Les chauves-souris, des auxiliaires possibles de la vigne : Wine not ?

Yohan CHARBONNIER*, Daciana PAPURA**, Olivier TOUZOT***,
Noriane RHOUY* & Adrien RUSCH**

* LPO Aquitaine
433 chemin de Leystotte, 33140 Villenave d'Ornon
yohan.charbonnier@lpo.fr

** UMR SAVE INRA/Bordeaux sciences Agro
71, avenue Edouard Bourlaux, 33140 Villenave d'Ornon

*** Eliomys
23 route Mahele, 33240 Saint Genès de Fronsac

Résumé. - Face aux enjeux sanitaires et environnementaux actuels, la viticulture est directement concernée par la nécessité de réduire l'emploi de pesticides. Les services de régulation naturelle fournis par les chiroptères, déjà démontrés sur d'autres cultures, sont régulièrement évoqués comme susceptibles de contribuer à réduire la dépendance aux pesticides. Pour confirmer le rôle fonctionnel des chauves-souris, 23 parcelles de vignes situées dans le bordelais ont fait l'objet simultanément d'écoutes nocturnes et de suivis de la phénologie d'Eudémis (*Lobesia botrana*), principal ravageur de la vigne dans cette région. Parallèlement, l'analyse du régime alimentaire des chiroptères a été réalisée à l'aide d'outils moléculaires type PCR diagnostique. Les résultats démontrent que les pipistrelles et les oreillards intensifient significativement leur activité de chasse lorsque les papillons ravageurs sont présents dans les parcelles de vigne. En complément, l'étude du régime alimentaire apporte une preuve formelle qu'au moins dix espèces de chauves-souris prédatent, plus ou moins régulièrement, 3 espèces de vers de la grappe même lorsque les niveaux d'infestation sont faibles. Si le rôle d'auxiliaire des chauves-souris est désormais prouvé, il reste maintenant à en évaluer l'efficacité et à comprendre comment les chiroptères utilisent les paysages viticoles afin d'accompagner efficacement les viticulteurs dans leurs changements de pratiques.

Mots-clés. - Chiroptères, viticulture, vers de la grappe, ravageurs, vignoble bordelais, guanos, *Lobesia botrana*, centre de soin.

Introduction

Dans les systèmes agricoles actuels, la gestion des populations des bioagresseurs est encore majoritairement dépendante des produits phytosanitaires de synthèse. En France, la viticulture est parmi les productions agricoles ayant le plus recours à ces traitements. Avec un indicateur de fréquence de traitements phytosanitaires (IFT) de 12,5, elle représente 15% de la quantité totale de pesticides employée en agriculture en France pour moins de 4% de la Surface Agricole Utile [Butault *et al.*, 2011]. Face aux enjeux sanitaires et environnementaux actuels, la viticulture est donc directement concernée par la nécessité de réduire l'emploi de pesticides. Le renforcement des régulations biologiques des ravageurs des cultures par les auxiliaires dans les agrosystèmes apparaît comme une des voies prometteuses pour réduire la dépendance aux pesticides [Losey & Vaughan, 2006].

Les services de régulation naturelle fournis par les chiroptères ont d'ores et déjà pu être démontrés sur les ravageurs de plusieurs cultures tels que les carpocapses et les pyrales du pommier [Jay *et al.*, 2012], la Pyrale du riz [Puig-Montserrat *et al.*, 2015] ou encore la Processionnaire du pin [Charbonnier *et al.*, 2014]. Le mode de chasse et le régime alimentaire insectivore des chiroptères européens en font de bons candidats susceptibles d'influencer la dynamique de certains ravageurs de la vigne dont les adultes ont une activité nocturne. Parmi ces insectes ravageurs de la vigne trois espèces de pyrales (tortricidés), le plus souvent regroupées sous le nom de vers de la grappe, causent des niveaux élevés de dégâts aux grappes de raisin. Dans les vignobles fortement attaqués, il est possible qu'il y ait jusqu'à 30 larves par grappe qui chacune peuvent endommager entre 2 et 10 baies [Delbac & Thiéry, 2016]. De plus, la perforation des baies liée à la présence de larves favorise le développement de la pourriture des grappes entraînant ainsi de graves dommages qualitatifs et quantitatifs [Delbac & Thiéry, 2016]. Les travaux publiés à ce jour ont principalement étudié l'effet de la matrice paysagère sur la fréquentation de l'espace viticole par les chiroptères [Froidevaux *et al.*, 2017; Sentenac & Rusch, 2018]. Ainsi, si le rôle des chauves-souris comme auxiliaire de la vigne est souvent mis en avant, la preuve fait encore défaut.

