

VIGNE

Les petits précis taillés pour les vignerons

&
VIN

Petit précis de viticulture | Tome 2

La production de raisins

Ouvrage collectif, direction **Jean-Luc Berger**

Sommaire

Liste des auteurs	XI
Avant-propos	XIII
Préface	XV
I Gestion durable du sol et couverts végétaux	1
1 Gestion des sols et couverts végétaux en viticulture	1
1.1 État des lieux des pratiques actuelles	1
1.1.1 Désherbage chimique	1
1.1.1.1 Les modes d'action : contact vs systémique . . .	2
1.1.1.2 La période d'application : prélevée ou post levée.	2
1.1.2 Désherbage mécanique	4
1.1.3 Couverts végétaux.	8
1.1.4 Synthèse des avantages et limites des stratégies de désherbage	10
1.2 Des disparités à l'échelle du territoire	12
1.3 Les enjeux de gestion des sols en viticulture	19
2 Enherber pour gérer durablement les sols viticoles.	19
2.1 Les couverts végétaux spontanés	19
2.1.1 La flore spontanée reflète des pratiques culturales.	19
2.1.1.1 Une diversité importante mais contrastée (espèces généralistes/spécialistes)	20
2.1.1.2 Des espèces adaptées pour survivre en milieux contraignants	20
2.1.1.3 Gestion extensive des couverts spontanés . . .	22
2.1.1.4 Interpréter la qualité de son couvert spontané .	25
2.2 Les couverts végétaux semés	26
2.2.1 Les couverts semés temporaires ou « engrais verts » . . .	26
2.2.1.1 Principes.	26
2.2.1.2 Choix des espèces.	27
2.2.1.3 Implantation et destruction du couvert semé. .	29
2.2.1.4 Les bénéfices assurés : restitutions minérales et stockage de carbone	36
2.2.2 Les couverts végétaux semés permanents	38
2.3 Des techniques compensatoires : les apports en amendements et fertilisants.	39
2.3.1 Entretien de l'état calcique du sol	40
2.3.1.1 Redresser un pH acide < 6,5.	41
2.3.1.2 Limiter un pH trop basique.	44

2.3.2	Entretien de l'état organique et du réservoir nutritif	45
2.3.2.1	Les amendements organiques	47
2.3.2.2	Les engrais	51
3	Reconcevoir son itinéraire de gestion des sols	53
3.1	L'importance du diagnostic agronomique dans le choix de la pratique	53
3.1.1	J'observe le comportement de la vigne	53
3.1.2	J'identifie la flore des vignes pour mieux la gérer	54
3.1.2.1	Des outils pour la reconnaissance des espèces	55
3.1.2.2	Méthodologie d'inventaires floristiques	57
3.1.3	Je consolide le diagnostic avec l'étude agronomique du sol	59
3.1.3.1	Évaluer la variabilité à l'échelle de l'exploitation	59
3.1.3.2	Évaluer le potentiel agronomique du sol	59
3.1.3.3	Appréhender l'impact de ses pratiques sur le sol	62
3.1.3.4	Un diagnostic complet pour plus de succès	62
3.2	Une diversité d'itinéraires de gestion durable des sols	67
3.2.1	Durabilité socioéconomique : quel impact sur le coût des opérations culturales et la charge de travail ?	68
3.2.2	Durabilité environnementale : quel impact sur le bilan humique et nutritif ?	70
3.2.3	Finalement, quel itinéraire privilégier ?	70
3.2.4	Ils approuvent l'enherbement dans leurs parcelles viticoles	72
4	Bilan et perspectives	76
II	Protection de la vigne et ses auxiliaires	80
1	Origine et évolution de la lutte contre les maladies et les ravageurs	80
1.1	De la fin du XIX^e siècle aux années 1950	80
1.1.1	Une nouvelle contrainte : l'application de produits phytosanitaires	80
1.1.2	Sélection d'hybrides	80
1.2	Des années 1950 à nos jours	81
1.2.1	Gestion du sol, système de conduite et densité de plantation	81
1.2.2	Lutte contre les ravageurs	83
1.2.3	Lutte contre les maladies fongiques	84
1.2.4	Sélection de vignes résistantes aux maladies fongiques.	86
2	Catégories de pathogènes	87
2.1	Maladies fongiques	87
2.2	Arthropodes	87
2.2.1	Insectes	87
2.2.2	Acariens	89

2.3	Nématodes	89
2.4	Bactéries	90
2.5	Phytoplasmes	91
2.6	Virus	92
2.7	Viroïde	93
3	Principes de lutte contre les maladies et les ravageurs	94
3.1	Perspectives	94
4	Principales maladies fongiques	95
4.1	Maladies du feuillage et des grappes	95
4.2	Maladies du bois	107
4.3	Maladies des racines	115
5	Principales viroses	120
6	Phytoplasmoses	128
7	Bactérioses	133
8	Principaux ravageurs	140
8.1	Lépidoptères	140
8.2	Hémiptères	146
8.3	Thysanoptères	154
8.4	Diptères	155
8.5	Acariens	157
8.6	Autres ravageurs	162
9	Principaux <i>auxiliaires</i>	168
9.1	Hyménoptères et diptères parasitoïdes	168
9.2	Acariens Phytoseiidae et autres familles	169
9.3	Araignées et opilions	171
9.4	Coccinelles	172
9.5	<i>Forficules</i>	173
III	La pulvérisation viticole	176
	Introduction	176
1	Les bases de la pulvérisation viticole	176
1.1	Définition de la pulvérisation	176
1.2	Bases anatomiques d'un pulvérisateur viticole	177
1.3	Les différents types de pulvérisateurs viticoles	180
1.3.1	Jets projetés	180
1.3.2	Pneumatiques	182
1.3.3	Les jets portés	183
1.3.4	Les panneaux récupérateurs	187
2	Les réglages des pulvérisateurs	191
2.1	Détermination des débits théoriques de la machine	191
2.1.1	Choix de la méthode de calcul	191
2.1.2	Application de la loi des buses	194

2.2	Validations pratiques des réglages réalisés.	195
2.2.1	Les préalables	195
2.2.2	Détermination pratique du débit d'un appareil	198
2.2.2.1	La méthode globale.	198
2.2.2.2	La méthode buse par buse.	199
2.2.3	Les vérifications au champ	200
2.2.3.1	Utilisation des papiers hydrosensibles (PHS)	200
2.2.3.2	Utilisation d'un colorant type COMPO® Bleu et de supports en plastique blanc (type planche de rive)	201
2.2.3.3	Tests à la fluoroscéine	203
3	Comment optimiser les pratiques de la pulvérisation viticole . .	204
3.1	Avant le traitement	205
3.1.1	Achat des produits phytosanitaires	205
3.1.2	Le transport des produits phytosanitaires.	205
3.1.3	Le stockage des produits phytosanitaires.	206
3.1.4	La préparation de la bouillie.	207
3.1.5	Contrôle obligatoire des pulvérisateurs agricoles	210
3.1.6	Déclenchement d'un traitement	211
3.2	Pendant le traitement	212
3.2.1	La protection de l'utilisateur	212
3.2.2	La protection des riverains	213
3.2.3	La protection des abeilles et autres insectes pollinisateurs .	213
3.2.4	Savoir appréhender les bonnes conditions d'intervention .	214
3.2.5	Respect des délais et distances à prendre en compte obligatoirement	214
3.2.6	Les DPAE (débit proportionnel à l'avancement électronique).	215
3.3	Après le traitement.	216
3.3.1	Gestion des fonds de cuve et le lavage du couple tracteur/appareil de pulvérisation.	216
3.3.2	Élimination des emballages vides de produits phytosanitaires (EVPP)	219
3.3.3	Élimination des produits phytosanitaires non utilisables (PPNU)	219
3.3.4	Élimination des équipements de protection individuelle . .	220
4	Autres méthodes de pulvérisation	221
4.1	Pulvérisation par drones.	221
4.1.1	Évolution législative.	221
4.1.2	Le matériel utilisé	222
4.1.3	Les différents systèmes de pulvérisation.	224
4.1.4	Les conditions légales pour opérer ce type de machine. . .	225

4.2	Les robots de traitement	225
4.2.1	Point sur la législation	225
4.2.2	Exemples de machines	226
4.3	Pulvé fixe	226
4.4	Pulvérisation de précision	227
4.4.1	Travaux de l'UMT Seven et de la Chaire AgrotIC de BSA « Moduler les doses de produits phytosanitaires »	227
4.4.2	Système Picore de la société SIKA	228
4.4.3	Projet PiiX de la société DII MOTION	229
4.4.4	Le système SMAC de la société DII MOTION	229
IV	Viticulture de précision	231
1	Les observations parcellaires	232
1.1	Les différents vecteurs d'observation	232
1.1.1	Les vecteurs de proxidétection	232
1.1.2	Les satellites	232
1.1.3	Les hélicoptères, avions, ULM	233
1.1.4	Les drones	233
1.2	Les capteurs utilisés	236
1.2.1	Les capteurs utilisés en proxidétection	236
1.2.2	Imagerie dans le visible	236
1.2.3	L'imagerie multispectrale	237
2	Les nouveaux outils d'aide à la décision	239
2.1	Traitement des données obtenues	239
2.1.1	Les SIG (Système d'information géographique) au centre des données	239
2.1.2	Transformation des images en orthomosaïques	240
2.1.3	Les indicateurs pertinents	240
2.1.3.1	Les indices dans le spectre visible	240
2.1.3.2	Les indices les plus utilisés dans le spectre invisible	241
2.2	Les applications en viticulture	241
2.2.1	Optimisation des apports d'engrais	241
2.2.2	Localisation des intrants phytosanitaires	242
2.2.3	Autres applications	242
3	Optimisation du pilotage des matériels viticoles	243
3.1	Modulation intraparcellaire de doses	244
3.2	Enjeux de la géolocalisation du couple tracteur/outil	246
4	La robotique en viticulture	248
4.1	Les robots à énergie électrique	249
4.2	Robots à moteur thermique	250
4.3	Les technologies embarquées	250

