



HAL
open science

Biodiversité en territoires viticoles

Adrien Rusch, Eric E. Giraud-Heraud, Julia Clause, Florian Celette, Luc Doyen, Brice Giffard, Josépha Guenser, Patrick Lucas, Axel Marchal, Lilian Marchand, et al.

► **To cite this version:**

Adrien Rusch, Eric E. Giraud-Heraud, Julia Clause, Florian Celette, Luc Doyen, et al.. Biodiversité en territoires viticoles. 2020, pp.378. hal-03246308

HAL Id: hal-03246308

<https://hal.inrae.fr/hal-03246308>

Submitted on 2 Jun 2021

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.

CHAPITRE

Biodiversité en territoires viticoles

• 3 •

Évaluation régionale des connaissances sur les services rendus par la biodiversité au fonctionnement des socio-écosystèmes viticoles

• • • • •

Ce chapitre présente un état des lieux des connaissances sur le rôle de la biodiversité dans le fonctionnement des socio-écosystèmes viticoles en Région Nouvelle-Aquitaine. La viticulture est une activité économique emblématique de cette Région. Les vignobles abritent une diversité végétale et animale (sauvage et domestiquée) qui soutient non seulement la production de vins et spiritueux mais fournit aussi d'autres services indispensables à l'ensemble de la société. Ainsi dans ces socio-écosystèmes de production, la biodiversité a des effets positifs directs et indirects sur les biens et productions. La biodiversité, qu'elle soit cultivée ou hébergée, soutient la production de raisin et de vin et augmente et stabilise les rendements face aux aléas comme les ravageurs de culture. Au-delà des services d'approvisionnement, elle procure aux sociétés humaines dans leur ensemble des services de régulation (séquestration du carbone, épuration de l'eau et limitation de l'érosion) et des services socio-culturels (hébergement d'espèces emblématiques et diversité du patrimoine paysager) qui dépassent la dimension de production de biens. Les bénéfices économiques, environnementaux et culturels que la société tire des services fournis par la biodiversité ont à la fois des valeurs non marchandes et marchandes. Certains services qui ne reposent pas sur l'exploitation des vignes ont une valeur patrimoniale et culturelle bénéficiant non seulement au citoyen du territoire, mais également à la société dans son ensemble. Les services d'approvisionnement sont quant à eux étroitement liés au marché et génèrent des bénéfices économiques : la biodiversité a donc une valeur marchande pour les exploitants. Bien qu'ils soient façonnés et exploités par l'humain, les territoires viticoles abritent une riche diversité biologique. Mais de nombreuses études démontrent que ces espèces animales ou végétales sont soumises à de nombreuses pressions. L'intensification des pratiques viticoles via le recours massif aux intrants chimiques (pesticides et fertilisants), l'uniformisation des paysages et l'introduction d'espèces envahissantes entraînent ainsi des perturbations de la biodiversité dans ce socio-écosystème.

1 Le socio-écosystème des territoires viticoles en Région Nouvelle-Aquitaine 4

2 La recherche régionale sur la biodiversité des agroécosystèmes viticoles en Nouvelle-Aquitaine 7

3 Rôles de la biodiversité dans le fonctionnement des agroécosystèmes viticoles 10

3.1 LA BIODIVERSITÉ, SUPPORT DIRECT DE LA PRODUCTION VITICOLE 11

- 3.1.1. Rôle de la diversité des cépages pour la viticulture 11
- 3.1.2. Rôle de la diversité végétale non cultivée à l'échelle parcellaire pour la production de raisin 12
- 3.1.3. Rôle de la biodiversité des micro-organismes pour la vinification 13
- 3.1.4. Rôle de la diversité des essences forestières dans l'élevage des vins 15

3.2. RÔLE DE LA BIODIVERSITÉ EN TANT QUE SUPPORT INDIRECT DE PRODUCTION 16

- 3.2.1. Interactions biotiques et régulation des bioagresseurs 16
- 3.2.2. Qualité des sols, fertilité et recyclage de la matière organique 18

3.3. BIODIVERSITÉ ET SERVICES DE RÉGULATION: GAZ À EFFET DE SERRE, ÉPURATION DE L'EAU ET LIMITATION DE L'ÉROSION 20

- 3.3.1. Séquestration du carbone et limitation des GES 20
- 3.3.2. Épuration de l'eau 21
- 3.3.3. Limitation de l'érosion des sols 23

3.4. BIODIVERSITÉ, PAYSAGES VITICOLES ET PROVISION DE RESSOURCES ASSOCIÉES AUX VIGNOBLES 24

- 3.4.1. Biodiversité hébergée par les agroécosystèmes viticoles 24
- 3.4.2. Diversité des paysages viticoles 26

4 Les valeurs de la biodiversité dans le socio-écosystème viticole 27

4.1. VALEURS NON MARCHANDES DE LA BIODIVERSITÉ DES TERRITOIRES VITICOLES 28

4.2. VALEURS MARCHANDES DE LA BIODIVERSITÉ POUR LES VITICULTEURS ET LA FILIÈRE VIN 29

- 4.2.1. Productivité et compétitivité de la production vitivinicole 29
- 4.2.2. Valorisation sur le marché du vin 31

5 État de la biodiversité dans le socio-écosystème viticole 33

5.1. ÉTAT DE LA BIODIVERSITÉ ET EFFET DES PRATIQUES VITICOLES 34

5.2. HOMOGENÉISATION DES PAYSAGES 36

5.3. IMPACTS DES ESPÈCES EXOTIQUES (ET/OU ENVAHISSANTES) 37

6 Références régionales 40

7 Références internationales 42

Coordination scientifique :

Adrien Rusch¹ et Eric Giraud-Héraud²

Coordination éditoriale :

Théo Rouhette, Cécile Bâcles et Vincent Bretagnolle

Remerciements :

Francis Macary, Nathalie Ollat, Sylvie Richart-Cervera

1) INRA UMR1065 Santé et agroécologie du vignoble : adrien.rusch@inra.fr

2) Institut des Sciences, de la Vigne et du Vin (ISVV) eric.giraud-heraud@u-bordeaux.fr

Rédacteurs :

Julia Clause, Florian Celette, Luc Doyen, Brice Giffard, Eric Giraud-Heraud, Josépha Guenser, Patrick Lucas, Axel Marchal, Lilian Marchand, Isabelle Masneuf, Lucile Muneret, Stéphanie Pérès, Yann Raineau, Adrien Rusch, Denis Thiéry, Pauline Tolle, Adeline Alonso Ugaglia, Kees Van Leeuwen

1

Le socio-écosystème des territoires viticoles en Région Nouvelle-Aquitaine

La Région Nouvelle-Aquitaine est une des principales terres de vignobles en Europe où la culture régionale se construit entre grands vins et petits terroirs.

Avec un vignoble en production de plus de 216 000 hectares en 2017, la Région Nouvelle-Aquitaine regroupe 29% des surfaces viticoles françaises (*Agreste Nouvelle-Aquitaine, 2018*). Cette surface est répartie entre environ 11 000 exploitations agricoles de la région et recouvre une grande diversité de terroirs (*Figure 3.1*) (*Agreste Nouvelle-Aquitaine, 2018*).

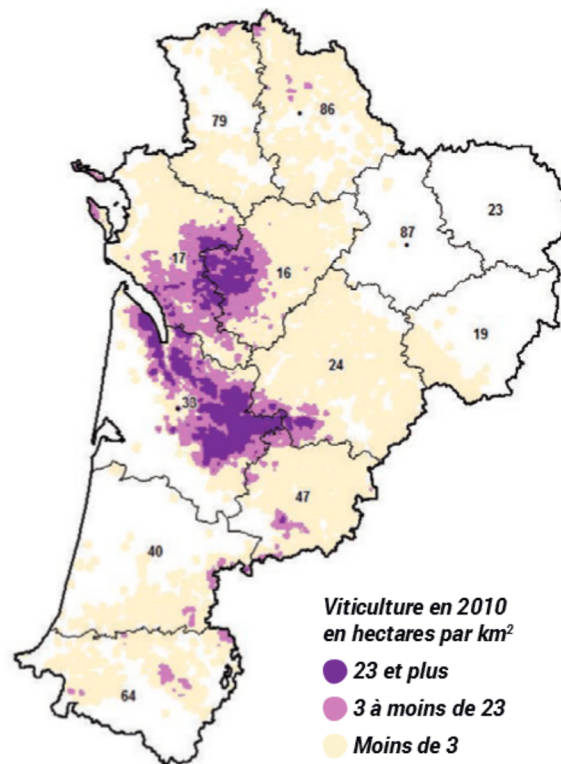
Deux vignobles majeurs, le bassin Bordeaux-Aquitaine (127 500 ha dont 114 000 ha en Gironde) et le bassin Charentes-Cognac (78 000 ha) situé en Charente et Charente-Maritime constituent la majorité du vignoble Néo-aquitain. Mais la région est également une terre de vignobles de plus petite superficie, parfois séculaires, variés et typés, répartis et parsemés sur l'ensemble du territoire (*Figure 3.1*). Parmi ces exploitations, les pratiques certifiées en Agriculture Biologique (AB) sont en progression (+2% en 2014; *DRAAF Nouvelle-Aquitaine, 2017*) et le vignoble en AB occupe près de 5% du vignoble régional (819 exploitations viticoles en AB soit un peu plus de 11 000 ha certifiés et en conversion), avec les deux-tiers des surfaces dans le département de la Gironde (*DRAAF Nouvelle-Aquitaine, 2017; Agreste Nouvelle-Aquitaine, 2018b*).

La filière vitivinicole place la Région Nouvelle-Aquitaine au 1^{er} rang européen par l'emploi et la valeur agricole, une filière structurée à la fois par l'exportation à l'international, l'activité œnotouristique et le marché local.

Dans la Région Nouvelle-Aquitaine, vins sans indication géographique et vins à appellation d'origine contrôlée (AOC) ou d'origine protégée (AOP) cohabitent. Ainsi, en 2017, la région recense 132 523 ha en AOP, 74 416 ha en appellation Cognac-Armagnac, 4 133 ha en IGP, et 4 942 ha sans indication géographique, soit 2% des superficies en production. Ces distinctions révèlent des disparités de structuration de filière importantes entre terroirs. En effet, dans le bassin Bordeaux-Aquitaine, les exploitations agricoles intègrent les activités de vinification et de commercialisation tandis que les activités sont plus segmentées dans le bassin Charentes-Cognac avec une place importante consacrée à l'industrie des boissons. Quelle que soit sa structuration, l'activité vitivinicole est une filière agricole qui nécessite une main d'œuvre importante et qui est

FIGURE 3.1

Carte des fonciers viticoles en Nouvelle-Aquitaine où les densités en hectares par km² sont maximales au sein des deux principaux vignobles de la région : le Bordelais, principalement en Gironde, et le Cognacais, entre la Charente et la Charente-Maritime (source : *Agreste Nouvelle-Aquitaine, 2018*)



© IGN Bdcarto et Bdcarthage

donc créatrice d'emploi. A l'échelle régionale elle totalise 54 100 emplois en 2015 dont 43 800 salariés (*Agreste Nouvelle-Aquitaine, 2018a*). Parmi eux, plus de 33 000 emplois sont dédiés à la production viticole (*Agreste Nouvelle-Aquitaine, 2018a*). Hors viticulture, le taux d'exportation moyen de la filière est de 46% et est donc largement supérieur à celui des entreprises du secteur non agricole de Nouvelle-Aquitaine (11%) (*Agreste Nouvelle-Aquitaine, 2018a*). L'exportation concerne largement la filière néo-aquitaine

puisque 40% du chiffre d'affaires du bassin Bordeaux-Aquitaine et 98% du bassin Charentes-Cognac en dépendent. Outre la production et la commercialisation de vin et de spiritueux, la vitiviniculture structure également l'activité régionale par l'œnotourisme qui relie le produit au paysage (Rochard, 2015). Ainsi, en 2015, 937 établissements étaient qualifiés dans la filière œnotourisme à travers le label

Le socio-écosystème des territoires viticoles, un espace de production de vin hébergeant une biodiversité importante

Les grands territoires viticoles de Nouvelle-Aquitaine comme le Bordelais ou le Cognacais sont fortement structurés par l'activité de production de vin. Les paysages y sont généralement dominés par la monoculture de vigne. Cependant, le socio-écosystème des territoires viticoles est le théâtre de nombreuses autres activités économiques et socio-culturelles au centre desquelles se placent les paysages viticoles et la biodiversité qu'ils hébergent (Figure 3.2). Par exemple, le maintien d'éléments semi-naturels dans le paysage ou d'espèces végétales non-cultivées sur la parcelle permet d'associer à la vigne des activités apicoles dépendantes des sources de pollen et de nectar (Figure 3.3). D'autres espèces qui trouvent dans ces territoires des ressources alimentaires comme le sanglier ou le chevreuil en lisière de bois, ou y nichent comme les perdrix, fournissent des services socio-culturels à travers des activités sociales, de découverte naturaliste, de chasse ou encore d'éco-tourisme.

Ces usages multiples et attentes diverses de la société mettent en jeu un ensemble complexe d'interactions entre **biodiversité et société** dans le fonctionnement des **agroécosystèmes** des territoires viticoles, potentiellement sources de compétition entre usages. Ainsi, comme en plaine agricole (voir chapitre « plaines agricoles ») un élément important d'interaction négative entre usages est lié à l'intensification de la viticulture qui entraîne une homogénéisation des paysages et une diminution des ressources alimentaires pour la faune, combinée à une utilisation accrue des produits phytopharmaceutiques (Godfray et al., 2012; Tilman et al., 2002). En Nouvelle-Aquitaine, avec un territoire viticole situé essentiellement en façade atlantique et doté d'un climat océanique favorable au développement des champignons pathogènes, comme le mildiou ou l'oïdium, la viticulture est actuellement fortement dépendante de l'usage des fongicides. Certains traitements phytopharmaceutiques contre des espèces de quarantaine sont obligatoires (e.g., traitement insecticide contre la cicadelle de la flavescence dorée). Globalement, l'application de produits phytosanitaires est plus fréquente qu'en grandes cultures (Indice de Fréquence de Traitement en 2013 - IFT Aquitaine : 16.7 et IFT Poitou-Charentes : 18.2, d'après SSP, 2019). Les ventes de fongicides constituent 43% des quantités de produits phytopharmaceutiques commerciaux vendus en 2014, et 30% des ventes de fongicides sont réalisées en Gironde (DRAAF Nouvelle-Aquitaine, 2017). Par ailleurs, le développement de pratiques vitivinicoles agroécologiques, l'engagement dans des démarches à Haute Valeur Environnementale HVE (e.g., les vigneronnes de Buzet (47) et la conservation d'une espèce-phare, la

« Vignobles et Découverte » et 6.2 millions de visiteurs recensés (CRT Nouvelle-Aquitaine, 2017) avec, parmi les 35 sites touristiques dépassant 100 000 visites annuelles, le vignoble de St-Emilion, inscrit au patrimoine mondial de l'Unesco (CRT Nouvelle-Aquitaine, 2017).

FIGURE 3.2

Paysages et parcelles viticoles de Gironde représentant les abords d'une parcelle de vigne dans laquelle des éléments semi-naturels ont été conservés. Différentes espèces et communautés d'espèces habitent ces paysages. A droite, le semis d'une bande fleurie en bord de parcelle apporte des ressources pour différents arthropodes prédateurs, parasitoïdes ou pollinisateurs (Photos : en haut Sophie Chamont, INRA; en bas Marie Grasset, INRA)

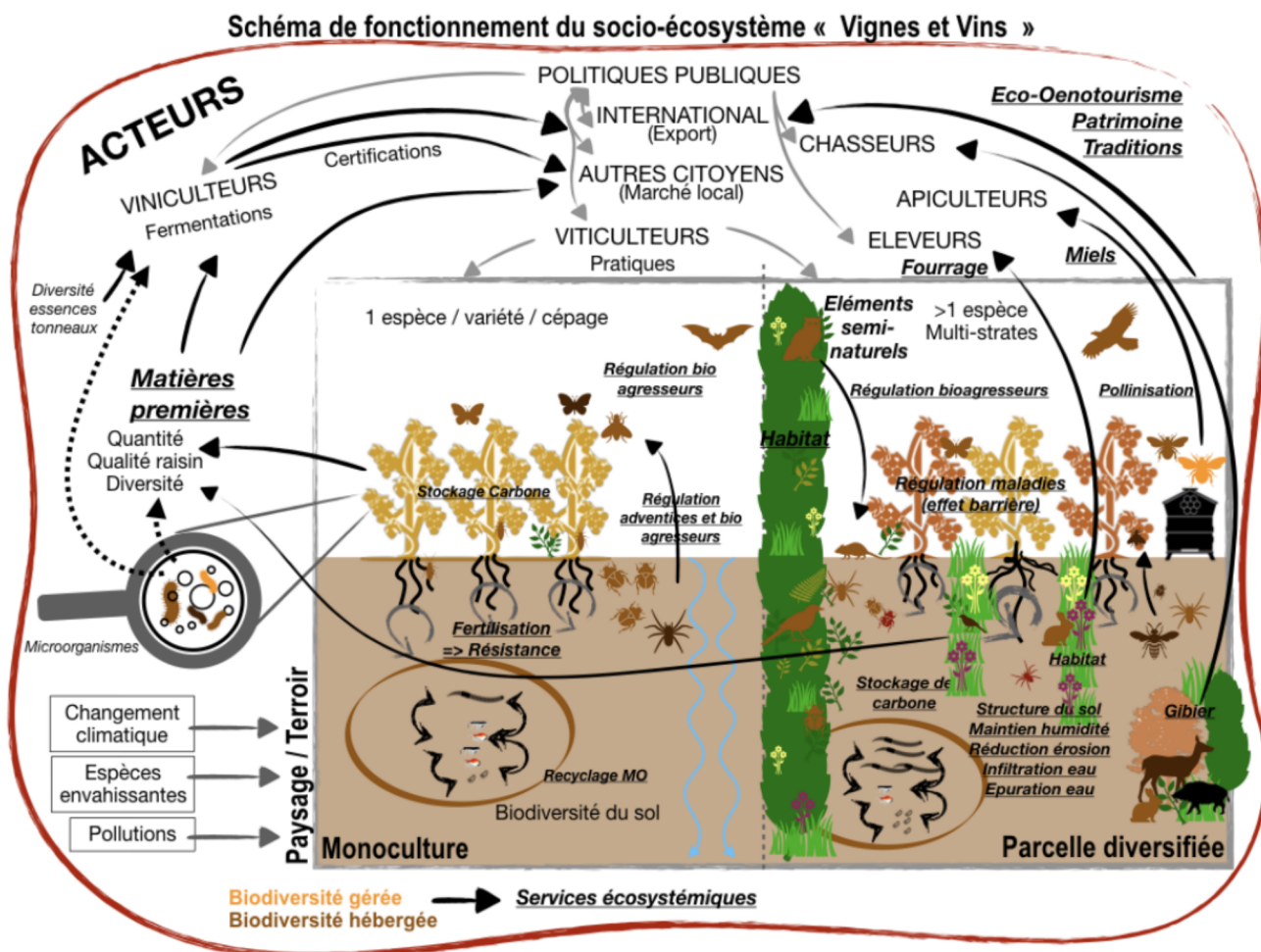


chouette chevêche) et la valorisation commerciale de certains vignobles dépendent directement ou indirectement de la biodiversité (Barnes et al., 2010; Rochard, 2015). Il apparaît donc nécessaire de caractériser le rôle de la biodiversité, les valeurs marchandes et non marchandes qui y sont associées, ainsi que l'état de la biodiversité en Nouvelle-Aquitaine. La synthèse des connaissances autour de

la biodiversité et de la multifonctionnalité des territoires viticoles en Nouvelle-Aquitaine que nous réalisons ici permettra de dessiner le périmètre des zones de synergies possibles entre préservation de la biodiversité et production viticole.

FIGURE 3.3

Représentation schématique simplifiée d'un socio-écosystème de territoire viticole en Nouvelle-Aquitaine. La biodiversité et la société sont en interaction à la fois à travers le rôle de la biodiversité dans le fonctionnement de l'écosystème (et de la provision de services écosystémiques) et le rôle des acteurs du territoire qui influencent ce fonctionnement par l'exploitation des vignes pour la production et la commercialisation du vin «ou par la valorisation des paysages viticoles» par l'œnotourisme. Au maintien d'éléments semi-naturels du paysage et au développement de pratiques agroécologiques et de commercialisation au vignoble s'associent des activités professionnelles et socio-culturelles autour de la biodiversité hébergée, comme le pastoralisme, la chasse ou l'éco-tourisme.



2

La recherche régionale sur la biodiversité des agroécosystèmes viticoles en Nouvelle-Aquitaine

La synthèse bibliographique réalisée résumant les connaissances scientifiques régionales sur les relations biodiversité, fonctionnement et fourniture de services écosystémiques en socio-écosystème viticole nous a amené à retenir **124 références bibliographiques** régionales (Figure 3.4) parmi lesquelles figurent des recherches empiriques et expérimentales réalisées dans le cadre d'infrastructures de recherche régionales dédiées (Encadré 1).

346 RÉFÉRENCES AU TOTAL, DONT :



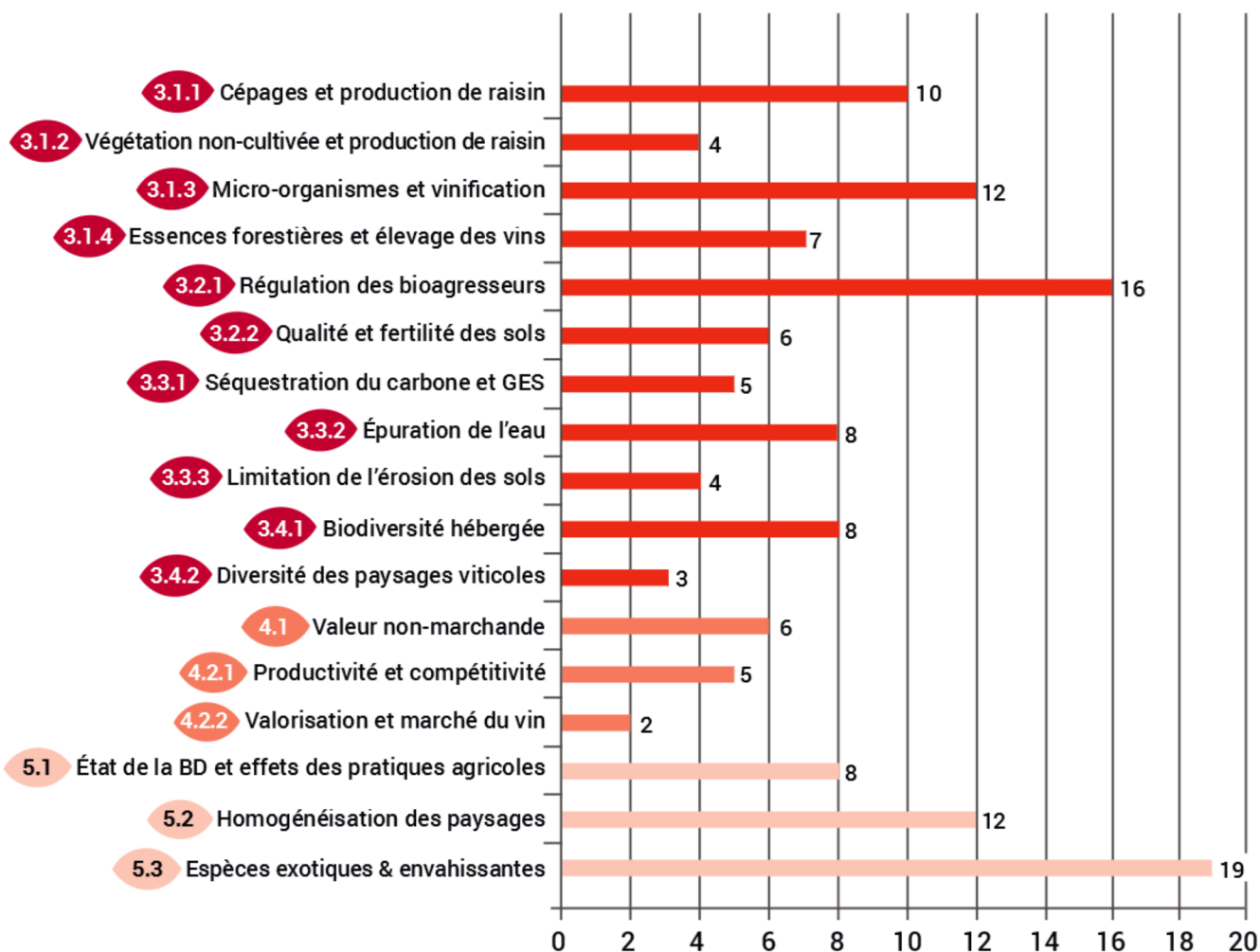
124 références « régionales »



222 références « internationales »

FIGURE 3.4

Répartition des références régionales par sous-section du chapitre



ENCADRÉ 1

Des infrastructures dédiées aux recherches sur les liens entre biodiversité et pratiques agricoles en vitiviniculture en Région Nouvelle-Aquitaine

Site Atelier BACCHUS, Viticulture et Biodiversité (INRA UMR Save; LPO; Chambre d'Agriculture de la Gironde)

BACCHUS est un Site Atelier mis en place par l'INRA en 2015 et établi à l'échelle d'un territoire de 900 km² localisé sur le Libournais et l'Entre-Deux-Mers, en Gironde (Figure 3.5). Il permet l'observation et l'analyse des relations entre pratiques agricoles et biodiversité dans les paysages viticoles.

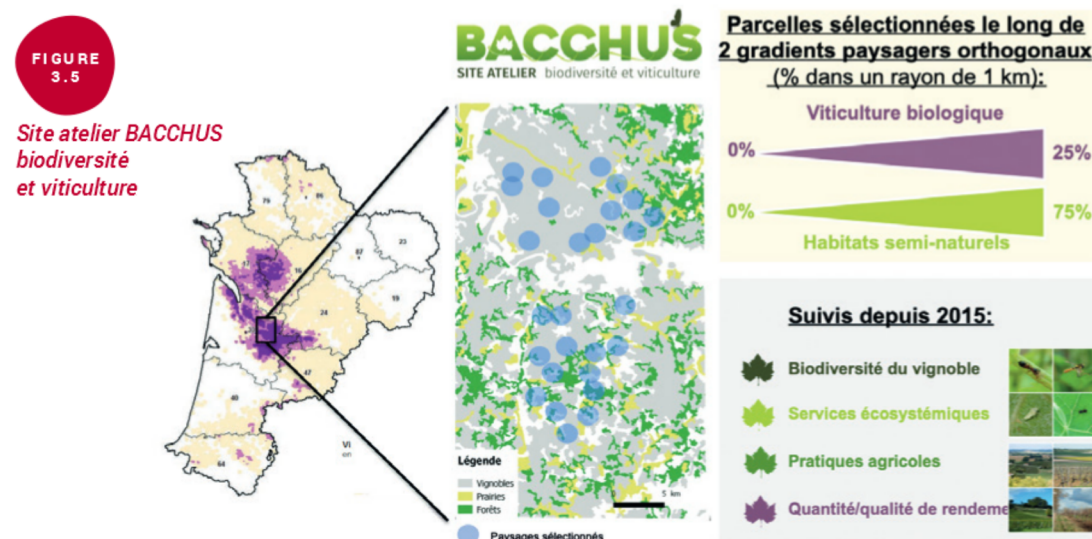
Le site Atelier BACCHUS a deux objectifs principaux :

- **Produire des connaissances sur la dynamique de la biodiversité dans les paysages viticoles.** En s'appuyant sur les données collectées annuellement sur le site Atelier depuis 2015, l'objectif est d'analyser comment différentes facettes des changements globaux (e.g. changements de pratiques viticoles, changements d'occupation du sol) impactent la dynamique de la biodiversité, le fonctionnement des écosystèmes et les services écosystémiques dans les paysages viticoles étudiés.

