

Pesticides en viticulture

Usages, impacts
et transition agroécologique



Pesticides en viticulture

Usages, impacts et transition agroécologique

Coordination de Francis Macary

Préface de Stéphane Le Foll

Collection *Savoir-faire*

Les agricultures urbaines en France. Comprendre les dynamiques, accompagner les acteurs

C. Aubry, G. Giacchè, F. Maxime, C. Toussaint Soulard, coord., 2022, 224 p.

Life Cycle Assessment of agri-food systems.

An operational guide dedicated to developing and emerging economies

C. Basset-Mens, A. Avadí, C. Bessou, I. Acosta-Alba, Y. Biard, S. Payen, coord., 2022, 210 p.

Spillways on River Levees

G. Degoutte, R. Tourment, coord., 2021, 176 p.

Quelles alternatives en expérimentation animale ? Pratiques et éthique

F. Marano, P. Hubert, L. Geoffroy, H. Juin, coord., 2020, 186 p.

Génétique des animaux d'élevage. Diversité et adaptation dans un monde changeant

E. Verrier, D. Milan, C. Roger-Gaillard, coord., 2020, 288 p.

Qualité du café. L'impact du traitement post-récolte

M. Barel, 2020, 112 p.

Biocontrôle. Éléments pour une protection agroécologique des cultures

X. Fauvergue, A. Rusch, M. Barret, M. Bardin, E. Jacquin-Joly, T. Malausa, C. Lannou, coord., 2020, 376 p.

Protection agroécologique des cultures

J.-P. Deguine, C. Gloanec, P. Laurent, A. Ratnadass, J.-N. Aubertot, coord., 2016, 288 p.

Ouvrage sur la viticulture aux éditions Quæ

De l'œnologie à la viticulture

A. Carbonneau, J.-L. Escudier, P. Manguin (préface)

2^e édition, 2022, 304 p.

Pour citer cet ouvrage

Macary F., coord., 2023. *Pesticides en viticulture. Usages, impacts et transition agroécologique*, éditions Quæ, Versailles, 232 p., DOI: 10.35690/978-2-7592-3601-5

Cet ouvrage est publié sous licence CC-by-NC-ND 4.0.

Il a bénéficié du soutien financier de INRAE.

Photos de couverture : gauche et droite : © Francis Macary, et au centre : © Valentin Dupraz

Éditions Quæ

RD 10, 78026 Versailles Cedex

www.quae.com / www.quae-open.com

© Éditions Quæ, 2023

ISBN : 978-2-7592-3600-8

ISBN (PDF) : 978-2-7592-3601-5

ISBN (ePub) : 978-2-7592-3602-2

ISSN : 1952-1251

Sommaire

Préface : La vigne et l'agroécologie.....	6
Avant-propos	8
Remerciements	10
Introduction générale.....	12
Références bibliographiques et numériques	16
1. Maladies et ravageurs de la vigne, pratiques viticoles et usages des pesticides, risques agroenvironnementaux.....	17
Introduction et contexte	17
La vigne, une plante sensible aux pathogènes.....	20
Pratiques viticoles et usages des pesticides dans les vignobles du monde	27
Les risques agroenvironnementaux.....	41
Conclusion et perspectives	47
Références bibliographiques et numériques	48
2. Le cuivre dans les sols viticoles.....	51
Introduction et contexte	51
Teneurs et stocks de cuivre dans les sols viticoles.....	51
Mobilité vers les aquifères superficiels	55
Spéciation, réactivité et biodisponibilité du cuivre	55
Écotoxicité du cuivre.....	61
Gestion agronomique de la disponibilité.....	67
Conclusion et perspectives	73
Références bibliographiques et numériques	74

3. Pesticides organiques dans les sols et les eaux de surface en zones viticoles	79
Introduction et contexte	79
Défis du suivi environnemental des pesticides organiques dans les sols et les eaux.....	79
Paramètres influençant le devenir des pesticides dans les sols	85
Les sols, récepteurs initiaux des pesticides agricoles.....	88
Transferts dans les bassins-versants : exemple du bassin de la Livenne.....	92
Conclusion et perspectives	103
Références bibliographiques et numériques	105
4. Réponses biologiques aux conditions environnementales dans les eaux de surface	107
Introduction et contexte	107
Modalité de suivi des réponses biologiques	108
Principales approches utilisées en écotoxicologie pour déterminer la réponse des organismes.....	111
Modalités de transfert des pesticides et des métaux dans les organismes aquatiques.....	112
Principaux effets des polluants	113
Exemple de suivi <i>in situ</i> de la réponse aux polluants d'organismes aquatiques : le bassin viticole de Marcillac	121
Conclusion et perspectives	132
Références bibliographiques et numériques	133
5. Bioaccumulation des pesticides organiques dans les biofilms de rivière	137
Introduction et contexte	137
Intérêt des biofilms pour étudier la contamination des cours d'eau par les pesticides organiques.....	138
Étude de cas.....	153
L'évaluation de la bioaccumulation comme marqueur des usages des pesticides dans le temps	158
Conclusion et perspectives	160
Références bibliographiques et numériques	161