Au regard de l'important questionnement des chiroptérologues et des acteurs de la profession viticole autour de la conservation des chiroptères et de leurs rôles comme auxiliaires de la vigne, il apparaissait urgent de mener une

Maquette Symbiose-N38-V01.indd 9 06/03/20 09:28

étude visant à caractériser les liens trophiques entre les communautés de chiroptères et les vers de la grappe. Les objectifs de notre étude ont été de démontrer la capacité des chauves-souris à consommer des vers de la grappe par : i) l'étude de l'activité des populations de chiroptères en fonction de la présence des ravageurs du vignoble et ii) la mise en évidence de la présence de ces ravageurs dans le régime alimentaire des chauves-souris.

Matériel et méthode

Les sites d'étude

L'étude a été conduite dans le sud-ouest de la France, dans différentes entités viticoles de la région de Bordeaux (44 ° 81'N, -0 ° 14'W), toutes situées dans le département de la Gironde (33) (*Figure 1*). La zone d'étude est majoritairement composée de vignes (138 000 ha) dont la superficie et la densité au sein des matrices paysagères varient selon les appellations. Dans le cadre de cette étude, 23 parcelles de vignes ont été sélectionnées au sein de 5 appellations viticoles : Médoc, Saint-Emilion, Pessac-Léognan, Côte de Bourg et Côtes de Bordeaux. Le choix de ces parcelles s'est fait de façon à ce qu'elles soient éloignées de plus de 40 mètres de tout élément susceptible de biaiser l'activité des chauves-souris tel que les haies, les points d'eau ou encore les bâtiments.

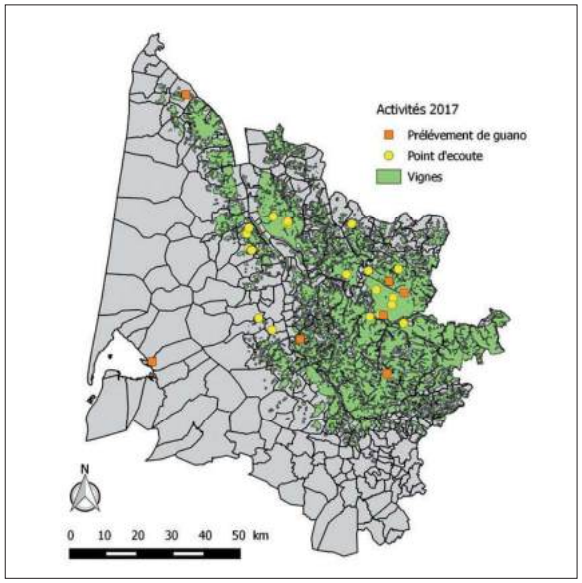


Figure 1. – Localisation des points d'écoute et des prélèvements de guano dans le vignoble bordelais

Les suivis de la phénologie des ravageurs

Trois espèces de pyrales sont présentes dans les vignobles français : Eudémis *Lobesia botrana*, Cochylis *Eupoecilia ambiguella* et la Pyrale de la vigne *Sparganothis pilleriana*. Ces espèces d'hétérocères volent principalement au crépuscule entre 21h00 et 23h00 [Lucchi *et al.*, 2018], ce qui en font des proies potentielles pour les chauves-souris. Les femelles pondent sur les grappes de raisins et les larves se nourrissent des fleurs ou des baies de la vigne. Bien que les larves soient polyphages, *Vitis vinifera* est leur principal hôte dans les zones dominées par les vignobles [Maher & Thiéry, 2006]. Les deux premières espèces de pyrale sont polyvoltines et effectuent deux à trois générations par an tandis que la dernière espèce est univoltine. Les 23 parcelles du dispositif ont fait l'objet d'un suivi de la phénologie des populations d'Eudémis par piégeage phéromonal. Le piégeage à l'aide de phéromones sexuelles de synthèse est considéré comme une méthode efficace pour surveiller la phénologie de *L. botrana* [Loriatti *et al.*, 2011]. Il repose sur une relation positive entre les captures des mâles adultes dans les pièges et la présence locale de papillons nocturnes. L'étude ayant été conduite du 1er mai au 15 septembre 2017, elle a débuté avant la deuxième génération d'adultes et s'est poursuivie au-delà du troisième pic d'émergence de *L. botrana*. Malheureusement, aucune étude n'a démontré de relations statistiques entre les mâles piégés par les leurres phéromonaux et l'abondance de la population de ravageurs. De ce fait, seules les données qualitatives en présence du ravageur, et non les données quantitatives sur son abondance, ont été retenues dans les analyses.

