brutes (120 arbres).

et les performances des CPC nourries sur chacun des 120 arbres au 3<sup>e</sup> stade larvaire (croissance, consommation des feuilles et digestion). Nous avons montré que le génotype du chêne expliquait une part importante de la variabilité dans la consommation des feuilles par la CPC, mais pas dans la croissance des larves (Fig. 7), suggérant un découplage entre ces deux réponses. Le génotype des chênes n'avait par ailleurs pas d'effet notable sur les concentrations des différents polyphénols. En revanche, nous avons montré que le taux de consommation des feuilles par la CPC augmentait avec la concentration en tanins condensés dans les feuilles (Fig. 8), mais sans effet visible sur leur croissance ou digestion. Ces résultats suggèrent que les CPC augmentent leur consommation pour maintenir leur croissance sur des feuilles de moins bonne qualité nutritive. Ceci soulève un paradoxe, car les arbres présentant a priori de meilleures défenses chimiques subiraient ainsi plus de dégâts foliaires.

Ces différents résultats en demi-teinte ne sont pas très surprenants, car les effets des composés chimiques sur le développement des insectes herbivores sont complexes (Mithöfer and Boland 2012). La durée de nos expériences n'ayant pas couvert la totalité du cycle de la CPC, nous ne pouvons pas exclure, par exemple, que les défenses des chênes auraient pu avoir des effets retardés, notamment en réduisant le poids final ou la fécondité de la CPC. D'autre part, notre analyse se focalisait sur l'aspect quantitatif de la biochimie, en testant l'effet des concentrations des composés phénoliques sur les performances de la CPC. Mais d'autres pistes restent à explorer pour caractériser les traits foliaires qui expliqueraient les différences entre les deux essences de chêne, comme par exemple la présence de certains composés de défense spécifiques (aspect qualitatif de la biochimie) ou les traits physiques comme la dureté ou l'épaisseur des feuilles, qui jouent un rôle important dans les préférences et performances des herbivores (Clissold *et al.* 2009, Carmona *et al.* 2011, Malishev and Sanson 2015).

En effet, la littérature scientifique révèle que la résistance des plantes aux insectes ravageurs et aux agents pathogènes implique des régions du génomes regroupant plusieurs gènes (Stoekli *et al.* 2008, Vosman *et al.* 2019). Il n'y a pas un gène unique qui a lui seul expliquerait la résistance d'une plante à un herbivore. Par exemple, la synthèse d'un seul composé polyphénolique fait intervenir une série d'enzymes (donc de gènes). Il en va de même pour les défenses physiques. Ainsi Gailing (2008) et Saintagne *et al.* (2004) ont mis en évidence que certains traits morphologiques des feuilles différenciant les chênes pédonculé et sessile, et potentiellement impliqués dans la résistance à l'herbivorie (e.g. nombre de nervures des feuilles ; Malishev and Sanson 2015), font intervenir une série de gènes. La résistance des chênes à la CPC semble donc sous contrôle polygénique.

En agronomie, l'utilisation de plantes « résistantes » constitue un moyen possible de lutte contre les ravageurs et un substitut aux insecticides. Mais, sauf exception, on en est très loin en milieu forestier, notamment parce qu'il est difficile de sélectionner des arbres résistants aux multiples insectes ravageurs et champignons pathogènes susceptibles de les attaquer. Rappelons par ailleurs que les ressources de la plante ne sont pas illimitées et que leur allocation est nécessairement affaire de compromis entre croissance et moyens de défense (Ghirardo *et al.* 2012).



## Conclusion

L'ensemble des résultats de la thèse a permis d'avancer dans la compréhension des processus impliqués dans les interactions entre les chênes et la CPC, en prenant en compte différentes échelles spatiales et niveaux d'intégration (de la forêt à l'arbre). Ils donnent des pistes pour la gestion des peuplements de chênes vers une meilleure résistance aux attaques de la CPC : favoriser les peuplements mélangés permettrait de réduire les dégâts sur chênes, et il semblerait préférable de privilégier le chêne pédonculé pour sa moindre attractivité vis-à-vis des papillons adultes et sa plus grande résistance aux défoliations par les chenilles. Malheureusement cette proposition contredit les préconisations en faveur du chêne sessile pour adapter les chênaies au risque de déficit hydrique et ajoute un élément de complexité à la gestion de la résistance des forêts face à des perturbations multiples en interaction comme les stress biotiques et abiotiques. Des travaux sont en cours à l'UMR BIOGECO pour mieux caractériser le rôle des défenses chimiques dans la résistance des chênes aux stress biotiques et abiotiques.