6. Évaluation du potentiel toxique des pesticides sur des espèces de microalgues marines	167
Introduction et contexte	167
Effets des substances seules et en mélanges sur les microalgues.....	175
Effets de mélanges complexes issus de l’environnement.....	179
Identification des substances contribuant à la toxicité des extraits de POCIS	182
Conclusion et perspectives	187
Références bibliographiques et numériques	188
7. Stratégies de réduction des pesticides dans le cadre de la transition agroécologique	193
Introduction et contexte	193
Action des politiques publiques en faveur de la réduction des pesticides dans les pays producteurs du monde	194
Certification environnementale, labels, viticulture biologique	202
Perspectives en vue de la réduction de l’usage des pesticides.....	208
Modélisation de scénarios pour des stratégies de transition	217
Conclusion et perspectives	226
Références bibliographiques et numériques	226
Sigles et acronymes	229
Liste des auteurs	231

Préface

La vigne et l'agroécologie

Stéphane Le Foll

La vigne est une vieille compagne de l'humanité ; elle est au cœur d'une histoire millénaire et, avec le vin, c'est une part charnelle de la culture française et européenne. Cette histoire, de l'Antiquité à nos jours, fait de la vigne et de la viticulture un défi permanent.

La viticulture est confrontée comme toutes les activités productrices d'aujourd'hui aux contraintes du réchauffement climatique, aux défis environnementaux, et aussi – c'est en partie sa spécificité –, aux questions de santé publique avec le vin.

Ce patrimoine est fragile et a toujours nécessité l'attention des hommes et leur travail pour la protéger et la cultiver. La vigne a évolué, comme tous les autres végétaux anthropisés, tant génétiquement que dans ses méthodes culturales avec, encore plus que dans toute autre plante, un lien entre rendement et qualité. La vigne et le raisin sont convoités par les hommes mais subissent également l'assaut des maladies et des attaques parasitaires climatiques, or la plante est fragile, surtout face aux attaques fongiques. Elle a été à ce titre une consommatrice importante de pesticides, dont les herbicides parce qu'il ne fallait pas d'herbe pour avoir une vigne propre, ce qui n'est plus vrai... et tant mieux. Je me souviens au pic Saint-Loup d'un des premiers Groupements d'intérêt économique et environnemental (GIEE) viticoles : « Les Enherbeurs ». C'était un joli message et la marque d'un vrai changement d'approche.

Tout ce qui a permis de protéger les plants, avec la facilité qu'a offerte l'agrochimie pendant toute la seconde partie du xx^e siècle et au début du xxi^e siècle, a conduit la filière à une surconsommation de produits phytosanitaires, avant qu'elle n'opère un changement qu'il faut encourager pour baisser les Indices de fréquence de traitement (IFT) partout sur notre territoire et développer toutes les techniques nouvelles alternatives et durables.

Il faut imaginer un nouveau paradigme de production. C'est à ce titre que cet ouvrage pluridisciplinaire coordonné par Francis Macary, en collaboration avec l'Université de Bordeaux, INRAE, le CNRS et l'Ifremer, est une contribution scientifique de première importance, enrichie par des témoignages d'acteurs économiques viticoles et d'experts environnementaux.

Cet ouvrage en sept chapitres expose les bases analytiques des menaces pathogènes de la vigne, le rôle et la présence du cuivre, celle des pesticides dans les écosystèmes, mais aussi les réponses des organismes aquatiques, les phénomènes de bio-accumulation dans les biofilms et l'évaluation de la toxicité des pesticides sur les milieux marins. En tant qu'ancien ministre et promoteur convaincu de l'agroécologie, je trouve que le plus important est le chapitre sur les nouvelles perspectives à mettre en œuvre pour l'avenir. Cet ouvrage prône une approche globale, agroécologique, avec des scénarios prospectifs construits dans le cadre du projet PhytoCOTE. Chaque chapitre porte aussi le témoignage précieux d'un viticulteur et lie ainsi le projet scientifique à la réalité vécue du terrain.

Pour toutes ces raisons, je considère cet ouvrage comme une référence et un pas de plus dans le monde d'aujourd'hui vers une acceptation du lien nouveau à faire, entre les défis économiques, sociaux et culturels d'une filière de production, et l'enjeu environnemental. À tous les spécialistes, chercheurs, viticulteurs et aussi simplement aux lecteurs attentifs aux enjeux du moment, je souhaite une très bonne lecture pour acquérir de la connaissance, source de tous les progrès.

Avant-propos

Christian Huyghe

Cet ouvrage, que vous allez avoir le plaisir de déguster comme un grand cru, est le fruit de différents projets de recherche, de la réflexion et de la conviction des auteurs qu'il faut modifier profondément la protection du vignoble, et que la transition agroécologique, étayée des connaissances scientifiques les plus récentes, le permet.