Les suivis de l'activité chiroptérologique

Sur chacune des 23 parcelles de l'étude, des points d'écoutes nocturnes ont été réalisés tous les 15 jours entre le 11 mai et le 04 octobre 2017 à l'aide d'enregistreurs SM2 BAT+. Les enregistreurs étaient paramétrés pour débuter leurs enregistrements 30 minutes avant le coucher du soleil et enregistrer en continu durant 4 heures. Sur la base de répétitions bimensuelles, les dates d'échantillonnage ont été conditionnées par les facteurs météorologiques afin d'éviter les nuits où les conditions climatiques étaient peu propices à l'activité des chiroptères (pluie, vent fort ou températures en dessous de 12° C). Ces enregistrements ont ensuite été analysés, à l'aide du logiciel Batsound 4.1, selon la méthode proposée par Barataud [2012]. Pour les écholocations ne pouvant être attribuées avec certitude à une espèce, nous avons créé des groupes d'espèces acoustiquement proches. De cette façon, nous avons regroupé *Pipistrellus kuhlii / nathusii* sous le groupe pipistrelles KuhlNat, *Eptesicus serotinus* et *Nyctalus leisleri* en groupe nyctaloïdes, *Plecotus auritus* et *Plecotus austriacus* en oreillards indéterminés et toutes les espèces de *Myotis* en murins indéterminés. L'activité chiroptérologique a été quantifiée sur la base du nombre de contacts par nuit. Un contact correspondant ici, à une séquence acoustique de 5 secondes, composée d'au moins 2 cris de chiroptères. En complément, l'activité de chasse a été déterminée par le décompte du nombre de buzz correspondant à la signature acoustique d'une tentative de capture de proies.

Les analyses statistiques

L'effet de la présence de ravageurs sur l'activité des

Maquette Symbiose-N38-V01.indd 10 06/03/20 09:28

chauves-souris a été testé à l'aide de modèles linéaires mixtes généralisés (GLMM) avec une distribution d'erreur de type Poisson. Un modèle pour l'activité totale des chauves-souris et des modèles séparés pour chaque espèce de chauves-souris ont été réalisés avec l'évaluation qualitative des niveaux de population de ravageurs comme variable explicative (variable explicative binaire). Dans chaque modèle, nous avons ajouté la date d'échantillonnage et les parcelles comme effets aléatoires croisés. Un effet d'observation a été ajouté dans certains modèles pour corriger la sur-dispersion. Toutes les analyses ont été effectuées à l'aide du logiciel R [R Core Team, 2016] et le package lme4 a été utilisé pour les GLMM [Bates *et al.*, 2014]. La vérification des résidus de tous les modèles a été réalisée à l'aide de graphiques diagnostiques du package DHARMa [Hartig, 2017] et aucun problème n'a été détecté.

Les analyses du régime alimentaire

L'analyse du régime alimentaire des chiroptères a été réalisée à l'aide d'outils moléculaires type PCR diagnostique. Pour ce faire, il a été nécessaire de développer des amorces spécifiques capables d'amplifier des fragments courts d'ADN d'Eudémis, de Cochylis et de la Pyrale de la vigne à partir de l'ADN extrait du guano de chauves-souris. Pour le développement de ces amorces, un fragment d'ADN mitochondrial de 650 paires de bases (région cytochrome oxydase 1, CO1) a été ciblé et amplifié à partir de l'ADN de chacune des trois espèces de pyrales. Suite au séquençage et à l'analyse des fragments amplifiés, plusieurs zones variables interspécifiques, mais conservées au sein de l'espèce, ont été identifiées et ciblées pour le développement des amorces spécifiques. Les couples d'amorces Lb-nb4F/Lb-nb3R et Lb-nb5F/R ont été retenus pour Eudémis (186 pb et 137 pb) et le couple d'amorces Ea-nbF/R qui amplifie spécifiquement un fragment court (175 pb) d'ADN pour Cochylis et aussi Pyrale de la vigne. La spécificité des trois couples d'amorces retenus (Lb-nb4F/Lb-nb3R, Lb-nb5 et Ea-nbF/R) a été testée pour leur capacité à amplifier uniquement l'ADN des tordeuses de la vigne sans qu'ils amplifient d'autres espèces taxonomiquement proches.