- **Concevoir et évaluer, en partenariat étroit avec les viticulteurs, des systèmes de production viticoles « multi-performants »** minimisant les impacts environnementaux et maximisant les processus naturels, tout en assurant des revenus économiques compétitifs aux viticulteurs. L'objectif est ici de développer une démarche d'ingénierie agroécologique avec les viticulteurs pour faire évoluer leurs systèmes de culture en s'appuyant sur les connaissances produites par le volet « recherche ».

Le Site Atelier BACCHUS est constitué d'un réseau d'une quarantaine de parcelles viticoles suivies annuellement et sélectionnées de manière à explorer des contextes de production différents le long de deux gradients paysagers : un gradient de proportion de surfaces cultivées en viticulture biologique et un gradient de proportion d'habitats semi-naturels dans le paysage environnant chaque parcelle étudiée. Le Site Atelier BACCHUS offre donc une base de données et des méthodologies permettant d'évaluer les performances écologiques, agronomiques et économiques de différents systèmes de culture viticole sur le territoire néo-aquitain. Ce dispositif agrège différents partenaires scientifiques et techniques intéressés par la préservation de la biodiversité dans les paysages viticoles (e.g. LPO, Chambre d'Agriculture, Viticulteurs) et a vocation à en accueillir de nouveaux.

Plus d'infos : www.siteatelier-bacchus.com



SUITE ENCADRÉ 1

GIEE AOC de Margaux : renforcement et valorisation de la biodiversité sur l'AOC Margaux (Vitinnov; AOC Margaux)

En plus du site atelier BACCHUS qui est avant tout un dispositif de recherche, on trouve différentes initiatives en Nouvelle-Aquitaine autour de la biodiversité qui alimente des projets de recherche. Ainsi, l'Appellation d'Origine Contrôlée Margaux conduit, depuis 2013, des actions en faveur de la biodiversité et du territoire, en intégrant l'agro-écologie au cœur de ses vignobles. Pour mener à bien ses actions, le Syndicat Viticole de Margaux est accompagné, depuis 2013, par Vitinnov, la cellule de transfert de l'Institut des Sciences de la Vigne et du Vin (ISVV) dédiée à la viticulture et adossée à Bordeaux Sciences Agro.

Les travaux ont débuté par un diagnostic de la biodiversité locale entre 2013 et 2015, en impliquant les viticulteurs et les acteurs locaux. Des relevés naturalistes ont été réalisés en partenariat avec la Ligue pour la Protection des Oiseaux (LPO) et un expert indépendant (David Genoud). A partir de ce diagnostic, les propriétés viticoles ont été impliquées dans un plan d'action en faveur de la préservation de la biodiversité, par la mise en pratique notamment de fauches tardives ou de plantations de haies. Ces actions sont répertoriées régulièrement dans une base de données géo-référencée tenant compte de la composition paysagère, des espèces faunistiques relevées ainsi que des pratiques mises en œuvre. Par ses initiatives l'appellation Margaux a obtenu en 2017 la reconnaissance en tant que Groupement d'Intérêt Economique et Environnemental (GIEE) et a choisi d'aller plus loin dans ses initiatives à travers un engagement sur deux projets de recherche complémentaires à la démarche : le projet PhytAE, soutenu par le Conseil Interprofessionnel des Vins de Bordeaux (CIVB), et le projet VITIPOLL, soutenu par la Région Nouvelle-Aquitaine (**plus d'informations** sur ces projets sur <http://www.vitinnov.fr/projets.php>). Le territoire de l'appellation Margaux s'engage ainsi à expérimenter et développer des pratiques agroécologiques qui associent la préservation de la biodiversité à la réduction des intrants phytosanitaires, en favorisant l'action et la formation des différents acteurs du territoire impliqués.

3

Rôles de la biodiversité dans le fonctionnement des agroécosystèmes viticoles

La biodiversité joue un rôle majeur dans le fonctionnement des agroécosystèmes viticoles, comme dans tous les écosystèmes, et rend de multiples services aux viticulteurs et à la société en général. La biodiversité se retrouve d'abord de manière évidente dans la diversité des productions, tels que les fruits ou in fine, les vins. Cette production représente des services dits « d'approvisionnement », et elle s'appuie directement sur la diversité des variétés cultivées. En effet, la diversité de la vigne elle-même (diversité des porte-greffes, diversité des cépages, diversité clonale) peut affecter la production de raisin; par ailleurs, la diversité végétale associée à la vigne à l'échelle de la parcelle (par exemple dans l'inter-rang) peut aussi affecter la production de raisin en qualité ou en quantité. La diversité microbienne, hébergée dans les baies et ensuite au cours du processus de vinification, est connue pour affecter la qualité de la récolte mais surtout du vin; tandis que la diversité des essences forestières utilisées pour l'élevage du vin peut affecter ses propriétés organoleptiques. La production est aussi indirectement appuyée par le rôle que joue la biodiversité sur les fonctions intermédiaires qui découlent du fonctionnement des écosystèmes. Parmi celles-ci, on peut citer le recyclage de la matière organique du sol ou encore la régulation naturelle des maladies et des ravageurs de la vigne. La biodiversité des habitats à l'échelle des paysages peut par ailleurs influencer les niveaux de services écosystémiques intermédiaires. En effet, la diversité des types d'habitats (haies, forêts, prairies, bordures de parcelles, bandes enherbées) s'avère être un élément essentiel pour un certain nombre de communautés d'organismes qui fournissent ces services.

L'ensemble des services évoqués ici sont donc des services rendus par la biodiversité, directement ou indirectement, aux viticulteurs.

Par ailleurs, en Région Nouvelle-Aquitaine comme ailleurs, les agroécosystèmes viticoles sont par nature très anthropisés, ce qui engendre des perturbations environnementales (intrants, labour, simplification des paysages) importantes pouvant modifier le fonctionnement des écosystèmes. Or la biodiversité peut également contribuer à la régulation du fonctionnement des écosystèmes anthropisés en dehors du service de production, à travers des fonctions de régulation comme l'épuration de l'eau ou la prévention de l'érosion. Enfin, si la production de fruits destinés à la vinification est une activité économique structurante du socio-écosystème s'appuyant sur les fonctions rendues par la biodiversité, de nombreuses autres activités du socio-écosystème bénéficient de la biodiversité, en particulier des activités récréatives comme l'œnotourisme (section 4). Ces activités constituent des services dits « socio-culturels » à laquelle la diversité des éléments du paysage ou des espèces qui l'habitent contribue largement.

Ces catégories de services qui dépassent la dimension de production des vignobles sont donc des services rendus à la société dans son ensemble.

Ci-après, nous présentons un état des lieux des connaissances scientifiques disponibles sur le rôle de la biodiversité dans la fourniture de services d'approvisionnement (production viticole et autres), de régulation et de services socio-culturels présents en paysages viticoles de Nouvelle-Aquitaine.

3.1. LA BIODIVERSITÉ EN TANT QUE SUPPORT DIRECT DE PRODUCTION VITICOLE

3.1.1. Rôle de la diversité des cépages pour la viticulture



Suite à l'invasion phylloxérique du XIX^e siècle en Europe, les pratiques culturales se sont recentrées sur une plantation de porte-greffe-cépage unique et monoclonale issue de la sélection variétale (This et al., 2006). Ainsi, même s'il existe plusieurs milliers de cépages de l'espèce *Vitis vinifera* (au moins 6000 – Lacombe, 2012) une douzaine seulement est très largement plantée à l'échelle mondiale, représentant de 70 à 90% des surfaces viticoles d'une grande majorité des pays producteurs (Anderson & Aryal, 2016; Wolkovich et al., 2018). Les cépages présentent malgré tout une remarquable diversité dans leur capacité de production (rendement), de phénologie (Parker et al., 2013), de tolérance au froid

(Duchene, 2016), de tolérance à la sécheresse (Galet & Grisard, 2015) ou de composition du raisin (Huglin & Schneider, 1998). Cependant, l'effet de l'introduction à l'échelle de la parcelle ou du paysage d'une diversité de porte-greffes, de cépages ou de diversité génétique (intra-cépage) sur le rendement ou la qualité de production reste à étudier. De fait, la diversité génétique et phénotypique de *Vitis vinifera* est largement sous-utilisée à l'heure actuelle et une plus grande exploitation de cette diversité apparaît comme un élément majeur d'adaptation aux changements environnementaux actuels et à venir (Wolkovich et al., 2018).



En Nouvelle-Aquitaine, on compte 6 cépages dominants : 3 cépages rouges, le Merlot (64 % des surfaces), le Cabernet-Sauvignon (22%) et le Cabernet franc (11%), et 3 cépages blancs, l'Ugni blanc (77%), le Sémillon (10%) et le Sauvignon (9 %) (Agreste Nouvelle-Aquitaine, 2018b). Après l'invasion phylloxérique qui a menacé la survie du vignoble dans la deuxième moitié du XIX^e siècle, la vigne a été plantée sur des porte-greffes pour contourner les effets dévastateurs de ce puceron qui s'attaque notamment aux racines de *Vitis vinifera* (Cordeau, 1998). Cette sélection clonale a permis d'assainir le matériel végétal (la grande majorité des clones commercialisés sont indemnes de virus majeurs) mais elle a aussi fortement appauvri le matériel végétal, car seul un nombre limité de clones sont effectivement utilisés pour chaque cépage (This et al., 2006; van Leeuwen & Roby, 2010). Plus récemment, les recherches se sont principalement concentrées sur la sélection variétale (cépage ou clone) comme levier d'adaptation aux pressions comme le changement climatique (nécessité de planter des cépages plus tardifs et plus résistants à la sécheresse, van Leeuwen & Destrac-Irvine, 2017) et/ou à l'émergence de nouveaux bioagresseurs (cépages plus tolérants ou résistants). De même, les porte-greffes varient dans leur résistance à la sécheresse, à la chlorose calcaire, à l'acidité, au sel ou aux nématodes (Ollat et al., 2016). Ils confèrent aussi une vigueur plus ou moins forte au greffon (c'est-à-dire la partie aérienne du cep de vigne) et des différences de productivité (Renouf et al., 2010). Depuis une dizaine d'années, il y a un intérêt croissant pour des

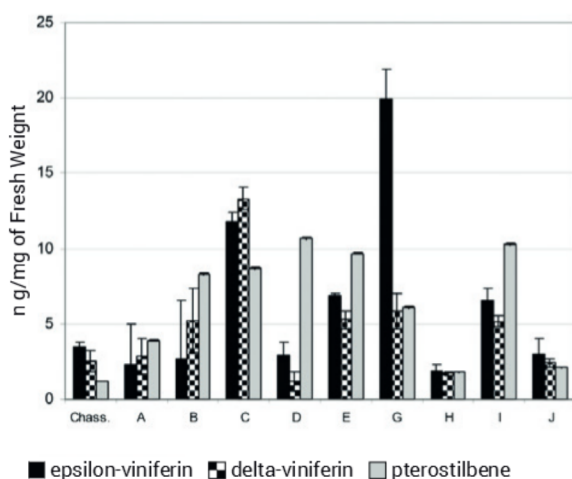
cépages mineurs, souvent locaux, qui peuvent présenter une opportunité d'adaptation à de nouvelles conditions, ou encore permettre la production de vins originaux avec une typicité marquée (Roby et al., 2014). La diversité génétique à l'intérieur d'un cépage est variable, relativement faible pour des cépages récents comme le Merlot, et plus forte pour des cépages anciens comme le Cabernet franc et le Pinot noir (van Leeuwen et al., 2013). Dans une population de Cabernet franc, on trouve ainsi une variabilité de rendement de 35% entre clones, une variabilité du poids des baies de 16%, une variabilité de la teneur en sucre du raisin de 6% et une variabilité de la teneur en anthocyanes des vins produits de 21%. Les différents clones testés varient aussi dans la teneur en phytoalexines dans les feuilles, ce qui traduit des différences de résistance au mildiou (Figure 3.6 ; van Leeuwen et al., 2013).

La très forte diversité génétique de la vigne, tant au niveau du porte-greffe que du cépage ou entre clones, est une précieuse ressource pour une adaptation à une modification des contraintes abiotiques (changement climatique) ou biotiques (changement de bioagresseurs) (Ollat et al., 2016; Wolkovich et al., 2018). A notre connaissance, aucune étude en Nouvelle-Aquitaine n'a mesuré le lien entre diversité du matériel végétal cultivé (vigne, de la parcelle au paysage) et qualité/quantité de la production viticole.



FIGURE 3.6

Variabilité des concentrations dans le limbe foliaire de 3 composés phénoliques (ϵ -viniférine, δ -viniférine et ptérostilbène) chez neuf clones (A – J) de Cabernet franc comparé à V. Vinifera Chasselas. Les barres d'erreur indiquent l'erreur standard. Source : van Leeuwen et al. (2013)



CE QU'IL FAUT RETENIR

La grande diversité potentielle du matériel végétal cultivé (porte-greffe, cépage) suggère des capacités majeures d'adaptation à des contextes environnementaux fluctuants (climat, pathogènes, pratiques viticoles), soulignant le caractère tout à fait fondamental de préserver la diversité du matériel végétal. Les études régionales, comme internationales, sur cette question mettent en avant le fort potentiel adaptatif de la diversité des cépages et des porte-greffes. Cependant, aucune étude en Nouvelle-Aquitaine n'a analysé les liens entre diversité du matériel végétal cultivé (de la parcelle au paysage) et niveau de production de raisin (qualité, quantité).

[Présomption] : [Etudes empiriques]
(~10 études)

3.1.2. Rôle de la diversité végétale non cultivée à l'échelle parcellaire pour la production de raisin



La diversité végétale non cultivée à l'intérieur d'une parcelle viticole affecte la production de raisin (en quantité et en qualité) ainsi que les propriétés des mouts de raisins (Muscas et al., 2017; Pérez-Alvarez et al., 2015; Ripoché et al., 2010; Winter et al., 2018). La plupart des travaux traitent la question de la diversité végétale non cultivée via la gestion des sols et de l'enherbement, en comparant des modes de gestion contrastés (sol nu et enherbement partiel par exemple) ou la nature des enherbements (végétation spontanée, végétation semée, autochtone ou non). La diversification végétale intra-parcellaire, via l'implantation d'un couvert naturel ou semé, peut entraîner une diminution faible de la quantité de raisin (Gontier et al., 2011; Muscas et al., 2017; Pou et al., 2011; Tesic et al., 2007) mais les résultats sont extrêmement variables entre études et ce n'est pas toujours le cas (Baumgartner et al., 2008; Giese et al., 2014; Giese Jr., 2014; Mercenaro et al., 2014; Monteiro & Lopes, 2007; Steenwerth & Belina, 2010; Sweet & Schreiner, 2010). Les conditions climatiques régionales et le stress hydrique sont des déterminants majeurs de la variabilité du sens de l'effet sur la quantité de raisin produit. Ainsi les cas de diminution des rende-

ments apparaissent généralement au sein de climats secs et chauds et pour des vignobles non irrigués où la compétition pour la ressource en eau est un facteur limitant fortement le rendement (Giese Jr., 2014; Winter et al., 2018). La nature du couvert végétal (légumineuses ou graminées) a aussi un impact (Muscas et al., 2017). Par contre, la diversification du couvert végétal a généralement des effets positifs sur la qualité des raisins (concentration en sucres, concentration en anthocyanes et en polyphénols : Muscas et al., 2017; Pou et al., 2011; Wheeler et al., 2005). En moyenne, le maintien d'un couvert végétal herbacé dans l'inter-rang augmente les concentrations en sucre et en polyphénols (Gontier et al., 2011; Muscas et al., 2017). En revanche, le maintien d'un couvert végétal à base de légumineuses dans l'inter-rang tend à réduire la concentration en polyphénols (Muscas et al., 2017). Au final, une sélection appropriée de plantes de couverture peut améliorer la qualité de la récolte et limiter les impacts environnementaux (travail du sol, herbicide) sans forcément impacter les rendements (Muscas et al., 2017; Pou et al., 2011).



Relativement peu de travaux de recherche ont été menés sur les effets de la diversification végétale non-cultivée sur les rendements (qualité et quantité) dans le contexte français et a fortiori néo-aquitain. Cependant, les quelques travaux réalisés dans des régions voisines confirment les travaux menés à l'échelle internationale et suggèrent que la diversification végétale intra-parcellaire peut entraîner une diminution des rendements, particulièrement dans des contextes de fort stress hydrique ou azoté, mais peut également se traduire par une augmentation de la qualité du raisin via une augmentation de la concentration en sucre voire en polyphénols (Celette et al., 2009; Gontier et al., 2011; Ripoché et al., 2010). Dans le cas de sols avec une réserve utile suffisante, la compétition pour les éléments minéraux du sol, et pour l'azote en particulier (et pas la compétition pour la ressource en eau) explique les pertes de rendements observées en situation d'inter-rangs enherbés en comparaison d'inter-rangs nus (Celette & Gary, 2013). Des travaux empiriques sont actuellement conduits par la Chambre d'Agriculture de la Gironde

pour analyser les impacts des couverts végétaux dans l'inter-rang sur l'élaboration du rendement, la qualité des raisins et les caractéristiques organoleptiques des vins (Projet VERTIGO), mais aucun résultat n'est actuellement disponible ou consultable.



Bande Fleurie ©MarieGrasset

CE QU'IL FAUT RETENIR

Maintenir un enherbement ou augmenter la diversité végétale non cultivée à l'échelle des parcelles viticoles peut entraîner une diminution de la quantité de raisin produit, particulièrement dans des contextes de stress nutritionnel ou hydrique, mais peut également se traduire par une augmentation de certains critères de qualité des raisins (anthocyanes, sucres). Une sélection raisonnée de la composition spécifique à la base de la diversification végétale intra-parcellaire peut donc avoir des effets bénéfiques sur la production de raisin. Cependant, aucun travail de recherche n'a été réalisé sur les effets de la diversité végétale non cultivée sur la production de raisin dans le contexte néo-aquitain.

[Projection] : [Etudes empiriques en régions voisines]

3.1.3. Rôle de la biodiversité des micro-organismes pour la vinification



Un corpus important de connaissances existe sur le rôle de la biodiversité microbienne pour l'élaboration du vin à partir du raisin, qui comprend deux phases principales, la fermentation alcoolique et la fermentation malolactique. Ces fermentations impliquent un microbiote hétérogène composé de levures et de bactéries associées au fruit et à son environnement de culture (vignoble) et de transformation (cave) (Steensels et al., 2014). Depuis le XX^e siècle, des levains de fermentation issus de l'exploitation du microbiote indigène sont un des principaux intrants œnologiques pour assurer la qualité des vins (Steensels et al., 2014; Petruzzi et al.,

2017; Rossouw & Bauer, 2016; Padilla et al., 2016). En particulier, l'inoculation de mélanges plutôt que d'une seule souche de levure *Saccharomyces* est associée à une modulation de la qualité sensorielle des vins (Bellon et al., 2013; Tronconi et al., 2017). Par ailleurs, l'utilisation de levains sélectionnés tend à pallier une altération de produit liée à des difficultés fermentaires et des défauts olfactifs parfois constatés en cas de fermentation spontanée de microbiotes indigènes non sélectionnés (García-Ríos et al., 2014; Whitener et al., 2015). Cependant, il existe un regain d'intérêt pour les techniques de transformation anciennes basées sur



la fermentation spontanée de microbiotes indigènes non sélectionnés (*Tristezza et al., 2013; Mas et al., 2016; Capece et al., 2012; Mercado et al., 2011*), notamment dans le cadre de production en viticulture biologique et en biodynamie promouvant des pratiques vitivinicoles agroécologiques limitant les intrants (*vin sans sulfite, vin naturel, ITAB, 2016*). Une faible utilisation d'intrants phytosanitaires maintient une communauté microbienne spontanée du raisin diversifiée, de même qu'une diversité importante des communautés des micro-organismes fermentaires des exploitations vitivinicoles (*Bokulich et al., 2014; Mezzasalma et al., 2017; Vigentini et al., 2015; Clavijo et al., 2010*). Par ailleurs, une différenciation régionale des communautés fermentaires du raisin et du vin sous l'effet des conditions pédo-climatiques, des pratiques agricoles, des cépages et des pratiques de vinifications est connue (*Drumond-Neves et al., 2017; Mezzasalma et al., 2017; Bokulich et al., 2014; Vigentini et al., 2015*). Des recherches récentes suggèrent que la diversité microbienne spontanée du

raisin et de son environnement pourrait participer aux caractéristiques du vin, composante microbienne du terroir (*Bokulich et al., 2014; Bokulich et al., 2016; Drumond-Neves et al., 2017*) et ouvrent de nombreuses questions sur l'impact des différents facteurs environnementaux (*Gilbert et al., 2014; Zarraonaindia et al., 2015*). Néanmoins, la part attribuée à la composante microbienne de la baie sur la typicité des vins devrait être évaluée au regard des autres paramètres pédoclimatiques et humains majeurs dans la définition des terroirs viticoles. Les pratiques viticoles modifient les caractéristiques œnologiques des baies à travers leur influence sur les communautés de micro-organismes présents dans le sol, mais aussi ceux colonisant les tissus racinaires et aériens (*Bokulich et al., 2014*). Cependant, à l'heure actuelle aucun consensus n'existe autour de la relation causale entre biodiversité microbienne (sol, plante, baie), processus de vinification et qualité du vin (*Tempère et al., 2018*).



En Nouvelle-Aquitaine, des études ont permis de caractériser la structure des microbiotes indigènes et de leur évolution à différents stades de fermentation spontanée dans des vignobles de plusieurs appellations de Bordeaux (*Börlin, 2015; Börlin et al., 2016; Lucas et al., 2018*). En Gironde et en Charente, la biodiversité des levures *Saccharomyces* au vignoble est très grande (potentiellement jusqu'à 6000 profils génétiques différents; *Börlin, 2015*). Certaines souches dominent mais persistent dans un même chai sur une période limitée (*Ferzier & Dubourdieu, 1999; Versavaud et al., 1995; Börlin et al., 2016; Lucas et al., 2018*). Des conclusions similaires ont été obtenues pour les souches de bactéries *Oenococcus oeni* réalisant la fermentation malolactique (*Lucas et al., 2018*). Cependant, la répartition de la diversité des souches entre les produits échantillonnés met en évidence à la fois une diversité intra-site importante et la présence de souches communes à l'ensemble ou à plusieurs sites n'appartenant pas aux mêmes terroirs mais produisant les mêmes types de produits (*Versavaud et al., 1995; Lucas et al., 2018*). Ainsi, dans le cadre du projet européen WILDWINE, un échantillonnage réalisé sur 235 produits de fermentation spontanée de vignobles de cinq pays d'Europe et du Liban a permis d'identifier 514 souches de bactéries *O. oeni* parmi lesquelles 89% n'ont été détectées que dans une seule région et 21% ont été détectées dans au moins deux régions éloignées (par ex. souches partagées entre le Liban et Bordeaux) (*El Khoury et al., 2017*). Cependant, les microbiotes sont différenciés entre les vins blancs, les vins rouges et les cidres, ce qui suggère une adaptation des micro-organismes fermentaires aux produits ou à des sites de production (*Campbells-Sills et al., 2017; Lorentzen & Lucas, 2019*). Si une richesse spécifique élevée a pu être décrite dans les communautés de micro-organismes indigènes impliqués dans la fermentation alcoolique et malolactique des produits vinicoles régionaux, les facteurs environne-

mentaux et humains (du champ au chai) qui affectent leur répartition et leur évolution ainsi que leurs fonctions dans la composition et la qualité sensorielle et sanitaire des vins ont fait l'objet de peu d'études. La fermentation spontanée permet le développement et l'activité non contrôlée de communautés diversifiées qui peuvent négativement ou positivement affecter la qualité organoleptique et hygiénique du vin (*Lonvaud-Funel, 1999*) et donc engendrer une plus grande variabilité de produits entre crus d'un même vignoble ou entre produits d'un même terroir. Par ailleurs, *Martins et al. (2012; 2013)* ont comparé la composition des microbiotes du raisin à différents stades de maturation de vignobles Bordelais gérés en viticulture biologique ou conventionnelle. Leurs travaux établissent une évolution de la composition des communautés microbiennes au cours de la maturation ainsi qu'une corrélation négative entre la quantité de cuivre utilisée et l'abondance ou la diversité des micro-organismes du raisin (fermentaire ou non) indépendamment du mode de conduite considéré. Concernant l'espèce *S. cerevisiae*, les indices de diversité calculés sur la base du nombre de génotypes différents sont plus élevés en agriculture conventionnelle qu'en agriculture biologique (*Lucas et al., 2018*). Enfin, la demande sociétale actuelle pour les vins contenant peu ou pas de sulfites a un impact majeur sur la diversité du microbiote du vin. En réduisant les teneurs en sulfites, non seulement la biodiversité des micro-organismes qui réalisent les fermentations est affectée, mais également la biodiversité des micro-organismes qui persistent dans les vins après les fermentations et qui peuvent nuire à la qualité du vin. Cette nouvelle tendance va donc affecter profondément la biodiversité microbienne du vin à l'échelle des exploitations et de la région. Des travaux ont été initiés pour mieux comprendre les effets de la réduction des sulfites mais il n'existe pas d'étude publiée à ce jour.

CE QU'IL FAUT RETENIR

Il existe une très grande biodiversité microbienne indigène impliquée dans les processus de fermentation. Les pratiques viticoles et la diversité des contextes de production de Nouvelle-Aquitaine façonnent fortement les communautés de micro-organismes indigènes mais l'existence de microbiote significativement associé à une appellation ou à une exploitation n'est pas démontrée. Par ailleurs, il n'existe aucun consensus scientifique à l'heure actuelle autour du lien entre biodiversité microbienne et qualité des vins.

[Fait Établi] : [Etudes empiriques] (>10 études) ; [Expérimentations]

3.1.4. Rôle de la diversité des essences forestières dans l'élevage des vins



L'élaboration des grands vins et de nombreux spiritueux comporte généralement une étape de maturation sous-bois, dans des contenants variés. Plusieurs essences peuvent être utilisées par les tonneliers pour la fabrication des barriques destinées à l'élevage des vins, mais la plus prisée est le chêne sessile (*Quercus petraea L.*) et, dans une moindre mesure, le chêne pédonculé (*Quercus robur L.*). Au cours de ce vieillissement, les vins subissent différentes modifications physico-chimiques se traduisant par une évolution de leur composition, de leur stabilité et de leurs caractéristiques organoleptiques (Garde-Cerdán & Ancin-Azpilicueta, 2006; Singleton, 1974). En pratique, on observe une modification de l'arôme des vins due à plusieurs composés volatils

comme la vanilline, la whisky-lactone, l'eugénol ou le 2-furanemethanethion (Chattonnet, 1995; Tominaga et al., 2000). Leurs teneurs dans les vins varient significativement en fonction de plusieurs paramètres et notamment des origines botaniques et régionales du chêne (Chattonnet & Dubourdieu, 1998; Feuillat et al., 1997; Gu-chu et al., 2006). Les ellagitannins, possédant des propriétés astringentes, sont également présents dans les vins à des teneurs dépendantes des conditions de fabrication des barriques (Quinn & Singleton, 1985). Le chêne sessile est plus riche en whisky-lactone et plus pauvre en ellagitannins que le chêne pédonculé (Prida et al., 2006, 2007), ce qui peut justifier son utilisation préférentielle en fonction du produit souhaité.