La viticulture est un fleuron de l'agriculture française et de son économie. Emblématique par son chiffre d'affaires et les excédents de la balance commerciale, par la qualité et la réputation mondiale des vins et spiritueux issus des vignobles français, elle pèse aussi par la consommation de produits phytopharmaceutiques, avec la particularité d'une prédominance des fongicides utilisés pour la protection contre le mildiou et l'oïdium.

C'est aussi le secteur où la construction et le déploiement de fiches-actions CEPP (Certificats d'économie de produits phytopharmaceutiques) ont été les plus rapides. Ceci traduit le fait que de nombreux leviers existent et sont déployés sur le terrain, même si, pour certains, comme les nouveaux cépages résistants au mildiou et à l'oïdium, la transition peut être longue.

La transition impose aussi de repenser le vignoble, notamment en augmentant la diversité fonctionnelle pour maximiser les régulations biologiques.

La grande diversité française des vignobles et des conditions viticoles est une richesse économique et culturelle avec plus de 300 AOC et signes de qualité. Elle est aussi une chance pour la transition agroécologique qui impose de prendre en compte les conditions locales. Ceci veut dire que la protection des vignobles ne sera pas assurée partout avec les mêmes combinaisons de leviers. Aubaine pour la recherche, cette dépendance aux conditions locales est un défi pour l'accompagnement des viticulteurs.

La vigne possède des particularités majeures. Parmi elles, citons comment elle façonne des paysages emblématiques. Elle est à ce titre un objet de prédilection pour les démarches participatives dans les territoires, comme dans le territoire d'innovation VitiRev, en Nouvelle-Aquitaine. Autre particularité majeure de la vigne, le vin bien sûr, objet de dégustation, mais aussi objet d'étude pour comprendre les déterminants du consentement à payer du consommateur. À côté du plaisir organoleptique qui justifie tout le travail à la vigne et au chai,

le consommateur exprime une demande de naturalité, générant un marché en bio très dynamique, ainsi qu'une attente croissante d'absence de résidus de pesticides et d'une réduction forte de leur usage.

On peut donc conclure qu'en viticulture, la transition agroécologique, avec tous ses leviers biotechniques et organisationnels, est une voie royale, déjà empruntée pour répondre aux marchés nationaux et internationaux. De plus, elle permettra de s'adapter et d'atténuer les effets du changement climatique, qui constitue le grand défi de demain.



Vignoble en agroécologie au Domaine Émile Grelier, en Bordelais (© Francis Macary).

Remerciements

Francis Macary

Je tiens tout d'abord à remercier bien sincèrement les trente auteurs qui ont volontiers accepté de m'accompagner dans cette aventure de quelques mois. Leur contribution figure en tête de chaque chapitre et leurs coordonnées en fin d'ouvrage. J'apporte un complément de gratification à chaque auteur correspondant de chapitre, chargé de relayer auprès des différents rédacteurs les informations nécessaires à l'écriture de ce livre. Je pense que la qualité finale de l'ouvrage justifie amplement ces moments d'efforts supplémentaires aux tâches quotidiennes.

Nous sommes particulièrement honorés de l'intérêt que nous a manifesté Stéphane Le Foll en rédigeant la préface, eu égard à son action majeure dans le lancement du projet national agroécologique lorsqu'il était ministre en charge de l'agriculture (durant cinq années). De même, nous sommes très reconnaissants à Christian Huyghe, directeur général adjoint Agriculture d'INRAE, d'avoir accueilli avec bienveillance cet ouvrage collectif et l'effort des chercheurs impliqués pour le rédiger dans un format offrant un intérêt pour les lecteurs ciblés.

Nous espérons qu'ils puissent trouver dans ce livre des réponses aux multiples questions posées par la problématique des pesticides en agriculture, plus particulièrement en viticulture : gestionnaires de services agricoles et environnementaux, acteurs socioprofessionnels sur le terrain, professeurs et étudiants de l'enseignement secondaire et supérieur en agriculture et environnement.

Nous avons choisi d'intégrer dans chaque chapitre le témoignage d'un professionnel, voire d'un expert scientifique, afin d'établir la relation entre ces connaissances présentées dans l'ouvrage et les attentes des professionnels sur le terrain. Ainsi, je remercie vivement pour leurs apports, suivant la chronologie des chapitres : *Laurent Mauvillain*, viticulteur en mode biologique à Braud-et-Saint-Louis (Gironde) ; *Pascal Doquet*, président de l'association des Champagnes biologiques ; *Guéric Gabriel*, directeur du service environnemental de la Communauté des communes de l'Estuaire de la Gironde ; *Adeline Thévand*, gestionnaire au sein du Syndicat intercommunal du Bassin d'Arcachon ; *Fabrizio Botta*, expert en environnement au sein de l'ANSES ; *Xavier Bourrain*, gestionnaire au sein de l'Agence de l'eau Loire Bretagne ; *Benoît Vinet*, viticulteur bio et l'un des pionniers de l'agroécologie viticole en Gironde. Nous les en remercions très vivement.