5	Autres applications de la viticulture de précision	250
5.1	Le désherbeur électrique de la marque ZASSO.....	251
5.2	Le système de guidage d'outils d'entretien des sol VPA (Vineyard Pilot Assistant) de la société Braun.....	251
V	Les bases de l'expérimentation en viticulture et en œnologie .	253
1	De l'intérêt d'expérimenter en viticulture.....	253
1.1	Nouveaux produits de protection de la vigne, ou nouvelles stratégies de lutte.....	253
1.2	Connaissance du matériel végétal	255
1.3	Densité de plantation et surface foliaire exposée	255
1.4	Techniques d'entretien des sols	255
2	Déroulement chronologique d'une expérimentation	256
3	Caractéristiques d'un dispositif expérimental.....	258
3.1	Modalités	258
3.2	Unité expérimentale.....	258
3.3	Notion de répétitions.....	258
3.4	Choix de la parcelle d'expérimentation	259
3.5	Facteurs d'étude et leurs caractéristiques.....	259
3.6	Notions de modalité « témoin » et modalité de « référence » ..	260
3.7	Variables d'études : observations, comptages et mesures	260
3.8	Collecte des données sur le terrain.....	261
4	Dispositifs expérimentaux de terrain	264
4.1	Randomisation totale.....	265
4.2	Dispositif en blocs « vrais ».....	266
4.3	Dispositif en blocs en bandes	267
4.4	Dispositif en blocs en carré latin	268
4.5	Dispositif en blocs en split-plot en bandes	269
4.5.1	L'exemple d'un essai de lutte contre le mildiou	269
4.5.2	Essai densité de plantation et système de conduite sur Gamay	269
	Index	273

Liste des auteurs

Violette Aurelle, ingénieure agronome, gestion durables des sols, Chambre d'agriculture de la Gironde.

Lorelei Boechat-Cazenave, ingénieure agronome, professeure certifiée de l'enseignement productions végétales.

Olivier Geffroy, enseignant chercheur en viticulture, œnologie et analyse sensorielle, Ecole d'ingénieurs de Purpan, Toulouse.

Katia Gindro, biologiste-Mycologue, protection des végétaux, Agroscope Changins, Suisse.

Christophe Héraud, professeur agro équipements, télépilote de drone, lycée agro-viticole de Blanquefort, Gironde.

Christian Linder, ingénieur recherche protection des végétaux, Agroscope Changins, Suisse.

Océane Ricau, ingénieure agronome, gestion durable des sols, Chambre d'agriculture de la Gironde.

Frédérique Tavard, master II Bordeaux Oenologie Ampélogie, professeure de viticulture-agronomie, lycée viticole de Beaune.

Olivier Viret, responsable du centre de compétence viti-viticulture, cultures spéciales et protection des végétaux de l'État de Vaud, Direction générale de l'agriculture de la viticulture et des affaires vétérinaires (DGAV), Morges, Suisse.

Avant-propos

Les petits précis taillés pour les vignerons ont l'ambition de regrouper un ensemble de connaissances essentielles pour le métier de vigneron. Ils constituent des ouvrages de référence pour les étudiants en viticulture-oenologie.

Ils comportent des éléments généraux de compréhension et un développement des aspects très pratiques du métier de vigneron, en cohérence avec les modules de formation du ministère de l'Agriculture. Les exemples pratiques sont diversifiés, provenant des principaux vignobles de France et de Suisse. Ils se déclinent en six tomes :

- deux tomes « viticulture » :
 - l'implantation et le développement de la vigne,
 - la production du raisin ;
- deux tomes « œnologie » sur l'élaboration des vins ;
- deux tomes sur le vigneron comme acteur du développement durable (du concept à la pratique).

Ils s'adressent aux étudiants en Viticulture-Oenologie de BTS, d'écoles d'ingénieurs ou masters spécialisés, aux œnologues, aux néo-vignerons et aux praticiens désireux d'actualiser leurs connaissances. Il a mobilisé 15 auteurs principaux, représentant un panel d'enseignants en lycées viticoles, écoles d'ingénieurs, universités, et d'ingénieurs de centres techniques ou de conseils. Des livres techniques que l'on peut aborder par différentes approches de lecture.

Je remercie chaleureusement les auteurs pour leurs précieuses contributions. Ils se sont efforcés d'apporter des réponses aux nouveaux enjeux de la filière :

- la pérennité du vignoble,
- l'adaptation au changement climatique et l'atténuation des impacts,
- produire en quantité et en qualité,
- rechercher une performance économique et environnementale,
- prendre en compte les attentes de la société et des consommateurs.

Ils se sont concertés régulièrement pour ajuster, harmoniser les chapitres afin d'éviter les doublons. Une ré-édition périodique de l'ouvrage permettra d'améliorer sa cohérence, de prendre en compte le retour des utilisateurs, d'intégrer l'évolution des modules-programmes de formation et essentiellement d'actualiser le contenu.

Je remercie tout particulièrement les personnalités qui ont préfacées ces trois tomes :

- Alain Deloire, professeur de viticulture à l'Institut agro Montpellier,
- Laure Gasparotto, journaliste spécialisée au *Monde*, écrivaine et ex vigneronne,
- Hans Reiner Schultz, professeur et président de l'Université de Geisenheim, spécialiste du climat et du développement durable.

Je leurs exprime toute ma gratitude pour leurs contributions à la reconnaissance et la diffusion de l'ouvrage.

Face à la multiplicité et la fragmentation des informations, le livre conserve une utilité essentielle de synthèse. Ces petits précis en sont une illustration.

Jean Luc BERGER

Ex Dr. de la Sicarex Beaujolais
Dr. Technique de l'IFV
Expert de l'OIV

Préface

La filière viticole (la « wine industry » en anglais) a toujours été soumise à des challenges qu'il a fallu relever comme par exemple récemment à l'échelle de l'histoire l'invasion du Phylloxera à la fin du XIX^e siècle. Depuis l'avènement de la solution retenue qui est le greffage des cépages sur des *Vitis* sp « américains », d'autres problèmes ont dû être surmontés comme la lutte contre les bio-agresseurs.

Des évolutions majeures ont eu lieu comme l'organisation de la filière par exemple via la création des comités interprofessionnels régionaux et aussi la création des appellations d'origine contrôlée (AOC) devenues appellation d'origine protégée (AOP) à l'échelle européenne.

Depuis le début du XX^e siècle, les progrès techniques au vignoble (sélection clonale, création de nouveaux systèmes de conduite de la vigne, mécanisation, produits phytosanitaires, et plus récemment la création de variété résistantes aux Mildiou et à l'Oïdium...) et en cave (cuve inox, micro-oxygénation, progrès sur la sélection des levures...) ont permis le développement et le maintien de la filière viticole grâce notamment à la recherche et au développement et à la volonté des vignerons et vigneronnes de progresser en expérimentant et en observant avec patience.

Et puis voilà que survient ce qui sera peut-être le plus grand défi de la filière viticole pour les prochains 30-50 ans : le changement ou dérèglement climatique et les pollutions associées. Les conséquences sont importantes en terme de gestion des vignobles et méthode d'élaboration des vins en cave, auxquels il faut associer les attentes sociétales en terme d'environnement et les demandes du consommateur pour des vins produits dans des conditions plus « écologiques ».

Et à partir de là, la tentation est forte de jeter le bébé avec l'eau du bain et de tout remettre en question !

Alors qu'il est souhaitable, important et sain de se questionner sur l'impact des techniques de production au vignoble et en cave sur l'environnement, la santé de la vigne, la composition des vins (moins de résidus) sans pour autant négliger le gout du vin, il serait dommageable pour la filière viticole d'opposer les viticultures (conventionnel, HVE, bio, biodynamie, permaculture) et les techniques d'élaboration des vins (levures indigènes versus levures sélectionnées, cuves inox versus amphores...).

Cela nous amène à réfléchir sur la question suivante : qu'est ce qui a permis les progrès et les évolutions au sein des métiers de notre filière ?

Certainement en premier l'imagination et l'intelligence des hommes et des femmes qui ont contribué patiemment à ces évolutions mais aussi et surtout la collaboration entre les différents acteurs de la filière (vignerons et vigneronnes, œnologues, techniciens et techniciennes, chercheurs et chercheuses, enseignants et enseignantes, journalistes...).

Et enfin ces progrès et ces évolutions ont été rendus possible grâce au progrès des savoirs et savoir-faire, progrès et évolutions alimentés par la recherche et le développement, par l'expérimentation au vignoble avec sa cohorte d'échecs mais aussi de succès.

Le présent ouvrage est l'illustration parfaite de la puissance des collaborations interdisciplinaires mises au service de la rédaction et de la production d'une source indispensable de connaissance qui permet non seulement de former les générations actuelles et futures, mais aussi d'informer les acteurs de la filière sur les connaissances de bases nécessaires à une gestion éclairée des vignobles.

Le lecteur y puisera des connaissances allant du sol au raisin. En effet les quatre « compartiments » sont traités de façon experte : i) le sol et l'enracinement de la vigne, ii) la canopée et son fonctionnement (croissance végétative, photosynthèse), iii) le développement de la baie et sa composition (métabolites primaires et secondaires), iv) le climat (les indices climatiques, la demande climatique, l'évapotranspiration des vignobles). Ces connaissances disciplinaires sont présentées de façon intégrée et permettent de mieux comprendre le rôle des facteurs abiotiques (lumière, température et eau) sur le fonctionnement de la vigne et du raisin en relation avec le profil aromatique des vins. « Mieux comprendre » cela permet d'être capable d'innover et de progresser en termes de gestion « intégrée » des vignobles pour tenter de résoudre les problèmes liés aux épisodes de gel de printemps, à la sécheresse, au stress thermique, aux bio-agresseurs, sans oublier la santé des sols et de la vigne et la qualité du raisin et des vins.