## Références

- Arend M., Brem A., Kuster T. M., Günthardt-Goerg M. S., 2013. Seasonal photosynthetic responses of European oaks to drought and elevated daytime temperature. *Plant Biology* vol. 15 pp.169–176
- Ballaré C. L., 2014. Light Regulation of Plant Defense. *Annual Review of Plant Biology* vol. 65 pp.335–363
- Bodénès C., Chancerel E., Ehrenmann F., Kremer A., Plomion C., 2016. High-density linkage mapping and distribution of segregation distortion regions in the oak genome. *DNA Research* vol. 23 pp.115–124
- Carmona D., Lajeunesse M. J., Johnson M. T. J., 2011. Plant traits that predict resistance to herbivores. *Functional Ecology* vol. 25 pp.358–367
- Castagneyrol B., Bonal D., Damien M., Jactel H., Meredieu C., Muiruri E. W., Barbaro L., 2017. Bottom-up and top-down effects of tree species diversity on leaf insect herbivory. *Ecology and Evolution* vol. 7 pp.3520–3531
- Castagneyrol B., Jactel H., Moreira X., 2018. Anti-herbivore defences and insect herbivory: Interactive effects of drought and tree neighbours. *Journal of Ecology* vol. 106 pp.2043–2057
- Clissold F. J., Sanson G. D., Read J., Simpson S. J., 2009. Gross vs. net income: How plant toughness affects performance of an insect herbivore. *Ecology* vol. 90 pp.3393–3405
- Crutsinger G. M., Collins M. D., Fordyce J. A., Gompert Z., Nice C. C., Sanders N. J., 2006. Plant Genotypic Diversity Predicts Community Structure and Governs an Ecosystem Process. *Science* vol. 313 pp.966–969
- Damestoy T., 2019. Interactions entre les chênes et la chenille processionnaire du chêne, *Thaumetopoea processionea* L. : de l'arbre à la forêt. Thèse de doctorat. Université de Bordeaux.
- Damestoy T., Brachi B., Moreira X., Jactel H., Plomion C., Castagneyrol B., 2019. Oak genotype and phenolic compounds differently affect the performance of two insect herbivores with contrasting diet breadth. *Tree Physiology* vol. 39(4) pp.615-627