La tonnellerie est un secteur d'activité important en Nouvelle Aquitaine, où se trouve à la fois des forêts de chênes et de nombreuses tonnellerie, dont la production est utilisée par les producteurs de vins et de spiritueux. Plusieurs études récentes ont permis d'explicitier au niveau moléculaire les conséquences sensorielles de l'élevage des vins en sous-bois de chêne. L'effet des ellagitannins sur la couleur (Chassaing et al., 2010) et l'astringence des vins (González-Centeno et al., 2016) a notamment été précisé, comme les facteurs influençant la composition du bois en ces composés (Michel et al., 2010). Par ailleurs, plusieurs lignanes et triterpènes contribuant à l'amertume et la sucrosité des vins ont été identifiés (Marchal et al., 2015, 2016; Cretin et al., 2015). Une méthode chimique permettant d'identifier l'espèce de chêne sur la base de la composition triterpénique a été mise au point (Marchal et al., 2016). Des travaux régionaux ont montré que les teneurs de certains composés volatils qui contribuent à l'arôme des vins varient significativement en fonction notamment des origines

botaniques et régionales du chêne, indiquant clairement un rôle de la diversité des chênes sur l'élevage des vins (Chattonnet & Dubourdieu, 1998).



Tonneaux

CE QU'IL FAUT RETENIR

L'origine botanique et géographique des essences forestières utilisées pour la fabrication des tonneaux et l'élevage des vins a un impact significatif sur les qualités sensorielles des vins. Cet effet s'explique par une modification de l'arôme des vins due à la production de composés volatils dont la teneur varie en fonction de multiples paramètres environnementaux, dont l'essence utilisée pour la fabrication des tonneaux. La diversité forestière apparaît donc comme une composante importante de l'identité des vins.

[Présomption] : [Etudes empiriques] (<10 études) ; [Expérimentations]

3.2. RÔLE DE LA BIODIVERSITÉ EN TANT QUE SUPPORT INDIRECT DE PRODUCTION

3.2.1. Interactions biotiques et régulation des bioagresseurs



La régulation naturelle des bioagresseurs (adventices, agents pathogènes et ravageurs) est un service écosystémique (indirect) important fourni par la biodiversité. Elle repose sur des processus biotiques et abiotiques via : (i) la régulation des bioagresseurs médiée par l'action d'espèces antagonistes qui assurent la régulation par prédation, parasitisme ou compétition, et (ii) la régulation exercée par la création d'un environnement directement défavorable à l'implantation et au développement des bioagresseurs. Vertébrés et invertébrés régulent les principaux ravageurs de la vigne, incluant micro-organismes, nématodes, hyménoptères parasitoïdes, chrysopes, carabiques, araignées ou encore oiseaux et chauves-souris (Otoguro & Suzuki, 2018; Sentenac, 2011; Sanguaneko & León, 2011; Thomson & Hoffmann, 2010; Rahman et al., 2009). Augmenter l'abondance et la diversité (taxonomique et/ou fonctionnelle) de ces communautés d'ennemis naturels tend à favoriser les niveaux de régulation potentielle des bioagresseurs (Letourneau et al., 2009; Greenop et al., 2018). La présence, l'activité et la diversité de ces communautés dans les paysages viticoles sont conditionnées par la diversité végétale locale, le contexte paysager et les pratiques viticoles. Ainsi, la diversité végétale locale et la présence de plantes à fleurs jouent un rôle important dans le maintien de multiples espèces d'ennemis naturels clés pour la régulation naturelle d'insectes ravageurs comme les tordeuses ou les

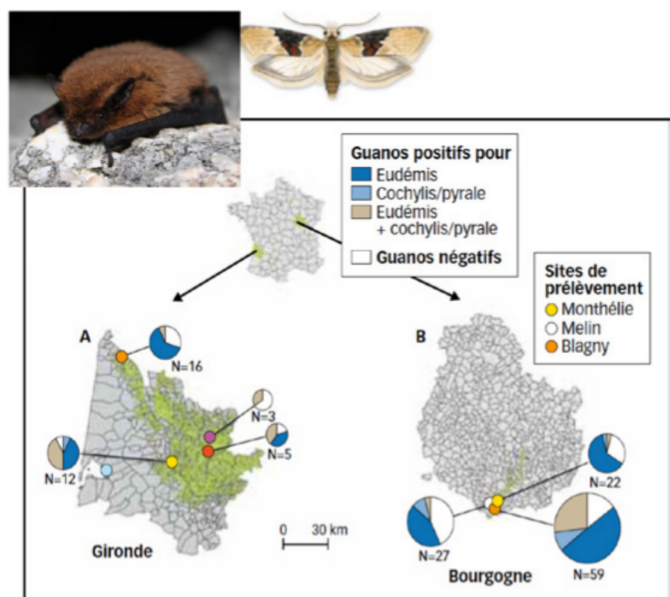
cicadelles (Begum et al., 2006; Thomson & Hoffmann, 2010; Danne et al., 2010; Berndt et al., 2002). Par ailleurs, le maintien d'un couvert végétal au sein des parcelles de vignes permet une augmentation (d'un facteur 2 ou 3 en moyenne) de l'abondance de nématodes bénéfiques (bactériophages, prédateurs, omnivores ou fongivores) qui entraîne une plus grande régulation des nématodes ravageurs (Rahman et al., 2009). En outre, les pratiques comme le type de travail du sol ou le type de systèmes de cultures (viticulture conventionnelle) affectent négativement l'abondance et la diversité des ennemis naturels et donc les services de régulation des bioagresseurs (Isaia et al., 2006; Caprio et al., 2015; Assandri et al., 2016; Rusch et al., 2015; Muneret et al., 2018b). Enfin, la présence d'habitats semi-naturels aux abords des parcelles ou à plus large échelle des parcelles modifie l'abondance et la diversité de différents groupes d'ennemis naturels (Thomson & Hoffmann, 2013; Gaijher & Samways, 2014; Wilson et al., 2017; Isaia et al., 2006; Rusch et al., 2016).



Un corpus important de connaissances issues de travaux menés en Nouvelle-Aquitaine a montré qu'il existe une grande diversité d'ennemis naturels des bioagresseurs de la vigne. Via des analyses moléculaires des contenus stomacaux ou des fèces, ils démontrent le rôle fonctionnel de différents groupes d'invertébrés et de vertébrés prédateurs des ravageurs de la vigne (Charbonnier et al., en préparation; Papura et al., en préparation; Muneret et al., en préparation; Thiery et al., 2018; Papura et al., 2016). Ces travaux confirment le rôle des chauves-souris, des oiseaux, des arachnides, des chrysopes ou encore des syrphes en tant que prédateurs des insectes ravageurs de la vigne (Barbaro et al., 2017; Thiery et al., 2018; Sentenac, 2011). A titre d'exemple, les travaux menés sur les chiroptères ont révélé que de l'ADN de tordeuses de la vigne était détecté dans plus de 70% des guanos collectés en Gironde (Figure 3.7; Charbonnier et al., en préparation; Papura et al., 2018). Il existe également une grande diversité de parasitoïdes de l'ordre des hyménoptères et des diptères impliqués dans la régulation des tordeuses de la vigne. Parmi les espèces de parasitoïdes larvaires retrouvés fréquemment en Nouvelle-Aquitaine, on peut notamment mentionner *Campoplex capitator* ou *Phytomyptera nigrina*. Il a également été montré qu'il existe de la régulation naturelle via des parasitoïdes ophages comme les *Trichogramma* spp (Thiery et al., 2018; Papura et al., 2016).

FIGURE 3.7

Part de guanos de chauves-souris détectés positifs pour 3 ravageurs de la vigne (Eudémis, Conchyliis et la pyrale de la vigne) en Gironde et en Bourgogne. Source : Papura et al., 2018.



Par ailleurs, les pratiques viticoles et les habitats semi-naturels (à différentes échelles spatiales) modifient les communautés d'ennemis naturels et la régulation des bioagresseurs. Par exemple, le type de système de culture locale (i.e., viticulture biologique ou conventionnelle) détermine



Pisaura mirabilis prédatant un *Cercopis vulenrata* ©Sylvie Richart

l'abondance et la diversité des communautés d'ennemis naturels (Muneret et al., 2018b). Ainsi l'abondance des prédateurs du sol (araignées, carabes et staphylins) augmente de 30 % environ dans les systèmes conduits en agriculture biologique en comparaison de systèmes conduits en agriculture conventionnelle (Muneret et al., 2018a).

En revanche, le nombre d'espèces d'ennemis naturels est plus élevé en viticulture conventionnelle, notamment en raison de l'effet positif de ce type de système sur le groupe des staphylins. Par ailleurs, des mesures des services de régulation naturelle potentielle de graines adventices, d'œufs et de larves de tordeuses de la vigne ont révélé que la viticulture biologique augmente le niveau moyen de régulation et la stabilité temporelle de la régulation (Muneret et al., 2019a). De plus, des interactions importantes entre les pratiques viticoles locales (enherbement ou viticulture biologique) et le contexte paysager affectent l'activité des ennemis naturels et les niveaux de régulation. Ainsi, Barbaro et al. (2017) ont montré que la diversité fonctionnelle des oiseaux diminue avec la complexité du paysage, mais augmente dans les parcelles avec un enherbement maximal en comparaison de parcelles avec des gestions de l'enherbement plus intensives. Par ailleurs, la prédation des larves de tordeuses par les oiseaux augmente avec l'équité fonctionnelle des communautés d'oiseaux et est maximale dans les parcelles enherbées et dans les paysages les plus complexes. Rusch et al. (2017) ont montré que la proportion d'habitats semi-naturels affecte les services de régulation naturelle des tordeuses de la vigne mais que le sens et la force de l'effet varient en fonction des saisons et que dans l'ensemble les taux de régulation naturelle sont maximisés dans les parcelles enherbées en comparaison aux parcelles dans lesquelles le sol est travaillé. En outre, le contexte paysager est un élément pouvant affecter la structure des communautés d'ennemis naturels et les niveaux de régulation naturelle. Ainsi, Rusch et al. (2016) ont montré que l'abondance des carabes, potentiellement prédateurs des graines d'adventices, diminue avec l'augmentation de la proportion d'habitats semi-naturels dans le paysage (d'environ 60 % entre des paysages extrêmement simples sans habitats semi-naturels et des paysages composés de 70% d'habitats semi-naturels dans un rayon de 1km) mais que la diversité temporelle (diversité Béta temporelle) est favorisée par cette proportion.

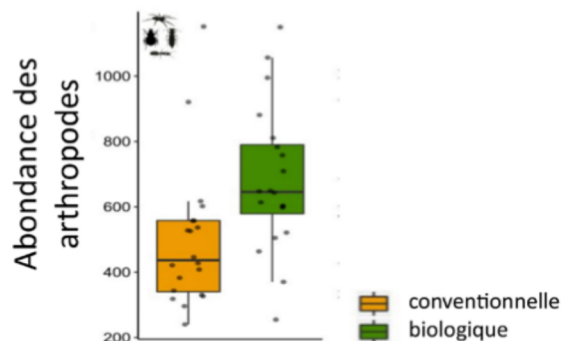
Par ailleurs, des études ont révélé que les communautés de prédateurs arthropodes (principalement composées d'araignées, de carabes, de staphylins, d'opilions, de chrysopes et de forficules) sont surtout déterminées par la



proportion de viticulture conduite en biologique versus conventionnelle dans le paysage (Figure 3.8 ; Mureret et al., 2018b). Les effets mis en évidence sont variables en fonction des groupes taxonomiques (Mureret et al., 2019a) : les abondances d'araignées dans des parcelles de vignes biologiques augmentent avec la proportion d'agriculture biologique dans le paysage (les abondances augmentent d'un facteur 4 entre des paysages avec aucune parcelle conduite en agriculture biologique et des paysages avec 40 % de leur surface conduite en agriculture biologique) alors qu'aucun changement dans l'abondance n'est détecté dans les parcelles conduites en agriculture conventionnelle. En revanche, la diversité d'araignées retrouvées dans le feuillage augmente avec la proportion d'agriculture biologique dans le paysage indépendamment du type de système de culture local.

FIGURE 3.8

Comparaison des abondances d'arthropodes entre parcelles conduites en agriculture biologique. Source : Mureret et al., 2019b



CE QU'IL FAUT RETENIR

Les connaissances actuelles indiquent un rôle positif et important de la biodiversité sur la régulation naturelle des bioagresseurs dans les paysages viticoles. Différents groupes d'invertébrés (insectes, araignées) et de vertébrés (chauves-souris, oiseaux) prédateurs ou parasitoïdes des principaux ravageurs de la vigne sont identifiés. Des pratiques viticoles moins intensives (augmentation de la diversité végétale à l'échelle locale, diversité des habitats à l'échelle des paysages, viticulture biologique) améliorent la régulation des ravageurs de la vigne. L'augmentation de l'abondance ou de la diversité (taxonomique ou fonctionnelle) des ennemis naturels favorise les régulations naturelles (directe ou indirecte) des insectes ravageurs. Par ailleurs, il existe un manque majeur de connaissances sur les mécanismes de régulation naturelle des pathogènes de la vigne.

[Fait Établi] : [Etudes empiriques] (>10 études) ; [Expérimentation]

3.2.2. Qualité des sols, fertilité et recyclage de la matière organique



Dans les agrosystèmes viticoles, la biodiversité du sol assure de multiples fonctions écologiques et de nombreux taxons, notamment micro-organismes, micro-faune (1-100µm), mésofaune (0. -2mm) et macro-faune (> 2 mm) sont associés à la décomposition de la matière organique, au recyclage des nutriments (C, N, P notamment), à l'infiltration de l'eau, à la structure et la porosité du sol et au maintien de la fertilité des sols (Lavelle et al., 2004). Les sols viticoles sont décrits comme assez pauvres en termes de diversité et d'abondance pour les lombrics ou vers de terre (Cluzeau et al., 2012) bien que des études récentes mettent en évidence des abondances au moins aussi élevées que dans des parcelles de grandes cultures (Schreck et al., 2012; Faber et al., 2017). Le maintien d'un couvert végétal dans les parcelles viticoles favo-

rise l'abondance et l'activité des lombrics, le développement de champignons mycorhiziens arbusculaires, la biomasse et l'activité microbienne, les communautés fongiques et les niveaux d'activité enzymatique du sol en parcelles viticoles (Vrsic et al., 2011; Ingels et al., 2005; Cheng & Baumgartner, 2006; Steenwerth et al., 2008 a&b; Mackie et al., 2014; Thomson & Hoffmann, 2007; Belmonte et al., 2018; Paoletti et al., 1998; Winter et al., 2018; Steenwerth & Belina, 2008).



Relativement peu de travaux ont été conduits en Nouvelle-Aquitaine autour du rôle de la biodiversité du sol sur la fertilité des sols ou le cycle des nutriments dans les systèmes viticoles. Cependant, les résultats obtenus dans d'autres systèmes cultivés en Nouvelle-Aquitaine sont transférables aux systèmes viticoles (Bouchon et al., 2016). Il existe en revanche un corpus de connaissances locales concernant les effets des pratiques agricoles sur les différents groupes fonctionnels du sol dans des parcelles viticoles. Dans le cadre du projet européen PromESSinG, un suivi des conséquences des pratiques d'enherbement permanent, temporaire (engrais vert à développement hivernal) et du travail du sol sur les communautés du sol a été réalisé en parcelles viticoles dans le Bordelais entre 2015 et 2017 (Libournaise). Ces recherches ont montré que l'abondance des lombrics diminue avec le travail du sol (de l'ordre de -50%) confirmant les résultats publiés à l'échelle internationale (Giffard et al., en prép). Par ailleurs, d'autres travaux conduits sur des systèmes viticoles proches de ceux de Nouvelle-Aquitaine (vignoble de Galliac) ont également confirmé les effets majeurs de la gestion des sols sur les communautés de lombrics en comparant les effets de l'utilisation d'herbicides, d'un travail mécanique ou d'un couvert végétal (Schreck et al., 2012). Par ailleurs, la gestion des sols impacte les communautés de lombrics, qu'il s'agisse de l'utilisation d'herbicides, d'un travail mécanique ou d'un couvert végétal (Schreck et al., 2012).

Inversement, le travail du sol semble dans un premier temps bénéfique aux collemboles qui voient leurs abondances augmenter après quelques semaines suite à l'incorporation de matière organique (destruction des couverts) avec des abondances très élevées dans toutes les parcelles échantillonnées (Giffard et al., en prép). Ainsi certaines pratiques agroécologiques visant à rétablir des taux plus élevés de matière organique, comme un paillis de végétation en surface dans les in-



Carabe ©Sophie Chamont

ter-rangs ou l'ajout de compost organique, tendent à influencer rapidement, après 2 à 3 années de mise en place, les abondances de ces microarthropodes (Simoni et al., 2018). Les abondances de microarthropodes relevées sur les 2 années de mesures montrent néanmoins des valeurs maximales dans les inter-rangs enherbés, plus propices à leur reproduction et à leur croissance. Le maintien de zones enherbées a donc un effet favorable sur ces communautés d'organismes, effet positif confirmé par d'autres travaux conduits en France ou en Europe (Renaud et al., 2004). Pour les microarthropodes, les abondances relevées dans les parcelles viticoles sont relativement faibles et à mettre en relation avec les faibles taux de matière organique dans les horizons superficiels (Giffard et al., en prép). La caractérisation de zones dégradées peu productives dans des parcelles viticoles est directement en lien avec des faibles abondances de ces microarthropodes (Costantini et al., 2018). Néanmoins, les processus de dégradation de la matière organique et la fertilité des sols sont encore loin d'être élucidés en viticulture et dans le contexte néo-aquitain en particulier.

CE QU'IL FAUT RETENIR

Peu d'études régionales ont été conduites sur le rôle que joue la biodiversité sur la qualité des sols viticoles mais les connaissances produites ailleurs apportent des éléments extrapolables. La biodiversité du sol, des micro- aux macro-organismes, contribue au fonctionnement et à la qualité des sols viticoles. Les vers de terre ou les collemboles participent à la décomposition de la matière organique, au recyclage des nutriments (C, N, P notamment), à l'infiltration de l'eau, à la structure et la porosité du sol et au maintien de sa fertilité. Les travaux conduits en Nouvelle-Aquitaine à ce jour portent sur les effets des pratiques viticoles et notamment des modes de gestion de l'enherbement sur leur abondance et leur diversité. Ces travaux montrent que le maintien d'un couvert végétal dans l'inter-rang tend à favoriser les communautés du sol et bénéficie donc à la qualité des sols et à leur fertilité.

[Tendance] : [Etudes empiriques] (<10 études)

3.3. BIODIVERSITÉ ET SERVICES DE RÉGULATION: GAZ À EFFET DE SERRE, ÉPURATION DE L'EAU ET LIMITATION DE L'ÉROSION

3.3.1. Séquestration du carbone et limitation des GES



Par rapport aux cultures annuelles, les cultures pérennes comme la vigne stockent plus de carbone notamment en raison de (i) leur cycle de vie plus long permettant le stockage de carbone dans différents organes comme le tronc, les branches ou les racines; (ii) un travail du sol limité et le maintien d'un couvert végétal dans l'inter-rang participant au maintien de la matière organique des sols et donc à la séquestration du carbone (Kroodsma & Field, 2006; Scandellari et al., 2016; Agnelli et al., 2014; Brunori et al., 2016; Wolff et al., 2018). Une étude menée en Californie a ainsi estimé que la séquestration du carbone augmentait d'un facteur 7 lors d'un changement d'occupation du sol entre des cultures annuelles et la viticulture (Kroodsma & Field, 2006). Le maintien d'un couvert végétal contribue en effet de manière significative au stockage du carbone dans le sol et à la réduction des émissions de gaz à effets de serre notamment à travers leur effet sur le cycle de la matière organique et l'activité microbienne

(Agnelli et al., 2014; Ruiz-Colmenero et al., 2013; Scandellari et al., 2016; Poeplau & Don, 2005; Vicente-Vicente et al., 2016). Ainsi le maintien d'un couvert végétal permanent dans l'inter-rang permet d'augmenter de 40% le carbone du sol en comparaison d'un sol nu après 5 années (Steewerth & Belina, 2008). Il permet sur des coteaux une augmentation significative de près de 10% de la quantité de carbone organique du sol via la limitation de l'érosion en comparaison d'un travail du sol conventionnel (Novara et al., 2019). Cependant, le maintien d'un couvert végétal, le non labour ou la fertilisation azotée éventuelle tendraient à augmenter les émissions de protoxyde d'azote (N₂O) dans les sols viticoles (Garland et al., 2011; Steewerth & Belina, 2008), bien que faibles dans ces milieux, comme en grandes cultures ou en systèmes prairiaux (Attard et al., 2010).



Peu de travaux ont été conduits en Nouvelle-Aquitaine sur la question de la séquestration du carbone dans les parcelles viticoles. L'introduction de couverts végétaux permanents, a fortiori plurispécifiques, à l'intérieur des parcelles viticoles (dans l'inter-rang) permet d'augmenter le stockage de carbone dans le sol en augmentant la quantité de matière organique dans les horizons de surface. Morlat & Jacquet (2003) ont ainsi montré une augmentation significative de 50% environ de la quantité de matière organique du sol entre un sol viticole avec couverture permanente sur 50% de la surface (1 inter-rang sur 2) depuis 17 ans en comparaison d'un sol viticole annuellement désherbé chimiquement (Vallée de la Loire). D'autres études conduites dans des conditions pédoclimatiques différentes confirment ces résultats et ont même montré des augmentations significatives des quantités de matière organique dès trois ans après l'arrêt du travail du sol dans l'inter-rang (Belmonte et al., 2016). Selon un travail d'analyse conduit à

l'échelle nationale, le maintien d'un couvert permanent en viticulture permettrait d'augmenter les capacités de stockage du carbone des sols viticoles de 0,32+/-0,16 tC/ha/an soit 1078 kgC02/ha/an (Chenu et al., 2014). Les effets bénéfiques du maintien d'un couvert végétal en viticulture sur les capacités des sols à séquestrer du carbone ont été confirmés par des études conduites dans des régions voisines de la Nouvelle-Aquitaine (164 parcelles de vignes situées en Languedoc Roussillon ; Salomé et al., 2016) ou à l'échelle européenne mais faisant des projections pour la Région Nouvelle-Aquitaine sur la base des données d'occupation du sol de la région (Freibauer et al., 2004).

CE QU'IL FAUT RETENIR

Le maintien d'un couvert végétal et la limitation du travail du sol jouent un rôle important dans le stockage du carbone dans les sols viticoles notamment en favorisant l'activité des micro-organismes et de la macro-faune ainsi que la quantité de matière organique. Par ailleurs, les cultures pérennes comme la vigne présentent des capacités de stockage du carbone plus importantes que les cultures annuelles de par leur cycle de vie plus long et la capacité à implanter des couverts végétaux dans les inter-rangs.

[Suggestion] : [Etudes empiriques en régions voisines] (~10 études)

3.3.2. Épuration de l'eau



L'épuration de l'eau, liée aux processus physico-chimiques et biologiques impliquant notamment plantes, micro-organismes et arthropodes, mais aussi la diversité des habitats à l'échelle des bassins versants (Ostroumov, 2002; Vörösmarty et al., 2010; Fierro et al., 2017), est un service écosystémique majeur. Cependant le rôle de la biodiversité sur cette fonction reste encore assez mal connu dans les paysages viticoles. Les effluents viticoles proviennent de l'application de produits phytosanitaires et du lavage des engins comme les pulvérisateurs (effluents de type résidus de fongicides chargés en Cu ou Zn, Andreotolla et al., 2007) mais aussi des chais, lavage des sols, rinçage du matériel, cuves et bouteilles, (Calheiros et al., 2018). Les communautés végétales présentes dans les parcelles permettent d'augmenter l'efficacité d'utilisation des éléments minéraux et ainsi réduisent les sources potentielles de pollution des eaux souterraines (Mackie et al., 2012; Thorup-Kristensen et al., 2003; Garcia et al., 2018; Novara et al., 2013). En plus de la consommation directe des éléments minéraux par les couverts végétaux, le maintien d'un enherbement permet de limiter indirectement la pollution des eaux via la diminution de l'érosion des sols (voir section suivante), mais aussi l'immobilisation et le recyclage du nitrate par la stimulation de l'activité microbienne (Peregrina et al., 2012; Garcia-Diaz et al., 2017). Il favorise par ailleurs la diversité des micro-organismes du sol et ainsi la dégradation des fongicides (Komárek et al., 2010). La biodiversité végétale et

microbienne est aussi potentiellement impliquée dans la limitation de la pollution des eaux par les herbicides ou le cuivre (Barra-Caracciolo et al., 2009; Mackie et al., 2012). Cependant l'équilibre entre rétention et dégradation dépend d'abord des caractéristiques du sol et des matières actives (Alletto et al., 2010; Garcia et al., 2018). Les effluents provenant des chais se caractérisent par une forte teneur en matière organique (sucres, acides, alcools, polyphénols, etc ... d'où une demande chimique en oxygène pour dégrader les substances organiques (DOC) excessive), un pH acide, un ratio C/N bas (Calheiros et al., 2018), et des concentrations élevées en Na, K et P (Arienzo et al., 2009). Ces paramètres leur confèrent une capacité d'eutrophisation et/ou une phyto-toxicité potentielle (Arienzo et al., 2009). Les Zones Humides Construites (ZHC, zones humides plantées destinées à épurer des eaux et effluents) sont conçues pour traiter les effluents viticoles depuis les années 1990 (Mosse et al., 2011). Une méta-analyse récente, toutes cultures confondues, a montré que la mise en œuvre de ce type d'infrastructure permet de réduire de plus de 70% la rétention de la majeure partie des pesticides (Stehle et al., 2011). Enfin, la diversité des paysages permet de favoriser la diversité des micro-organismes du sol et notamment des bactéries dénitrifiantes (Bagella et al., 2014).



En Nouvelle-Aquitaine, aucun travail de recherche sur le rôle de la diversité végétale ou microbienne sur la pollution des eaux dans le socio-écosystème viticole n'a encore été conduit. Cependant, les résultats produits dans d'autres contextes sur ces questions apparaissent tout

à fait extrapolables à la Nouvelle-Aquitaine. Ainsi, dans les milieux aquatiques, le potentiel de dénitrification augmente avec la richesse spécifique de la méso- et de la micro-faune aquatiques en conditions expérimentales mais aussi en milieu naturel dans les paysages de



grandes cultures du bassin Adour-Garonne (Liu et al., 2017; Español et al., 2017; Comin et al., 2017).