Accroître ses connaissances c'est aussi s'ouvrir à des approches nouvelles de la viticulture et de la gestion des vignobles : taille non mutilante, agroforesterie, biodiversité, réduction des intrants et pourquoi pas s'inspirer de la permaculture. Cela ne signifie pas qu'il faille pour autant renoncer à toutes les pratiques viticoles et/ou œnologiques développées depuis le début du xx^e siècle. Les vignes auront toujours besoin d'eau pour produire des raisins et à titre d'exemple l'irrigation est une des réponses et fait partie des outils à disposition dans la boîte à outils.

Ces deux premiers tomes, véritables outils de travail et de communication, sont au service de l'enseignement (BTS, Licence, Licence pro, Master) et des formations (continues, professionnelles...).

La qualité de son contenu reflète les expertises mises en œuvre pour sa conception et sa rédaction et il s'inscrit dans la continuité des livres de viticulture publiés par les éditions France Agricole.

Ces connaissances de base sont certainement amenées à évoluer mais elles reflètent le chemin parcouru et les réels progrès réalisés au sein de la filière viticole. Évidemment ce qui était considéré comme un progrès hier ne l'est peut-être plus aujourd'hui ou ne le sera plus demain, alors continuons à éclairer la longue route qu'il faut parcourir ensemble au service de la vigne et du vin à la lumière des observations et des connaissances « terrain » générées par les professionnels (vignerons, techniciens...) et des avancées de la science, *via la formation* des générations futures et des acteurs de la filière, en évitant le dogmatisme et l'obscurantisme.

Le transfert des savoirs permet l'innovation et l'amélioration des pratiques culturelles qui passent obligatoirement par l'adoption de ces évolutions par les vignerons-vignerottes : il n'y a pas de progrès possible sans l'assentiment des professionnels eux-mêmes.

Alain Deloire

Gestion durable du sol et couverts végétaux

I

*Lorelei Boechat-Cazenave,
Violette Aurelle, Océane Ricau*

1 Gestion des sols et couverts végétaux en viticulture

1.1 État des lieux des pratiques actuelles

La vulnérabilité des sols viticoles, combinée à des pratiques peu favorables à l'entretien de leur fertilité organique, physique et chimique, expose particulièrement la viticulture à la dégradation et l'érosion des sols. En conséquence, les sols n'assurent plus leurs fonctions de réservoir nutritif pour les plantes et de résilience face aux aléas climatiques, ce qui a des répercussions sur la production viticole : baisse importante des rendements et/ou moûts carencés en azote assimilable. Pourtant, en viticulture, les sols occupent une place centrale à travers le concept de terroir viticole qui confère aux vins une identité organoleptique. Face à ce constat, il convient de faire un tour d'horizon des pratiques actuelles pour comprendre leurs impacts sur la fertilité des sols et s'orienter vers des stratégies de gestion durable des sols viticoles.

1.1.1 Désherbage chimique

Toute action de désherbage a pour objectif de limiter la concurrence générée par la couverture végétale pour la vigne vis-à-vis des ressources en eau et azote. Elle consiste à épandre une solution active sur les adventices qui les détruit partiellement ou totalement. Le désherbage chimique en viticulture se pratique en plein, c'est-à-dire sur l'intégralité de la parcelle (*photo 1.1*), ou 1 inter-rang sur 2 et/ou seulement sous le rang de vigne. Il existe plusieurs stratégies selon les configurations de vignobles.



◀ **Photo 1.1** : Désherbage en plein. (© Chambre d'agriculture de la Gironde)

En France, actuellement, la gestion des adventices se fait sur 60 % des surfaces viticoles avec des herbicides localisés sous le rang, combinés à du travail du sol et/ou de la tonte dans l'inter-rang. Le contrôle des adventices exclusivement avec des herbicides ne persiste que sur 14 % des surfaces viticoles (Jacquet *et al.*, 2019). Si les herbicides sont toujours très employés sous le rang, c'est qu'ils permettent de limiter l'emploi d'outils de travail du sol inter-ceps qui requièrent une certaine technicité d'utilisation pour les tractoristes, sont chronophages (débit chantier moyen 2,5 km/h) et peuvent abîmer les pieds de vigne et causer leur mort prématurée.

Depuis le début du ^{xxi}^e siècle, l'utilisation des herbicides ne cesse d'augmenter (Monteiro et Moreira, 2004). Classés selon leurs modes d'action, ils sont sélectifs, visant une adventice en particulier, ou non-sélectifs. Ainsi, on retrouve des herbicides permettant d'éliminer de façon privilégiée les adventices annuelles (cycle vie : 1 an) et/ou les vivaces (cycle vie : plusieurs années). Une utilisation répétée d'un herbicide peut conduire à des phénomènes de résistance, c'est pourquoi les molécules herbicides employées doivent changer entre les applications (Gago, Cabaleiro et García, 2007). Les herbicides sont classés selon leurs substances actives, modes d'action et la période optimale pour leur application (Au, 1993).

1.1.1.1 Les modes d'action : contact vs systémique

- Les herbicides de contact affectent et détruisent le feuillage de la plante sur lequel est appliqué le produit et empêchent la photosynthèse. Particulièrement efficaces sur les adventices annuelles, qui n'ont pas d'organes souterrains pour se développer à nouveau, on les retrouve fréquemment en viticulture *via* notamment l'utilisation de Diquat® et Paraquat®.
- Les herbicides à action systémique pénètrent dans la plante pour affecter tout son métabolisme. Ces herbicides détruisent les adventices en altérant les cycles de synthèse des protéines, des lipides... (Au, 1993). Adaptés sur les plantes vivaces, les herbicides systémiques les plus employés en viticulture sont le glyphosate et le katana.

1.1.1.2 La période d'application : prélevée ou post levée

La période d'application des herbicides est aussi un élément clé dans la classification des produits. Il existe des herbicides de prélevée et de post-levée qui permettent d'intervenir sur les adventices selon leurs stades phénologiques et d'avoir une meilleure efficacité. Les herbicides de prélevée inhibent la germination (Schreck, 2008). Selon le stade de développement de la plante auxquels ils sont appliqués, leur action va alors cibler de façon privilégiée, la graine, les racines, la tige ou les feuilles.

La star en viticulture, c'est le glyphosate, car il est l'herbicide le plus utilisé pour son efficacité et son faible coût à l'hectare (12 €/ha de produit). Cependant, les risques environnementaux associés à ce produit sont importants. En 2017, l'Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail (ANSES) parle de 50 % des points de prélèvements sur les eaux de surface (rivières, lacs) pollués au glyphosate et 74 % à l'acide aminométhylphosphonique (AMPA), molécule de dégradation du glyphosate. Les eaux souterraines sont également concernées pour 3 à 4 % des points de prélèvements où la teneur en glyphosate et/ou AMPA dépasse le seuil autorisé de 900 µg/L (autres substances : seuil fixé à 0,1 µg/L).

Une autre limite à ce produit réside dans l'apparition de résistances pour certaines adventices (Fried, 2007).

Le désherbage chimique en viticulture bien qu'efficace, peu onéreux et facile à mettre en œuvre, est aujourd'hui largement remis en question de par ses effets néfastes sur notre environnement et en particulier sur la contamination de nos eaux à long terme. L'utilisation du glyphosate est désormais très limitée en viticulture, car la dose applicable est de 450 g/ha, ce qui représente un tiers de la surface épandue à dose pleine. Des produits en biocontrôle se développent pour les viticulteurs souhaitant rester sur une solution chimique plus respectueuse de l'environnement, tels que le Beloukha®.

Alexandre DAVY

Chargé d'expérimentations, Institut français de la vigne et du vin (IFV), Nouvelle-Aquitaine

Le Beloukha®, un herbicide classé biocontrôle

Le Beloukha® présente la particularité d'être le seul produit herbicide classé dans la catégorie des produits de biocontrôle. Sa matière active, l'acide pélargonique, agit par action de contact comme le ferait un défanant classique. Il peut donc être utilisé comme herbicide pour entretenir le cavillon, mais également comme herbicide pour épamprer les ceps de vigne. Toutefois, le niveau d'efficacité obtenu n'est pas à la hauteur des herbicides de synthèse classiques et, encore moins, du glyphosate en ce qui concerne l'entretien du sol. En effet, dans les conditions de nos essais (*photo 1.2*), l'utilisation du Beloukha® comme solution unique de désherbage sous le rang n'a pas permis d'obtenir un résultat satisfaisant dans la majorité des situations.



◀ **Photo 1.2** : Essais de Beloukha® sur micro-placettes dans le cadre du projet ALTGLYPHO. Les placettes ayant reçu les concentrations de Beloukha® les plus importantes sont les plus jaunies (©IFV Bordeaux).

Son efficacité est maximale sur des adventices au stade plantule. Elle décroît rapidement lorsque les plantes se développent et/ou lorsque le couvert végétal se densifie. Son effet s'apparente alors à celui d'une tonte avec un dessèchement des organes verts touchés, puis une repousse plus ou moins rapide selon les plantes et les conditions météorologiques.

Il n'a pas été possible d'accroître l'efficacité du Beloukha[®], ni par le biais du choix des buses, ni par celui de l'utilisation d'adjuvants à la bouillie de traitement. La seule augmentation de l'efficacité a été obtenue en augmentant la dose de produit appliqué (concentration de la dose homologuée par hectare sous le rang), mais cela se traduit inévitablement par une augmentation du coût de l'opération à l'hectare. Contrairement aux jardins et espaces verts où les surfaces à désherber sont relativement faibles, les superficies sont importantes en viticulture. Le prix élevé du produit à l'hectare est donc un frein majeur au développement de son utilisation.