Nous sommes également pleinement reconnaissants aux relecteurs externes de chacun des sept chapitres, experts dans ces domaines, qui ont fait un gros travail

de correction, suggestions, d'échanges, afin de pouvoir parfaire la qualité des informations et l'adaptation de la connaissance pour le plus grand nombre. Je citerai également, par chronologie des chapitres : *Laure Cayla*, responsable régionale Nouvelle-Aquitaine de l'Institut français de la vigne et du vin (IFV), ainsi que les collègues associés de l'Institut ; *Mathieu Bravin*, chercheur en biogéochimie au CIRAD ; *Laurence Denaix*, directrice de recherche à INRAE, biogéochimiste ; *Alexia Legeais*, chercheuse en écotoxicologie au sein de l'UMR EPOC-Université de Bordeaux-CNRS ; *Chloé Bonnineau*, chercheuse en écotoxicologie à INRAE ; *Christophe Leboulanger*, chercheur en écologie microbienne à l'IRD ; *Jacques Gautier*, expert national à l'INAO ; *Jacques Rousseau*, directeur des services viticoles au sein de l'Institut coopératif viticole (ICV) de Montpellier.

Dans chaque chapitre, nous avons pu prendre appui sur des réalités de terrain, dont un centre de gravité commun porté par le projet de recherche PhytoCOTE dans le vignoble girondin, que j'ai eu le grand plaisir de coordonner durant cinq années (2015-2019). Je tiens à remercier tous les viticulteurs, leurs conseillers sur le terrain, la coopérative des vigneronns de Tutiac, pour leur collaboration efficace et tant nécessaire.

Bien évidemment nous exprimons également notre gratitude à l'égard des bailleurs de fonds sans lesquels nous n'aurions pu mener ces travaux de recherche conséquents, à la base de cet ouvrage : l'Agence nationale de la recherche, *via* le laboratoire d'excellence en sciences de l'environnement LabEx COTE de l'Université de Bordeaux, ainsi que la Région Nouvelle-Aquitaine. Celle-ci était représentée par *Lydia Héraud*, chargée de la viticulture, que je remercie chaleureusement de son soutien permanent et de son vif intérêt pour tous les travaux de recherche que nous avons pu mener. Sincères remerciements également à *Émilie Bourdenx*, chargée de mission au sein de la Région, qui a toujours suivi nos projets avec bienveillance.

Enfin, cet ouvrage n'aurait pu être édité sans la participation financière d'INRAE et je remercie les gestionnaires pour leur confiance. De même, aux éditions Quæ, ce projet de livre a été accueilli avec la plus grande bienveillance dès le premier échange par Véronique Véto, responsable éditoriale, que je remercie sincèrement. Puis dès l'envoi de son manuscrit, Valérie Mary, responsable de la production et Anne-Lise Prodel, chef de projet, nous ont guidés avec beaucoup de professionnalisme au fur et à mesure des échanges. Une mention particulière pour les graphistes Anaïs Naimi (Quæ) et Élise Druon (EliLoCom) qui ont donné avec talent un très bel aspect à nos figures. Enfin, nous exprimons toute notre reconnaissance à Anne Guirado, coordinatrice éditoriale, qui a corrigé notre texte avec une parfaite maîtrise littéraire et un œil de lynx, apportant une vraie plus-value à cet ouvrage.

In fine, j'espère sincèrement que ce livre, qui présente les recherches récentes sur la problématique des pesticides en viticulture, permettra aux divers lecteurs de recueillir le maximum d'informations utiles pour mener à bien la nécessaire transition écologique dans les différents pays de production viticole.

Introduction générale

Francis Macary

Pendant plus d'un demi-siècle, les progrès en génétique végétale, en agrochimie (fertilisants, pesticides), l'essor de la mécanisation et les différentes structures du développement agricole, sur fond d'accompagnement de la « banque verte », ont permis une très forte augmentation de la productivité en agriculture (Pujol et Dron, 1998). Le concept de production visait alors à l'augmentation des rendements des plantes cultivées, tout en éliminant les adventices et surtout les maladies cryptogamiques et ravageurs de ces plantes, sans questionnement sur l'impact de ces pratiques sur l'environnement et la biodiversité, ni sur la notion de tolérance avant d'engager les traitements chimiques.