La sensibilité des amorces à détecter la présence des traces d'ADN de tordeuses dans le guano a ensuite été estimée à l'aide de tests alimentaires. L'objectif a été de déterminer le temps post-ingestion durant lequel les amorces sont capables de détecter, dans le guano des chauves-souris, la présence d'ADN des ravageurs. Ces tests ont pu être réalisés grâce à des chauves-souris trouvées blessées en Gironde et prises en charge par le centre des soins de la LPO Aquitaine pour être soignées puis relâchées dans leur habitat naturel (*http://lpoaquitaine.org/index.php/centre-de-soin/le-centre*). Trois pipistrelles de Kuhl ont ainsi été nourries en une seule prise avec plusieurs chrysalides d'eudémis. Les fèces, récupérées dans des conditions stériles à des intervalles réguliers post-ingestion (2 h, 4 h, 6 h, 10 h, 24 h et 48 h) ont été analysées par PCR diagnostique en utilisant les trois couples d'amorces retenus.

Enfin, pour mettre en évidence la consommation des vers de la grappe par les chiroptères, des collectes des fèces ont été réalisées *in natura* dans des contextes viticoles girondins. Ces collectes ont eu lieu en 2017, 2018 et 2019 pendant les périodes de vol d'Eudémis et de Cochylis.

Espèces ou groupes d'espèces	Nombre de sites où l'espèce a été contactée	Nombre de contacts
Pipistrelles kuhl/nathusius	23	8917
Pipistrelle commune	23	5331
Nyctaloïdes	23	1678
Oreillards indéterminés	23	418
Noctule commune	10	364
Murins indéterminés	21	211
Barbastelle d'Europe	13	41
Petit rhinolophe	13	41
Grand rhinolophe	13	39
Minioptère de Schreibers	8	19
Pipistrelle pygmée	1	3

Tableau 1. – Résultats des points d'écoute nocturnes conduits sur 23 parcelles de vignes bordelaises

Résultats

Au cours des 1020 heures de points d'écoute, ce sont 17062 contacts de chiroptères qui ont été enregistrés. Ces enregistrements ont permis l'identification certaine de 17 des 22 espèces connues actuellement sur le département. Néanmoins, pour limiter les risques d'erreurs d'identification, nous avons favorisé l'utilisation de groupes d'espèces. Ainsi, 8917 contacts (52,2 % des enregistrements) sont ceux de *Pipistrellus kuhlii/nathusii*, 5331 (31,2 %) de *Pipistrellus pipistrellus*, 1678 (9,8 %) de nyctaloïdes et 418 (2,4 %) d'oreillards indéterminés. Les 4,4 % restant correspondent à *Nyctalus noctula* (364 contacts), murin indéterminé (211), *Barbastella barbastellus* (41), *Rhinolophus hipposideros* (41), *Rhinolophus ferrumequinum* (39), *Miniopterus schreibersii* (19) et *Pipistrellus pygmaeus* (3) (*Tableau 1*). Parmi l'ensemble de ces contacts, 668 (3,9%) contenaient des buzzs. Sur l'ensemble de ces espèces, seules cinq ont pu être contactées, au moins une fois, sur les 23 parcelles viticoles (Pipistrelles commune et de Kuhl, Sérotine commune, Noctule de Leisler et l'Oreillard gris), cinq autres ont été contactées sur plus de dix parcelles et enfin 9 autres furent rencontrées de façon plus sporadique.

Activité chiroptérologique en relation avec le ravageur

La présence des papillons ravageurs dans les parcelles, estimée par piégeage phéromonal, ne présente pas d'effet significatif sur la richesse spécifique (z=1.503, P=0,133). En revanche, sur l'ensemble des parcelles, l'activité chiroptérologique augmente significativement avec la présence de papillons d'eudémis piégés (z=3.387, P<0.001).