La récente évolution concernant la restriction d'usage du glyphosate (450 g/ha/an) pourrait constituer une opportunité à un déploiement limité en imaginant des stratégies combinant plusieurs solutions (glyphosate → Beloukha[®] adventices/pampres → travail du sol) si les autres solutions chimiques (défanants) venaient à disparaître. Le développement du désherbage de précision, ciblant spécifiquement le feuillage des adventices, pourrait en outre constituer une voie pour l'utilisation du Beloukha[®] à un coût hectare qui ne serait plus prohibitif.

1.1.2 Désherbage mécanique

Comme pour le désherbage chimique, le travail du sol dans les vignes au cours de la saison a pour principale fonction de limiter le développement des adventices (*photo 1.3*).



▲ **Photo 1.3** : Désherbage mécanique en inter-rang de vigne. (© Chambre d'agriculture de la Gironde)

De plus, il permet la reprise de la structure du sol en surface pour décompacter, aplanir, ou favoriser l'infiltration des eaux de pluie. Très répandu dans les inter-rangs (outils verticaux à dents ou disques, et/ou rotatifs), il est plus délicat à mettre en œuvre techniquement sous

le rang (charrue décavaillonneuse, lames, etc.). La conjoncture de réduction de l'utilisation des herbicides en agriculture conventionnelle (Gaviglio et Gontier, 2013) et l'augmentation des surfaces en agriculture biologique expliquent le développement des surfaces travaillées mécaniquement en viticulture, qui sont passées de 10 % en 2006 à 19 % en 2010 (Ambiaud, 2012).

Optimiser les interventions de travail sous le rang pour limiter la casse des ceps : retours d'expériences de trois vigneron

Source : Ehrhard F. 2022. « Les solutions de trois vigneron pour limiter la casse des ceps lors du travail du sol ». *Vitisphere*. <https://www.vitisphere.com/actualite-97561--les-solutions-de-trois-vignerons-pour-limiter-la-casse-des-ceps-lors-du-travail-du-sol.html>

Les stratégies de désherbage mécanique passent par la combinaison d'outils complémentaires à adapter selon les millésimes. Retour sur trois configurations pour un objectif commun : limiter les blessures et arrachages de ceps au contact des outils en facilitant leur passage (Ehrhard, 2022).

Exploitation	Hérault - 85 ha en biodynamie	Jura - 11,3 ha en bio	Cher - 22 ha en bio
Problématique	Jeunes plants arrachés par les interceps	Formation de grosses mottes dures par temps sec sur sols argileux	Accrochage des ceps par la décavaillonneuse, en particulier sur vieilles vignes
Itinéraire technique	- Chaussage avec des socs versoirs en janvier - Décavaillonnage - Alternance lames et disques émotteurs associés à des doigts Kress en saison	1 ou 2 chauffages avec des disques en sortie d'hiver avant d'utiliser les lames	Montage de disques Valmatic sur enjambeur, associés à des doigts Kress
Retours d'expériences	Sols meubles donc meilleure réactivité des interceps	Prévoit de monter les interceps sur enjambeur : - pour limiter le balancement du cadre porté à l'arrière du tracteur sur les mottes - pour désherber 2 rangs à la fois	- Travail du rang sur tout le domaine en quelques jours - Limite les décavaillonnages

La gestion du rang par désherbage mécanique nécessite une bonne maîtrise technique (réglages, concentration des chauffeurs sur les parcelles en double pente) et un temps d'observation du comportement des outils. Il faut également prévoir des adaptations organisationnelles telles que la multiplication des outils et des chauffeurs.

Pour être efficace, le désherbage mécanique doit être réalisé régulièrement, plusieurs fois entre mars et juin, sur des adventices peu développées. Un couvert végétal trop important compromet fortement l'efficacité des outils, en particulier pour le travail sous le rang. Le choix de la stratégie de désherbage mécanique et des outils utilisés sont liés aux conditions physiques des sols (texture, structure, pierrosité) ainsi qu'à leur humidité.

Localisé sous le rang, le désherbage mécanique permet d'aérer le sol, de favoriser son réchauffement, l'activité microbienne ainsi que l'infiltration de l'eau.

Seule alternative aux herbicides pour éliminer les adventices, le travail du sol entraîne aussi de nombreuses problématiques : dégradation du système racinaire des pieds de vigne historiquement désherbés, diminution de l'activité biologique (vers de terre, mycorhizes), (Maron et Ranjard, 2018), augmentation des risques de dégradation des sols (érosion, compaction, lessivage...), consommation importante de carburants (Constant *et al.*, 2019). La mise en place d'un travail du sol sous le rang de vigne sur des vignes initialement désherbées chimiquement peut entraîner jusqu'à 25 % de pertes de rendements la première année (Jacquet *et al.*, 2019).

Longtemps traditionnels (charrue décavaillonneuse, lames inter-ceps), les outils de travail du sol se perfectionnent de nos jours pour limiter ces impacts négatifs. Les outils sont plus diversifiés et permettent d'éliminer les adventices au plus près des pieds avec des combinaisons de disques. Ce travail du sol plus superficiel (en surface) limite l'impact sur la macrofaune du sol (lombrics...) et offre un débit chantier intéressant d'en moyenne 4-6 km/h (équivalent pour application herbicide). Les stratégies de travail du sol peuvent être moins chronophages et coûteuses en carburants si la bonne stratégie et combinaison d'outils est trouvée, en adéquation avec la nature des sols (texture, pierrosité). Il faut aussi apprendre à tolérer un salissement d'adventices plus important sous le rang de vigne sans se laisser pour autant envahir, ce qui implique une connaissance plus fine des cortèges floristiques présents en parcelles viticoles et qui sera développée dans les parties suivantes.

Adel Bakache

Conseiller agrééiquement à la Chambre d'agriculture de la Gironde

Un itinéraire adaptable

La mise en place d'une stratégie d'entretien du sol sans herbicides doit prendre en compte de nombreux paramètres : la topographie, la nature des sols, des adventices, le mode de conduite, les moyens humains et le matériel de l'exploitation.

Ces éléments vont conditionner le choix de l'itinéraire cultural de gestion des sols qui se doit d'être évolutif et s'organise autour de 4 grandes stratégies de base (figure 1.1) :

ITK	HIVER		PRINTEMPS			ÉTÉ			AUTOMNE			HIVER
	JANV.	FEV.	MARS	AVRIL	MAI	JUIN	JUIL.	AOUT	SEPT.	OCT.	NOV.	DEC.
4 FAÇONS		DÉCHAUSSAGE			BUTTAGE		DÉCHAUSSAGE			BUTTAGE		
SUPERFICIEL		BUTTAGE			LAMES		DISQUES			LAMES		
SI ANNÉE HUMIDE		BUTTAGE / TONTE		LAMES	DISQUES	LAMES	DISQUES		LAMES			
4 FAÇONS + SUPERFICIEL		DÉCHAUSSAGE		DISQUES		LAMES		LAMES	BUTTAGE			

© Loïc Pasdois

▲ **Figure 1.1** : Les stratégies d'itinéraires techniques de travail du sol. (© Chambre d'agriculture de la Gironde)

1. L'itinéraire type 4 façons

Il s'agit d'un itinéraire classique qui consiste à former une butte sous le rang et à la déplacer. Cet itinéraire est adapté aux sols légers, filtrants ou enherbés. Il comprend 4 passages dans la saison :

- 2 buttages à la charrue (soc + versoir) ou aux disques crénelés ;
- 2 déchaussages avec décavaillonneuse mécanique ou hydraulique ou outil rotatif type pétalmatic (sauf sur sols limoneux).

2. L'itinéraire superficiel sur une année sèche

En année sèche, le choix de matériels adaptés est plus large, la majorité des matériels peuvent être utilisés car l'état du sol le permet. Cet itinéraire est moins adapté aux sols légers et sans structure (attention à l'utilisation de disques émotteurs sur les limons et les graves). Quatre passages sont à réaliser :

- 1 buttage léger aux disques émotteurs ou crénelés (en sortie d'hiver) ;
- 2 passages de lames (en saison et après vendanges) ;
- 1 buttage léger aux disques émotteurs ou crénelés (en saison).

3. L'itinéraire superficiel sur une année humide

En sortie d'hiver sur une année humide, certains types d'outils sensibles au bourrage ne peuvent pas être utilisés, le choix de type d'outils est restreint et les fenêtres d'interventions sont plus courtes, cela implique une augmentation de la fréquence de passage. Il faut compter 5 à 6 passages :

- 1 tonte ou 1 buttage aux disques crénelés (en sortie d'hiver) ;
- 2 à 3 passages de lames (en saison et après vendanges) ;
- 2 buttages légers aux disques émotteurs ou crénelés (en saison).

4. L'itinéraire façons superficiel et deux façons

Sur certaines parcelles sensibles (contraintes topographiques, forte présence d'adventices...) l'itinéraire « 4 façons » classique doit être adapté en rajoutant des passages de lames afin de maîtriser la présence d'adventices. Généralement, 5 passages sont à réaliser :

- 1 débutage avec décavaillonneuse (en sortie d'hiver) ;
- 1 buttage léger aux disques émotteurs ou crénelés (en saison) ;
- 2 passages de lames (en saison) ;
- 1 buttage aux disques crénelés ou charrue traditionnelle (après vendanges).

5. L'itinéraire « Tonte »

Cet itinéraire est adapté à certaines configurations où le passage d'outils mécanique peut causer des dégâts, ou en cas de présence importante d'herbe au printemps. Le nombre de passages conseillé va de 3 à 5 tontes/an selon le niveau de « propreté » attendu. Le premier passage est décisif pour la pousse de l'herbe. Un premier passage tardif (à partir d'avril) ralentit la repousse et limite le développement d'espèces concurrentielles au profit d'une plus grande diversité floristique. Cet itinéraire peut être couplé à un itinéraire classique avec des disques émotteurs et des lames interceps.

Quelques recommandations/points de vigilance :

- certains outils existant au sein de l'exploitation peuvent être utilisés (charrues vigneronnes, cadres...);
- l'utilisation d'outils rotatifs sur les sols limoneux peut contribuer à la création d'une croûte de battance et à l'asphyxie des sols.