Les recherches régionales sur la gestion des effluents viticoles se sont en fait principalement concentrées sur la capacité des ZHC (Zones Humides Construites) à traiter des effluents à forte concentration en cuivre, et notamment sur le rôle important de la biodiversité dans les processus favorisant l'épuration de l'eau. Marchand et al. (2010) synthétisent les connaissances sur la filtration des eaux contaminées aux éléments traces (dont le cuivre) par les plantes/micro-organismes associés. Un projet pilote de démonstration planté de *Phragmites australis*, *Phalaris arundinacea* et *Juncus articulatus*, a confirmé l'efficacité d'une ZHC pour éliminer jusqu'à 99% de la contamination en cuivre dans un effluent contaminé à la bouillie bordelaise. Ce taux d'abattement a cependant été minimisé par un indice du taux de contaminant évacué proche de 0, indiquant une faible contribution des plantes au fort abattement (Marchand et al., 2014a). Il existe par ailleurs une variabilité intra-spécifique de la réponse de 4 espèces de macrophytes parmi les 6 testées à l'exposition croissante au cuivre (Marchand et al., 2014b). Cette variabilité intra-spécifique notamment dans l'expression de la production racinaire, est corrélée à celle de la teneur en cuivre dans les sols sur les sites d'échantillonnage. Ceci suggère un rôle de l'environnement dans l'acquisition de traits de résistance à une exposition en excès de cuivre chez les macrophytes. Le choix de l'espèce, voire même de la population, de macrophytes utilisées dans les ZHC pour traiter les effluents viticoles est donc important. Le potentiel d'*Arundo donax* a été aussi testé dans l'objectif de coupler à la fois le traitement d'un effluent chargé en Cuivre, mais aussi la production d'une biomasse concentrée en cuivre destinée à la chimie biosourcée (Oustrière et al., 2017). Ce pilote a permis d'abattre jusqu'à 93% de la contamination en cuivre, et d'atteindre plus rapidement le seuil de rejet autorisé en réseau d'assainissement collectif lorsque les unités étaient plantées d'*A. donax* par rapport à

celles non plantées. Cependant, après un seul cycle de traitement, les concentrations en Cu dans les racines (> 700 mg kg⁻¹ MS) n'ont pas atteint la valeur seuil requise (1000 mg kg⁻¹ MS) pour valoriser la biomasse en chimie biosourcée (voir aussi Oustrière et al., 2019 pour la production d'écocatalyseurs). *Iris pseudacorus* et *A. donax* ont été identifiés comme deux candidats potentiels (concentration racinaire > 1000 mg Cu kg⁻¹ MS) pour ce procédé.



©Noémie Ostandie

CE QU'IL FAUT RETENIR

Aucune étude n'a été conduite en Nouvelle-Aquitaine sur le rôle de la biodiversité dans l'épuration de l'eau. Des preuves sur le rôle direct et indirect de la biodiversité microbienne et végétale dans les processus d'épuration de l'eau existent toutefois dans les milieux aquatiques et dans le sol, pour ce qui concerne la dénitrification. Par ailleurs, une multiplication des Zones Humides Construites au sein des exploitations pourrait contribuer à optimiser la gestion des effluents viticoles, notamment en épurant l'eau de sortie des chais.

[Tendance] : [Etudes empiriques] (<10 études)

3.3.3. Limitation de l'érosion des sols



Les parcelles viticoles sont particulièrement sensibles aux phénomènes d'érosion des sols en raison de la topographie (parcelles en coteaux), des régimes de précipitation concentrés pendant la période printanière notamment en Europe de l'Ouest, ou encore des modes de gestion de l'enherbement dans les parcelles ou encore des structures paysagères (Arnaez et al., 2007; Blavet et al., 2009; Marques et al., 2010; Martínez-Casasnovas & Concepción Ramos 2009; García-Ruiz, 2010). Ces phénomènes d'érosion ont des conséquences directes sur la qualité des sols, via la réduction des concentrations en matière organique principalement des horizons superficiels, et la biodiversité associée à ces premiers centimètres de sol (Lal, 1991; Tsiafouli et al., 2015). Dans les vignobles, l'érosion des sols peut atteindre plusieurs millimètres par an (Quiquerez et al., 2008; Rodrigo Comino et al., 2016), soit des valeurs plus élevées que celles observées dans les systèmes naturels. La biodiversité

participe à la limitation de l'érosion à travers l'activité de la micro et macro-faune du sol qui jouent un rôle sur la dégradation de la matière organique, mais aussi à travers les communautés végétales à l'échelle parcellaire et plus généralement la diversité des habitats à l'échelle des paysages. La couverture du sol par des enherbements permanents et diversifiés diminue fortement les phénomènes d'érosion des sols en comparaison des stratégies de désherbage mécanique ou chimique (Le Bissonnais & Andrieux, 2006; Lieskovský & Kenderessy, 2014; Winter et al., 2018), les deux principaux modes de gestions de l'enherbement en viticulture (Salome et al., 2014; Salome et al., 2016). Enfin, la diversité des types d'occupation du sol et des paysages ayant conservé des sols à végétation permanente comme les forêts ou les prairies diminue fortement les phénomènes d'érosion des sols (Cerdan et al., 2010).



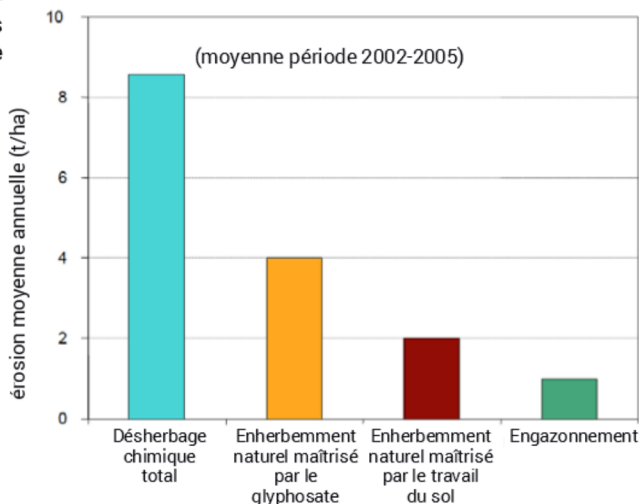
Les phénomènes d'érosion, principalement observés dans les vignobles méditerranéens et de Bourgogne du fait de la sensibilité des sols en lien avec les pratiques, ont récemment été détectés en Nouvelle-Aquitaine (Mousset-Libeau, 2016; Sutter & Jeanneret, 2017). Cependant, le lien entre biodiversité (notamment via le maintien d'une couverture végétale) et phénomène de résistance à l'érosion du sol n'a pour le moment pas été démontré dans les vignobles de Nouvelle-Aquitaine, cela à cause de processus pour l'instant localisés en lien avec la topographie (Mousset-Libeau, 2016) ou de mesures faiblement répliquées (Sutter & Jeanneret, 2017). Par ailleurs, les surfaces enherbées ont très fortement augmenté ces dernières années dans les vignobles Bordelais, limitant ces phénomènes d'érosion.

Nous avons toutes les raisons de penser que les processus agissant dans la plupart des régions viticoles (et résumés ci-dessus) sont extrapolables au contexte

néo-aquitain. Néanmoins, les modifications du climat et surtout du régime de précipitations vont influencer sur les pratiques des viticulteurs, plus enclins à travailler les sols pour limiter la compétition hydrique et minérale qu'à laisser des enherbements, même peu concurrentiels, s'installer. Enfin, des estimations des taux d'érosion des sols conduits à l'échelle Européenne, mais incluant des prédictions pour la Région Nouvelle-Aquitaine, indiquent clairement des taux d'érosion des sols potentiellement importants pour les vignobles Européens (en moyenne de 17 t/ha/an) et les vignobles néo-aquitains, et le rôle majeur que peut jouer la diversification des types d'occupation des sols à l'échelle du paysage pour limiter ces phénomènes (Figure 3.9) (Cerdan et al., 2010; Le Bissonnais et al., 2002).

FIGURE 3.9

Taux d'érosion moyen annuel (t/ha) sur une parcelle expérimentale en fonction des pratiques culturales sur une période de 2002 à 2005 (Le Bissonnais et al., 2002).



CE QU'IL FAUT RETENIR

La biodiversité limite l'érosion des sols viticoles via le maintien d'une teneur en matière organique élevée dans le sol, le maintien d'une couverture végétale permanente du sol et la diversité des types d'habitats dans les paysages viticoles, particulièrement la présence d'habitats semi-naturels à couverture du sol permanente comme les haies, les forêts ou les prairies. Relativement peu de travaux régionaux ont porté sur le rôle de la biodiversité à ces différents niveaux sur l'érosion des sols, malgré des risques potentiellement importants, mais les conclusions provenant d'études conduites dans d'autres contextes sur cette question semblent tout à fait extrapolables au contexte néo-aquitain.

[Suggestion] : [Etudes empiriques] (<5 études)

3.4. BIODIVERSITÉ, PAYSAGES VITICOLES ET PROVISION DE RESSOURCES ASSOCIÉES AUX VIGNOBLES

3.4.1. Biodiversité hébergée par les agroécosystèmes viticoles



La biodiversité hébergée par les agrosystèmes pérennes, notamment par les vignobles, a beaucoup moins été étudiée que celle des cultures annuelles (Attwood et al., 2008; Tuck et al., 2014). Or la stabilité temporelle des agrosystèmes pérennes leur confère des propriétés écologiques différentes de celles des agrosystèmes annuels. Sur le plan international, on sait qu'une grande biodiversité végétale et animale, bien que menacée, est hébergée dans l'agrosystème viticole, qu'il s'agisse de micro-organismes, plantes sauvages, lombrics, arthropodes (prédateurs, hyménoptères pollinisateurs, lépidoptères), reptiles, mammifères ou oiseaux (Tanadini et al., 2012; Nascimbene et al., 2016; Kelly et al., 2016; Caprio et al., 2015; Bruggisser et al., 2010; Jedlicka et al., 2011; Kratschmer et al., 2018; Trivellone et al., 2014; Pithon et al., 2016; Buchholz et al., 2017). Il a par exemple été dénombré 259 espèces de plantes sur un réseau de 48 parcelles viticoles suivies une année en Suisse (Trivellone et al., 2014), ou encore 162 et 283 espèces de plantes sur une seule année et respectivement sur 20 parcelles sélectionnées dans des paysages simples (largement dominés par la vigne) et des paysages complexes (mélange de vigne et d'habitats semi-naturels) (Nascimbene et al., 2016), 93 espèces d'oiseaux dans 12 paysages suivis deux années consécutives (Pithon et al., 2016), 49 espèces de carabes et 95 espèces d'araignées sur 12 parcelles en Italie (en 2009) (Caprio et al., 2015), 10 espèces de criquets et 67 espèces d'arai-

gnées sur 25 parcelles de vignes localisées en Suisse (en 2005) (Bruggisser et al., 2010), ou encore 84 espèces d'abeilles sauvages sur 16 parcelles de vignes (suivies en 2015 et 2016) en Autriche (Kratschmer et al., 2018). Une étude menée en République Tchèque dans 4 vignobles a dénombré 171 espèces d'araignées dont 25 espèces inscrites sur la liste rouge des espèces menacées de République Tchèque (Košulič et al., 2014). Par ailleurs, les salamandres (*Salmandra salamandra*) dans les ruisseaux des paysages viticoles dépendent fortement de la diversité des habitats dans le paysage et bénéficient particulièrement de la proportion de vignes avec des pratiques viticoles extensives favorisant la présence de végétation (Tanadini et al., 2011). Le maintien d'éléments semi-naturels comme les jachères est particulièrement important pour le maintien d'espèces menacées dans les paysages viticoles (Schmitt et al., 2008). L'ensemble des connaissances actuelles à l'échelle internationale indique donc que les agroécosystèmes viticoles hébergent une biodiversité importante, mais que cette biodiversité est en même temps très sujette aux pratiques viticoles et à la composition des paysages (Buchholz et al., 2017; Kehinde & Samways, 2014a&b).



En Nouvelle-Aquitaine, la biodiversité dans les vignobles n'a été que peu étudiée et tous les groupes taxonomiques n'ont pas encore fait l'objet d'études exhaustives. Pour ce qui est des plantes adventices, étudiées sur 101 parcelles suivies entre 2014 et 2016 (projet GIAF), 239 espèces ont été répertoriées (Cazenave & Danielle, 2017). D'autres groupes, tels que les arthropodes et les oiseaux ont également été étudiés : dans l'Entre-Deux-Mers et le Libournais, 56 espèces d'oiseaux fréquentant les vignobles ont été recensées (Barbaro et al., 2017). Ou encore, en Gironde, 16 espèces de chauves-souris différentes fréquentent les paysages viticoles sur un échantillon de 23 parcelles (en 2017) (Charbonnier et al., en prép).

Par ailleurs, des suivis récents sur une quarantaine de parcelles ont dénombré une large diversité d'espèces d'arthropodes prédateurs: 162 espèces d'araignées, 41 espèces de fourmis, 60 espèces de carabes, 47 espèces de staphylinins, 6 espèces d'opilions, 8 espèces de chrysopes, sans compter les forficules, les coccinelles et les punaises dont nous savons qu'au moins 1, 7 et 20 espèces sont respectivement présentes dans les vignobles (Rusch et al., 2016; Muneret et al., 2019b). Parmi l'ensemble des espèces hébergées par les milieux viticoles, certaines sont remarquables du fait de leur vulnérabilité ou de leur rareté. A titre d'exemple, la gagée des champs (*Gagea villosa*) et la tulipe précoce (*Tulipa raddii*) font l'objet de programmes de protection nationaux et ces deux espèces ont été retrouvées dans les zones viticoles de l'Entre-Deux-Mers. De plus, *Micaria brignolii*, une araignée vivant à la surface du sol, a été trouvée pour la première fois en Gironde dans une parcelle de vigne du Libournais en 2015 (Muneret et al., 2019b). Des inventaires spécifiques concernant les pollinisateurs, les micro-arthropodes du sol, les lombrics et les cicadelles sont en cours (projets ALAMBIC, RIVA) (Ostandie et al., en prép). Concernant les mammifères, les

reptiles et les amphibiens, des atlas régionaux existent mais les vignobles n'ont, à notre connaissance, pas fait l'objet d'étude spécifique. Concernant les communautés microbiennes de la phyllosphère des vignobles, des études récentes basées sur des analyses moléculaires ont permis de dénombrer plusieurs centaines d'unités taxonomiques sans qu'elles ne puissent toutes être déterminées (Fort et al., 2016; Pauvert et al., 2019). Enfin, sur le plan du fonctionnement des communautés, il semble que certains groupes comme les insectes prédateurs ou les araignées sont moins dépendants des espaces non cultivés environnant les parcelles que dans des paysages de cultures annuelles, car ces habitats en culture pérenne sont capables de fournir de multiples ressources (Muneret et al., 2019b).



Opilion ©Sylvie Richart

CE QU'IL FAUT RETENIR

Les vignobles de Nouvelle-Aquitaine hébergent une très grande diversité d'espèces couvrant une large gamme de groupes que ce soit des micro-organismes, des plantes, des insectes, des araignées, des oiseaux, ou encore des chiroptères. Cependant, une grande majorité d'entre elles restent encore peu étudiées dans le contexte néo-aquitain. Nous savons par ailleurs que la biodiversité hébergée dans les agrosystèmes viticoles est très dépendante des pratiques agricoles et de la structure des paysages environnants. Certaines espèces sont menacées alors que d'autres apparaissent relativement bien adaptées aux paysages viticoles.

[Fait établi] : [Etudes empiriques] (~10 études)

3.4.2. Diversité des paysages viticoles



Comme toute activité agricole, la culture de la vigne façonne fortement les paysages et l'identité des terroirs. La diversité des types d'habitats dans le paysage, produit de l'interaction entre les climats, les types de sols et les activités humaines, est une part importante de l'identité des terroirs viticoles (Lourenço-Gomes et al., 2015; Mitchel et al., 2009). La viticulture et la diversité des traits paysagers viticoles traditionnels sont ainsi reconnus comme des éléments majeurs identitaires et comme vecteurs fort de l'histoire et de l'économie des régions viticoles (Biasi et al., 2010; Biasi & Brunori, 2015), et a conduit l'UNESCO à inscrire au patrimoine mondial plusieurs vignobles particulièrement diversifiés comme le vignoble Bourguignon, le paysage viticole de l'île de Pico aux Açores ou encore le vignoble du Piémont Italien (Gullino et Larcher, 2013; Winkler et al., 2017). Mais dans le même temps beaucoup de

paysages viticoles ont profondément changé en Europe et dans le monde, notamment depuis la fin des années 70 sous l'impulsion de la mécanisation, conduisant à des paysages viticoles plus homogènes (Galilea et al., 2015; Fairbanks et al., 2004; Schulz et al., 2011; Viers et al., 2013). Le maintien de la diversité des écosystèmes dans les paysages viticoles apparaît donc comme un patrimoine à part entière, marqueur fort de l'identité des terroirs et directement relié aux enjeux de préservation de la biodiversité ou de gestion des problèmes environnementaux comme l'érosion des sols (Finke, 2013; Gullino & Larcher, 2013; Chevigny et al., 2014). Les vignes sont également connues pour abriter des oiseaux en hiver qui viennent consommer les raisins restés sur place, notamment les grives, qui font l'objet d'un intérêt cynégétique important.



Il existe quelques travaux de recherches en géographie qui ont cherché à cartographier la diversité des paysages viticoles du Sud-Ouest (notamment des vignobles de Cahors et de Bergerac), mais cela reste marginal. Ces approches ont cherché notamment à utiliser des critères objectifs et quantifiables liés à la géologie, la pédologie, la climatologie ou encore l'agronomie, pour caractériser la diversité des terroirs viticoles de certains vignobles de la Nouvelle-Aquitaine et analyser de manière plus objective cette diversité (Rouvellac, 2013). La diversité et la stabilité temporelle de certains paysages viticoles de Nouvelle-Aquitaine, et notamment celui du vignoble de St-Emilion, a conduit l'UNESCO à inscrire ces paysages au patrimoine mondiale au titre de paysage culturel (UNESCO World Heritage Centre; Gullino & Larcher, 2013). Des travaux d'écologie du paysage mis en œuvre à l'échelle de petits territoires agricoles de Nouvelle-Aquitaine incluant de la viticulture mettent en évidence que les trajectoires d'évolutions de ces paysages depuis les années 60 sont le produit à la fois des processus d'intensification agricole,

d'abandon des terres et de l'urbanisation (Van Eetveldet & Antrop, 2004). Par ailleurs, la diversité des paysages viticoles joue un rôle potentiellement important pour le maintien d'espèces d'intérêt cynégétique ou pour la production apicole mais aucune étude n'a été menée sur ces questions en Région Nouvelle-Aquitaine.



Paysages viticoles ©Marie Grasset

CE QU'IL FAUT RETENIR

Il existe peu de travaux de recherche cherchant à décrire de manière quantitative les paysages viticoles de Nouvelle-Aquitaine et à analyser leurs évolutions temporelles particulièrement à des échelles spatiales larges. Il apparaît pourtant important de relier les trajectoires d'évolution de ces paysages viticoles, leur état actuel et le fonctionnement des écosystèmes.

[Suggestion] : [Etudes empiriques] (<5 études)

4

Les valeurs de la biodiversité dans le socio-écosystème viticole

La section précédente a mis en avant le rôle de la biodiversité dans le fonctionnement des agroécosystèmes viticoles. Un agroécosystème est cependant habité et modifié par les activités humaines. La présence des sociétés, avec des acteurs qui sont de simples habitants ou des viticulteurs (exploitant les ressources de l'agroécosystème viticole), façonne en retour l'écosystème et ses paysages. A cet égard, le cas de la viticulture est particulièrement prégnant, compte tenu du lien ancestral entre terroir et paysage viticole. Une vision multifonctionnelle de la biodiversité, qui s'adresse à des secteurs multiples et à des échelles variées, est donc indispensable.

Cette section 4 traitant de la valeur de la biodiversité dans le socio-écosystème viticole s'attachera premièrement à décrire la valeur non marchande (section 4.1), qui s'exprime à travers le terroir et le paysage. Nous argumentons néanmoins que cette valeur n'est non marchande qu'en apparence, car elle participe de fait à la construction de la réputation de long terme d'un vignoble. C'est la raison pour laquelle il nous semble important d'insister également sur un dispositif marchand tel que celui représenté par l'œnotourisme. En incitant à la préservation et à la reconstruction perpétuelle du paysage, cette forme de tourisme d'agrément qui repose sur la découverte des régions viticoles et leurs productions contribue à l'image et à la valorisation des vins du terroir considéré. Ainsi, si la valeur est souvent considérée à une échelle locale, il est nécessaire de souligner que l'évaluation des services écosystémiques est réalisée à celle du paysage (Bateman et al., 2013), ou en explicitant les compromis et synergies entre services, ce qui contribue in fine à une valorisation globale du territoire et de l'activité des entreprises viticoles.

La section 4.2 aborde ensuite la valorisation marchande de la biodiversité en distinguant les aspects de compétitivité des entreprises de production des aspects de valorisation au niveau du consommateur final. Néanmoins, sur ces deux aspects de la valorisation, la littérature concernant les études économiques de la biodiversité des paysages viticoles est pauvre. Par contre, si l'on suppose qu'un lien formel peut exister entre les pratiques viticoles respectueuses de l'environnement et le renforcement de la biodiversité dans les paysages, alors il est possible de se référer à une littérature en sciences économiques portant sur les motivations de l'adoption de ces modes de production. Dans un premier temps (section 4.2.1) nous mettons en évidence les résultats portant sur l'analyse des coûts de production liés aux certifications environnementales. La section 4.2.2 argumente alors la valorisation au niveau du marché final, en montrant comment la littérature dans le domaine de l'économie expérimentale constitue une source fructueuse de compréhension des comportements des agents économiques. Si des efforts ont été effectués dans cette direction par les chercheurs de l'Institut des Sciences de la Vigne et du Vin (e.g. projet VINOVERT – interreg SUDOE) avec notamment des travaux récents sur la valorisation du paysage et de la biodiversité (travaux non encore publiés au moment de l'écriture de ces lignes), de nombreuses perspectives s'offrent aux chercheurs de Nouvelle-Aquitaine pour constamment argumenter les nouveaux enjeux de la compétitivité dans l'exigence du développement durable et de la responsabilité sociétale des entreprises.

4.1. VALEURS NON MARCHANDES DE LA BIODIVERSITÉ DES TERRITOIRES VITICOLES



La notion de terroir permet de rendre compte des valeurs socio-culturelles des agroécosystèmes viticoles (Prévost, 2014). Le terroir peut être défini comme un « espace géographique délimité, défini à partir d'une communauté humaine qui construit au cours de son histoire un ensemble de traits culturels distinctifs, de savoirs et de pratiques, fondés sur un système d'interactions entre le milieu naturel et les facteurs humains » (définition INRA-INAO in Unesco, 2005). Ainsi, on parle de terroir indistinctement pour désigner un espace terrestre au paysage particulier, une organisation spécifique à une communauté, un produit ou une particularité sociale (Cartier, 2004; Moles, 1992). Le terroir interroge en termes de valeurs par l'ancrage spatial qu'il suppose mais également au travers des questions d'appropriation (les titulaires du terroir) et de transmission (rapport au passé et au futur), qui renvoient à la notion plus large de patrimoine, et de sa valorisation économique (Maby, 2002). Dès lors, le développement de l'œnotourisme contribue à une valorisation territoriale des vignobles en intégrant dans une même offre la découverte de patrimoines viticoles et locaux (Delaplace et al., 2012), où cohabitent image de l'exploitation viticole, valeurs de ses propriétaires, et histoire et spécificités du territoire (Privitera, 2010). Une part de ces valeurs culturelles et

esthétiques associées au patrimoine est portée par le paysage, et ces valeurs se retrouvent dans des régions du globe où la culture de la vigne est ancestrale ou bien plus récente (Winkler & Nicholas, 2016; Assandri et al., 2018). La perception des paysages viticoles diffère entre professionnels de la filière vitivinicole et habitants non professionnels qui peuvent attacher plus d'importance à l'esthétique ou à la récréation qu'à la production de vin elle-même (Winkler & Nicholas, 2016). S'il est bien établi que des services culturels sont associés aux agroécosystèmes viticoles, les conditions qui favorisent leur multifonctionnalité ainsi que le rôle de la biodiversité dans la fourniture de ces services sont peu étudiés (Winkler et al., 2017; Hoble et al., 2018), sans mise en rapport de la valeur esthétique des paysages et de la valeur écologique des écosystèmes (Tribot et al., 2018). Néanmoins, Assandri et al. (2018) argumentent l'idée que les paysages auxquels sont attribués une valeur esthétique et patrimoniale plus élevée sont également ceux qui sont les plus biologiquement diversifiés: ils sont plus complexes (en hétérogénéité et diversité d'habitats) et plus écologiquement favorables au déploiement de certains passereaux, indicateurs d'un renforcement de l'accroissement de la communauté d'oiseaux dans un vignoble (Assandri et al., 2018).



En Nouvelle-Aquitaine, les travaux en économie ont essentiellement appréhendé les dimensions patrimoniales du terroir viticole, celui-ci étant défini comme un ensemble systémique et évolutif de biens, de pratiques et d'institutions, historiquement institués et territorialement situés, renvoyant à des logiques marchandes et non marchandes (Lemarié-Boutry & Pérès, 2019; Lemarié-Boutry & Cazals, 2014; Lemarié-Boutry, 2016). L'appellation d'origine contrôlée (AOC) et le château viticole sont deux niveaux spatiaux fortement structurants de l'organisation des vignobles, qui sont particulièrement marquants en Bordelais (Lemarié-Boutry & Cazals, 2014) et qui contribuent à la valorisation territoriale des agroécosystèmes viticoles notamment par le développement de l'œnotourisme (Lemarié-Boutry, 2016). Le rôle de la biodiversité dans la valorisation territoriale des vignobles est néanmoins très mal connu. Le cas de l'AOC Saint-Emilion, territoire inscrit au patrimoine mondial de l'Unesco, est assez symptomatique de ce besoin de quantification, puisque la part de la valorisation patrimoniale associée au paysage et à sa biodiversité ne fait toujours pas l'objet de tentative de quantification (Lemarié-Boutry, 2016). Le projet européen BioDiVine (www.biodvine.eu) a en revanche identifié comment le développement de pratiques qui favorisent le rôle de la biodiversité locale dans le fonctionnement des agroécosystèmes viticoles participent à la valorisation du paysage local associé au vignoble dans une démarche d'éco-œnotourisme (Rochard, 2015). Sur l'AOC

Côteaux du Layon (Centre-Val de Loire) au nord de la Nouvelle-Aquitaine, une enquête réalisée auprès de 192 visiteurs et professionnels indique une préférence des paysages plus complexes associés à des pratiques agricoles favorables à la biodiversité et perçus comme porteurs de services culturels valorisables dans la promotion du vin (Hervé et al., 2018). Ainsi, les valeurs culturelles associées aux agroécosystèmes viticoles peuvent être structurantes pour l'identité de ses habitants. Bertrand (2006) argumente également cet aspect grâce une enquête réalisée dans le Madiranais, un vignoble millénaire de petite taille situé sur trois départements limitrophes (Gers, Landes, Pyrénées-Atlantiques) de la région Nouvelle Aquitaine. Nous verrons plus loin que ces effets peuvent être mesurés dans le cadre de l'économie expérimentale et du consentement à payer des consommateurs.



CE QU'IL FAUT RETENIR

La valeur non marchande de la biodiversité des territoires viticoles s'exprime dans la richesse des terroirs et des paysages qui lui sont associés. Les connaissances sur la chaîne biodiversité-fonctions-services-valeurs dans les agroécosystèmes demeurent limitées, notamment pour la question des valeurs. La mise en valeur du paysage dans le cadre de l'œnotourisme est un vecteur de transmission des efforts effectués sur la biodiversité, en intégrant dans une même offre la découverte de patrimoines viticoles et locaux. Une part de ces valeurs culturelles et esthétiques, associées au patrimoine, est portée par le paysage. Dès lors, la valeur apparemment non marchande des efforts de renforcement de la biodiversité contribue au renforcement de construction de la réputation d'un vignoble, et contribue également à la construction des entreprises ancrées dans ce territoire.