A l'image de l'activité globale, celles de *Pipistrellus*

Maquette Symbiose-N38-V01.indd 11 06/03/20 09:28

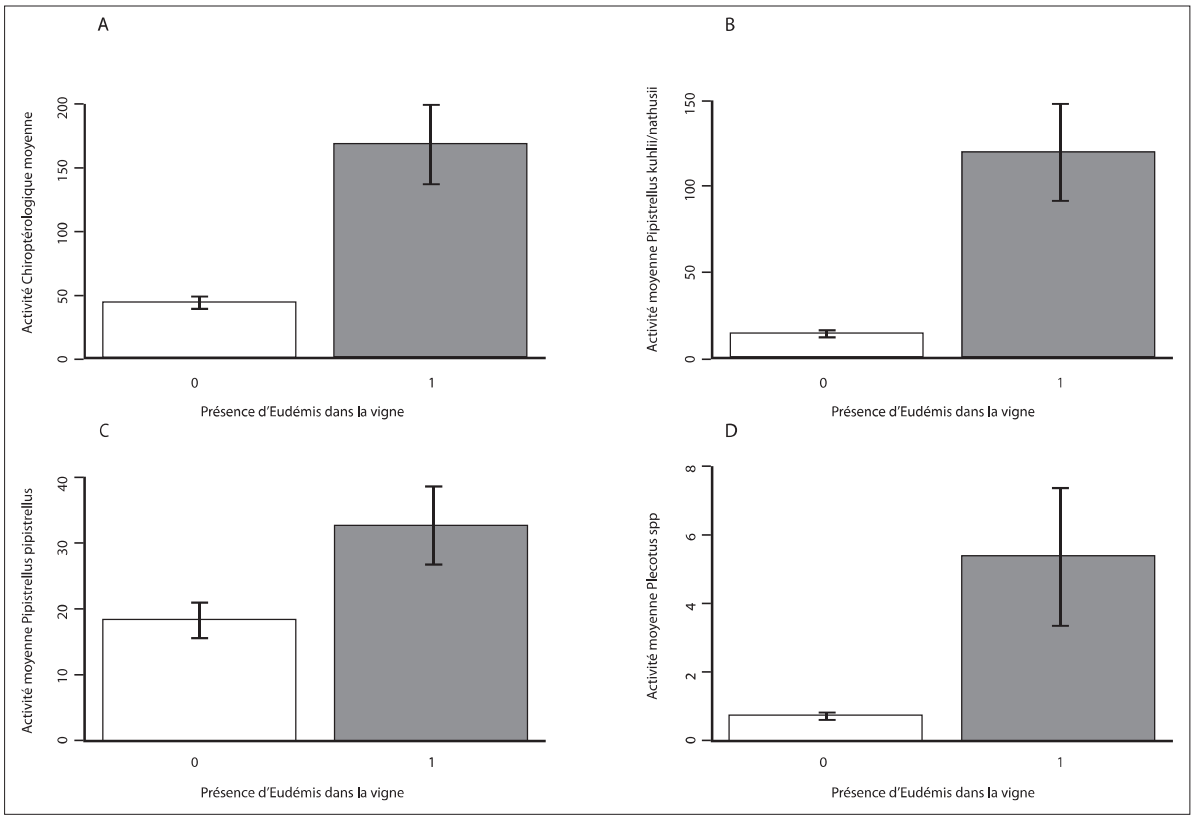


Figure 2. – Comparaison de l'activité moyenne des chauves-souris en fonction de l'absence des papillons du ravageur (barre blanche) ou de leur présence (barre grise) dans les parcelles de vigne pour (A) l'ensemble des espèces, (B) le groupe pipistrelle Kuhl/Nathusius, (C) la Pipistrelle commune ou (D) les oreillards indéterminés.

kuhlii/nathusii (z=2.763 ; P=0.005), des oreillards indéterminés (z=2.154 ; P=0.031*)* et de la Pipistrelle commune (z=2.062 ; P=0.03) augmentent significativement dans les vignes lorsque les papillons ravageurs sont présents dans les parcelles (*Figure 2*). Cette augmentation de l'activité, en relation avec la présence des papillons ravageurs dans les parcelles, est d'autant plus importante que l'espèce ou le groupe d'espèces sont spécialisés. En revanche, dans les mêmes conditions les nyctaloïdes ne semblent pas modifier significativement leur activité (z=0.547 ; P=0.585).

Développement des marqueurs et analyse du guano

Les résultats montrent qu'il est possible de détecter spécifiquement les traces d'ADN digéré d'Eudémis jusqu'à 48 h post-ingestion avec les deux couples d'amorces, Lb-nb4F/Lb-nb3R et Lb-nb5. Les guanos témoins récupérés deux heures après l'ingestion sont positifs à 90%. Ce haut niveau de détectabilité est conservé jusqu'à six heures post-ingestion. Au-delà de cet intervalle, le pourcentage de détection baisse, mais il est encore de l'ordre de 70 % 48 h après ingestion.

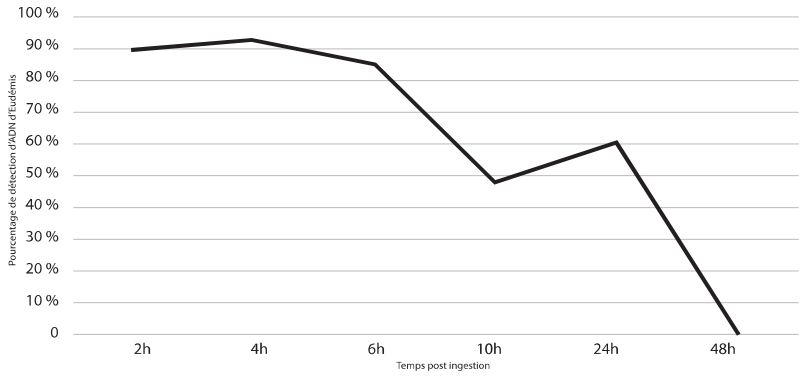


Figure 3. – Les niveaux de détection de l'ADN digéré d'Eudémis dans les fèces des chauves-souris (*P. kuhlii*) obtenus après plusieurs périodes post-ingestion.