Attention à l'utilisation des outils interceps sur les parcelles avec une majorité de pieds couchés (risque de blessure et d'arrachage), le réglage de la garde est primordial.

1.1.3 Couverts végétaux

Les couverts végétaux sont une alternative prometteuse pour répondre aux enjeux de gestion des sols viticoles. En France, 53 % des parcelles viticoles étaient concernées par de l'enherbement permanent et/ou temporaire en 2016 contre 37 % en 2006 (Agreste, 2020, 2009) (*photo 1.4*).



▲ **Photo 1.4** : Une parcelle composée d'enherbement spontané et semé 1 inter-rang sur 2. (© Chambre d'agriculture de la Gironde)

Ce succès s'explique d'abord par le fait que cette pratique a souvent permis de maîtriser la vigueur et les rendements des vignes, par effet de concurrence pour l'eau et l'azote (Celette et Gary, 2013) et ainsi d'améliorer la qualité de la récolte (Gaudin *et al.*, 2014).

En outre l'amélioration de la portance liée à l'enherbement facilite les interventions mécanisées, notamment pour les traitements phytosanitaires ou les vendanges.

Mais ces enherbements offrent surtout de nombreux services écosystémiques par l'augmentation des teneurs en matières organiques, de l'activité biologique (Karimi, 2020), et l'amélioration de la porosité et de la stabilité structurale. En effet, cela facilite l'infiltration de l'eau aux dépens du ruissellement, entraîne une diminution du risque d'érosion, une réduction du transfert des pesticides et des herbicides vers les eaux superficielles (Louchart *et al.*, 2001), et une amélioration de la recharge en eau des sols. L'amélioration de la stabilité structurale réduit également la sensibilité des sols à la battance et au tassement (Le Bissonnais et Andrieux, 2007). Au final, ces modifications structurales peuvent aussi avoir des répercussions agronomiques positives et, dans certains cas, améliorer la disponibilité des ressources hydriques et minérales pour la vigne : capacité plus grande du sol à retenir l'eau et les éléments minéraux.

Cependant, le principal frein à une pratique plus généralisée de l'enherbement réside dans la crainte d'une concurrence hydro-azotée excessive, en particulier en lien avec la problématique de plus en plus récurrente de sols dégradés, peu fertiles, à faible réserve utile. L'enherbement inter-rangs est très souvent associé à un travail du sol 1 inter-rang sur 2, et à un désherbage chimique et/ou mécanique sous le rang de manière à limiter au maximum les risques de concurrence (Delpuech et Metay, 2018).

Il convient donc de repenser ses itinéraires techniques pour généraliser les couverts végétaux en viticulture sous le rang, dans les inter-rangs et concilier gestion durable des sols avec productivité viticole. Mais quelle stratégie adopter en matière de couverts végétaux sur une parcelle : enherbements naturels, semés, permanents et/ou temporaires sur la totalité de la parcelle, 1 inter-rang sur 2 ?

L'encadré qui suit propose un cadre méthodologique pour s'orienter vers la bonne stratégie de couverture végétale et concilier au maximum services et dysservices.

Leo Garcia

Enseignant-chercheur à l'Institut Agro Montpellier SupAgro

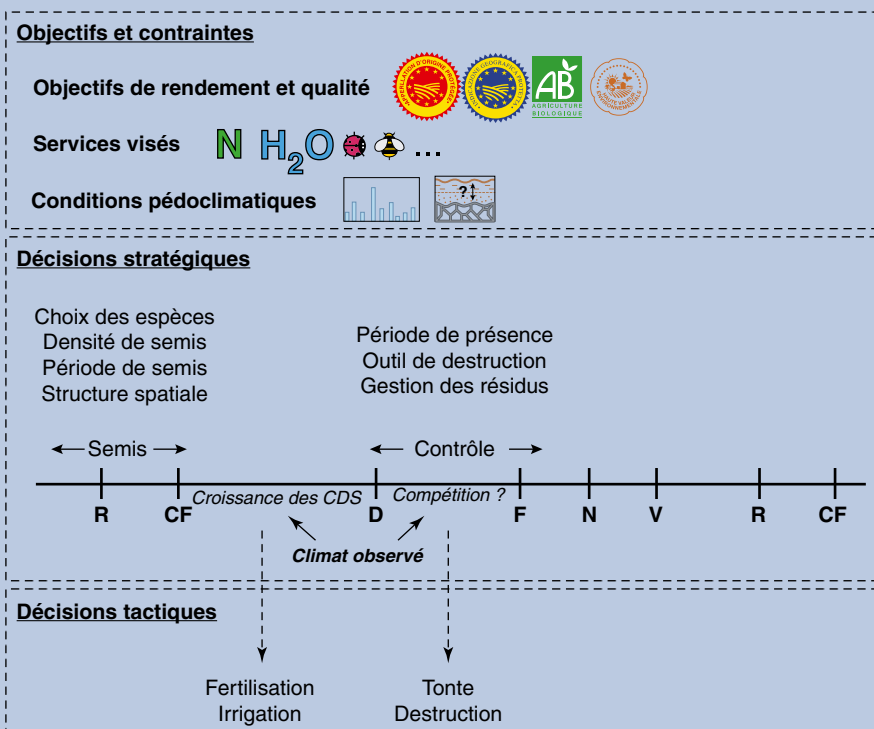
Les couverts végétaux, trouver un compromis entre services et dysservices

La pratique des couverts végétaux associée à la culture de la vigne une végétation herbacée, spontanée ou semée, gérée dans le but de fournir des services écosystémiques pour les viticulteurs et viticultrices, et pour la société comme : la réduction du travail du sol, du désherbage chimique, l'augmentation de la biodiversité... Cependant, selon les espèces implantées, leur développement, leur gestion technique et le contexte pédoclimatique, les couverts végétaux peuvent également entraîner des dysservices, et notamment une compétition avec la vigne pour les ressources du sol.

Pour chaque exploitation, la définition des objectifs de production et des services attendus, en cohérence avec le contexte pédoclimatique, est nécessaire pour la gestion des compromis entre services et dysservices rendus par le couvert végétal.

Le cadre méthodologique de la *figure 1.2* propose une approche pour raisonner au mieux ses couverts végétaux. Il s'agit dans un premier temps de définir les contraintes et objectifs associés au milieu (nature des sols, climat, biodiversité) et à la logique de production de l'exploitant (rendement visé, certifications environnementales).

Cela permet ensuite de définir la stratégie globale de l’implantation des cultures de services du semis à la destruction. C’est à ce moment-là que le viticulteur ou la viticultrice va faire le choix de son couvert végétal et de son entretien : choix des espèces (semis en pur ou mélange, espèces spontanées), dose et densité de semis, structure spatiale de l’enherbement (sur toute la parcelle, tous les inter-rangs, 1 inter-rang sur 2), période de présence, outils de destruction envisagés et gestion des résidus.



▲ **Figure 1.2** : Cadre d’analyse pour la gestion des couverts végétaux en viticulture.
(© Montpellier SupAgro)

Les décisions tactiques, en cours de saison, selon les stades phénologiques clés de la vigne (R : récolte ; CF : chute des feuilles ; D : débourrement ; F : floraison ; N : nouaison ; V : véraison) sont prises en fonction de l’état du végétal (nutrition vigne), du climat observé, et permettent d’ajuster les compromis entre services.

1.1.4 Synthèse des avantages et limites des stratégies de désherbage

Nous venons de voir les 3 grandes stratégies de gestion des sols opérants actuellement au sein des systèmes de production viticole. Ces stratégies offrent toutes des avantages et limites appelés de façon synthétique dans le *tableau 1.1* qui suit.

II Protection de la vigne et ses auxiliaires

Olivier Viret, Christian Linder, Katia Gindro

1 Origine et évolution de la lutte contre les maladies et les ravageurs

À la fin du XIX^e siècle, l'arrivée successive en Europe de l'oïdium (1851), du phylloxéra (1863) et du mildiou (1885), puis le développement croissant de ravageurs d'origine européenne comme l'acariose (1904), les acariens tétranyques et les tordeuses de la grappe ont instauré le désespoir dans le monde viticole et réduit dramatiquement les surfaces de vigne, tout en compliquant considérablement les pratiques culturales.

1.1 De la fin du XIX^e siècle aux années 1950

1.1.1 Une nouvelle contrainte : l'application de produits phytosanitaires

Jusque dans les années 1950, l'utilisation régulière de soufre et de cuivre contre l'oïdium et le mildiou, ainsi que le greffage des vignes sur des porte-greffes américains pour lutter contre le phylloxéra se généralisent et apportent de la sérénité dans les vignobles. Les tordeuses de la grappe (*Lobesia botrana* et *Eupoecilia ambiguella*) et la pyrale (*Sparganothis pilleriana*) sont combattues par des sels d'arsenic hautement toxiques, progressivement remplacés par des extraits de plantes comme le pyrèthre et la nicotine expérimentés entre 1890 et 1910 (Linder *et al.*, 2016). Malgré les solutions proposées pour lutter contre les ravageurs et les maladies, la pulvérisation des vignes à intervalles réguliers avec des « remèdes » est devenue une nécessité absolue pour assurer le rendement et la qualité, rendant la vie quotidienne des viticulteurs beaucoup plus fastidieuse.