Ainsi les intrants, pour l'essentiel des fertilisants et des pesticides reconnus pour leur efficacité et faciles à utiliser ont été appliqués durant cette période de façon systématique. Des chercheurs ont alerté sur la contamination des sols et des hydrosystèmes et sur la perte de biodiversité, du fait de l'usage excessif des pesticides (Carson, 1962 ; Hénin, 1980 ; Pelt, 2000 ; Barriuso, 2003). Les transferts des pesticides d'usage agricole, essentiellement depuis les parcelles d'épandage vers les cours d'eau, ont bien été étudiés (Aubertot *et al.*, 2005 ; Leenhardt *et al.*, 2022). Ces pesticides ont des effets délétères (directs et indirects) pour de nombreux organismes non-cibles des milieux récepteurs. La toxicité des molécules de synthèse, dont certaines sont cancérigènes, mutagènes, reprotoxiques (CMR) pour les utilisateurs, est désormais avérée (Zahm *et al.*, 1997 ; Inserm, 2021). Dès les années 2000, l'Union européenne a mis en œuvre une réglementation pour contrôler les substances chimiques les plus dangereuses (règlement Reach) et depuis, de multiples directives et règlements rendent les usages des pesticides de plus en plus contraignants. Nombre de ces molécules sont aujourd'hui interdites et l'usage des CMR est de plus en plus limité. Les acteurs du secteur agricole ont également pris conscience du changement nécessaire de leurs pratiques, compte tenu de cette réglementation, du poids médiatique grandissant dans l'opinion publique, et des conséquences de certaines pratiques.

La vigne est une plante particulièrement sensible à de multiples pathogènes, notamment fongiques, le mildiou et l'oïdium principalement, ainsi qu'à de nombreux ravageurs. De plus, l'exigence de qualité, aussi bien pour les raisins de table que pour ceux de cuve, destinés à l'obtention de vins aux meilleures propriétés organoleptiques, explique la nécessité d'obtenir une protection sanitaire optimale.

Cela se traduit par un nombre important de traitements chimiques, quel que soit le mode de production, conventionnel ou biologique.

Afin de mieux comprendre ces usages de la protection phytosanitaire en vigne, les critères de choix décisionnels des viticulteurs pour mener à bien cette protection, les transferts et les impacts des produits phytosanitaires sur les milieux connexes et les solutions alternatives dont l'application de base des concepts d'agroécologie par les viticulteurs, nous avons conduit pendant cinq ans un projet de recherche pluridisciplinaire, appelé PhytoCOTE, dans un secteur particulier du Bordelais, en continuum avec l'estuaire de la Gironde. Ce projet a été financé essentiellement par des fonds de l'Agence nationale de la recherche *via* le laboratoire d'excellence LabEx COTE¹ de l'Université de Bordeaux et par le Conseil régional de la Nouvelle-Aquitaine. Il a généré des travaux de recherche dans une démarche originale d'intégration des différents concepts et processus relatifs à l'usage des pesticides en viticulture. Il a suscité de multiples approches scientifiques pluridisciplinaires (agronomie, agroécologie, chimie environnementale, hydrobiologie, écologie, écotoxicologie, socio-économie).

Ce projet de recherche mené par des équipes de l'Université de Bordeaux, d'INRAE, du CNRS, de l'Ifremer, en relation étroite avec les acteurs socioprofessionnels locaux du secteur viticole et du domaine environnemental, constitue ainsi la genèse de cet ouvrage, élargi à la viticulture dans les pays producteurs sur les différents continents. Les expérimentations présentées ici ont été produites sur le terrain d'étude de PhytoCOTE afin que les lecteurs ciblés par l'ouvrage, principalement les gestionnaires agricoles et environnementaux, les professionnels de la filière viticole, ou encore les enseignants et les étudiants en écoles agronomiques et agricoles, puissent trouver des références concrètes en illustration aux approches scientifiques.

Dans chaque chapitre figure le témoignage d'un acteur socio-économique ou expert scientifique exprimant l'intérêt des méthodes et des résultats acquis par rapport à la problématique concrète des gestionnaires et des praticiens.

Le chapitre 1 est consacré à la présentation des divers pathogènes de la vigne, aux pratiques viticoles de conduite des vignobles, y compris hors de l'Hexagone, aux usages de la protection phytosanitaire et aux risques agroenvironnementaux pour les écosystèmes. Certains cépages et leur connexion avec les porte-greffes renforcent ou diminuent leur résistance intrinsèque par rapport aux maladies. De même, le comportement de la vigne face aux agressions des pathogènes est variable selon les caractéristiques des différentes régions pédoclimatiques. Les modes de production et les systèmes de conduite induisent également des comportements différenciés des viticulteurs, notamment face à l'aversion envers les risques phytosanitaires et leurs conséquences sur la perte qualitative et quantitative de récolte. Les risques agroenvironnementaux de contamination des sols, des eaux,

1. LabEx COTE : Évolution, adaptation et gouvernance des écosystèmes continentaux et côtiers.

de l'air lors des traitements sont élevés et d'importants travaux de recherche sur les agroéquipements sont menés pour trouver des solutions liées à la suppression des herbicides, à la dérive atmosphérique lors des traitements, aux pertes sur le sol, tout en optimisant la protection phytosanitaire.

Le témoin de ce chapitre, viticulteur en mode agrobiologique présente les raisons initiales du choix de son mode de production, alors peu répandu dans la région et au-delà, dès la reprise de l'exploitation familiale.