- Damestoy T., Jactel H., Belouard T., Schmuck H., Plomion C., Castagneyrol B., 2020a. Tree species identity and forest composition affect the number of oak processionary moth captured in pheromone traps and the intensity of larval defoliation. *Agricultural and Forest Entomology* vol. 22(2) pp. 169-177
- Damestoy T., Moreira X., Jactel H., Valdes-Correcher E., Plomion C., Castagneyrol B., 2020b. Growth and mortality of the oak processionary moth, *Thaumetopoea processionea* L., on two oak species: direct and trait-mediated effects of host and neighbour species identity. *Entomologia Generalis*. *In press*
- Eaton E., Caudullo G., Oliveira S., de Rigo D., 2016. *Quercus robur* and *Quercus petraea* in Europe: distribution, habitat, usage and threats. In: *European Atlas of Forest Tree Species* pp. 160–163
- Fernandez-Conradi P., Jactel H., Robin Tack A. J. M., Castagneyrol B., 2018. Fungi reduce preference and performance of insect herbivores on challenged plants. *Ecology* vol. 99 pp.300–311
- Field E., Castagneyrol B., Gibbs M., Jactel H., Barsoum N., Schönrogge K., Hector A., 2020. Associational resistance to both insect and pathogen damage in mixed forests is modulated by tree neighbour identity and drought. *Journal of Ecology* vol. 108(4) pp. 1511-1522
- Foss L. K., Rieske L. K., 2003. Species-specific differences in oak foliage affect preference and performance of gypsy moth caterpillars. *Entomologia Experimentalis et Applicata* vol. 108 pp.87–93
- Friedrichs D. A., Bntgen U., Frank D. C., Esper J., Neuwirth B., Löffler J., 2009. Complex climate controls on 20th century oak growth in Central-West Germany. *Tree Physiology* vol. 29 pp. 39–51
- Gailing O. 2008. QTL analysis of leaf morphological characters in a *Quercus robur* full-sib family (*Q. robur* x *Q. robur* ssp. *slavonica*). *Plant Biology* vol. 10 pp. 624–634
- Ghirardo A., Heller W., Fladung M., Schnitzler J. P., Schroeder H., 2012. Function of defensive volatiles in pedunculate oak (*Quercus robur*) is tricked by the moth *Tortrix viridana*. *Plant, Cell and Environment* vol. 35 pp. 2192–2207
- Jactel H., Brockerhoff E. G., 2007. Tree diversity reduces herbivory by forest insects. *Ecology Letters* vol. 10 pp. 835–848
- Kaplan I., Denno R. F., 2007. Interspecific interactions in phytophagous insects revisited: A quantitative assessment of competition theory. *Ecology Letters* vol. 10 pp. 977–994
- Koricheva J., Hayes D., 2018. The relative importance of plant intraspecific diversity in structuring arthropod communities: A meta-analysis. *Functional Ecology* vol. 32 pp.1704–1717
- Kos M., Tuijl M. A. B., de Roo J., Mulder P. P. J., Bezemer T. M., 2015. Plant-soil feedback effects on plant quality and performance of an aboveground herbivore interact with fertilisation. *Oikos* vol. 124 pp. 658–667
- Lévy G., Delantour C., Becker M., 1994. Le dépérissement du chêne des années 1980 dans le centre de la France, point de départ d'une meilleure compréhension de l'équilibre et de la productivité de la chênaie. *Revue Forestière Française* vol. 46(5) pp. 495–503
- Malishev M., Sanson G. D., 2015. Leaf mechanics and herbivory defence: How tough tissue along the leaf body deters growing insect herbivores. *Austral Ecology* vol. 40 pp. 300–308
- Martin J. P., Beyerlein A., Dacks A. M., Reisenman C. E., Riffell J. A., Lei H., Hildebrand J. G., 2011. The neurobiology of insect olfaction: Sensory processing in a comparative context. *Progress in Neurobiology* vol. 95 pp.427–447
- Milanović S., Lazarević J., Popović Z., Miletić Z., Kostić M., Radulović Z., Karadžić D., Vuleta A., 2014. Preference and performance of the larvae of *Lymantria dispar* (Lepidoptera: Lymantriidae) on three species of European oaks. *European Journal of Entomology* vol. 111 pp.371–378
- Mithöfer A., Boland W., 2012. Plant Defense Against Herbivores: Chemical Aspects. *Annual Review of Plant Biology* vol. 63 pp. 431–450
- Netherer S., Panassiti B., Pennerstorfer J., Matthews B., 2019. Acute Drought Is an Important Driver of Bark Beetle Infestation in Austrian Norway Spruce Stands. *Frontiers in Forests and Global Change* 2. <https://doi.org/10.3389/ffgc.2019.00039>
- Prida A., Boulet J.-C., Ducouso A., Nepveu G., Puech J.-L., 2006. Effect of species and ecological conditions on ellagitannin content in oak wood from an even-aged and mixed stand of *Quercus robur* L. and *Quercus petraea* Liebl. *Annals of Forest Science* vol. 63 pp.415–424
- Prida A., Ducouso A., Petit R. J., Nepveu G., Puech J.-L., 2007. Variation in wood volatile compounds in a mixed oak stand: strong species and spatial differentiation in whisky-lactone content. *Annals of Forest Science* vol. 64 pp.313–320
- Saintagne C., Bodénès C., Barreneche T., Pot D., Plomion C., Kremer A., 2004. Distribution of genomic regions differentiating oak species assessed by QTL detection. *Heredity* vol. 92 pp.20–30
- Stoeckli S., Mody K., Gessler C., Patocchi A., Jermine M., Dorn S., 2008. QTL analysis for aphid resistance and growth traits in apple. *Tree Genetics and Genomes* vol. 4(4) pp. 833–847
- Vosman B., Kashaninia A., van't Westende W., Meijer-Dekens F., van Eekelen H., Visser R. G. F., de Vos R. C. H., Voorrips R. E., 2019. QTL mapping of insect resistance components of *Solanum galapagense*. *Theoretical and Applied Genetics* vol. 132 pp.531–541
- War A. R., Paulraj M. G., Ahmad T., Buhroo A. A., Hussain B., Ignacimuthu S., Sharma H. C., 2012. Mechanisms of plant defense against insect herbivores. *Plant Signaling and Behavior* vol. 7(10) pp.1306–1320