1.1.2 Sélection d'hybrides

Pour éviter l'utilisation des produits phytosanitaires, une recherche à grande échelle sur de nouvelles variétés de vigne résistantes utilisant d'autres génotypes que ceux de *Vitis vinifera* a été initiée. Un grand nombre d'hybrides interspécifiques ont été créés, principalement en France à la fin du XIX^e siècle, en croisant *V. vinifera* avec des espèces de *Vitis* particulièrement résistantes au mildiou. Des centaines de ces variétés ont été obtenues par croisements spécifiques et ont été évaluées avec un succès mitigé en raison de leur faible potentiel œnologique. En Suisse par exemple, les variétés Seibel 1000, Seibel 5455 (syn. Plantet) et Oberlin 604 ont été plantées pour la production commerciale de vin, mais

ont rapidement disparu à la suite du développement de produits phytosanitaires plus performants que le soufre et le cuivre. En France, les hybrides ont connu un grand succès jusque dans les années 1960 (*tableau 2.1*) et ont représenté près de 30 % de la surface viticole, malgré l'interdiction en 1935 de six croisements de *Vitis labrusca* en raison de leur note foxée (Jacquez, Noah, Herbemont, Clinton, Isabelle, Othello). Ces derniers ont finalement été révoqués des appellations d'origines contrôlées (AOC) en 1953.

TABLEAU 2.1 : LES HYBRIDES INTERSPÉCIFIQUES ONT CONNU UN GRAND SUCCÈS EN FRANCE JUSQU'À LEUR INTERDICTION POUR LES VINS D'APPELLATION CONTRÔLÉE (AOC) DANS LES ANNÉES SOIXANTE

Années	Surface totale (ha)	Surface d'hybrides (ha)	%
1927	1 485 670	216 197	14,5
1947	1 550 000	370 000	23,8
1960	1 290 000	400 000	31,0
2007	835 805	6 285*	0,75

* 1 000 ha du cépage Baco blanc pour la production d'Armagnac.

1.2 Des années 1950 à nos jours

1.2.1 Gestion du sol, système de conduite et densité de plantation

En Suisse, comme dans de nombreux pays d'Europe septentrionale, les vignes se plantaient à des densités élevées de 10 000 à 12 000 pieds par hectare, pratique toujours courante dans les vignobles de Bourgogne, du Bordelais et de Champagne pour des vignes conduites en taille Guyot ou en cordon permanent. Dans les vignobles escarpés, les gobelets se palissaient à un tuteur (échalas) et étaient gérés manuellement (*photo 2.1*). Dans ces conditions, l'ensemble des travaux viticoles nécessitait plus de 1 500 heures par hectare et par an. En Suisse, ce système de culture représente actuellement moins de 3 % des surfaces cultivées. En Europe les densités de plantation sont de l'ordre de 4 500 à 8 000 pieds par hectare, alors que dans la majorité des pays viticole du monde, les densités de plantation sont inférieures (*photo 2.2*).



▲ **Photo 2.1** : Le système gobelet palissé sur un tuteur à haute densité de plantation (A) comparé à des vignes taillées en cordon permanent avec des densités réduites de moitié (B).



▲ **Photo 2.2** : Dans les principaux pays viticoles du monde, les densités de plantation sont inférieures à 4 000 plants/ha (région de Marlborough, Nouvelle-Zélande).

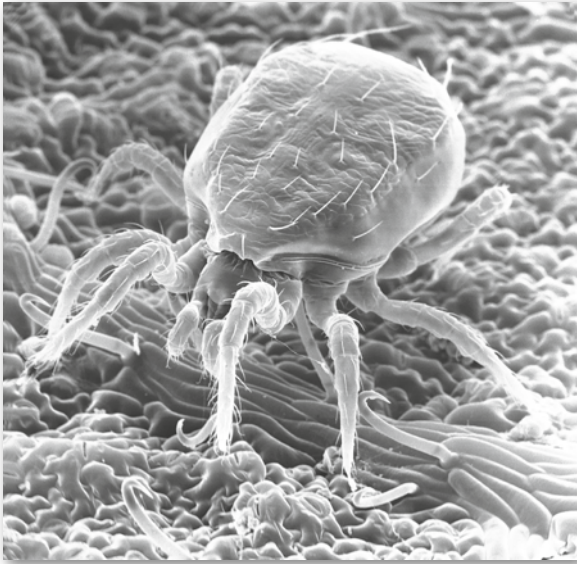
Le travail du sol pour la gestion des adventices fait partie des opérations des plus fastidieuses lorsqu'il est réalisé à la main, en particulier dans les cultures à haute densité de plantation. À partir des années 1950, l'apparition des premiers herbicides à base de dinitro-ortho-crésol (DNOC), de triazine (simazine et atrazine) ou d'acide 2,4-dichlorophénoxyacétique (2,4D), puis de diquat et de paraquat a représenté un véritable progrès en réduisant de manière significative la pénibilité du travail. Les vignes en gobelet sont généralement désherbées sur toute la surface (*photo 2.1A*) avec des risques élevés d'érosion dans les vignobles en pente, assortis de pertes de matière organique et des horizons supérieurs du sol à chaque événement pluvieux.

La densité de plantation, tout comme le système de taille courte (gobelet, cordon permanent) ou longue (Guyot simple, double, taille en Chablis, Lenz-Moser, pergola, etc.) sont des éléments historiques qui ont été intégrés dans les règles d'appellations d'origine contrôlée (AOC) instaurées à partir des années 1930 en France (actuellement appellations et d'indication d'origine protégée, AOP-IGP). En fonction des conditions climatiques régionales et des cépages, il s'agit avant tout d'assurer des rendements qualitatifs et suffisants par les systèmes de taille et les densités de plantation les mieux adaptés.

Dans les vignobles escarpés de Suisse par exemple, la densité de plantation de la vigne s'est réduite de moitié par le passage de la taille courte en gobelet, à la taille longue (Guyot, 6 000-7 000 plants par ha), établis soit dans le sens de la pente (pente < 30 %) soit en travers des pentes sur des banquettes aménagées à cet effet (pente > 30 %). Ce changement progressif a permis une rationalisation du travail par le développement d'une mécanisation légère tout en maintenant une utilisation d'herbicide réduite à l'espace sous le rang de vigne ou cavaillon (*photo 2.1B et 2.2*), tout en permettant l'installation de couverts végétaux pour éviter l'érosion, favoriser la biodiversité (plantes et arthropodes) et la teneur en matière organique du sol. Ces principes font partie intégrante du concept de la production intégrée ou de production raisonnée qui s'applique en Suisse comme dans la plupart des régions viticoles de manière généralisée sous la dénomination de viticulture « conventionnelle » en comparaison à la viticulture biologique ou biodynamique.

1.2.2 Lutte contre les ravageurs

Parmi les nombreux ravageurs de la vigne, les acariens rouges (*Panonychus ulmi*) et jaunes (*Tetranychus urticae*), tout comme les tordeuses, cochylis (*Eupoecilia ambiguella*) et eudémis (*Lobesia botrana*) sont rapidement devenus des fléaux contre lesquels la lutte était incontournable. Les insecticides organochlorés (par exemple, dichlorodiphényltrichloroéthane, DDT), organophosphorés (par exemple, parathion) et les acaricides spécifiques ont été développés ainsi qu'un grand nombre d'autres matières actives. En raison de leur utilisation intensive, ces produits ont progressivement perdu leur efficacité à la suite du développement de résistances. Dans les années 1970, l'inquiétude générale suscitée par cette situation a conduit au concept de production ou de lutte intégrée (raisonnée) qui visait à privilégier les approches de lutte prophylactique et biologique afin de n'engager les matières actives spécifiques qu'en dernier recours (Delucchi, 1987 ; Baggiolini 1990, 1998). De nombreuses années de recherche et d'accompagnement sur le terrain ont été nécessaires au développement de méthodes de lutte biologique ou biotechnique, à l'exemple du contrôle des acariens ravageurs par les prédateurs typhlodromes (photo 2.3) qui remplace depuis des décennies l'utilisation d'acaricides en viticulture.



◀ **Photo 2.3** : L'acarien prédateur *Typhlodromus pyri* a révolutionné la lutte contre les acariens ravageurs par une approche biologique durable (microscopie électronique à balayage, $\times 10\ 000$).

Un autre exemple est la lutte par confusion sexuelle contre les vers de la grappe. Cette technique consiste à diffuser des phéromones de synthèse (photo 2.4) pour empêcher les papillons mâles de retrouver les femelles et de s'accoupler. Ces dernières ne pondent plus et aucune larve n'est ainsi en mesure de s'attaquer au raisin. Cette méthode généralisée dans le vignoble suisse depuis de nombreuses années a conduit à la disparition presque totale de ces ravageurs qui précédemment nécessitaient l'application de plusieurs traitements insecticides. En conséquence, les principaux acariens ravageurs sont contrôlés par des acariens prédateurs typhlodromes et les tordeuses de la grappe par la confusion sexuelle. Ces réalisations ont permis de réduire de manière significative le nombre de traitements phytosanitaires. Ces développements ont conduit à une réduction massive du nombre de matières actives insecticides et acaricides disponibles sur le marché.



▲ **Photo 2.4** : Diffuseur de phéromone pour la lutte par confusion sexuelle contre cochylis et eudémis qui permettent de se passer pratiquement d'insecticides en viticulture.

L'arrivée de nouveaux ravageurs (*photo 2.5*), comme la drosophile du cerisier (*Drosophila suzukii*), le scarabée japonais (*Popillia japonica*), la punaise marbrée (*Halyomorpha halys*) ou la progression de la cicadelle de la flavescence dorée (*Scaphoideus titanus*), vecteur de cette maladie de quarantaine, représentent de nouveaux défis pour les stratégies de lutte biologique contre les ravageurs.



▲ **Photo 2.5** : Les ravageurs émergents, comme le scarabée japonais (A) ou la punaise marbrée (B), sont de nouveaux défis pour la lutte biologique.