Maquette Symbiose-N38-V01.indd 12 06/03/20 09:28

Espèces	Sites	Années	Guanos testés	Guanos positifs	Eudémis	Cochylis	Eudémis + Cochylis
Eptesicus serotinus	Château Corbin	2017	8	8	8	5	5
Eptesicus serotinus	Château Corbin	2018	1	1	1	0	0
Myotis bechsteinii	Château du Courlat	2019	5	4	4	0	0
Myotis daubentonii	Château du Courlat	2019	4	2	2	0	0
Nyctalus leisleri	Château du Courlat	2019	6	1	1	1	1
Pipistrellus kuhlii	Château Brethous	2017	12	11	10	6	5
Pipistrellus pipistrellus	Eglise de Vignonet	2017	5	4	4	2	2
Pipistrellus pipistrellus	Château Corbin	2017	2	0	0	0	0
Pipistrellus pipistrellus	Château du Courlat	2019	4	4	4	0	0
Plecotus auritus	Château du Courlat	2019	6	6	6	2	2
Plecotus austriacus	Château Saint aubin	2017	16	10	10	1	1
Plecotus austriacus	Château Corbin	2017	1	1	1	1	1
Rhinolophus ferrumequinum	Château Caplong	2018	5	3	2	3	2
Rhinolophus hipposideros	Château Caplong	2018	7	6	6	4	3

Tableau 2. – Résultats des analyses moléculaires sur le guano de différentes espèces de chauves-souris pour détecter la présence d'ADN de 3 pyrales ravageuses de la vigne.

Au total, 82 guanos de dix espèces différentes ont été collectés sur six sites (Château Brethous, Château Caplong, Château Corbin, Château du Courlat, Château Saint-Aubin et Vignonet). Dans 75,6% des guanos testés, il a été possible de détecter des traces d'ADN d'au moins une des trois espèces de tordeuse de la vigne. Au vu des résultats, les dix espèces dont le guano a été testé au cours de l'étude, semblent avoir consommé au moins l'un des ravageurs du vignoble (*Tableau 2*).

Discussion

Les vignes bordelaises sont régulièrement survolées par la majorité des 22 espèces connues, à l'heure actuelle, en Gironde. Il est d'ailleurs possible qu'aux 17 espèces contactées dans l'étude viennent ultérieurement s'ajouter d'autres espèces pour lesquelles la discrimination sur des bases acoustiques reste délicate. Parmi les espèces contactées, plusieurs d'entre elles présentent des statuts de conservation défavorables à l'échelle régionale ou nationale et sont susceptibles d'exploiter la vigne comme zone de transit ou comme terrain de chasse. Si la richesse globale est relativement élevée et stable dans le temps et dans l'espace, au cours d'une nuit sur une parcelle, ce sont en moyenne 4 espèces qui fréquentent la vigne. Il apparait donc que si beaucoup d'espèces survolent le vignoble, localement, le cortège d'espèces susceptibles d'exploiter régulièrement la vigne est plus restreint et concernerait essentiellement les pipistrelles, les oreillards et la Sérotine commune.

Contrairement à la richesse spécifique, l'activité chiroptérologique est, avec en moyenne 20 contacts par heure, relativement faible au regard d'autres habitats naturels du département. Cette activité présente d'importantes variations dans l'espace et dans le temps. Ces variations spatiales de l'activité des chauves-souris entre les parcelles sont probablement dépendantes, comme l'ont déjà montrées d'autres études, de facteurs locaux issus des pratiques viticoles [Rodriguez-San Pedro *et al.*, 2018], mais aussi de facteurs plus larges liés à l'organisation des paysages connexes aux parcelles [Froideveaux *et al.*,2017 ; Rodríguez-San Pedro *et al.*, 2019 ; Sentenac & Rusch, 2018]. Les variations temporelles de l'activité des chauves-souris sont quant à elles généralement liées à des modifications de la disponibilité des ressources alimentaires et de la qualité des habitats [Charbonnier *et al.*, 2016].