[Tendances] : [Etudes empiriques] (<10 études)

4.2. VALEURS MARCHANDES DE LA BIODIVERSITÉ POUR LES VITICULTEURS ET LA FILIÈRE VIN

4.2.1. Productivité et compétitivité de la production vitivinicole



Les analyses existantes sur la question de la productivité et de la compétitivité des entreprises engagées dans des démarches environnementales a priori bénéfiques pour la biodiversité (protection intégrée, agriculture biologique, lutte biologique) utilisent des cadres méthodologiques hétérogènes qui génèrent une forte incertitude sur l'évaluation des coûts et/ou de la valorisation économique au sein d'une filière présentant des structurations d'entreprises par ailleurs assez diversifiées. Ainsi aux Etats-Unis (Etat de Washington), *Kirby et al. (2014)* montrent que la production de raisin biologique entraîne des coûts totaux supérieurs de 10% et 22% respectivement pour les raisins de jus biologiques et les raisins de cuve de vin biologique, par rapport aux coûts conventionnels, avec des rendements inférieurs de 20%. En Australie du Sud, *Wheeler & Crisp (2009)* montrent une baisse de rendement global par hectare d'environ 10% pour les parcelles biologiques, mais cette différence est inexistante entre cépages identiques. Par ailleurs ces auteurs exhibent un surcoût global de l'ordre de 20% pour la production biologique. En Afrique du Sud, *Hough & Nell (2003)* estiment que l'adoption de pratiques biologiques nécessite une revalorisation du produit final de l'ordre de 30%. En France, *Belis-Bergouignan & Cazals (2006)* pointent la difficulté d'isoler l'aspect 'mesures environnementales'

dans l'analyse de la compétitivité économique, car les (sur)coûts de production éventuels devaient être mis en perspective avec une réceptivité des marchés dans le cadre d'une politique de différenciation de la part des entreprises (e.g. valorisation de vins certifiés au regard des coûts induits), insistant sur la multifactorialité de la rentabilité économique des exploitations. En utilisant plusieurs bases de données nationales de 2013, *Dedieu et al. (2017)* montrent cependant que l'excédent brut d'exploitation est largement supérieur pour les viticulteurs en agriculture biologique (en moyenne 6 400 € à l'hectare contre 3 700 € pour les conventionnels) pour bon nombre de régions viticoles, excepté le vignoble bordelais qui obtiendrait des performances économiques relativement identiques entre agriculture biologique et conventionnelle. Partout ailleurs, malgré des frais de personnel plus d'une fois et demie supérieurs en agriculture biologique, la valorisation des vins issus de l'agriculture biologique compenserait les surcoûts de salariés (près de 0,14 ETP salarié par hectare en agriculture biologique contre 0,08 en conventionnel). Ce résultat est contesté par *Gillot et al. (2018)*, en raison de la non-prise en compte de la totalité des coûts des facteurs de production.



Il n'y a à notre connaissance aucune étude régionale ayant directement traité la question des liens entre biodiversité/fonctions écosystémiques et économie de la filière viticole en termes de gain de productivité ou de compétitivité des entreprises. Il existe néanmoins des conjectures en cours de validation scientifique, à partir de démarches environnementales comme la viticulture biologique, qui se traduisent a priori par une augmentation des niveaux de biodiversité et des services écosystémiques. Au niveau régional, la Chambre d'agriculture de Gironde publie depuis 2002 un "Référentiel Économique du Vigneron Bordelais", dans lequel les coûts de production des itinéraires techniques de plusieurs exploitations « type » en AOC Bordeaux sont chiffrés et détaillés. Même si les résultats entre les différents itinéraires techniques (agriculture biologique/raisonnée, vignes larges/vignes étroites, vente en bouteilles/vrac) varient en fonction des éditions et de l'évolution des techniques, le coût de production de la viticulture biologique en Nouvelle-Aquitaine (en prenant en compte les coûts de vinification) n'est pas beaucoup plus élevé que celui des coûts de production en raisonné (+12,6% en vignes larges et +13,5% en vignes étroites, en 2018). Une autre étude menée sur la période de conversion d'exploitations viticoles en Gironde a également montré que le changement de pratiques ne se traduisait pas forcément par des surcoûts, mais que, si la conversion est bien gérée au niveau technique et commercial, les coûts de production en biologique pouvaient être équivalents voire inférieurs après conversion (Mérot et al., 2019). Le facteur rendement apparaît comme un élément déterminant dans la mise en évidence de surcoûts entre viticulture biologique et conventionnelle, surtout si les aléas de production ne permettent pas d'atteindre le rendement prévu. Pour un rendement décennal de 50hl/ha à Bordeaux en viticulture raisonnée et une moyenne de 40hl/ha en viticulture biologique, la différence observée de coût du vin en bouteille est de +0,5€/bt pour un vin bio en vignes larges (+20%) alors qu'elle serait de seulement de +0,16€/bt à rendement équivalent (Chambre d'agriculture de Gironde, 2018). Ces résultats sont confirmés par les travaux de Mérot et al. (2019) sur la conversion en viticulture biologique montrant que les augmentations de coûts, quand elles surviennent, sont expliquées par des baisses de rendement après conversion plus que par une augmentation de la consommation des facteurs de production.

Au-delà de la viticulture biologique, aucune relation n'a pu être montrée en Gironde entre le coût des itinéraires de production de raisin et leur caractère environnemental (Def'homme & Alonso Ugaglia, 2011), même si des outils d'aide à la décision peuvent permettre de diminuer significativement les traitements phytosanitaires tout en maintenant des rendements équivalents en termes de qualité et de quantité (Alonso Ugaglia, 2011). Ainsi, des pratiques environnementales vertueuses de la part des viticulteurs pourraient résulter en des gains de productivité (Raineau, 2018). Une étude d'économie comportementale conduite en Gironde (247 viticulteurs) a permis d'identifier plusieurs blocages et leviers à la réduction de l'utilisation des produits phytosanitaires (quantifiée

par Indice de Fréquence de Traitement (IFT) déclaré). A niveau de risque phytosanitaire équivalent dans les vignobles (même voisinage), des variations importantes d'IFT, allant du simple au triple, sont attribuées à une aversion au risque de certains viticulteurs qui voient le traitement comme un contrat d'assurance sanitaire, mais aussi et surtout à un déficit d'information sur les quantités et fréquences de traitement suffisantes pour une couverture efficace et sur les performances accomplies par les autres (Raineau, 2018). La simple fourniture



Raisin noir avec le passage au fouloir ©Franck Boucher

d'une information choisie concernant la performance des pairs (nudge de comparaison sociale) a conduit à un changement de comportement des viticulteurs vers une réduction de l'IFT dans leurs parcelles, avec des répercussions significatives à la fois en matière d'augmentation de revenu et de diminution du risque sanitaire et environnemental (Raineau, 2018).

Ce même type d'expérimentation a été reconduit auprès d'une coopérative galicienne dans le cadre du projet Interreg VINOVERT avec, de nouveau, des résultats concluants. Si ces incitations non-matérielles n'offriront jamais qu'une efficacité limitée pour atteindre les niveaux de réduction attendus de l'usage des pesticides, leur intérêt réside principalement dans le dévoilement d'une nature comportementale des pratiques des viticulteurs. Le changement des pratiques individuelles passe ainsi par le changement de leurs représentations sociales.

¹ Voir pour l'édition 2018 : https://gironde.chambre-agriculture.fr/fileadmin/user_upload/Nouvelle-Aquitaine/100_Inst-Gironde/Documents/pdf_nos_publications/ReferentielEconomie_du_Vigneron-2018-Vignoble_de_Bordeaux_V_DEF_6.pdf

CE QU'IL FAUT RETENIR

Le rôle direct de la biodiversité sur la productivité des exploitations viticoles est à ce jour mal connu, que ce soit à l'échelle régionale ou à l'échelle internationale. Indirectement cependant, il est possible d'évaluer l'impact économique de la mise en œuvre de démarches environnementales (viticulture biologique, diminution des produits phytosanitaires) qui ont a priori un impact favorable sur la biodiversité et/ou les services rendus par la biodiversité. Ces démarches n'entraînent pas nécessairement une augmentation des coûts de production, d'autant que la modification des comportements des viticulteurs est non coûteuse. Excepté dans la région bordelaise, pour laquelle les résultats sont plus mitigés, la certification biologique apparaît économiquement rentable.

[Tendances] : [Etudes empiriques] (~5 études)

4.2.2. Valorisation sur le marché du vin



La valeur marchande de la biodiversité sur les marchés concerne la demande des consommateurs et le prix de vente des produits certifiant ces services écosystémiques. De fait, la consommation responsable se développe un peu partout dans le monde, et la responsabilité environnementale (via des certifications, des allégations et étiquetages spécifiques des vins) est sans doute, avec les allégations nutritionnelles et le commerce équitable, le domaine le plus valorisé dans tous les domaines de l'alimentation. La valorisation de la biodiversité peut également être opérante quand le mode de commercialisation choisi par le producteur est orienté vers les circuits-courts et de proximité ou l'œnotourisme (Barber et al., 2010). A quel point le consommateur effectue (consciemment ou non) une association entre le développement et le respect de la biodiversité avec une certaine qualité de paysage et au final une valorisation positive des vins qu'il est susceptible de consommer et d'acheter reste cependant inconnu. Les entreprises qui communiquent sur la biodiversité auprès des consommateurs utilisent une certification générique sur des démarches de développement durable ou la certification biologique (à l'exception des caves de Rauzan ou des 'Vignerons de Buzet' en Nouvelle-Aquitaine, ou de l'entreprise d'Etat 'Companhia das Lezírias' au Portugal). Les attentes des consommateurs de vins pour ce type de certifications (qui devrait intégrer la biodiversité de manière plus consubstantielle) se traduisent peu à peu dans les actes d'achat de vin en Europe et en Amérique (Schäufele & Hamm, 2017; Forbes et al., 2009; Pomarici & Vecchio, 2014; Delmas & Grant, 2018; Sellers, 2016). Le consentement à payer ('CAP'), qui correspond au prix maximum d'achat d'un acheteur potentiel d'un vin particulier (Brugarolas et al., 2005), suggère ce-

pendant que les consommateurs attribuent souvent plus de crédit à la valorisation organoleptique qu'au développement durable (Loureiro, 2003; Schmit et al., 2013), traduisant des contradictions entre les attentes déclarées des consommateurs et les achats réels sur un marché (qui ne confirment pas forcément ces intentions; Schäufele & Hamm, 2018). Il est possible de mesurer ces incohérences potentielles en évitant le 'biais de désirabilité sociale' et en tenant compte des contraintes de revenus des consommateurs (Combris et al., 2009; Vecchio, 2013). La signalétique de la consommation de vin est fortement soumise à des effets de halo (i.e. quand le consommateur attribue à tort toute une série de performances pour un produit uniquement à partir d'une première impression), d'une part parce que la certification la plus reconnue que constituent les appellations d'origine est souvent considérée comme un gage de qualité environnementale, alors qu'elle ne l'est pas, et d'autre part parce que la certification biologique est très souvent interprétée comme un signal de qualité en général (Pagliarini et al., 2013) alors que la qualité organoleptique n'est pas concernée. Dans ces conditions, il est nécessaire de bien distinguer, dans les motivations exprimées et avérées, les attentes 'utilitaristes' liées à l'intérêt propre du consommateur, des attentes 'altruistes' liées au respect de l'environnement et de la biodiversité.



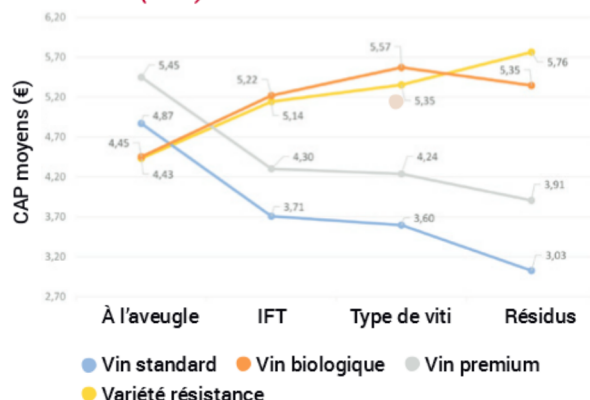
Le projet européen VINOVERT (www.vinovert.eu) a mis en place une équipe de recherche partenariale à l'Institut des Sciences de la Vigne et du Vin (ISVV) afin (i) de mesurer l'effet sur le consentement à payer (CAP) des consommateurs pour un vin garantissant le non usage des herbicides au niveau du vignoble et (ii) de montrer l'importance de la qualité du paysage, liée au non usage des herbicides, dans un contexte de vente en œnotourisme (immersion paysage des consommateurs) (Seabra Pinto et al., 2019). Des premières expériences menées au Portugal avec 205 consommateurs représentatifs, obtiennent un gain de plus de 16% pour le non usage garanti des herbicides, et une influence très forte de l'immersion paysage qui a pour effet d'augmenter le CAP moyen entre 36% et 45% (ce dernier chiffre étant réservé à des vins attestant de surcroît le non usage des herbicides dans l'approvisionnement en raisin des entreprises). Notons par ailleurs que l'on montre que cette immersion dans un paysage de qualité, renforce ex-post (i.e. après avoir quitté l'immersion paysage) la fidélité des consommateurs; car cette tendance se reproduit même si l'on augmente le nombre de bouteilles mises en vente (de 2 à 6 bouteilles).

Par ailleurs la mise en place d'un marché expérimental sur des vins blancs d'entrée de gamme du Sud-Ouest de la France (Fuentes-Espinoza et al., 2018) confirme les attentes des consommateurs pour la performance environnementale des exploitations viticoles (expérience menée en 2017 auprès de plus de 160 consommateurs réguliers). Dans ce projet, il s'agissait d'estimer les arbitrages réels des consommateurs entre d'une part ces attributs environnementaux et d'autre part les attentes sur les caractéristiques standard des vins (qualité organoleptique, appellations, etc.). Quatre types de vins plus ou moins performants sur les aspects environnementaux liés à l'usage des pesticides (mesurés par l'IFT et la quantification des résidus de pesticides dans les vins en intégrant la certification biologique) étaient ainsi proposés lors de l'expérience. Les consommateurs devaient évaluer ces quatre vins en plusieurs 'étapes'

informationnelles (à chaque étape, l'expérimentateur donnait une information supplémentaire sur les caractéristiques des vins). Les résultats obtenus montrent la difficulté d'acceptation par les consommateurs au niveau purement sensoriel, du vin certifié en agriculture biologique, ainsi que du vin issu de cépage résistant (Figure 3.10). Néanmoins, une communication orientée sur les performances environnementales et sanitaires conduit à fortement améliorer la position de ces vins, dès l'étape 2 de l'expérience, au moment de la révélation des IFT. Les résultats obtenus correspondent à un gain de CAP entre 16% et 17% après la révélation d'un faible niveau d'IFT et à une perte de CAP de 21% à 23% pour des vins ayant un fort IFT. Au final, les consommateurs qui étaient soumis à des procédures incitatives de révélation des consentements à payer ont particulièrement valorisé la performance environnementale sans se limiter à la certification biologique. Il conviendrait toutefois de confirmer ce type de tendance en allant plus loin sur des allégations spécifiques concernant le renforcement de la biodiversité.

FIGURE 3.10

Évolution du Consentement à Payer (CAP) moyen (en euros/bouteille) en fonction de l'information environnementale dans l'expérience de Fuentes-Espinoza et al. (2018).



CE QU'IL FAUT RETENIR

La valeur marchande de la biodiversité sur le marché du vin n'a été que très peu étudiée dans la littérature économique, et de fait les producteurs ne cherchent encore que marginalement à valoriser la biodiversité par des allégations apposées sur les étiquettes de vin. Le marché du vin rejoint cependant peu à peu les tendances des autres marchés de produits alimentaires, avec une focalisation sur des critères environnementaux. Dans des marchés expérimentaux, on peut discerner des retournements de tendance de la consommation. D'autres dispositifs mettant plus l'accent sur la biodiversité (de type « Haute Valeur Environnementale ») sont susceptibles de renforcer le consentement à payer des consommateurs et ainsi de contribuer au maintien et à la construction générale de la réputation des entreprises.

[Suggestion] : [Études empiriques] (<5 études)

5

État de la biodiversité dans le socio-écosystème viticole

Les sections précédentes ont mis en évidence le rôle important joué par la biodiversité dans le fonctionnement écologique des agroécosystèmes viticoles et dans un certain nombre d'activités économiques et culturelles associées. Ce constat suggère qu'il existe des voies de synergies possible entre préservation de la biodiversité et production vitivinicole performante. Cependant, la conception et la mise en œuvre de telles stratégies (systèmes agroécologiques) dépendent de l'état actuel de la biodiversité et nécessitent donc au préalable de caractériser cet état dans le socio-écosystème viticole néo-aquitain. De multiples études scientifiques indiquent que nous vivons actuellement une sixième extinction de masse à l'échelle planétaire (Ceballos et al., 2015; Ceballos et al., 2017; Thomas et al., 2004) avec au moins 363 espèces de vertébrés éteints depuis 1500 et une accélération du taux d'extinction des vertébrés ces deux derniers siècles (IUCN, 2017; Johnson et al., 2017), de 1 à 2 % de plus tous les 10 ans (Johnson et al., 2017; MacKinnon et al., 2012).

Les agroécosystèmes représentent le type d'occupation du sol majoritaire en France et en Europe : 54% des sols du territoire métropolitain ont un usage agricole (Agreste France, 2018). Parmi eux, les agroécosystèmes viticoles constituent une part non-négligeable, avec 788 637 ha, soit 3% de la surface agricole utile (SAU) en France en 2010 (Guyomard, 2013). Les processus d'intensification et d'augmentation des intrants ont été identifiés comme des causes du déclin des populations dans les vignobles. La viticulture est en effet une des cultures nécessitant le plus de produits phytosanitaires, consommant 20% de la quantité totale de ces produits à l'échelle nationale, ce qui entraîne la pollution des sols et des eaux et le déclin de la diversité floristique (Rabolin et al., 2017). Or ces agroécosystèmes représentent un réservoir de biodiversité, notamment dans les zones enherbées entre les rangs de vignes. Ces zones et les éléments semi-naturels non-cultivés associés permettent d'augmenter la présence d'oiseaux et d'espèces végétales, en plus d'être positivement associés à la richesse d'arthropodes (Sierro & Arlettaz, 2003; Puig-Montserrat et al., 2017; Rochard et al., 2014).

Cependant, bien qu'un consensus existe sur le déclin massif de la biodiversité à l'échelle globale et dans les paysages agricoles en particulier, mais aussi sur le fait que les modes de production agricoles sont fortement impliqués dans ce déclin, il est intéressant de noter qu'il manque encore beaucoup de données quantitatives et régionalisées de l'état de la biodiversité notamment pour un certain nombre de groupes comme les arthropodes ou les micro-organismes. Ainsi, relativement peu d'études sur l'état de la biodiversité dans les paysages viticoles existent et de ce fait, aucune politique publique d'envergure n'a été mise en œuvre pour promouvoir les stratégies permettant la conservation de la biodiversité dans ces paysages.

Ci-après, nous présentons un état des lieux des connaissances scientifiques régionales disponibles sur l'état de la biodiversité dans les agroécosystèmes viticoles ainsi que les principaux facteurs de pressions.

5.1. ÉTAT DE LA BIODIVERSITÉ ET EFFETS DES PRATIQUES VITICOLES



Les modes de gestion viticole sont des déterminants majeurs des niveaux de biodiversité et de services écosystémiques dans les paysages viticoles, qu'ils soient directement inféodés à la vigne elle-même (pratiques phytosanitaires, modes de gestion de la parcelle, en particulier la gestion de la végétation sous le rang ou dans l'inter-rang), ou indirectement via les modes de conduite des cultures (agriculture biologique ou conventionnelle) (Winter et al., 2018; Caprio et al., 2015; 2015; Puig-Montserrat et al., 2017; Kehinde & Samways, 2014a; Thomson & Hoffmann, 2010). L'utilisation des produits phytosanitaires (insecticides et fongicides) de synthèse ou naturels (cuivre et soufre) ont un effet globalement négatif sur la biodiversité et notamment sur les communautés d'araignées, de chrysopes, de coccinelles, de carabes et de parasitoïdes (Nash et al., 2010). Une gestion extensive du sol et des couverts végétaux (absence de travail du sol, amendements organiques) permet une augmentation moyenne de la biodiversité et des services écosystémiques de l'ordre de 20% en comparaison d'une gestion intensive basée sur l'utilisation d'herbicides ou un travail du sol intensif (Winter et al., 2018). Les populations d'Alouette lulu sont très dépendantes de la gestion des couverts végétaux dans les vignes, plus abondantes dans des parcelles avec un enherbement un rang sur deux en comparaison de vignobles utilisant des herbicides de synthèse et ne conservant ainsi aucun inter-rang enherbés (Ariettaz et al., 2012). Un plus grand nombre d'espèces et une plus grande abondance d'arthropodes sont générale-

ment retrouvés dans des parcelles conduites en agriculture biologique même si ce n'est pas toujours le cas (6 études sur 11 ont montré des effets positifs de la viticulture biologique en comparaison de la viticulture conventionnelle, Thiery et al., 2018). Des résultats similaires ont été trouvés sur les acariens, chiroptères, plantes, papillons ou pollinisateurs (Nascimbene et al., 2012; Caprio et al., 2015; Kehinde & Samways, 2012; Puig-Montserrat et al., 2017; Peverieri et al., 2009). Il est par ailleurs intéressant de noter que certains groupes répondent positivement aux degrés de perturbation de l'agroécosystème viticole. Ainsi, la diversité des levures retrouvées sur les grappes est plus importante dans des vignobles cultivés que dans des vignobles abandonnés (de 10 à 40 % d'augmentation de la richesse spécifique) (Drumonde-Neves et al., 2017). Enfin, la diversité des communautés de plantes dépend du degré de perturbation (fréquence des tontes), la diversité des arthropodes dépend généralement des pratiques de gestion des couverts végétaux et de leurs résidus (mulching) ainsi que des systèmes de culture (e.g., agriculture biologique), alors que les communautés d'oiseaux et de chiroptères dépendent des pratiques viticoles et de la présence d'habitats non-cultivés à l'échelle de l'exploitation ou du paysage (Kelly et al., 2016; Bruggisser et al., 2010; Assandri et al., 2016; Sanguankeeo et al., 2011).



En Nouvelle-Aquitaine, il existe très peu de données quantitatives sur l'évolution et les tendances de populations des espèces sauvages inféodées aux vignes. Des espèces d'oiseaux qui utilisent fortement les vignes (Bruant ortolan, Pie-grièches) sont cependant en déclin marqué voire au bord de l'extinction, notamment en ex-Poitou-Charentes d'après l'Atlas régional Oiseaux.

L'augmentation de la diversité végétale dans l'inter-rang des parcelles de vignes permet d'augmenter l'abondance ou le nombre d'espèces d'arthropodes prédateurs (Auriol et al., en prép). La diversité et l'abondance des insectes et des araignées sont dépendantes des pratiques viticoles à la fois à l'échelle locale et à l'échelle du paysage, et particulièrement de la proportion de surfaces cultivées en agriculture biologique (Muneret et al., 2018b; Muneret et al., 2018a; Muneret et al., 2019b). L'abondance des arthropodes de la surface du sol est particulièrement favorisée par les pratiques de l'agriculture biologique (augmentation de 30% à 50% des abondances en moyenne) (Muneret et al., 2019b).



Rhinocoris ©Sophie Chamont

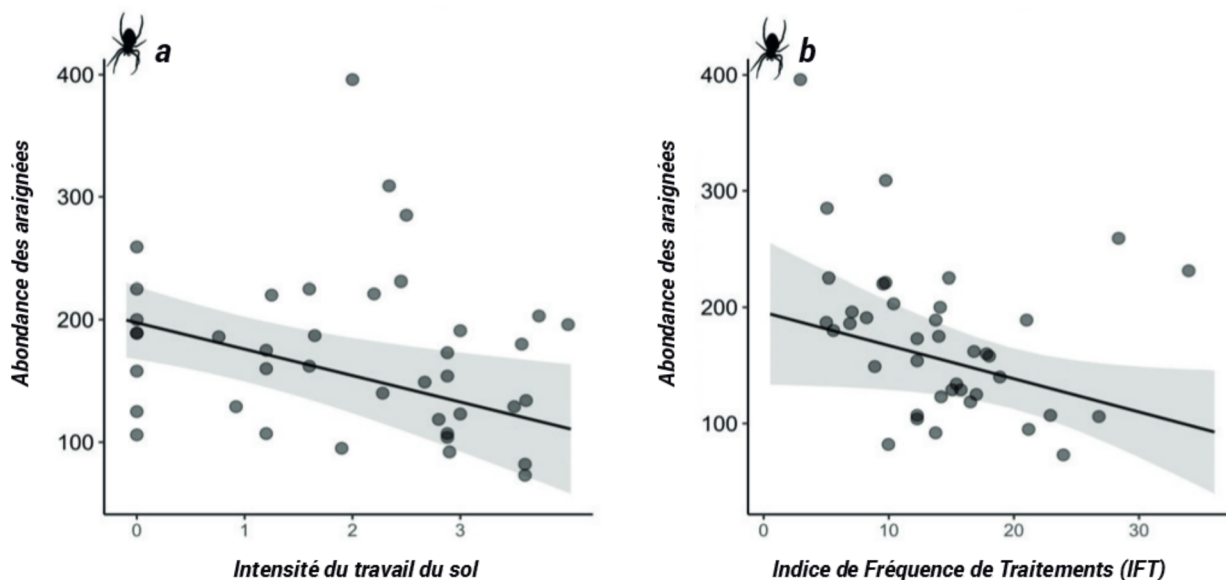


Cet effet positif des pratiques de la viticulture biologique a également été démontré dans la région Languedoc-Roussillon sur l'abondance des arachnides, mais pas sur l'activité des chiroptères soulignant que les réponses des taxons aux pratiques viticoles sont dépendantes de leur niveau trophique et de leur capacité de dispersion (Froidevaux et al., 2017). La biodiversité en arthropodes d'une parcelle viticole est dépendante des modes de conduite (augmentation des abondances de l'ordre de 30% en moyenne entre les parcelles conduites en agriculture biologique et en agriculture conventionnelle), le nombre d'espèces d'arthropodes étant positivement corrélé à l'âge de la parcelle et négativement corrélé au niveau de productivité de la parcelle indépendamment des modes de conduites (Muneret et al., 2019b). Par ailleurs, les araignées retrouvées dans le feuillage sont négativement affectées par les niveaux d'utilisation de produits phytosanitaires (avec une diminution de quasiment 50% des effectifs entre les parcelles les plus traitées et les parcelles les moins traitées, IFT variant entre 2.9 et 33) et le degré de perturbation du sol (i.e., l'intensité de travail du sol), indiquant clairement que les conduites les plus intensives se traduisent par des niveaux d'abondances et de diversité de ces taxons plus réduits (Figure 3.11 ; Muneret et al., 2019b).