1.2.3 Lutte contre les maladies fongiques

La lutte contre les maladies fongiques reste un des points clés de la culture de *V. vinifera*, très sensible aux principales maladies fongiques. Jusque dans les années 1955, avec l'apparition des premiers phtalimides (captane, folpet), seuls le soufre contre l'oïdium et le cuivre contre le mildiou, appliqués en grande quantité permettaient d'assurer la production de raisins. Le développement de nouveaux fongicides remonte à la période 1950 à 1970, avec

les dithiocarbamates (manèbe, mancozèbe, propinèbe, zinèbe...) et les benzimidazoles (bénomyl, carbendazime, diéthofencarbe...) contre le mildiou, et les dicarboximides (vinchlozoline, iprodione, procymidone...) contre la pourriture grise. Ces deux derniers groupes chimiques ont rapidement été concernés par la résistance des pathogènes qui remet en cause l'ensemble des stratégies de lutte. À partir des années 1980, un grand nombre de substances actives ont été développées, avec des modes d'action biochimiquement très spécifiques afin de réduire les effets secondaires négatifs sur les autres organismes et sur l'environnement. L'utilisation de ces fongicides, dit unisites, a été limitée en fonction du risque de résistance lié au mode d'action des molécules actives et des caractéristiques biologiques des pathogènes concernés (Fungicides Resistance Action Committee, FRAC, 2021). Pour faire face à la virulence des maladies fongiques, ces matières actives spécifiques au mode d'action pénétrant ont été systématiquement combinées aux produits de contact dans le but d'assurer conjointement les effets préventifs et curatifs pour optimiser l'efficacité.

Pendant cette même période et plus récemment, la recherche de composés organiques, d'extraits de plantes, de bactéries ou de champignons antagonistes et de stimulateurs des mécanismes de défense naturels (éliciteurs) s'est intensifiée. En Suisse, l'argile sulfurée combinée à des extraits de prêle (*Equisetum* sp.) a été le premier produit homologué pour lutter contre le mildiou et l'oïdium avec une efficacité partielle. Dans ce pays, les produits partiellement efficaces sont reconnus dans le processus d'homologation, afin de combler le manque de fongicides autres que le cuivre, disponibles pour les exploitations biologiques. D'autres produits phytosanitaires à base des antagonistes bactériens *Aureobasidium pullulans* et *Bacillus* sp. pour lutter contre la pourriture grise, de chito-oligo-polysaccharides et d'oligo-galacturonides (COS-OGA), de laminarine, d'huile de fenouil, de bicarbonate de potassium et de phosphonate de potassium contre le mildiou et/ou l'oïdium sont disponibles comme alternative aux produits chimiques de synthèse. Leur efficacité en fonction de la pression des maladies fongiques est partielle et leur utilisation requiert de ce fait une plus grande fréquence de traitements préventifs.

Pour une lutte efficace contre les maladies fongiques, le choix des matières actives, le moment adéquat en fonction du développement épidémiologique des pathogènes, le dosage adapté à la surface foliaire au moment du traitement (Siegfried *et al.*, 2007) et un calibrage parfait des pulvérisateurs en fonction du couvert végétal (Viret *et al.*, 2003) sont les éléments déterminants (*photo 2.6*). Ces principes permettent d'optimiser l'efficacité de la lutte et de réduire les impacts négatifs sur l'environnement lors de l'utilisation des produits phytosanitaires. L'intégration de ces paramètres ne suit pas la logique des traitements basés sur un calendrier fixe à intervalles de 8-15 jours et implique une réflexion parcellaire en fonction du microclimat et de la sensibilité des cépages. Sans aide à la décision fournie par des modèles de prévision des risques (Bleyer *et al.*, 2012, 2014 ; Dubuis *et al.*, 2012, 2014), basés sur l'intégration des paramètres microclimatiques mesurés sur le terrain et de module de calcul du dosage et du calibrage des pulvérisateurs¹, de nombreuses sources d'erreur peuvent mener à des pollutions diffuses ou des manques d'efficacité de la lutte. La priorité absolue lors de la manipulation des produits phytosanitaires, outre la protection des utilisateurs et de la population va à la protection des eaux de surface et souterraines. L'essentiel des pollutions diffuses trouve son origine au moment du remplissage et du rinçage des pulvérisateurs par la connectivité des eaux d'écoulement avec les cours d'eau et les lacs. Des installations de récupération des eaux polluées sont dès lors incontournables si un rinçage à la parcelle n'est pas réalisé.

1. www.agrometeo.ch



▲ **Photo 2.6** : Indépendamment du type d'appareil, un calibrage parfait du pulvérisateur est indispensable pour assurer l'efficacité de la lutte, tout en minimisant les impacts environnementaux (A). La répartition de la bouillie dans la haie foliaire peut être visualisée à l'aide de papier hydrosensible (B).

1.2.4 Sélection de vignes résistantes aux maladies fongiques

Une réduction plus significative de l'usage des produits phytosanitaires en viticulture ne peut être obtenue qu'en améliorant la résistance naturelle de la vigne par croisement de *V. vinifera* avec des espèces de *Vitis* ou de *Muscadinia* résistantes aux maladies fongiques. Les obtentions actuelles sont issues de nombreux rétrocroisements qui permettent le meilleur équilibre possible, entre la part de gènes liés à la résistance et ceux liés à la qualité des raisins, propres à *V. vinifera*. Bien que le résultat de ces croisements reste par définition des hybrides, la connotation de ce terme n'a plus rien à voir avec la qualité intrinsèque des hybrides interspécifiques du siècle passé. De nombreux programmes de création et de sélection sont en cours dans les différents pays viticoles d'Europe (Allemagne, France, Autriche, Italie, Suisse, Hongrie...) en vue d'obtenir des cépages les plus proches possible des cépages traditionnels reconnus de longue date pour leurs qualités organoleptiques. La sélection se base soit sur le profil des phytoalexines induites après inoculation du pathogène (Gindro *et al.*, 2006, 2012, 2013 ; Viret *et al.*, 2018), soit sur la base génomique en identifiant les QTL (Quantitative Trait Loci) liés à la résistance, dont certains participent à la synthèse et l'expression des mêmes molécules de défenses (Vezzulli *et al.*, 2019) ou d'autres mécanismes comme la synthèse de callose (Gindro *et al.*, 2013). Les milliers de pépins obtenus sont sélectionnés après leur germination et l'inoculation artificielle des principaux pathogènes, en ne conservant que les plus performants, dont le niveau de résistance est caractérisé par leur profil en phytoalexines (Gindro *et al.*, 2006) et leur QTL. Dix ans d'expérimentations sur le terrain dans différentes conditions climatiques, assorties de vinifications, d'analyses chimiques et sensorielles des vins, permettent un processus d'évaluation fiable. Actuellement, pas moins de 290 cépages avec des niveaux de résistance et de qualités organoleptiques très variables, obtenus par une vingtaine d'institutions publiques ou privées (ICV, 2013) sont diffusés, ce qui rend le choix variétal complexe en vue des enjeux climatiques et de l'évolution des réglementations.

2 Catégories de pathogènes

La pathologie végétale, ou phytopathologie, étudie les maladies des plantes causées par des organismes vivants (facteurs biotiques) ou des agents environnementaux et physiologiques (facteurs abiotiques). Plus de 50 000 maladies des plantes cultivées ou sauvages sont actuellement décrites. Chaque maladie est désignée par un nom commun et un nom scientifique. Le nom scientifique identifie à la fois le genre et l'espèce de l'agent pathogène en question. Les organismes causant ces maladies comprennent des champignons (oïdium, pourriture grise, black-rot, etc.), des Oomycètes (mildiou), des bactéries (maladie de Pierce, d'Oléron, broussin), des virus (enroulement, court-noué, etc.), des viroïdes, des phytoplasmes (bois noir, flavescence dorée), des protozoaires, des nématodes (vecteurs de viroses) ou des plantes parasites. Les ravageurs ectoparasites tels que les insectes, les acariens ou les vertébrés sont exclus de la phytopathologie, sauf s'ils jouent le rôle de vecteurs de maladies, comme les cicadelles.

2.1 Maladies fongiques

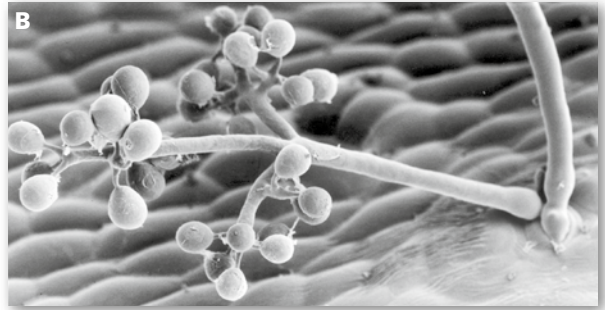
Plus de 148 000 espèces fongiques sont décrites à l'heure actuelle et les mycologues estiment la biodiversité fongique mondiale entre 3,5 à 6 millions d'espèces (Wu *et al.*, 2019). Les champignons jouent un rôle crucial dans la dégradation et la décomposition de la matière organique, au cœur du cycle du carbone. Toutefois, environ 80 % des maladies des plantes sont attribuées à des champignons. Ceux-ci peuvent se développer sur des tissus végétaux, vivants ou morts, et survivre sous forme latente jusqu'à ce que les conditions leur permettent de se développer. Ils peuvent pénétrer dans les tissus végétaux (endoparasite, par exemple le mildiou) ou croître uniquement à la surface des organes de la plante, en ancrant des structures mycéliennes spécialisées dans l'épiderme de la plante (ectoparasite, par exemple l'oïdium). Les spores fongiques qui disséminent la maladie (*photo 2.7*) sont essentiellement transportées par le vent, l'eau et la microfaune du sol. De manière générale, la croissance des champignons est favorisée par des conditions chaudes et humides.

2.2 Arthropodes

La plupart des ravageurs viticoles font partie des arthropodes (du grec *arthron* : articulation et *podos* : pied). Ces organismes invertébrés sont caractérisés par la présence d'un squelette externe (exosquelette), possèdent un corps divisé en segments auxquels se rattachent des appendices articulés. Les arthropodes comprennent entre autres les myriapodes ou mille-pattes, les crustacés, les araignées ou encore les insectes et les acariens qui constituent les principaux ravageurs de la vigne.