Le chapitre 2 montre les effets de l'accumulation et des transferts du cuivre dans les sols, suivant notamment ses différentes formes chimiques et les conditions de milieu : pH, quantité et nature de la matière organique. Il insiste en particulier sur l'importance de l'historique d'usage des sols pour comprendre les contaminations actuelles. Un bilan sur l'écotoxicité du cuivre vis-à-vis des plantes et des organismes telluriques souligne la nécessité de considérer la disponibilité de cet élément dans les sols pour mieux évaluer ses effets sur les organismes vivants. Enfin ce chapitre propose des pistes de gestion de la contamination cuprique.

La problématique du cuivre représente un enjeu important compte tenu des décisions réglementaires prises par la Commission européenne, alors que ce fongicide inorganique est aujourd'hui le seul capable de réguler les attaques de mildiou en viticulture biologique.

Les viticulteurs bio attendent des réponses très concrètes, d'une part sur la quantification et le suivi de l'impact du cuivre dans les sols, d'autre part en termes de substitution envisageable, mais pour l'heure il n'existe pas encore de réponse vraiment pertinente à cette problématique, ce qu'exprime aussi un responsable professionnel témoin en fin de chapitre.

Le chapitre 3 aborde le sujet des pesticides organiques de synthèse dans les sols et les eaux de surface. Il présente les différentes familles et groupes chimiques de pesticides utilisés en viticulture, les voies et mécanismes de leur dispersion dans l'environnement, les méthodes de surveillance de la contamination des sols et des eaux de surface. Concernant les sols, sont explicités les divers paramètres qui influencent leur rétention et leur dégradation. Le dosage de plus de 200 molécules dans les sols du site d'étude a permis de mettre en évidence la rémanence de certaines molécules aujourd'hui interdites mais également la présence de métabolites issus de la dégradation des molécules épandues. À l'échelle du bassin-versant, le transfert vers les aquifères suivis montre la variabilité de comportement selon les molécules et l'importance des conditions climatiques pour expliquer les concentrations mesurées.

Le responsable du service Environnement d'une collectivité locale témoigne de l'intérêt de ces actions pour ses préoccupations relatives à la qualité des eaux de surface des rivières au quotidien.

Le chapitre 4 illustre les réponses biologiques de plusieurs espèces (diatomées périphytiques, bivalves filtreurs, poissons) aux contaminations des pesticides. Différentes approches utilisées en écotoxicologie permettent de déterminer la réponse des organismes. Sont évoqués les modalités d'entrée des pesticides et

métaux au sein des organismes aquatiques et les multiples facteurs permettant de décrire et interpréter la bioaccumulation des polluants. La connaissance des nombreux effets des polluants sur les organismes est essentielle pour mieux former les gestionnaires aux impacts de ces pesticides sur le biote et aux mesures nécessaires pour en réduire les effets. Le bassin-versant d'étude du projet PhytoCOTE a servi de support aux expérimentations pour les travaux de recherche.

Un gestionnaire de syndicat local intercommunal important met en exergue l'intérêt de ces travaux face aux priorités de gestion.

Le chapitre 5 traite du sujet particulier de la bioaccumulation des pesticides organiques dans les biofilms de rivière. Ces pesticides peuvent avoir des effets délétères sur les organismes exposés, notamment sur les communautés microbiennes au sein des biofilms. Ces derniers sont capables de bioaccumuler les contaminants organiques à différentes périodes de l'année. Du fait de leur ubiquité dans les cours d'eau, l'analyse de ces biofilms permet de renseigner quant à la qualité chimique des milieux aquatiques. L'étude de la bioaccumulation des pesticides organiques dans les biofilms, comme présentée dans l'étude de cas de ce chapitre, a permis de mettre en avant l'intérêt de ces derniers pour la caractérisation des transferts des pesticides entre leurs usages et leur présence dans l'environnement.

Concernant notamment les données nécessaires à la phytopharmacovigilance, le témoignage d'un expert de l'Anses montre à quel point ces travaux sur les biofilms sont essentiels à l'amélioration des conditions de surveillance des eaux de surface et des sols et à la caractérisation des effets indésirables des pesticides.

Le chapitre 6 permet de comprendre les modes d'évaluation du potentiel toxique des pesticides sur certaines espèces de microalgues marines. Celles-ci représentent des cibles potentielles pour les herbicides par leur proximité métabolique (photosynthèse) et biochimique (pigments, enzymes, etc.) avec les végétaux supérieurs. L'étude porte également sur des substances insecticides et fongicides, la toxicité des fongicides de synthèse vis-à-vis du phytoplancton étant globalement très peu documentée dans la littérature scientifique. La question de l'impact des molécules en mélanges pose un réel problème d'appréciation de la toxicité globale des substances utilisées pour le traitement des cultures. L'effet combiné de substances peut être supérieur (mélange synergique) ou inférieur (mélange antagoniste) à celui prédit sur la base de la toxicité des substances seules. Ces travaux sont essentiels pour nous permettre d'identifier les composés les plus toxiques pour les microalgues marines et ainsi d'améliorer notre compréhension des impacts anthropiques sur les milieux récepteurs.