Une étude récente conduite en France sur la flore des vignobles dans trois régions Françaises (Champagne, Beaujolais et Languedoc et n'incluant donc pas la Nouvelle-Aquitaine) indique que les pratiques viticoles, et notamment l'utilisation d'herbicides, le travail du sol et la fréquence des tontes sont des facteurs structurant fortement l'abondance et la diversité des communautés végétales. L'utilisation d'herbicides réduit l'abondance des adventices alors qu'une combinaison de travail du sol et de tonte favorise l'abondance et la diversité des adventices en parcelles viticoles (Fried et al., 2019). Des travaux conduits à l'échelle européenne incluant des échantillonnages dans la vallée de la Loire ont également montré que l'augmentation de la disponibilité de la ressource en fleurs à l'échelle de la parcelle ainsi qu'une gestion extensive de la végétation dans les inter-rangs avait un effet positif sur l'abondance et la diversité des communautés de pollinisateurs sauvages (Kratschmer et al., 2019). Les premiers résultats obtenus en Nouvelle-Aquitaine sur les communautés de pollinisateurs sauvages laissent apparaître les mêmes tendances (Ostandie et al., en prép).

FIGURE 3.11

Effet de l'intensité du travail du sol (a - à gauche) et de l'indice de fréquence de traitements (IFT) (b - à droite) sur les abondances d'araignées en viticulture. Source : Muneret, L., Auriol, A., Bonnard, O., Richart Cervera, S., Thiéry, D., & Rusch, A. (2019). Organic farming expansion drives natural enemy abundance but not diversity in vineyard dominated landscapes. Ecology and Evolution.



CE QU'IL FAUT RETENIR

Les pratiques viticoles, à différentes échelles spatiales, peuvent impacter de manière tout à fait significative les différentes composantes de la biodiversité. Le maintien d'un couvert végétal diversifié à l'intérieur des parcelles, la réduction du travail du sol, la diminution de l'utilisation de produits phytosanitaires ou encore les modes de conduites de l'agriculture biologique sont, en moyenne, des pratiques bénéfiques à la biodiversité végétale et animale. Il existe cependant une variabilité dans les effets des pratiques viticoles en fonction des groupes taxonomiques étudiés et de leurs caractéristiques écologiques. Les modes de gestion des vignobles peuvent donc être des leviers forts de la préservation de la biodiversité en Nouvelle-Aquitaine.

[Présomption] : [Etudes empiriques] (<10 études) ; [Expérimentations]

5.2. HOMOGENÉISATION DES PAYSAGES



L'homogénéisation des paysages viticoles, principalement traduite par une diminution et une fragmentation des habitats semi-naturels, tend à diminuer la biodiversité et les niveaux de services écosystémiques associés (e.g. régulation naturelle des bioagresseurs). Ainsi, l'augmentation de l'éloignement aux lisières d'habitats forestiers diminue la diversité et l'abondance (jusqu'à 70% de réduction des abondances) des arthropodes prédateurs, ainsi que les niveaux de prédation (de 30% à 80% de diminution) des insectes ravageurs retrouvés dans les parcelles de vignes (Thomson & Hoffmann, 2013). De même, la diminution de la proportion d'habi-

tats semi-naturels, comme les forêts, les haies ou les prairies, entraîne une diminution de l'abondance et de la diversité des parasitoïdes, araignées, hyménoptères, oiseaux et chiroptères (Thomson & Hoffmann, 2010; Gaigher et al., 2015; Hogg & Daane, 2012; Assandri et al., 2016, 2017; Kelly et al., 2016; Kratschmer et al., 2018, 2019; Rodriguez-San Pedro & al., 2019). Par ailleurs, la présence de haies dans le paysage favorise la richesse spécifique des plantes retrouvées dans les parcelles de vigne (Cohen et al., 2015).



L'effet de l'homogénéisation des paysages sur la biodiversité en Nouvelle-Aquitaine est peu étudié, mais les quelques études réalisées montrent un effet négatif de la simplification des paysages viticoles sur l'abondance et la diversité de différents groupes taxonomiques (Thiery et al., 2017).

La présence d'habitats semi-naturels a un effet positif sur le nombre d'espèces et l'activité insectivore des chiroptères (Sentenac & Rusch, 2017; Charbonnier et al., en prép.). La réduction de la proportion d'habitats semi-naturels comme les forêts ou les prairies entraîne une diminution de l'abondance et la diversité spécifique des chrysopes dans les paysages viticoles (une diminution de l'ordre de 90% des effectifs entre paysages complexes et simples a été noté à certaines dates) (Serée et al., 2019; Serée et al., en prép.).



Chrysope ©Sylvie Richard



Des résultats similaires sont obtenus pour les papillons, également très dépendants de la connectivité des éléments boisés dans le paysage. L'isolement spatial des habitats boisés et herbacés dans le paysage diminue l'abondance et la diversité des communautés de papillons dans les paysages viticoles (Villemey et al., 2015). Ces derniers dépendent aussi de la composition floristique des habitats non-cultivés (van Halder et al., 2017). Des travaux conduits dans le Bordelais et dans la vallée de la Loire ont aussi montré un effet négatif marqué de la diminution des éléments semi-naturels dans les paysages sur l'abondance des oiseaux insectivores glaneurs du feuillage (Barbaro et al., 2017) et plus généralement sur l'abondance et la diversité spécifique des oiseaux (Pithon et al., 2016). Une étude récente conduite à l'échelle européenne et incluant des zones d'études dans la vallée de la Loire a démontré que le

nombre d'espèces de pollinisateurs sauvages étaient plus important dans des paysages plus hétérogènes que dans des paysages homogènes (Kratschmer et al., 2019). Cependant, l'homogénéisation des pratiques viticoles dans le paysage, plus que la présence ou non d'habitats semi-naturels, est un facteur structurant les communautés d'araignées (Muneret et al., 2019b). En fait, certains groupes taxonomiques ne semblent pas ou peu affectés par l'homogénéisation des paysages. La richesse spécifique des communautés de carabes retrouvées dans les parcelles de vignes n'est pas affectée par la diminution des éléments semi-naturels dans le paysage, l'abondance des espèces dominantes de ces communautés étant même plutôt favorisée par des paysages homogènes de vigne (Rusch et al., 2016).

CE QU'IL FAUT RETENIR

Les études menées à l'échelle régionale sur les effets de l'homogénéisation des paysages viticoles tendent à montrer des effets négatifs sur différentes composantes de la biodiversité notamment sur les insectes, les oiseaux et les chiroptères. Les effets de l'homogénéisation des paysages sur la biodiversité passent par une homogénéisation des pratiques viticoles dans le paysage, mais aussi par une diminution ou une fragmentation des habitats semi-naturels qui sont des habitats clés pour un certain nombre d'espèces. Cependant, certains taxons, comme les carabes, ne semblent pas être affectés par la simplification des paysages viticoles soulignant une variabilité entre taxons et une absence de réponse unique de la biodiversité à ces changements environnementaux.

[Présomption] : [Etudes empiriques] (>10 études)

5.3. IMPACTS DES ESPÈCES EXOTIQUES (ET/OU) ENVAHISSANTES



Les espèces invasives, dont l'introduction peut être d'origine accidentelle ou intentionnelle, représentent une pression majeure exercée sur la biodiversité à l'échelle globale (Vitousek et al., 1997; Fritts & Roda, 1998). Ces invasions exercent une pression sur la biodiversité endémique et locale /régionale via une compétition pour les ressources ou des interactions trophiques qui peuvent entraîner des déplacements d'espèces, des diminutions de populations voire des extinctions et extirpations (Davis, 2003; Gurevitch & Padilla, 2004). Les socio-écosystèmes viticoles à l'échelle mondiale ont été, et sont encore, marqués par de multiples épisodes d'invasions avec de fortes conséquences sur leur fonctionnement et la biodiversité hébergée. L'invasion euro-

péenne par le Phylloxera (*Daktulosphaira vitifoliae*) depuis les Etats-Unis est un exemple marquant puisqu'il a quasiment détruit l'intégralité des vignobles français et européens et a fait disparaître de nombreux cépages et vignobles ancestraux (Downie, 2002). Plus récemment, de multiples espèces en provenance de différentes régions du monde envahissent la plupart des vignobles à l'échelle globale. Ainsi, plusieurs espèces d'origines asiatique, européenne ou d'Amérique du Sud sont devenues des espèces invasives préoccupantes voire problématiques dans les vignobles d'Amérique du Nord : la punaise diabolique (*Halyomorpha halys*), la drosophile japonaise (*Drosophila suzukii*), la coccinelle asiatique (*Harmonia axyridis*), la tordeuse de la grappe (*Lobesia*



botrana), ou encore la fourmi argentine (*Linepithema humile*) (Gilligan et al., 2011; Pfeiffer et al., 2012; Daane et al., 2007). Ces espèces invasives peuvent représenter une menace pour la production viticole, en s'attaquant directement à la vigne, en favorisant l'installation d'autres bioagresseurs ou en diminuant les régulations naturelles d'espèces nuisibles, et exercent une pression significative sur la biodiversité des vignobles (Hogg et al., 2010; Hogg & Daane, 2011; Rombaut et al., 2017). Il

a par exemple été montré que la présence de *D. suzukii* favorise l'infestation par *D. melanogaster* qui elle-même favorise le développement de bactéries et de levures responsables de la pourriture grise pouvant entraîner de sérieuses pertes de rendement en viticulture (Rombaut et al., 2017).



Avec 216 000 ha plantés et de nombreux échanges de matériel végétal, le vignoble de Nouvelle-Aquitaine est sujet à différentes invasions par des espèces envahissantes. Une des premières invasions spectaculaires et historiques est l'invasion du vignoble par le *Phylloxera* (*D. vitifoliae*) depuis les Etats-Unis. Introduit en France avant 1860, via l'importation de quelques centaines de ceps ornementaux ce puceron a détruit 30% du vignoble Français entre 1860 et 1890. Il apparaît en Nouvelle-Aquitaine en 1870 près de Bordeaux (Dion, 1970) puis en 1875 dans la région de Cognac dont la surface viticole passera de 280 000 ha à 42 581 ha en 1895 (Encyclopédie du Cognac, 2018). Indirectement, cette crise écologique génère immédiatement une crise sociétale liée à la chute de production qui va réduire de moitié le vignoble Français (Chevet, 2005). Ainsi la récolte nationale passera de 85 (1875) à 25 (1879) millions d'hectolitres (Legros, 1993). En 1928 il ne reste que 70 000 ha de vigne en Charente et Charente-Maritime, et des bassins viticoles de production ont disparu (Bernard, 1988). Outre cette réduction de surface, suite à cette invasion, la diversité des cépages de vigne a profondément été réduite, puisque toute la viticulture française a été replantée avec des variétés de vigne greffées sur des porte-greffes américains résistants au puceron. Des variétés locales vont ainsi disparaître soit parce que trop sensibles au puceron soit parce que réagissant très mal lors de la greffe avec les quelques porte-greffes importés. C'est le cas par exemple du Menu ou 'Prunelard', mais aussi le Chatus, le Morrastel, le Rivairenc, le Terret ou le Picardan (Mahé, 2015). La plantation de ceps francs de pieds est, de fait, devenue interdite, ce qui réduit fortement la tradition que les viticulteurs avaient de produire eux-mêmes leurs plants, accentuant encore cette perte de diversité. De nombreuses variétés locales de vigne ont ainsi disparu. Les pratiques viticoles ont donc été profondément modifiées suite à cette réorganisation du vignoble (changements de densités de plantation, apports d'engrais azotés, etc). L'importation de porte-greffes Américains va permettre l'entrée d'une espèce de cicadelle originaire de ce continent. Il s'agit du vecteur d'un phytoplasme, la flavescence dorée, *Scaphoideus titanus* (Papura et al., 2012; Chuche & Thiéry, 2014). Cette épidémie touche maintenant plus de 65% du vignoble français et impose dans les localités viticoles touchées entre un et trois traitements insecticides obligatoires contre le

vecteur. Ces traitements insecticides généralement positionnés entre mi-juin et mi-juillet affectent eux aussi la biodiversité (cf. section 5.1).

En viticulture, le ravageur majeur des grappes est un petit papillon nocturne de la famille des tordeuses, l'Eudémis de la vigne (*L. botrana*). Cette espèce a un fort potentiel invasif. Elle vient par exemple de coloniser les vignobles de Californie. Anecdote dans les traités de viticulture avant la période du *phylloxera* (Audouin, 1842), ce ravageur devient majeur à partir de 1907, probablement favorisé par la replantation du vignoble et l'usage des engrais azotés qui ont généré l'augmentation de la vigueur de la vigne et des rendements au début du XX^e siècle (Thiéry, 2005). En s'installant en ex-Aquitaine, *L. botrana* a exclu assez vite les deux autres espèces de tordeuses qui sont maintenant uniquement présentes à titre anecdotique (Thiéry, 2005). Là encore les dégâts majeurs engendrés par cet insecte vont générer de nombreux traitements insecticides à spectres larges qui ont des conséquences sur la faune des vignobles (cf. section 5.1).

L'invasion récente la plus spectaculaire dans les vignobles de Nouvelle-Aquitaine est celle de *Drosophila suzukii*. Cette mouche des fruits fait son entrée en Europe en 2009, et s'installe durablement en Aquitaine dans la communauté des drosophiles présente en vigne en 2011 (Rouzes et al., 2012 a,b). On ne connaît pas encore l'incidence exacte de cette mouche sur la faune des vignobles étant donné que peu de traitements insecticides sont pratiqués en raison de leur faible efficacité. Des travaux récents indiquent que cette espèce de drosophile s'est bien installée au sein de la communauté de drosophiles hébergée par le vignoble, puisqu'elle constitue dorénavant la deuxième espèce de drosophiles en abondance (sur 17 espèces recensées dans les vignobles de Gironde) juste après *Drosophila subobscura* (Delbac et al., en prép). Des travaux sont actuellement en cours pour comprendre l'effet de cette invasion sur le fonctionnement des communautés de drosophiles et son impact sur le fonctionnement de l'écosystème viticole mais il est d'ores et déjà montré qu'elle favorise l'installation de *Drosophila melanogaster* et le développement de la pourriture grise (Rombaut et al., 2017; Delbac et al., 2014).



Un autre ravageur plus anecdotique est la cicadelle pruineuse, *Metcalfa pruinosa*. Décrite pour la première fois en Europe en 1979, elle est détectée pour la première fois en Nouvelle-Aquitaine en 2001 (Roujean, 2009). Le dommage le plus important causé à la vigne par ce ravageur est le développement de fumagine sur le miellat. Ce champignon noircit la surface des organes mais on connaît mal les effets indirects que cette cicadelle produit sur les insectes consommant la vigne. Par ailleurs, la bactérie xylémienne *Xylella fastidiosa* est transmise par des cicadelles qui se nourrissent du xylème. Le biotype 'vigne' n'est actuellement pas présent dans le vignoble Néo-aquitain, mais nous savons d'ores et déjà que certaines espèces de cicadelles pourraient devenir des vecteurs potentiels sans nécessairement connaître leur capacité vectorielle. Parmi ces espèces, nous savons que le cercope des prés, *Philaenus spumarius*, est un vecteur avéré de la bactérie et est par ailleurs présent dans les vignobles de Nouvelle-Aquitaine (Cruaud et al., 2018; Godefroid et al., 2019). En cas d'épidémie, l'incidence serait une destruction massive du vignoble, notamment en Nouvelle-Aquitaine (Godefroid et al., 2019), ce qui impliquerait donc un changement drastique des paysages agricoles avec des conséquences importantes pour la biodiversité. Enfin, le frelon à patte jaune, entré en France en 2004 (Thiéry & Monceau, 2018), atteint des niveaux de population très élevés dans presque toute la Nouvelle-Aquitaine et notamment dans le socio-écosystème viticole où il vient se nourrir de baies de raisin mûres. Comme *Vespa crabro* (le frelon dit européen et installé depuis plus d'une centaine d'années), il peut affecter la biodiversité locale en tant que prédateurs d'autres insectes (e.g., pollinisateurs sociaux ou solitaires) mais son rôle sur la biodiversité viticole et le fonctionnement du socio-écosystème est encore mal connu car peu ou pas étudié.



Frelon à pattes jaunes ©Karine Monceau

CE QU'IL FAUT RETENIR

La Nouvelle-Aquitaine, et le socio-écosystème viticole en particulier, est la cible de nombreuses espèces envahissantes qui impactent le fonctionnement de l'agroécosystème et la biodiversité hébergée dans les paysages viticoles. Les conséquences de ces invasions tant sur la biodiversité que sur le fonctionnement du socio-écosystème sont potentiellement importantes mais restent paradoxalement relativement peu étudiées sous cet angle. Une intensification des recherches sur cette thématique semble donc importante dans le contexte actuel.

[Fait Établi] : [Etudes empiriques] (>10 études) ; [Expérimentations]

6

Références régionales

1. **Agreste Nouvelle-Aquitaine** (2018a) *La filière vitivinicole : Bordeaux-Aquitaine et Charentes-Cognac, deux bassins proches et distincts. Analyses et résultats n°3*. DRAAF Nouvelle-Aquitaine.
2. **Agreste Nouvelle-Aquitaine** (2018b) *Mémento Filière Vitivinicole. Édition 2018*. DRAAF Nouvelle-Aquitaine.
3. **Audouin** (2017) *Histoire des insectes nuisibles à la vigne et particulièrement de la pyrale, moyens de la combattre*. Paris: Fortin, Masson et Cie Librairies.
4. **Auriol et al.** (no date) 'en prep'.
5. **Barbaro et al.** (2017) 'Avian pest control in vineyards is driven by interactions between bird functional diversity and landscape heterogeneity', *Journal of Applied Ecology*, 54(2), pp. 500–508.
6. **Belmonte et al.** (2016) 'Effects of permanent grass versus tillage on aggregation and organic matter dynamics in a poorly developed vineyard soil', *Soil Research*, 54(7), pp. 797–808.
7. **Bernard** (2012) 'Population et vignoble dans les Charentes : un siècle d'évolution originale', *Norois*, 140(1), pp. 521–541.
8. **Bertrand, Baudry & Burel** (2016) 'Seasonal variation in the effect of landscape structure on ground-dwelling arthropods and biological control potential', *Basic and Applied Ecology*, 17(8), pp. 678–687.
9. **Le Bissonnais et al.** (2002) 'Mapping erosion risk for cultivated soil in France', *CATENA*, 46(2–3), pp. 207–220.
10. **Börlin** (2015) *Diversity and population structure of yeast Saccharomyces cerevisiae at the scale of the vineyard of Bordeaux : Impact of different factors on diversity (English)*. INRA, Institut National de la Recherche Agronomique.
11. **Börlin et al.** (2016) 'Cellar-associated Saccharomyces cerevisiae population structure revealed high-level diversity and perennial persistence at Sauternes wine estates', *Applied and Environmental Microbiology*, 82(10), pp. 2909–2918.
12. **Bouchon, Zimmer & Dittmer** (2016) 'The Terrestrial Isopod Microbiome: An All-in-One Toolbox for Animal–Microbe Interactions of Ecological Relevance', *Frontiers in Microbiology*, 7, p. 1472.
13. **Campbell-Sills, Lorentzen & Lucas** (2017) 'Genomic Evolution and Adaptation to Wine of *Oenococcus oeni*', in *Biology of Microorganisms on Grapes, in Must and in Wine*. Cham: Springer International Publishing, pp. 457–468.
14. **Cazenave & Daniele** (2017) 'Flore des vignes en Gironde: Concilier diversité végétale et objectifs de production des viticulteurs', *Vinopôle Bordeaux-Aquitaine*, pp. 1–7.
15. **Cellette, Findeling & Gary** (2009) 'Competition for nitrogen in an unfertilized intercropping system: The case of an association of grapevine and grass cover in a Mediterranean climate', *European Journal of Agronomy*, 30(1), pp. 41–51.
16. **Cellette & Gary** (2013) 'Dynamics of water and nitrogen stress along the grapevine cycle as affected by cover cropping', *European Journal of Agronomy*, 45, pp. 142–152.
17. **Cerdan et al.** (2010) 'Rates and spatial variations of soil erosion in Europe: A study based on erosion plot data', *Geomorphology*, 122(1–2), pp. 167–177.
18. **Chambre d'Agriculture de la Gironde** (2018) 'Référentiel économique du Vigneron 2018 Vignoble de Bordeaux', pp. 1–14.
19. **Charbonnier et al.** (no date) 'en prep'.
20. **Chassaing et al.** (2010) 'Physicochemical studies of new anthocyanin-ellagitannin hybrid pigments: About the origin of the influence of oak C-glycosidic ellagitannins on wine color', *European Journal of Organic Chemistry*, 2010(1), pp. 55–63.
21. **Chatonnet & Dubourdieu** (1998) 'Comparative study of the characteristics of American white oak (*Quercus alba*) and European oak (*Quercus petraea* and *Q. robur*) for production of barrels used in barrel aging of wines', *American Journal of Enology and Viticulture*, 49(1), pp. 79–85.
22. **Chenu et al.** (2014) 'Stocker du carbone dans les sols agricoles : évaluation de leviers d'action pour la France', *Innovations Agronomiques*, 37, pp. 23–37.
23. **Chevet** (2005) *Le rôle des caves coopératives dans le regroupement de l'offre en France au XXème siècle*, Working Paper. INRA-CORELA.
24. **Chuche & Thiéry** (2014) 'Biology and ecology of the Flavescence dorée vector Scaphoideus titanus: A review', *Agronomy for Sustainable Development*, 34(2), pp. 381–403.
25. **Comin et al.** (2017) 'Floodplain capacity to depollute water in relation to the structure of biological communities', *Ecological Engineering*, 103, pp. 301–314.
26. **Cordeau** (1998) *Création d'un vignoble. Greffage de la vigne et porte-greffes. Élimination des maladies à virus*. Éditions Fêret, Bordeaux.
27. **Costantini et al.** (2018) 'Effects of soil erosion on agro-ecosystem services and soil functions: A multidisciplinary study in nineteen organically farmed European and Turkish vineyards', *Journal of Environmental Management*, 223, pp. 614–624.
28. **Creton et al.** (2015) 'How stereochemistry influences the taste of wine: Isolation, characterization and sensory evaluation of lyoniresinol stereoisomers', *Analytica Chimica Acta*, 888, pp. 191–198.
29. **CRT Nouvelle-Aquitaine** (2017) *Les chiffres clés du tourisme. Édition 2017*. Région Nouvelle-Aquitaine. Comité régionale du Tourisme.
30. **Cruaud et al.** (2018) 'Using insects to detect, monitor and predict the distribution of *Xylella fastidiosa*: a case study in Corsica', *Scientific Reports*, 8(1), p. 15628.
31. **Del homme & Ugaglia** (2011) 'Vers une viticulture durable : comment évaluer la dimension environnementale des itinéraires viticoles ?', *Sciences Eaux & Territoires*, 4(1), pp. 16–23.
32. **Delbac et al.** (2014) 'Drosophila sukuzii est-elle une menace pour la vigne ?', *Phytoma*, 679, pp. 16–21.
33. **Delbac et al.** (no date) 'Landscape structure shapes Drosophilidae community in the Bordeaux vineyard (en prep)'.
34. **Dion** (2014) 'Note sur les origines de l'invasion phylloxérique en France', *Bulletin de l'Association de géographes français*, 47(377), pp. 31–33.
35. **DRAAF Nouvelle-Aquitaine** (2017) *Plan Ecophyto II : déclinaison régionale en région Nouvelle-Aquitaine*. DREAL Nouvelle-Aquitaine.
36. **Duchene** (2016) 'How can grapevine genetics contribute to the adaptation to climate change?', *Économie Appliquée*, 67(4), pp. 71–100.
37. **Van Eetvelde & Antrop** (2004) 'Analyzing structural and functional changes of traditional landscapes - Two examples from Southern France', *Landscape and Urban Planning*, 67(1–4), pp. 79–95.
38. **Español et al.** (2017) 'Does land use impact on groundwater invertebrate diversity and functionality in floodplains?', *Ecological Engineering*, 103, pp. 394–403.
39. **Fort et al.** (2016) 'Foliar fungal communities strongly differ between habitat patches in a landscape mosaic', *PeerJ*, 4, p. e2656.
40. **Freibauer et al.** (2004) 'Carbon sequestration in the agricultural soils of Europe', *Geoderma*, 122(1), pp. 1–23.
41. **Frezier & Dubourdieu** (1992) 'Ecology of yeast strain *Saccharomyces cerevisiae* during spontaneous fermentation in a Bordeaux Winery', *American journal of enology and viticulture*, 43(4), pp. 375–380.
42. **Fried et al.** (2019) 'Relative importance of environmental factors and farming practices in shaping weed communities structure and composition in French vineyards', *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 275, pp. 1–13.
43. **Froidevaux, Louboutin & Jones** (2017) 'Does organic farming enhance biodiversity in Mediterranean vineyards? A case study with bats and arachnids', *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 249, pp. 112–122.
44. **Fuentes Espinoza et al.** (2018) 'Resistant grape varieties and market acceptance: an evaluation based on experimental economics', *OENO One*, 52(3).
45. **Giffard et al.** (no date) 'en prep'.
46. **Godefroid et al.** (2018) 'Climate change and the potential distribution of *Xylella fastidiosa* in Europe', *bioRxiv*, p. 289876.
47. **Gontier et al.** (2011) 'Total grass cover in vineyards: an innovating and promising soil management alternative to reduce the use of herbicides', in *Conference: 17th International Symposium GIESCO 2011, At Asti-Alba, Italy*.
48. **González-Centeno, Chira & Teissedre** (2016) 'Ellagitannin content, volatile composition and sensory profile of wines from different countries matured in oak barrels subjected to different toasting methods', *Food Chemistry*, 210, pp. 500–511.
49. **Gullino & Larcher** (2013) 'Integrity in UNESCO World Heritage Sites. A comparative study for rural landscapes', *Journal of Cultural Heritage*, 14(5), pp. 389–395.
50. **Hervé et al.** (2018) 'Landscape complexity perception and representation in a wine-growing region with the designation of origin in the Loire Valley (France): a cultural ecosystem service?', *Renewable Agriculture and Food Systems*, pp. 1–13.
51. **El Khoury et al.** (2017) 'Biogeography of *Oenococcus oeni* reveals distinctive but nonspecific populations in wine-producing regions', *Applied and Environmental Microbiology*, 83(3).
52. **Kratschmer et al.** (2019) 'Response of wild bee diversity, abundance, and functional traits to vineyard inter-row management intensity and landscape diversity across Europe', *Ecology and Evolution*, 9(7), pp. 4103–4115.
53. **Lencylopédie du Cognac** (2018) *La crise du phylloxéra*. Bureau National Interprofessionnel du Cognac.
54. **Legros** (1993) 'L'invasion du vignoble par le Phylloxéra', *Académie Des Sciences Et Lettres De Montpellier*, 24, pp. 205–222.
55. **Lemarié-Boutry** (2016) 'Foncier viticole, patrimoines et œnotourisme : un modèle des prix hédoniques appliqué au vignoble bordelais', *Revue d'Economie Régionale & Urbaine*, (4), p. 877.
56. **Lemarié-Boutry & Pérès** (2019) 'Enjeux économiques des dimensions patrimoniales du terroir', *OENO One*, 50(3).
57. **Liu et al.** (2017) 'Role of biodiversity in the biogeochemical processes at the water-sediment interface of macroporous river bed: An experimental approach', *Ecological Engineering*, 103, pp. 385–393.