Dans le cas de notre étude une partie de la variabilité temporelle semble être à rapprocher de la présence des papillons ravageurs au sein des parcelles de vigne. En effet, nos résultats suggèrent qu'au moins trois espèces, ou groupe d'espèces, de chauves-souris accroissent significativement leur activité générale, mais aussi leur activité de chasse au sein du vignoble lorsque les adultes d'Eudémis sont actifs. Ces résultats confirment la capacité des chauves-souris insectivores à adapter leur activité de chasse, dans des contextes de monoculture, à la présence des populations de ravageurs par la mise en place de réponses numériques [Charbonnier *et al.*, 2014]. Si les pipistrelles sont les espèces les plus actives au vignoble, les oreillards, espèces avec des niches trophiques plus spécia-

Maquette Symbiose-N38-V01.indd 13 06/03/20 09:28

lisées [Ashrafi *et al.*, 2011], sont ceux qui augmentent le plus significativement leur activité de chasse dans la vigne quand les papillons ravageurs y sont actifs. Ce comportement pourrait être assez marqué car il a été possible de contacter des oreillards sur l'ensemble des parcelles alors même que ce groupe d'espèces n'est pas si commun dans le département [Charbonnier *et al.*, 2014].

Nos résultats démontrent une fois encore l'intérêt et l'efficacité de l'approche moléculaire pour appréhender le régime alimentaire des chauves-souris [Mc Cracken *et al.*, 2012 ; Puig-Montserrat *et al.*, 2015]. Dans notre cas, la grande sensibilité des marqueurs moléculaires spécifiques développés a permis de valider formellement l'hypothèse selon laquelle les chauves-souris étaient des prédateurs des différentes espèces de vers de la grappe. Si ces résultats positifs étaient prévisibles à dire d'expert, leur confirmation vient renforcer notre hypothèse que l'augmentation de l'activité des chauves-souris est liée à la présence des ravageurs et non pas à une émergence simultanée d'autres proies potentielles. De plus, la diversité d'espèces de chauves-souris dont les guanos ont été testés positifs suggère que même des espèces peu connues pour chasser en milieu ouvert, comme le Murin de Bechstein, profitent de façon opportuniste de la manne de ressource alimentaire lors des émergences de vers de la grappe. Pour les espèces plus communes et actives dans le vignoble, Eudémis semble être une proie privilégiée puisqu'en 2017, alors même qu'après un épisode de gelée tardive les populations de ravageurs étaient au plus bas, l'ensemble des sites de collecte de guano contenait malgré tout des échantillons positifs.

Conclusion

Notre étude démontre de façon formelle que les chiroptères, dans des contextes viticoles, consomment différents papillons ravageurs du vignoble et adaptent leur activité de chasse à la présence de ces ravageurs. Si à ce titre, les chiroptères peuvent être considérés comme des auxiliaires, il reste désormais à évaluer l'efficacité de leur action sur la diminution des dégâts. Enfin, pour accroitre le rôle fonctionnel des chiroptères dans les vignobles et permettre un accompagnement efficace de la filière viticole, il est indispensable de conduire de nouvelles études visant à une meilleure compréhension de l'effet des pratiques et de l'organisation de l'espace viticole sur les communautés de chiroptères.

Remerciements

Les auteurs de l'étude souhaitent vivement remercier pour son soutien financier et technique le Conseil Interprofessionnel du Vin de Bordeaux (CIVB). Nous souhaitons également remercier pour nous avoir mis à disposition des parcelles les châteaux Annereaux, Brethous, Caplong, Corbin, Courlat, Coteau, Figeac, Labegorce, Lapelletrie, Luchey Halde, Mercier, Piney, Puybarbe, La rivière, Saint Aubin, du Tertre, l'Union des Producteurs de Saint Emilion, la Cave coopérative de Puisseguin - Lussac Saint-Emilion et la Cave Louis Vallon. Enfin, la réalisation de cette étude a été grandement facilitée grâce à l'aide technique d'Antoine Verpy, du GDON du Libournais, des salariés et bénévoles du Centre de soin de la Faune sauvage de la LPO à Audenge, du GCA, d'Amandine Theillout, de Yannig Bernard et d'Olivier Fabreguette.

Références bibliographiques

Ashrafi S., Beck A., Rutishauser M., Arlettaz R. & Bontadina F., 2011. - Trophic niche partitioning of cryptic species of long-eared bats in Switzerland: implications for conservation. *European Journal of Wildlife Research,* 57 (4) : 843–849. <https://doi.org/10.1007/s10344-011-0496-z>

Barataud M., 2012. - *Écologie acoustique des chiroptères d'Europe identification des espèces, étude de leurs habitats et comportements de chasse*. Biotope Edition, Muséum national d'Histoire naturelle, Mèze, Paris, 344 p.