Le témoignage d'un gestionnaire d'agence de l'eau illustre bien les attentes sur le terrain de ces travaux susceptibles de faire évoluer très positivement les méthodes de surveillance des eaux.

Le chapitre 7 présente des stratégies d'évolution des systèmes viticoles et des scénarios prospectifs pour une réduction des pesticides dans le cadre de la transition agroécologique. L'action des politiques publiques dans les pays producteurs du

monde en vue de réduire fortement la pression exercée par les produits phyto-pharmaceutiques sur les milieux est d'abord évoquée. Dans ce chapitre sont rappelés les labels et différentes certifications adoptés pour accompagner les mesures pratiques nécessaires. L'agroécologie est présentée comme un nouveau mode de raisonnement en vue de l'adaptation des systèmes de production et d'application de nouvelles pratiques de conduite de la vigne. Des scénarios prospectifs innovants en agroécologie, bâtis sur la zone d'étude du projet PhytoCOTE, montrent des performances socio-économiques et environnementales supérieures à tous les systèmes étudiés sur le terrain. D'autres voies complémentaires sont évoquées dont celle de la génétique, le développement conséquent des méthodes de bio-contrôle, les outils de précision et la robotique pour un désherbage mécanique, l'évolution des équipements de pulvérisation. Enfin de multiples freins d'ordre économique, technique, psychologique et réglementaire existent et sont analysés. Le témoignage d'un viticulteur devenu expert en agroécologie présente avec objectivité les critères de choix de ses orientations, mais aussi les difficultés réelles et ses préoccupations pour l'avenir, eu égard notamment aux futures contraintes dérivant du changement climatique pour assurer une bonne protection sanitaire des vignobles.

Toutes les références numériques et liens hypertextes mentionnés dans cet ouvrage ont été vérifiés et étaient actifs à la date du 31 septembre 2022.

Références bibliographiques et numériques

- Aubertot J.N., Barbier J.M., Carpentier A., Gril J.J., Guichard L., Lucas P. *et al.*, 2005. *Pesticides, agriculture et environnement : réduire l'utilisation des pesticides et en limiter les impacts environnementaux. Expertise scientifique collective*. Paris : Institut national de la recherche agronomique ; Antony : Cemagref, 902 p.
- Barriuso E. (coord.), 2003. *Estimation des risques environnementaux des pesticides*. Paris : Institut national de la recherche agronomique, 123 p.
- Carson R., 1962. *Silent Spring*. Boston : Houghton Mifflin Company, 368 p.
- Hénin S., 1980. *Rapport du groupe de travail activités agricoles et qualité des eaux, tome II. Sous-groupes : effluents d'élevage, produits phytosanitaires, systèmes de cultures*. Paris : Ministère de l'Agriculture et ministère de l'Environnement et du cadre de vie, 294 p.
- Inserm (Institut national de la santé et de la recherche médicale), 2021. *Pesticides et effets sur la santé : nouvelles données*. Montrouge : EDP Sciences, 164 p. (coll. Expertise collective). <https://www.inserm.fr/wp-content/uploads/2021-06/inserm-expertisecollective-pesticides2021-synthese.pdf>.
- Leenhardt S., Mamy L., Pesce S., Sanchez W., Amichot M., Artigas J. *et al.*, 2022. *Impacts des produits phytopharmaceutiques sur la biodiversité et les services écosystémiques. Synthèse de l'expertise collective*. Paris : INRAE-Ifremer, 136 p.
- Pelt J.M., 2000. *La terre en héritage*. Paris : Fayard, 277 p.
- Pujol J.L., Dron D., 1998. *Agriculture, monde rural et environnement : qualité oblige*. Paris : Ministère de l'Aménagement du territoire et de l'Environnement, La documentation française, 589 p.
- Zahm S.H., Ward M.H., Blair A., 1997. Pesticides and cancer. *Occupational Medicine* 12(2), 269-289.

1

Maladies et ravageurs de la vigne, pratiques viticoles et usages des pesticides, risques agroenvironnementaux

Francis Macary, Pascal Guilbault

Introduction et contexte

Comme la plupart des plantes cultivées, la vigne est une plante sensible aux maladies liées aux champignons (cryptogames) et aux attaques de ravageurs. Les bioagresseurs potentiels sont nombreux : ravageurs aériens (telles les tordeuses de la grappe, eudémis et cochylis, ou certaines cicadelles dont l'une est vectrice de la flavescence dorée) ou souterrains (phylloxéra) ; maladies d'origine cryptogamique (dont le mildiou, l'oïdium, le botrytis, le black-rot...), bactérienne ou virale (Aubertot *et al.*, 2005).