58. Lonvaud-Funel (1999) 'Lactic acid bacteria in the quality improvement and depreciation of wine', *Antonie van Leeuwenhoek, International Journal of General and Molecular Microbiology*, 76(1–4), pp. 317–331.
59. Lorentzen & Lucas (2019) 'Distribution of *Oenococcus oeni* populations in natural habitats', *Applied Microbiology and Biotechnology*, 103(7), pp. 2937–2945.
60. Lucas et al. (2018) 'Des outils pour fiabiliser les fermentations des vins et cidres biologiques en utilisant les levures et bactéries indigènes', *Innovations Agronomiques*, 63, pp. 267–278.
61. Mahé (2015) *Préservation et valorisation des cépages rares des régions nord-méditerranéennes : Treize cépages prometteurs*. Institut des Hautes études de la Vigne et du vin et Association Wine Mosaic.
62. Marchal et al. (2015) 'Contribution of oak lignans to wine taste: Chemical identification, sensory characterization and quantification', *Tetrahedron*, 71(20), pp. 3148–3156.
63. Marchal, Prida & Dubourdiou (2016) 'New Approach for Differentiating Sessile and Pedunculate Oak: Development of a LC-HRMS Method to Quantitate Triterpenoids in Wood', *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 64(3), pp. 618–626.
64. Marchand et al. (2010) 'Metal and metalloid removal in constructed wetlands, with emphasis on the importance of plants and standardized measurements: A review', *Environmental Pollution*, 158(12), pp. 3447–3461.
65. Marchand et al. (2014a) 'Copper removal from water using a bio-rack system either unplanted or planted with *Phragmites australis*, *Juncus articulatus* and *Phalaris arundinacea*', *Ecological Engineering*, 64, pp. 291–300.
66. Marchand et al. (2014b) 'Root biomass production in populations of six rooted macrophytes in response to Cu exposure: Intra-specific variability versus constitutive-like tolerance', *Environmental Pollution*, 193, pp. 205–215.
67. Martins et al. (2012) 'Grape berry bacterial microbiota: Impact of the ripening process and the farming system', *International Journal of Food Microbiology*, 158(2), pp. 93–100.
68. Martins et al. (2013) 'Characterization of Epiphytic Bacterial Communities from Grapes, Leaves, Bark and Soil of Grapevine Plants Grown, and Their Relations', *PLoS ONE*, 8(8), p. e73013.
69. Mas et al. (2016) 'Taking Advantage of Natural Biodiversity for Wine Making: The WILDWINE Project', *Agriculture and Agricultural Science Procedia*, 8, pp. 4–9.
70. Merot et al. (2019) 'Diversity of conversion strategies for organic vineyards', *Agronomy for Sustainable Development*, 39(2), p. 16.
71. Michel et al. (2010) 'Oak wood ellagitannins influence on the organoleptic perception of red wine', *Planta Medica*, 76(12).
72. Morlat & Jacquet (2003) 'Grapevine root system and soil characteristics in a vineyard maintained long-term with or without interrow sward', *American Journal of Enology and Viticulture*, 54(1), pp. 1–7.
73. Mousset-Libeau et al. (2016) *Etude de l'érosion au Château Fombrage (grand Cru Classé Saint-Émilion) - Effet de l'érosion sur la distribution des sols, la pérennité des sols et le fonctionnement de la vigne*. Bordeaux Sciences Agro.
74. Muneret (2018) *Déploiement de l'agriculture biologique à l'échelle du paysage : impacts sur les communautés d'ennemis naturels et les services de régulation des bioagresseurs*. Sciences agricoles. Université de Bordeaux.
75. Muneret, Thiéry, et al. (2018) 'Deployment of organic farming at a landscape scale maintains low pest infestation and high crop productivity levels in vineyards', *Journal of Applied Ecology*, 55(3), pp. 1516–1525.
76. Muneret, Mitchell, et al. (2018) 'Evidence that organic farming promotes pest control', *Nature Sustainability*, 1(7), pp. 361–368.
77. Muneret et al. (2019a) 'Organic farming at local and landscape scales fosters biological pest control in vineyards', *Ecological Applications*, 29(1), p. e01818.
78. Muneret et al. (2019) 'Organic farming expansion drives natural enemy abundance but not diversity in vineyard dominated landscapes', *Ecology and Evolution*, 9(23), pp. 13532–13542.
79. Ollat et al. (2016) 'Rootstocks as a component of adaptation to environment', in *Grapevine in a Changing Environment*. Chichester, UK, pp. 68–108.
80. Ostandie et al. (no date) 'en prep'.
81. Oustrière et al. (2017) 'Rhizofiltration of a Bordeaux mixture effluent in pilot-scale constructed wetland using *Arundo donax* L. coupled with potential Cu-ecocatalyst production', *Ecological Engineering*, 105, pp. 296–305.
82. Oustrière et al. (2019) 'Potential of roots of four macrophyte species for producing Cu-ecocatalysts (accepté)', *Ecological Engineering*.
83. Papura et al. (2012) 'Microsatellite and mitochondrial data provide evidence for a single major introduction for the nearctic leafhopper *Scaphoideus titanus* in Europe', *PLoS ONE*, 7(5), p. e36882.
84. Papura et al. (2016) 'Early detection and identification of larval parasitoids in *Lobesia botrana* using PCR-RFLP method', *Biological Control*, 103, pp. 95–100.
85. Papura et al. (2018) 'Chauves-souris prédatrices des tordeuses : c'est confirmé', *Phytoma*, 713, pp. 46–51.
86. Papura et al. (no date) 'en prep'.
87. Pauvert et al. (2019) 'Bioinformatics matters: The accuracy of plant and soil fungal community data is highly dependent on the metabarcoding pipeline', *Fungal Ecology*, 41, pp. 23–33.
88. Pithon et al. (2016) 'Are vineyards important habitats for birds at local or landscape scales?', *Basic and Applied Ecology*, 17(3), pp. 240–251.
89. Raineau (2018) *Défis environnementaux de la viticulture : une analyse comportementale des blocages et des leviers d'action*. Université de Bordeaux. Bordeaux.
90. Renaud et al. (2004) 'Influence of four soil maintenance practices on Collembola communities in a Mediterranean vineyard', *Pedobiologia*, 48(5–6), pp. 623–630.
91. Renouf et al. (2010) 'Soils, rootstocks and grapevine varieties in prestigious Bordeaux vineyards and their impact on yield and quality', *OENO One*, 44(3), pp. 127–134.
92. Ripoeche et al. (2010) 'Design of intercrop management plans to fulfil production and environmental objectives in vineyards', *European Journal of Agronomy*, 32(1), pp. 30–39.
93. Roby et al. (2014) 'The preservation of genetic resources of the vine requires cohabitation between institutional clonal selection, mass selection and private clonal selection', *BIO Web of Conferences*, 3, p. 01018.
94. Rochard (2015) 'Un nouveau support de communication : l'éco-oenotourisme, paysage, biodiversité, écoconception des caves', in *38th World Congress of Vine and Wine (Part 2)*. Les Ulis, France: EDP Sciences, p. 07009.
95. Rombaut et al. (2017) 'Invasive *Drosophila suzukii* facilitates *Drosophila melanogaster* infestation and sour rot outbreaks in the vineyards', *Royal Society Open Science*, 4(3), p. 170117.
96. Roujean & Girard (2009) 'La lutte biologique contre *Metcalfa pruinosa* Bilan 2009 en Aquitaine', *Vivre la vigne en bio*, 79–80, pp. 18–21.
97. Rouvelac (2014) *Le terroir, essai d'une réflexion géographique à travers la viticulture*. Géographie. Université de Limoges.
98. Rouzes et al. (2012) 'First occurrence of *drosophila suzukii* in the sauternes vineyards', *OENO One*, 46(2), pp. 145–147.
99. Rouzes (2012) 'The spotted wing drosophila (*Drosophila suzukii*) entered the drosophila communities in the French Sauternes Vineyard', *OENO One*, 46(2), pp. 145–147.
100. Rusch, Chaplin-Kramer, et al. (2016) 'Agricultural landscape simplification reduces natural pest control: A quantitative synthesis', *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 221, pp. 198–204.
101. Rusch, Binet et al. (2016) 'Local and landscape effects of agricultural intensification on Carabid community structure and weed seed predation in a perennial cropping system', *Landscape Ecology*, 31(9), pp. 2163–2174.
102. Rusch, Delbac & Thiéry (2017) 'Grape moth density in Bordeaux vineyards depends on local habitat management despite effects of landscape heterogeneity on their biological control', *Journal of Applied Ecology*, 54(6), pp. 1794–1803.
103. Salome et al. (2016) 'The soil quality concept as a framework to assess management practices in vulnerable agroecosystems: A case study in Mediterranean vineyards', *Ecological Indicators*, 61(2), pp. 456–465.
104. Schreck et al. (2012) 'Ecological and physiological effects of soil management practices on earthworm communities in French vineyards', *European Journal of Soil Biology*, 52, pp. 8–15.
105. Seabra Pinto et al. (2018) 'en prep'.
106. Sentenac (2011) *La faune auxiliaire des vignobles de France*. Éd. France agricole, Paris.
107. Sentenac & Rusch (2017) 'Effect of landscape context on bat communities in vineyards', in *Ecologie Chimique: nouvelles contributions à la protection des cultures contre les ravageurs et 11e Conférence Internationale sur les Ravageurs et Auxiliaires en Agriculture*. Association Française de Protection des Plantes (AFPP), pp. 371–381.
108. Serée, L. et al. (2019) 'Étude Des Populations De Chrysopes Dans Les Vignobles', *Hytoma*, 720, pp. 39–43.
109. Serée et al. (2019) 'Effects of landscape composition and configuration on lacewings and their potential biological control of leafhoppers (en prep)'.
110. Simoni et al. (2018) 'Impact of agricultural management on communities of oribatida, gamasina and collembola in Italian and French vineyards', *EQA-Environmental quality*, 31, pp. 27–32.
111. Simonovici (2019) *Enquête Pratiques phytosanitaires en viticulture en 2016 Nombre de traitements et indicateurs*. Agreste Les dossiers. Bureau des statistiques végétales et animales.
112. Sutter & Jeanneret (2012) *Quantification of ecological services for sustainable agriculture*. Lecture pour le projet QuESSA.
113. Thiéry (2005) *Les vers de la grappe, les connaître pour s'en protéger*. Bordeaux, France: Vigne et Vins International.
114. Thiéry et al. (2018) 'Biological protection against grape berry moths. A review', *Agronomy for Sustainable Development*, 38(2).
115. Thiéry & Monceau (2019) 'Où s'arrêtera l'invasion du frelon à pattes jaunes, *Vespa velutina*?', *Publication AFB*, (2010), pp. 1–4.
116. This, Lacombe & Thomas (2006) 'Historical origins and genetic diversity of wine grapes', *Trends in Genetics*, 22(9), pp. 511–519.
117. Ugaglia (2011) *Une approche évolutionniste de la réduction des pesticides en viticulture*. Bordeaux 4, pp. 353.
118. Van Halder et al. (2017) 'Trait-driven responses of grassland butterflies to habitat quality and matrix composition in mosaic agricultural landscapes', *Insect Conservation and Diversity*, 10(1), pp. 64–77.
119. Van Leeuwen & Roby (2014) 'Diversité génétique de la vigne. Promouvoir plu-

sieurs voies de sélection', *Union Girondine des Vins de Bordeaux*, (1063), pp. 38–44.

- 120. Van Leeuwen et al.** (2013) 'Impact of clonal variability in *Vitis vinifera* cabernet franc on grape composition, wine quality, leaf blade stilbene content, and downy mildew resistance', *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 61(1), pp. 19–24.
- 121. Van Leeuwen, Destrac-Irvine & Ollat** (2017) 'Modified grape composition under climate change conditions requires adaptations in the vineyard', *OENO One*, 51(2), pp. 147–154.
- 122. Versavaud et al.** (1995) 'Genetic diversity and geographical distribution of wild

Saccharomyces cerevisiae strains from the wine-producing area of Charentes, France', *Applied and environmental microbiology*, 61(10), pp. 3521–9.

- 123. Villemey et al.** (2015) 'Mosaic of grasslands and woodlands is more effective than habitat connectivity to conserve butterflies in French farmland', *Biological Conservation*, 191, pp. 206–215.
- 124. Wolkovich et al.** (2018) 'From Pinot to Xinomavro in the world's future wine-growing regions', *Nature Climate Change*, 8(1), pp. 29–37.

7

Références internationales

- 1. Agnelli et al.** (2014) 'Carbon and nitrogen in soil and vine roots in harrowed and grass-covered vineyards', *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 193, pp. 70–82.
- 2. Agreste France** (2018) *Mémento. Statistique Agricole*. Ministère de l'Agriculture et de l'Alimentation.
- 3. Alletto et al.** (2009) 'Tillage management effects on pesticide fate in soils', *Sustainable Agriculture*, 2, pp. 787–831.
- 4. Anderson & Aryal** (2016) *Which Winegrape Varieties are Grown Where? A global empirical picture*. University of Adelaide Press, Australia.
- 5. Andreottola et al.** (2007) 'Heavy metal removal from winery wastewater in the case of restrictive discharge regulation', *Water Science and Technology*, 56(2), pp. 111–120.
- 6. Arienzo, Christen & Quayle** (2009) 'Phytotoxicity testing of winery wastewater for constructed wetland treatment', *Journal of Hazardous Materials*, 169(1–3), pp. 94–99.
- 7. Arlettaz et al.** (2012) 'New vineyard cultivation practices create patchy ground vegetation, favouring Woodlarks', *Journal of Ornithology*, 153(1), pp. 229–238.
- 8. Arnaez et al.** (2007) 'Factors affecting runoff and erosion under simulated rainfall in Mediterranean vineyards', *Soil and Tillage Research*, 93(2), pp. 324–334.
- 9. Assandri et al.** (2016) 'Diversity in the monotony? Habitat traits and management practices shape avian communities in intensive vineyards', *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 223, pp. 250–260.
- 10. Assandri et al.** (2018) 'Beautiful agricultural landscapes promote cultural ecosystem services and biodiversity conservation', *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 256, pp. 200–210.
- 11. Attard et al.** (2010) 'Shifts between Nitrospira- and Nitrobacter-like nitrite oxidizers underlie the response of soil potential nitrite oxidation to changes in tillage practices', *Environmental Microbiology*, 12(2), pp. 315–326.
- 12. Attwood et al.** (2008) 'Do arthropod assemblages display globally consistent responses to intensified agricultural land use and management?', *Global Ecology and Biogeography*, 17(5), pp. 585–599.
- 13. Bagella et al.** (2014) 'Contrasting land uses in Mediterranean agro-silvo-pastoral systems generated patchy diversity patterns of vascular plants and below-ground microorganisms', *Comptes Rendus - Biologies*, 337(12), pp. 717–724.
- 14. Barber, Taylor & Deale** (2010) 'Wine Tourism, Environmental Concerns, and Purchase Intention', *Journal of Travel & Tourism Marketing*, 27(2), pp. 146–165.
- 15. Barra-Caracciolo et al.** (2010) 'The role of a groundwater bacterial community in the degradation of the herbicide terbuthylazine', *FEMS Microbiology Ecology*, 71(1), pp. 127–136.
- 16. Bateman et al.** (2013) 'Bringing ecosystem services into economic decision-making: Land use in the United Kingdom', *Science*, 341(6141), pp. 45–50.
- 17. Baumgartner, Steenwerth & Veilleux** (2008) 'Cover-Crop Systems Affect Weed Communities in a California Vineyard', *Weed Science*, 56(4), pp. 596–605.
- 18. Begum et al.** (2006) 'Using selective food plants to maximize biological control of vineyard pests', *Journal of Applied Ecology*, 43(3), pp. 547–554.
- 19. Bels-Bergouignan & Cazals** (2006) 'Les démarches environnementales volontaires au sein de la viticulture française: des conditions d'engagement différenciées', *Cahiers du GRES*, 11, p. 21.
- 20. Bellon et al.** (2013) 'Introducing a New Breed of Wine Yeast: Interspecific Hybridisation between a Commercial Saccharomyces cerevisiae Wine Yeast and Saccharomyces mikatae', *PLoS ONE*, 8(4), p. e62053.
- 21. Belmonte et al.** (2018) 'Effect of Long-Term Soil Management on the Mutual Interaction Among Soil Organic Matter, Microbial Activity and Aggregate Stability in a Vineyard', *Pedosphere*, 28(2), pp. 288–298.
- 22. Berndt, Wratten & Hassan** (2002) 'Effects of buckwheat flowers on leafroller (Lepidoptera: Tortricidae) parasitoids in a New Zealand vineyard', *Agricultural and Forest Entomology*, 4(1), pp. 39–45.
- 23. Biasi et al.** (2010) 'The role of Mediterranean fruit tree orchards and vineyards in maintaining the traditional agricultural landscape', *Acta Horticulturae*, 940, pp. 79–88.
- 24. Biasi & Brunori** (2015) 'The on-farm conservation of grapevine (*Vitis vinifera* L.) landraces assures the habitat diversity in the viticultural agro-ecosystem', *Vitis - Journal of Grapevine Research*, 54, pp. 265–269.
- 25. Le Bissonnais & Andrieux** (2006) 'Impact des modes d'entretien de la vigne sur le ruissellement, l'érosion et la structure des sols', *Conférence MondiaViti*, 124, pp. 191–196.
- 26. Blavet et al.** (2009) 'Effect of land use and management on the early stages of soil water erosion in French Mediterranean vineyards', *Soil and Tillage Research*, 106(1), pp. 124–136.
- 27. Bokulich et al.** (2014) 'PNAS Plus: From the Cover: Microbial biogeography of wine grapes is conditioned by cultivar, vintage, and climate', *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 111(1), pp. E139–E148.
- 28. Bokulich et al.** (2016) 'Associations among wine grape microbiome, metabolome, and fermentation behavior suggest microbial contribution to regional wine characteristics', *mBio*, 7(3).
- 29. Bostanian, Vincent & Isaacs** (2012) *Arthropod management in vineyards: Pests, approaches, and future directions*. Dordrecht: Springer Netherlands.
- 30. Brugarolas Mollá-Bauzá et al.** (2005) 'Determination of the surplus that consumers are willing to pay for an organic wine', *Spanish Journal of Agricultural Research*, 3(1), p. 43.
- 31. Bruggisser, Schmidt-Entling & Bacher** (2010) 'Effects of vineyard management on biodiversity at three trophic levels', *Biological Conservation*, 143(6), pp. 1521–1528.
- 32. Brunori, Farina & Biasi** (2016) 'Sustainable viticulture: The carbon-sink function of the vineyard agro-ecosystem', *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 223, pp. 10–21.
- 33. Buchholz et al.** (2017) 'Soil biota in vineyards are more influenced by plants and soil quality than by tillage intensity or the surrounding landscape', *Scientific Reports*, 7(1).
- 34. Calheiros, Pereira & Castro** (2018) 'Culturable bacteria associated to the rhizosphere and tissues of Iris pseudacorus plants growing in a treatment wetland for winery wastewater discharge', *Ecological Engineering*, 115, pp. 67–74.
- 35. Capece et al.** (2012) 'Diversity of Saccharomyces cerevisiae yeasts associated to spontaneously fermenting grapes from an Italian "heroic vine-growing area"', *Food Microbiology*, 31(2), pp. 159–166.
- 36. Caprio et al.** (2015) 'Organic versus conventional systems in viticulture: Comparative effects on spiders and carabids in vineyards and adjacent forests', *Agricultural Systems*, 136, pp. 61–69.
- 37. Cartier** (2004) 'Terroirs en nuances', *Strates*, 11(11), pp. 1–16.
- 38. Ceballos et al.** (2015) 'Accelerated modern human-induced species losses: Entering the sixth mass extinction', *Science Advances*, 1(5), p. e1400253.
- 39. Ceballos, Ehrlich & Dirzo** (2017) 'Biological annihilation via the ongoing sixth mass extinction signaled by vertebrate population losses and declines', *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 114(30), pp. E6089–E6096.
- 40. Celette, Findeling & Gary** (2009) 'Competition for nitrogen in an unfertilized intercropping system: The case of an association of grapevine and grass cover in a Mediterranean climate', *European Journal of Agronomy*, 30(1), pp. 41–51.
- 41. Cerdan et al.** (2010) 'Rates and spatial variations of soil erosion in Europe: A study based on erosion plot data', *Geomorphology*, 122(1–2), pp. 167–177.
- 42. Chatonnet** (1995) *Influence des procédés de tonnellerie et des conditions d'élevage sur la composition et la qualité des vins élevés en fûts de chêne*. Université de Bordeaux.
- 43. Chatonnet & Dubourdieu** (1998) 'Comparative study of the characteristics of American white oak (*Quercus alba*) and European oak (*Quercus petraea* and *Q. robur*) for production of barrels used in barrel aging of wines', *American Journal of Enology and Viticulture*, 49(1), pp. 79–85.
- 44. Cheng & Baumgartner** (2006) 'Effects of mycorrhizal roots and extraradical hyphae on 15N uptake from vineyard cover crop litter and the soil microbial community', *Soil Biology and Biochemistry*, 38(9), pp. 2665–2675.
- 45. Chevigny et al.** (2014) 'Lithology, landscape structure and management practice changes: Key factors patterning vineyard soil erosion at metre-scale spatial resolution', *Catena*, 121, pp. 354–364.
- 46. Clavijo, Calderón & Paneque** (2010) 'Diversity of Saccharomyces and non-Saccharomyces yeasts in three red grape varieties cultured in the Serranía de Ronda (Spain)

- vine-growing region', *International Journal of Food Microbiology*, 143(3), pp. 241–245.
47. **Cluzeau et al.** (2012) 'Integration of biodiversity in soil quality monitoring: Baselines for microbial and soil fauna parameters for different land-use types', *European Journal of Soil Biology*, 49, pp. 63–72.
48. **Cohen et al.** (2015) 'What is the plant biodiversity in a cultural landscape? A comparative, multi-scale and interdisciplinary study in olive groves and vineyards (Mediterranean France)', *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 212, pp. 175–186.
49. **Combris et al.** (2009) 'Food choices: What do we learn from combining sensory and economic experiments?', *Food Quality and Preference*, 20(8), pp. 550–557.
50. **Daane et al.** (2007) 'Impacts of Argentine ants on mealybugs and their natural enemies in California's coastal vineyards', *Ecological Entomology*, 32(6), pp. 583–596.
51. **Dabney, Delgado & Reeves** (2001) 'Using winter cover crops to improve soil and water quality', *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 32(7–8), pp. 1221–1250.
52. **Danne et al.** (2010) 'Effects of Native Grass Cover Crops on Beneficial and Pest Invertebrates in Australian Vineyards', *Environmental Entomology*, 39(3), pp. 970–978.
53. **Davis** (2003) 'Biotic Globalization: Does Competition from Introduced Species Threaten Biodiversity?', *BioScience*, 53(5), p. 481.
54. **Dedieu et al.** (2017) *Les exploitations en agriculture biologique: quelles performances économiques? Les acteurs économiques et l'environnement*. Insee Références.
55. **Delaplace, Gatelier & Pichery** (2012) *Patrimonialisation de la vitiviniculture et développement du tourisme dans les régions viticoles - Une comparaison Bourgogne/ Champagne*. Industrie, villes et régions dans une économie mondialisée. LEG, Laboratoire d'Économie et de Gestion, CNRS, Université de Bourgogne.
56. **Delmas & Grant** (2008) 'Eco-Labeling Strategies : The Eco-Premium Puzzle in the Wine Industry', *ISBER Publications*, 12(49), p. 34.
57. **Downie** (2002) 'Locating the sources of an invasive pest, grape phylloxera, using a mitochondrial DNA gene genealogy', *Molecular Ecology*, 11(10), pp. 2013–2026.
58. **Drumonde-Neves et al.** (2017) 'Association between grape yeast communities and the vineyard ecosystems', *PLoS ONE*, 12(1), p. e0169883.
59. **Duchene** (2016) 'How can grapevine genetics contribute to the adaptation to climate change?', *OENO One*, 50(3).
60. **Faber et al.** (2017) 'Earthworms are little affected by reduced soil tillage methods in vineyards', *Plant, Soil and Environment*, 63(No. 6), pp. 257–263.
61. **Fairbanks, Hughes & Turpie** (2004) 'Potential impact of viticulture expansion on habitat types in the Cape Floristic Region, South Africa', *Biodiversity and Conservation*, 13(6), pp. 1075–1100.
62. **Fuillat et al.** (1997) 'Variation in the concentration of ellagitannins and cis- and trans- β -methyl- γ -octalactone extracted from oak wood (*Quercus robur* L., *Quercus petraea* Liebl.) under model wine cask conditions', *American Journal of Enology and Viticulture*, 48(4), pp. 509–515.
63. **Fierro et al.** (2017) 'Effects of local land-use on riparian vegetation, water quality, and the functional organization of macroinvertebrate assemblages', *Science of The Total Environment*, 609, pp. 724–734.
64. **Finke** (2013) *Linking landscapes: Exploring the relationships between World Heritage cultural landscapes and IUCN protected areas*. IUCN World Heritage Study No 11.
65. **Forbes et al.** (2009) 'Consumer attitudes regarding environmentally sustainable wine: an exploratory study of the New Zealand marketplace', *Journal of Cleaner Production*, 17(13), pp. 1195–1199.
66. **Fritts & Rodda** (1998) 'The role of introduced species in the degradation of island ecosystems: a case history of Guam', *Annual Review of Ecology and Systematics*, 29(1), pp. 113–140.
67. **Gaigher & Samways** (2014) 'Landscape mosaic attributes for maintaining groundliving spider diversity in a biodiversity hotspot', *Insect Conservation and Diversity*, 7(5), pp. 470–479.
68. **Galet & Grisard** (2015) *Dictionnaire encyclopédique des cépages et de leurs synonymes*. Médial.
69. **Galliea et al.** (2015) 'Evolución y desfragmentación del paisaje del viñedo en La Rioja Alta (España) en el periodo 1956-2000', *Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles*, 69(69).
70. **García-Díaz et al.** (2017) 'Nitrogen losses in vineyards under different types of soil groundcover. A field runoff simulator approach in central Spain', *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 236, pp. 256–267.
71. **García-Rios, López-Malo & Guillamón** (2014) 'Global phenotypic and genomic comparison of two *Saccharomyces cerevisiae* wine strains reveals a novel role of the sulfur assimilation pathway in adaptation at low temperature fermentations', *BMC Genomics*, 15(1), p. 1059.
72. **García-Ruiz** (2010) 'The effects of land uses on soil erosion in Spain: A review', *Catena*, 81(1), pp. 1–11.
73. **Garcia et al.** (2018) 'Management of service crops for the provision of ecosystem services in vineyards: A review', *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 251, pp. 158–170.
74. **Garde-Cerdán & Ancin-Azpilicueta** (2006) 'Review of quality factors on wine ageing in oak barrels', *Trends in Food Science and Technology*, 17(8), pp. 438–447.
75. **Garland et al.** (2011) 'Direct N₂O emissions following transition from conventional till to no-till in a cover cropped Mediterranean vineyard (*Vitis vinifera*)', *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 144(1), pp. 423–428.
76. **Gauthier** (2000) 'Agro-ecological strategies in North Lampung, Indonesia: social constraints to biological management of soil fertility', *NJAS - Wageningen Journal of Life Sciences*, 48(1), pp. 91–104.
77. **Giese et al.** (2014) 'Complete vineyard floor cover crops favorably limit grapevine vegetative growth', *Scientia Horticulturae*, 170, pp. 256–266.
78. **Giese Jr.** (2014) *The effect of complete vineyard floor ground covers and root pruning on Cabernet Sauvignon*. Virginia Tech.
79. **Gilbert, van der Lelie & Zarraindia** (2014) 'Microbial terroir for wine grapes', *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 111(1), pp. 5–6.
80. **Gilligan et al.** (2011) 'Discovery of *Lobesia botrana* (Denis & Schiffermüller) in California: An Invasive Species New to North America (Lepidoptera: Tortricidae)', *Proceedings of the Entomological Society of Washington*, 113(1), pp. 14–30.
81. **Gillot et al.** (2018) 'Différenciation et compétitivité : quelles performances pour les exploitations viticoles françaises sous signe de qualité?', in *12ème Journées de recherches en Sciences sociales*. Nantes.
82. **Goméz-del-Campo, Ruiz & Lissarrague** (2002) 'Effect of Water Stress on Leaf Area Development, Photosynthesis, and Productivity in Chardonnay and Airén Grapevines', *American Journal of Enology and Viticulture*, 53(2), pp. 138–143.
83. **Gontier et al.** (2011) 'Total grass cover in vineyards: an innovating and promising soil management alternative to reduce the use of herbicides', in *Conference: 17th International Symposium GIESCO 2011, At Asti-Alba, Italy*.
84. **Greenop et al.** (2018) 'Functional diversity positively affects prey suppression by invertebrate predators: a meta-analysis', *Ecology*, 99(8), pp. 1771–1782.
85. **Guchu et al.** (2006) 'Influence of the species and geographical location on volatile composition of spanish oak wood (*Quercus petraea* Liebl. and *Quercus robur* L.)', *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 54(8), pp. 3062–3066.
86. **Gullino & Larcher** (2013) 'Integrity in UNESCO World Heritage Sites. A comparative study for rural landscapes', *Journal of Cultural Heritage*, 14(5), pp. 389–395.
87. **Gurevitch & Padilla** (2004) 'Are invasive species a major cause of extinctions?', *Trends in Ecology and Evolution*, 19(9), pp. 470–474.
88. **Guyomard et al.** (2013) *Analyse Des Voies De Progrès En Agriculture Conventiennelle Par Orientation Productive*. INRA. *Synthèse du Volume 4 de l'étude « Vers des agricultures à hautes performances »*.
89. **Hoble et al.** (2018) 'The Perception of Viticultural Landscapes as a Method of Promoting and Supporting Local Economic Activities Through Multifunctional Landscapes', *"Agriculture for Life, Life for Agriculture" Conference Proceedings*, 1(1), pp. 387–392.
90. **Hogg & Daane** (2011) 'Ecosystem services in the face of invasion: The persistence of native and nonnative spiders in an agricultural landscape', *Ecological Applications*, 21(2), pp. 565–576.
91. **Hogg, Gillespie & Daane** (2010) 'Regional patterns in the invasion success of Cheiracanthium spiders (Miturgidae) in vineyard ecosystems', *Biological Invasions*, 12(8), pp. 2499–2508.
92. **Hough & Nell** (2003) 'The Financial Aspect of Growing Organic Wine Grapes in the Vredendal District', in *AgEcon Search Conference Proceedings*, p. 11.
93. **Huglin & Schneider** (1998) *Biologie et écologie de la vigne*. Tec & doc-Lavoisier.
94. **Ingels et al.** (2005) 'Effects of Cover Crops on Grapevines, Yield, Juice Composition, Soil Microbial Ecology, and Gopher Activity', *American Journal of Enology and Viticulture*, 52(4), pp. 292–303.
95. **Isaia, Bona & Badino** (2006) 'Influence of Landscape Diversity and Agricultural Practices on Spider Assemblage in Italian Vineyards of Langa Astigiana (Northwest Italy)', *Environmental Entomology*. Namia, 35(2), pp. 297–307.
96. **ITAB** (2015) *Enquête Nationale sur les pratiques et les besoins œnologique en Bio millésime 2015*.
97. **Jedlicka, Greenberg & Letoumeau** (2011) 'Avian conservation practices strengthen ecosystem services in California vineyards', in *Environmentally Sustainable Viticulture: Practices and Practicality*. Academic Press, pp. 359–381.
98. **Johnson et al.** (2017) 'Biodiversity losses and conservation responses in the Anthropocene', *Science*, 356(6335), pp. 270–275.
99. **Kehinde & Samways** (2014a) 'Insect-flower interactions: Network structure in organic versus conventional vineyards', *Animal Conservation*, 17(5), pp. 401–409.
100. **Kehinde & Samways** (2014b) 'Management defines species turnover of bees and flowering plants in vineyards', *Agricultural and Forest Entomology*, 16(1), pp. 95–101.
101. **Kehinde & Samways** (2012) 'Endemic pollinator response to organic vs. conventional farming and landscape context in the Cape Floristic Region biodiversity hotspot', *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 146(1), pp. 162–167.
102. **Kelly et al.** (2016) 'Habitat diversity promotes bat activity in a vineyard landscape', *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 223, pp. 175–181.
103. **Kirby et al.** (2014) *Trends and Economics of Washington State Organic Blueberry Production*. Washington State University Extension Fact Sheet.
104. **Komárek et al.** (2010) 'Contamination of vineyard soils with fungicides: A review of environmental and toxicological aspects', *Environment International*, 36(1), pp. 138–151.
105. **Košuljić, Michalko & Hula** (2014) 'Recent artificial vineyard terraces as a refuge for rare and endangered spiders in a modern agricultural landscape', *Ecological Engineering*, 68, pp. 133–142.