Bates D., Eigen C. & Rcpp L., 2014. - Package 'lme4'.

Butault J.-P., Delame N., Jacquet F. & Zardet G., 2011. - L'utilisation des pesticides en France : état des lieux et perspectives de réduction. *Notes et études socio-économiques*, 35, 24 p.

Charbonnier Y., Barbaro L., Theillout A. & Jactel H., 2014. - Numerical and Functional Responses of Forest Bats to a Major Insect Pest in Pine Plantations. *PLoS ONE*, 9 (10) : e109488. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0109488>

Charbonnier Y., Gaüzère P., van Halder I., Nezan J., Barnagaud J.-Y., Jactel H. & Barbaro L., 2016. - Deciduous trees increase bat diversity at stand and landscape scales in mosaic pine plantations. *Landscape Ecology*, 31 : 291–300. <https://doi.org/10.1007/s10980-015-0242-0>

Delbac L. & Thiéry D., 2016. - Damage to grape flowers and berries by *L obesia botrana* larvae (Denis & Schiffernüller) (Lepidoptera: Tortricidae), and relation to larval age: Larval age and damages by *Lobesia botrana*. *Australian journal of grape and wine research*, 22 : 256–261. <https://doi.org/10.1111/ajgw.12204>

Froidevaux J.S.P., Louboutin B. & Jones G., 2017. - Does organic farming enhance biodiversity in Mediterranean vineyards? A case study with bats and arachnids. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 249 : 112–122. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2017.08.012>

Hartig F., 2017. – DHARMa: residual diagnostics for hierarchical (multi-level/mixed) regression models. *R Package Version 01*, 5.

Jay M., Boreau C., Ricard J.-M., Garcin A., Mandrin J.-F., Lavigne C., Bouvier J.-C., Tupinier Y. & Puechmaille S.J., 2012. - Les chauves-souris consomment-elles des ravageurs? *Infos CTIFL*, 28–34.

Loriatti C., Anfora G., Tasin M., De Cristofaro A., Witzgall P. & Lucchi A., 2011. - Chemical Ecology and Management of Lobesia botrana (Lepidoptera: Tortrici-

Maquette Symbiose-N38-V01.indd 14 06/03/20 09:28

dae). *Journal of Economic Entomology*, 104 : 1125–1137. <https://doi.org/10.1603/EC10443>

Losey J. E. & Vaughan M., 2006. - The economic value of ecological services provided by insects. *Bioscience*, 56 (4) : 311-323.

Lucchi A., Sambado P., Juan Royo A.B., Bagnoli B., Conte G. & Benelli G., 2018. - Disrupting mating of Lobesia botrana using sex pheromone aerosol devices. *Environmental Science and Pollution Research*, 25 : 22196–22204. <https://doi.org/10.1007/s11356-018-2341-3>

Maher N. & Thiéry D., 2006. - Daphne gnidium, a possible native host plant of the European grapevine moth Lobesia botrana, stimulates its oviposition. Is a host shift relevant? *Chemoecology*, 16 (3) : 135–144. <https://doi.org/10.1007/s00049-006-0339-7>

McCracken G.F., Westbrook J.K., Brown V.A., Eldridge M., Federico P. & Kunz T.H., 2012. - Bats track and exploit changes in insect pest populations. *PLoS ONE,* 7 : e43839. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0043839>

Puig-Montserrat X., Torre I., López-Baucells A., Guerrieri E., Monti M.M., Ràfols-García R., Ferrer X., Gisbert D. & Flaquer C., 2015. - Pest control service provided by bats in Mediterranean rice paddies: linking agroecosystems structure to ecological functions. *Mammalian Biology*, 80 : 237–245. <https://doi.org/10.1016/j.mambio.2015.03.008>

Rodríguez-San Pedro A., Chaperon P.N., Beltrán C.A., Allendes J.L., Ávila F.I. & Grez A.A., 2018. - Influence of agricultural management on bat activity and species richness in vineyards of central Chile. *Journal of Mammalogy*, 99 (6) : 1495-1502. <https://doi.org/10.1093/jmammal/gyy121>

Rodríguez-San Pedro A., Rodríguez-Herbach C., Allendes J.L., Chaperon P.N., Beltrán C.A. & Grez A.A., 2019. - Responses of aerial insectivorous bats to landscape composition and heterogeneity in organic vineyards. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 277 : 74–82. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2019.03.009>

Sentenac G. & Rusch A., 2018. - Effets de l'environnement paysager sur les chiroptères. *Phytoma*, 33–44.

Maquette Symbiose-N38-V01.indd 15 06/03/20 09:28