L'influence des bioagresseurs est fortement dépendante du climat et de la sensibilité du matériel végétal. De même, l'importance de la concurrence hydrique et minérale des pieds de vigne par les adventices (plantes non installées intentionnellement par le viticulteur) sera dépendante du climat, du type de sol et de la sensibilité du matériel végétal.

Ces bioagresseurs peuvent menacer les rendements, la qualité de la récolte et même la survie des souches (agents responsables de dépérissement ou de dégénérescence).

Or, le viticulteur a pour objectif de produire des raisins sains, de cuve ou de table, mais dans tous les cas, de qualité et en quantité suffisante eu égard aux rendements permis par les diverses appellations et indications géographiques protégées.

Depuis toujours, les viticulteurs ont ainsi eu à assurer une protection phytosanitaire² de leur vignoble. Car en l'absence de cette protection, les plants de vigne peuvent être infectés par un germe porté par le vent ou par des agents vecteurs.

2. Protection phytosanitaire : usage de produits phytosanitaires, ou produits phytopharmaceutiques, c'est-à-dire une substance ou un mélange de substances de nature chimique ou biologique (d'origine naturelle ou de synthèse) employés en agriculture pour protéger les plantes cultivées contre les bioagresseurs (ravageurs animaux, agents phytopathogènes, plantes parasites, plantes adventices).

La contamination s'étend alors aux pieds voisins, à la parcelle, puis à celles alentour et ainsi de suite. La maladie installée progresse au fil des ans et son éradication devient de plus en plus difficile. La conséquence directe en est une perte de qualité et de quantité pouvant aller jusqu'à une destruction totale de la récolte. Cela est redouté dans tous les vignobles.

Par ailleurs, les aléas climatiques sont de plus en plus fréquents (gel, orages, forte pluviométrie saisonnière avec alternance de périodes sèches, forte hydrométrie...), très directement liés au changement climatique (Ollat *et al.*, 2013). Ces dérèglements contribuent fortement à accentuer la pression des pathogènes de la vigne, entraînant ainsi un usage important de produits phytosanitaires afin de conserver le niveau de production et sa qualité. Ainsi, en France, la vigne occupe environ 3 % de la SAU (Surface agricole utilisée) mais concentre 20 % du tonnage total de matières actives des produits phytosanitaires commercialisés, dont 80 % de fongicides (Mezière et Gary, 2009). Elle utilise beaucoup de produits pondéreux tels que le cuivre ou le soufre, notamment en agriculture biologique. De façon globale, les ventes de pesticides en France représentaient 71 074 tonnes en 2017, près de 85 000 tonnes en 2018 contre 65 341 tonnes en 2020 (MASA, 2021). L'année 2018 était marquée par une très forte pression phytosanitaire liée aux conditions climatiques favorables aux cryptogames et à une anticipation de la hausse du prix des produits au 1^{er} janvier 2019 par le fait de l'augmentation de la redevance sur les pollutions diffuses : beaucoup de producteurs anticipèrent donc leurs achats pour la campagne 2019.

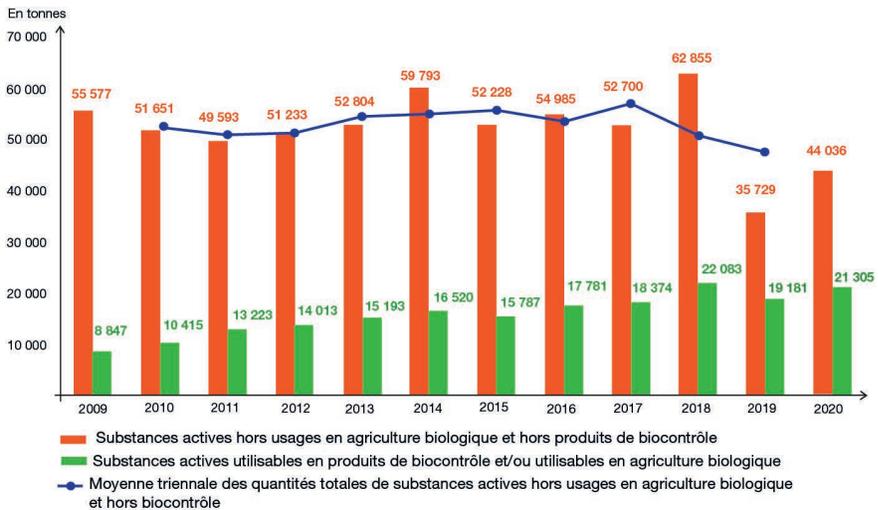


Figure 1.1. Ventes de produits phytosanitaires entre 2009 et 2020 en France (d'après MASA, 2021).

La figure 1.1 traduit une tendance globale de diminution des ventes de produits organiques de synthèse au cours des dernières années et une augmentation des substances actives utilisées en agriculture biologique et produits de biocontrôle, dont le cuivre et le soufre en viticulture.