106. Kratschmer et al. (2018) 'Tillage intensity or landscape features: What matters most for wild bee diversity in vineyards?', *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 266, pp. 142–152.
107. Kroodsma & Field (2006) 'Carbon sequestration in California agriculture, 1980–2000', *Ecological Applications*, 16(5), pp. 1975–1985.
108. Lacombe (2012) *Contribution à l'étude de l'histoire évolutive de la vigne cultivée (Vitis vinifera L.) par l'analyse de la diversité génétique neutre et de gènes d'intérêt*. Montpellier SupAgro.
109. Lal (1991) 'Soil Conservation and Biodiversity', in Hawksworth, D. L. (ed.) *Biodiversity of Microorganisms and Invertebrates: Its Role in Sustainable Agriculture*. CAB Intern. Wallingford, UK, pp. 89–104.
110. Lavelle et al. (2006) 'Soil invertebrates and ecosystem services', *European Journal of Soil Biology*, 42, pp. S3–S15.
111. Letoumeau et al. (2009) 'Effects of Natural Enemy Biodiversity on the Suppression of Arthropod Herbivores in Terrestrial Ecosystems', *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, 40(1), pp. 573–592.
112. Lieskovský & Kenderessy (2014) 'Modelling the effect of vegetation cover and different tillage practices on soil erosion in vineyards: a case study in Vráble (Slovakia) using WATEM/SEDEM', *Land Degradation & Development*, 25(3), pp. 288–296.
113. Loureiro (2003) 'Rethinking new wines: Implications of local and environmentally friendly labels', *Food Policy*, 28(5–6), pp. 547–560.
114. Lourenço-Gomes, Pinto & Rebelo (2015) 'Wine and cultural heritage: the experience of the Alto Douro Wine Region', *Wine Economics and Policy*, 4(2), pp. 78–87.
115. Maby (2002) 'Paysage et imaginaire: l'exploitation de nouvelles valeurs ajoutées dans les terroirs viticoles / Landscape and Imagination: the Exploitation of New Added Values in the Wine-Growing Countries', *Annales de Géographie*, 111(624), pp. 198–211.
116. Mackie et al. (2014) 'Cover crops influence soil microorganisms and phytoextraction of copper from a moderately contaminated vineyard', *Science of the Total Environment*, 500–501, pp. 34–43.
117. Mackie, Müller & Kandeler (2012) 'Remediation of copper in vineyards - A mini review', *Environmental Pollution*, 167, pp. 16–26.
118. MacKinnon, Verkuil & Murray (2012) *IUCN situation analysis on East and Southeast Asian intertidal habitats, with particular reference to the Yellow Sea (including the Bohai Sea)*. Occasional Paper of the IUCN Species Survival Commission No. 47.
119. Marques et al. (2010) 'Soil conservation beneath grass cover in hillside vineyards under mediterranean climatic conditions', *Land Degradation and Development*, 21(2), pp. 122–131.
120. Martínez-Casasnovas & Concepción Ramos (2009) 'Soil alteration due to erosion, ploughing and leveling of vineyards in north east Spain', *Soil Use and Management*, 25(2), pp. 183–192.
121. Mas et al. (2016) 'Taking Advantage of Natural Biodiversity for Wine Making: The WILDWINE Project', *Agriculture and Agricultural Science Procedia*, 8, pp. 4–9.
122. Mercado et al. (2011) 'Biodiversity of Saccharomyces cerevisiae populations in Malbec vineyards from the "Zona Alta del Rio Mendoza" region in Argentina', *International Journal of Food Microbiology*, 151(3), pp. 319–326.
123. Mercenaro et al. (2014) 'Sustainable management of an intercropped Mediterranean vineyard', *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 192, pp. 95–104.
124. Mezzasalma et al. (2017) 'Grape microbiome as a reliable and persistent signature of field origin and environmental conditions in Cannonau wine production', *PLoS ONE*, 12(9), p. e0184615.
125. Mitchell, Rössler & Tricaud (2009) *World Heritage Cultural Landscapes: A Handbook for Conservation and Management*, *World Heritage Papers* 26. World Heritage Papers 26.
126. Moles (1992) 'Vers une psycho-géographie', in Bailly, A., Ferras, R., and Pumain, D. (eds) *Encyclopédie de géographie*. Economica.
127. Monteiro & Lopes (2007) 'Influence of cover crop on water use and performance of vineyard in Mediterranean Portugal', *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 121(4), pp. 336–342.
128. Mosse et al. (2011) 'Review: Winery wastewater quality and treatment options in Australia', *Australian Journal of Grape and Wine Research*, 17(2), pp. 111–122.
129. Mureret et al. (2018) 'Deployment of organic farming at a landscape scale maintains low pest infestation and high crop productivity levels in vineyards', *Journal of Applied Ecology*, 55(3), pp. 1516–1525.
130. Muscas et al. (2017) 'Effects of vineyard floor cover crops on grapevine vigor, yield, and fruit quality, and the development of the vine mealybug under a Mediterranean climate', *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 237, pp. 203–212.
131. Nascimbene et al. (2016) 'Do vineyards in contrasting landscapes contribute to conserve plant species of dry calcareous grasslands?', *Science of the Total Environment*, 545–546, pp. 244–249.
132. Nascimbene, Marini & Paoletti (2012) 'Organic farming benefits local plant diversity in vineyard farms located in intensive agricultural landscapes', *Environmental Management*, 49(5), pp. 1054–1060.
133. Nash, Hoffmann & Thomson (2010) 'Identifying signature of chemical applications on indigenous and invasive nontarget arthropod communities in vineyards', *Ecological Applications*, 20(6), pp. 1693–1703.
134. Novara et al. (2013) 'Managing soil nitrate with cover crops and buffer strips in Sicilian vineyards', *Solid Earth*, 4(2), pp. 255–262.
135. Novara et al. (2019) 'Real cover crops contribution to soil organic carbon sequestration in sloping vineyard', *Science of the Total Environment*, 652, pp. 300–306.
136. Ostroumov (2002) 'Polyfunctional role of biodiversity in processes leading to water purification: Current conceptualizations and concluding remarks', *Hydrobiologia*, 469, pp. 203–204.
137. Otoguro & Suzuki (2018) 'Status and future of disease protection and grape berry quality alteration by micro-organisms in viticulture', *Letters in Applied Microbiology*, 67(2), pp. 106–112.
138. Padilla et al. (2016) 'Yeast biodiversity from DOQ prior to uninoculated fermentations', *Frontiers in Microbiology*, 7, p. 930.
139. Pagliarini, Laureati & Gaeta (2013) 'Sensory descriptors, hedonic perception and consumer's attitudes to Sangiovese red wine deriving from organically and conventionally grown grapes', *Frontiers in Psychology*, 4.
140. Paoletti et al. (1998) 'Earthworms as useful bioindicators of agroecosystem sustainability in orchards and vineyards with different inputs', *Applied Soil Ecology*, 10(1–2), pp. 137–150.
141. Parker et al. (2013) 'Classification of varieties for their timing of flowering and veraison using a modelling approach: A case study for the grapevine species *Vitis vinifera* L.', *Agricultural and Forest Meteorology*, 180, pp. 249–264.
142. Peregrina et al. (2012) 'Cover crops and tillage influence soil organic matter and nitrogen availability in a semi-arid vineyard', *Archives of Agronomy and Soil Science*, 58(SUPPL.), pp. S595–S5102.
143. Pérez-Álvarez, García-Escudero & Peregrina (2015) 'Soil nutrient availability under Cover Crops: Effects on vines, must, and wine in a Tempranillo Vineyard', *American Journal of Enology and Viticulture*, 66(3), pp. 311–320.
144. Petrucci et al. (2017) 'Microbial Resources and Ecological Significance: Opportunities and Benefits', *Frontiers in Microbiology*, 8, p. 995.
145. Peverieri et al. (2009) 'Effects of variety and management practices on mite species diversity in Italian vineyards', *Bulletin of Insectology*, 62(1), pp. 53–60.
146. Pfeiffer, Leskey & Burrack (2012) 'Threatening the Harvest: The Threat from Three Invasive Insects in Late Season Vineyards', in *Arthropod Management in Vineyards*. Dordrecht: Springer Netherlands, pp. 449–474.
147. Pithon et al. (2016) 'Are vineyards important habitats for birds at local or landscape scales?', *Basic and Applied Ecology*, 17(3), pp. 240–251.
148. Poeplau & Don (2015) 'Carbon sequestration in agricultural soils via cultivation of cover crops - A meta-analysis', *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 200(1), pp. 33–41.
149. Pomarici & Vecchio (2014) 'Millennial generation attitudes to sustainable wine: An exploratory study on Italian consumers', *Journal of Cleaner Production*, 66, pp. 537–545.
150. Pou et al. (2011) 'Cover cropping in *Vitis vinifera* L. cv. Manto Negro vineyards under Mediterranean conditions: Effects on plant vigour, yield and grape quality', *OENO One*, 45(4), pp. 223–234.
151. Prévost et al. (2014) 'Le terroir, un concept pour l'action dans le développement des territoires', *Vertigo*, 14(1).
152. Prida et al. (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*, 63(4), pp. 415–424.
153. Prida et al. (2007) 'Variation in wood volatile compounds in a mixed oak stand: strong species and spatial differentiation in whiskey-lactone content', *Annals of Forest Science*, 64(3), pp. 313–320.
154. Privitera (2010) *Heritage and wine as tourist attractions in rural areas*, 116th European Association of Agricultural Economists (EAAE) Seminar. European Association of Agricultural Economists.
155. Puig-Montserrat et al. (2017) 'Effects of organic and conventional crop management on vineyard biodiversity', *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 243, pp. 19–26.
156. Quijerez et al. (2008) 'Soil degradation caused by a high-intensity rainfall event: Implications for medium-term soil sustainability in Burgundian vineyards', *Catena*, 73(1), pp. 89–97.
157. Rabolin et al. (2017) 'La richesse de la flore comme levier pour maintenir la biodiversité dans le vignoble?', *BIO Web of Conferences*, 9, p. 01006.
158. Rahman et al. (2009) 'Impact of floor vegetation on the abundance of nematode trophic groups in vineyards', *Applied Soil Ecology*, 42(2), pp. 96–106.
159. Ripoche et al. (2010) 'Design of intercrop management plans to fulfil production and environmental objectives in vineyards', *European Journal of Agronomy*, 32(1), pp. 30–39.
160. Rochard, Porte & Guenser (2009) 'Biodiversité en viticulture: Concept et application; premiers résultats du projet européen BioDivine', in *37th OIV Congress, Argentina 2014*.
161. Rodrigo Comino et al. (2016) 'Soil erosion in sloping vineyards assessed by using botanical indicators and sediment collectors in the Ruwer-Mosel valley', *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 233, pp. 158–170.
162. Rodríguez-San Pedro et al. (2019) 'Responses of aerial insectivorous bats to landscape composition and heterogeneity in organic vineyards', *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 277, pp. 74–82.
163. Rombaut et al. (2017) 'Invasive *Drosophila suzukii* facilitates *Drosophila melanogaster* infestation and sour rot outbreaks in the vineyards', *Royal Society Open Science*, 4(3), p. 170117.
164. Rossouw & Bauer (2016) 'Exploring the phenotypic space of non-Saccharomyces wine yeast biodiversity', *Food Microbiology*, 55, pp. 32–46.

165. Ruiz-Colmenero et al. (2013) 'Vegetation cover reduces erosion and enhances soil organic carbon in a vineyard in the central Spain', *Catena*, 104, pp. 153–160.
166. Rusch et al. (2015) 'Organic farming and host density affect parasitism rates of tortricid moths in vineyards', *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 214, pp. 46–53.
167. Rusch et al. (2016) 'Agricultural landscape simplification reduces natural pest control: A quantitative synthesis', *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 221, pp. 198–204.
168. Salome et al. (2014) 'Relevance of use-invariant soil properties to assess soil quality of vulnerable ecosystems: The case of Mediterranean vineyards', *Ecological Indicators*, 43, pp. 83–93.
169. Salome et al. (2016) 'The soil quality concept as a framework to assess management practices in vulnerable agroecosystems: A case study in Mediterranean vineyards', *Ecological Indicators*, 61(2), pp. 456–465.
170. Sanguankee & León (2011) 'Weed management practices determine plant and arthropod diversity and seed predation in vineyards', *Weed Research*, 51(4), pp. 404–412.
171. Scandellari et al. (2016) 'A survey of carbon sequestration potential of orchards and vineyards in Italy', *European Journal of Horticultural Science*, 81(2), pp. 106–114.
172. Schäufele & Hamm (2017) 'Consumers' perceptions, preferences and willingness-to-pay for wine with sustainability characteristics: A review', *Journal of Cleaner Production*, 147, pp. 379–394.
173. Schäufele & Hamm (2018) 'Organic wine purchase behaviour in Germany: Exploring the attitude-behaviour-gap with data from a household panel', *Food Quality and Preference*, 63, pp. 1–11.
174. Schmit, Rickard & Taber (2013) 'Consumer valuation of environmentally friendly production practices in wines, considering asymmetric information and sensory effects', *Journal of Agricultural Economics*, 64(2), pp. 483–504.
175. Schmitt et al. (2008) 'The influence of changes in viticulture management on the butterfly (Lepidoptera) diversity in a wine growing region of southwestern Germany', *European Journal of Entomology*, 105(2), pp. 249–255.
176. Schreck et al. (2012) 'Ecological and physiological effects of soil management practices on earthworm communities in French vineyards', *European Journal of Soil Biology*, 52, pp. 8–15.
177. Schulz et al. (2011) 'Factors influencing vegetation cover change in Mediterranean Central Chile (1975-2008)', *Applied Vegetation Science*, 14(4), pp. 571–582.
178. Sellers (2016) 'Would you Pay a Price Premium for a Sustainable Wine? The Voice of the Spanish Consumer', *Agriculture and Agricultural Science Procedia*, 8, pp. 10–16.
179. Sentenac (2011) *La faune auxiliaire des vignobles de France*. Ed. France agricole, Paris.
180. Sierro & Arlettaz (2003) 'L'avifaune du vignoble en Valais central: évaluation de la diversité à l'aide de transects', *Nos Oiseaux*, 50, pp. 89–100.
181. Singleton (1974) 'Some Aspects of the Wooden Container as a Factor in Wine Maturation', *Chemistry of Winemaking*, pp. 254–277.
182. Steel et al. (2017) 'Patterns of bird diversity and habitat use in mixed vineyard-matorral landscapes of Central Chile', *Ecological Indicators*, 73, pp. 345–357.
183. Steensels et al. (2014) 'Improving industrial yeast strains: Exploiting natural and artificial diversity', *FEMS Microbiology Reviews*, 38(5), pp. 947–995.
184. Steenwerth & Belina (2008a) 'Cover crops and cultivation: Impacts on soil N dynamics and microbiological function in a Mediterranean vineyard agroecosystem', *Applied Soil Ecology*, 40(2), pp. 370–380.
185. Steenwerth & Belina (2008b) 'Cover crops enhance soil organic matter, carbon dynamics and microbiological function in a vineyard agroecosystem', *Applied Soil Ecology*, 40(2), pp. 359–369.
186. Steenwerth & Belina (2010) 'Vineyard weed management practices influence nitrate leaching and nitrous oxide emissions', *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 138(1–2), pp. 127–131.
187. Stehle et al. (2011) 'Pesticide Risk Mitigation by Vegetated Treatment Systems: A Meta-Analysis', *Journal of Environment Quality*, 40(4), p. 1068.
188. Sweet & Schreiner (2010) 'Alleyway Cover Crops Have Little Influence on "Pinot noir" Performance', *American Journal of Enology and Viticulture*, 58(3).
189. Tanadini et al. (2012) 'Maintenance of biodiversity in vineyard-dominated landscapes: A case study on larval salamanders', *Animal Conservation*, 15(2), pp. 136–141.
190. Tempère et al. (2018) 'The complexity of wine: clarifying the role of microorganisms', *Applied Microbiology and Biotechnology*, 102(9), pp. 3995–4007.
191. Tesic et al. (2007) 'Influence of vineyard floor management practices on grapevine vegetative growth, yield, and fruit composition', *American Journal of Enology and Viticulture*, 58(1), pp. 1–11.
192. Thiery et al. (2018) 'Biological protection against grape berry moths. A review', *Agronomy for Sustainable Development*, 38(2).
193. This, Lacombe & Thomas (2006) 'Historical origins and genetic diversity of wine grapes', *Trends in Genetics*, 22(9), pp. 511–519.
194. Thomas et al. (2004) 'Comparative Losses of British Butterflies, Birds, and Plants and the Global Extinction Crisis', *Science*, 303(5665), pp. 1879–1881.
195. Thomson & Hoffmann (2007) 'Effects of ground cover (straw and compost) on the abundance of natural enemies and soil macro invertebrates in vineyards', *Agricultural and Forest Entomology*, 9(3), pp. 173–179.
196. Thomson & Hoffmann (2010) 'Natural enemy responses and pest control: Importance of local vegetation', *Biological Control*, 52(2), pp. 160–166.
197. Thomson & Hoffmann (2013) 'Spatial scale of benefits from adjacent woody vegetation on natural enemies within vineyards', *Biological Control*, 64(1), pp. 57–65.
198. Thorup-Kristensen, Magid & Jensen (2003) 'Catch crops and green manures as biological tools in nitrogen management in temperate zones', *Advances in Agronomy*, 79, pp. 227–302.
199. Tominaga et al. (2000) 'A Powerful Aromatic Volatile Thiol, 2-Furanmethanethiol, Exhibiting Roast Coffee Aroma in Wines Made from Several *Vitis vinifera* Grape Varieties', *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 48(5), pp. 1799–1802.
200. Tribot, Deter & Mouquet (2018) 'Integrating the aesthetic value of landscapes and biological diversity', *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 285(1886), p. 20180971.
201. Tristezza et al. (2013) 'Biodiversity and safety aspects of yeast strains characterized from vineyards and spontaneous fermentations in the Apulia Region, Italy', *Food Microbiology*, 36(2), pp. 335–342.
202. Trivellone et al. (2014) 'Indicators for taxonomic and functional aspects of biodiversity in the vineyard agroecosystem of Southern Switzerland', *Biological Conservation*, 170, pp. 103–109.
203. Tronchoni et al. (2017) 'Early transcriptional response to biotic stress in mixed starter fermentations involving *Saccharomyces cerevisiae* and *Torulaspota delbrueckii*', *International Journal of Food Microbiology*, 241, pp. 60–68.
204. Tsiafouli et al. (2015) 'Intensive agriculture reduces soil biodiversity across Europe', *Global Change Biology*, 21(2), pp. 973–985.
205. Tuck et al. (2014) 'Land-use intensity and the effects of organic farming on biodiversity: A hierarchical meta-analysis', *Journal of Applied Ecology*, 51(3), pp. 746–755.
206. Vecchio (2013) 'Determinants of willingness-to-pay for sustainable wine: Evidence from experimental auctions', *Wine Economics and Policy*, 2(2), pp. 85–92.
207. Vicente-Vicente et al. (2016) 'Soil carbon sequestration rates under Mediterranean woody crops using recommended management practices: A meta-analysis', *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 235, pp. 204–214.
208. Viers et al. (2013) 'Vinecology: pairing wine with nature', *Conservation Letters*, 6(5), pp. 287–299.
209. Vignentini et al. (2015) 'The vintage effect overcomes the terroir effect: a three year survey on the wine yeast biodiversity in Franciacorta and Oltrepò Pavese, two northern Italian vine-growing areas', *Microbiology*, 161(2), pp. 362–373.
210. Vitousek (1997) 'Human Domination of Earth's Ecosystems', *Science*, 277(5325), pp. 494–499.
211. Vörösmarty et al. (2010) 'Global threats to human water security and river biodiversity', *Nature*, 467(7315), pp. 555–561.
212. Vrsic (2011) 'Soil erosion and earthworm population responses to soil management systems in steep-slope vineyards', *Plant, Soil and Environment*, 57(6), pp. 258–263.
213. Wheeler, Black & Pickering (2005) 'Vineyard floor management improves wine quality in highly vigorous *Vitis vinifera* 'Cabernet Sauvignon' in New Zealand', *New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science*, 33(3), pp. 317–328.
214. Wheeler & Crisp (2010) 'Evaluating a Range of the Benefits and Costs of Organic and Conventional Production in a Clare Valley Vineyard in South Australia', in *AAARES conference workshop on The World's Wine Markets by 2030: Terroir, Climate Change, R&D and Globalization*. Adelaide Convention Centre, South Australia, pp. 7–9.
215. Whitener et al. (2015) 'Early fermentation volatile metabolite profile of non-Saccharomyces yeasts in red and white grape must: A targeted approach', *LWT - Food Science and Technology*, 64(1), pp. 412–422.
216. Wilson et al. (2017) 'Landscape diversity and crop vigor outweigh influence of local diversification on biological control of a vineyard pest', *Ecosphere*, 8(4), p. e01736.
217. Winkler & Nicholas (2016) 'More than wine: Cultural ecosystem services in vineyard landscapes in England and California', *Ecological Economics*, 124, pp. 86–98.
218. Winkler, Viers & Nicholas (2017) 'Assessing Ecosystem Services and Multifunctionality for Vineyard Systems', *Frontiers in Environmental Science*, 5.
219. Winter et al. (2018) 'Effects of vegetation management intensity on biodiversity and ecosystem services in vineyards: A meta-analysis', *Journal of Applied Ecology*, pp. 2484–2495.
220. Wolff et al. (2018) 'Minimum tillage of a cover crop lowers net GWP and sequesters soil carbon in a California vineyard', *Soil & Tillage Research*, 175, pp. 244–254.
221. Wolkovich et al. (2018) 'From Pinot to Xinomavro in the world's future wine-growing regions', *Nature Climate Change*, 8(1), pp. 29–37.
222. Zarronaindia et al. (2015) 'The Soil Microbiome Influences Grapevine-Associated Microbiota', *mBio*, 6(2).