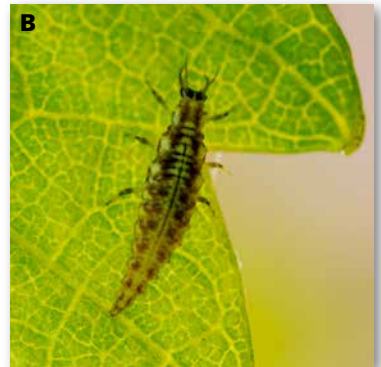
2.2.1 Insectes

Les insectes représentent la plus vaste classe de l'embranchement des arthropodes, avec environ un million d'espèces décrites au niveau mondial, soit près des deux-tiers des organismes vivants connus à ce jour. De récentes estimations indiquent que ce nombre pourrait être cinq à sept fois plus élevé (Stork *et al.*, 2015). Cette diversité se traduit par d'importantes différences de morphologie, de taille, de coloration, d'habitat, de mode de développement, de comportement ou de régime alimentaire. Tous ces organismes ont un rôle utile dans l'écosystème. Pollinisateurs indispensables et décomposeurs de matière organique,



▲ **Photo 2.7** : Chaque tache d'huile du mildiou qui sporule en face inférieure (A) produit une multitude de sporanges aux terminaisons des arborescences mycéliennes (B) qui contiennent plusieurs zoospores contaminatrices. Dans le cas de la pourriture grise (C), des milliers de spores sont produites (D).

les insectes assurent la reproduction de nombreuses espèces végétales et entretiennent la fertilité des sols. Ils constituent également la base du régime alimentaire de nombreuses espèces animales ou produisent des ressources utiles à l'homme, à l'exemple du miel et de la soie. Dans le domaine de la protection des végétaux, de nombreux insectes sont des auxiliaires actifs (*photo 2.8*) de l'agriculture. Ils peuvent limiter l'impact d'espèces nuisibles qui se nourrissent aux dépens des plantes cultivées ou qui leur transmettent des virus, des bactéries ou des phytoplasmes.



▲ **Photo 2.8** : L'insecte adulte de la chrysope (*Chrysopa perla*) (A) n'est pas prédateur, au contraire de sa larve (B). (© entomart.be)

2.2.2 Acariens

Les acariens sont des arthropodes chélicérates octopodes de la classe des arachnides, qui comporte onze sous-classes parmi lesquelles figurent les aranéides (araignées vraies), les scorpions, les pseudo-scorpions, les opilions et les acariens. Cette dernière catégorie comprend des organismes dont la taille varie du millimètre, pour certains gamasides prédateurs, à quelques dixièmes de millimètres pour les ériophyides et elle est extrêmement diversifiée. À ce jour, près de 55 000 espèces d'acariens ont été décrites, sur un nombre total estimé d'espèces de 500 000 à 1 000 000 (Kranz et Walter, 2009). Les faibles dimensions des acariens leur ont permis de coloniser et de s'adapter à un très grand nombre de niches écologiques. Des déserts de glace à ceux de sable, des fonds marins aux plus hauts sommets, des plantes aux animaux, en passant par l'homme, les acariens sont partout chez eux. Ces minuscules organismes très discrets peuvent néanmoins être à l'origine de nombreux désagréments chez l'homme et les animaux (allergies respiratoires, piqûres désagréables des aoûtats, gale, maladies bactériennes et virales transmises par les tiques, ou varroase des abeilles). Les acariens provoquent en outre des dégâts considérables sur les plantes cultivées et les denrées stockées, se traduisant par d'importantes pertes économiques. Cependant l'homme compte également de nombreux alliés parmi ces arthropodes et beaucoup d'acariens contribuent ainsi à lutter efficacement contre d'autres organismes nuisibles des plantes cultivées. Certains acariens sont même utilisés comme moyen de lutte contre des adventices des cultures. Enfin, il convient de relever le rôle primordial joué par ces arachnides dans la décomposition de la matière organique et la vie des sols où ils participent activement au maintien des équilibres biologiques. Les couches superficielles des sols viticoles abritent ainsi plusieurs centaines de gamasides prédateurs par mètre carré (Linder et Juvara-Bals, 2005).

La vigne abrite de multiples espèces d'acariens prédateurs, des espèces indifférentes et surtout deux grandes familles d'acariens phytophages susceptibles d'engendrer des dommages considérables : les *Tetranychidae* (araignée rouge et jaune) et les *Eriophyidae* (acariose et érinose). Ces deux familles réunies comptent plus de 5 000 espèces décrites, dont seules quatre à cinq espèces de *Tetranychidae* et deux d'*Eriophyidae* s'observent régulièrement sur la vigne.

2.3 Nématodes

Les nématodes sont des vers microscopiques ronds et filiformes d'une longueur de quelques millimètres, que l'on retrouve dans la plupart des sols viticoles du monde. Pour se nourrir, les nématodes piquent les racines avec leur stylet. Ils acquièrent ainsi des particules virales à partir de vignes infectées. Ces dernières se fixent à des endroits spécifiques du système digestif et sont relâchées lors de la piqûre de vignes saines. La mobilité des nématodes dans le sol est très faible (une dizaine de centimètres par année), d'où la lenteur de la propagation des viroses dans les vignobles. Cette mobilité peut toutefois s'accroître du fait du travail du sol, d'un transport passif des nématodes par les eaux souterraines ou lors d'un apport de terre contaminée.

La transmission vectorielle se fait de manière très spécifique. Ce sont les nématodes *Xiphinema index*, *Xiphinema diversicaudatum* et *Longidorus macrosoma* qui transmettent les différents virus responsables du court-noué (Grapevine fanleaf virus, Arabis mosaic virus, Raspberry ringspot virus). L'utilisation de matériel de multiplication contaminé représente un facteur majeur de dissémination, conduisant à la propagation des viroses d'un vignoble

à l'autre. La reproduction de *X. index* est principalement parthénogénétique (reproduction sexuée monoparentale), ce qui permet à une seule femelle d'être à l'origine d'un foyer de nématodes. Tous les différents stades de développement (larves et adultes) du nématode peuvent acquérir et transmettre les virus. En conditions défavorables (absence de racines de vigne dans le sol ou sécheresse), les nématodes peuvent entrer dans une phase de dormance avec un arrêt métabolique presque complet. Le cycle biologique du nématode reprend dès que les conditions deviennent à nouveau favorables. Cette particularité explique l'important taux de survie des nématodes, même dans des sols en jachère, et l'extrême difficulté à décontaminer des parcelles viticoles infectées.

2.4 Bactéries

Les bactéries sont considérées comme les plus vieux organismes vivants de la planète. Elles sont apparues sur la terre il y a 3,8 milliards d'années, presque 2 milliards d'années avant les premières cellules eucaryotes qui possèdent un vrai noyau cellulaire. Leur biomasse est considérable. On compte par exemple entre 10^6 et 10^9 bactéries par gramme de sol sec, ce qui correspond à une biomasse moyenne de 1 500 kg par ha.

Les bactéries sont des organismes de très petite taille (1,6 μm), visibles uniquement à l'aide d'un microscope ; elles se reproduisent à une vitesse spectaculaire. Dans des conditions favorables, elles peuvent se diviser exponentiellement en moyenne toutes les 30 minutes, permettant à une seule bactérie de former raisonnablement un million de descendants en un jour.

Certaines bactéries sont autotrophes. Elles sont capables d'assimiler du carbone soit par photosynthèse (cyanobactéries), soit par oxydation de matière minérale (chimiosynthèse). Une grande majorité des bactéries sont hétérotrophes et possèdent un mode de nutrition saprophyte en absorbant de la matière organique. Ces dernières sont souvent très spécialisées et peuvent décomposer les substances organiques pour les transformer en molécules plus simples et plus facilement assimilables par les plantes.

Sur les 1 600 espèces de bactéries connues à ce jour, seule une centaine d'espèces sont phytopathogènes (Agrios, 2005) et se développent à l'intérieur des tissus végétaux ou à leur surface.

Leur dissémination d'une plante à une autre, du sol à la plante ou d'une partie d'une plante à une autre se fait essentiellement par l'eau (pluie, eau de ruissellement), le vent, les insectes piqueurs-suceurs, d'autres animaux ou par l'homme.

La nuisibilité et l'impact économique des bactérioses peuvent être considérables. Le statut de maladie de quarantaine est conféré à certaines maladies particulièrement dangereuses en raison de leur rapidité de dissémination et de leur effet dévastateur sur les végétaux. La bactérie *Xylella fastidiosa*, responsable de la maladie de Pierce, qui se décline en six sous-espèces (subsp. *pauca*, *multiplex*, *sandyi*, *tashke*, *moris*, *fastidiosa*) infecte plus de 560 plantes hôtes de plus de 60 familles botaniques différentes. Absente du territoire européen jusqu'en 2013, *X. fastidiosa* subsp. *pauca*, découverte au sud de l'Italie dans les Pouilles et responsable de la destruction en quelques années de plus d'un million d'oliviers centenaires, continue d'étendre ses dégâts dans la péninsule. Cette bactérie d'origine américaine s'attaque en outre à la vigne par sa sous-espèce *fastidiosa* qui provoque la maladie de Pierce qui est transmise par différentes espèces de cicadelles.

2.5 Phytoplasmes

Les phytoplasmes appartiennent aux mollicutes, qui regroupent des bactéries de très petite taille (0,2 à 0,9 μm ou 200 à 900 nm), dépourvues de paroi cellulaire et caractérisées par un très petit génome. Les mollicutes sont parmi les plus petites formes de vie indépendantes connues. Les phytoplasmes se trouvent dans le tube digestif et l'hémolymphe des insectes vecteurs ou dans le phloème des plantes qu'ils parasitent. Ils sont la cause des centaines de maladies des plantes cultivées et sauvages, caractérisées souvent par des symptômes de virecence, phyllodie, nanisme, jaunisses et proliférations. Les phytoplasmes ne sont pas cultivables *in vitro*. Ils sont transmis aux plantes par des insectes vecteurs (cicadelles, cochenilles), mais ne sont pas transmissibles aux œufs de ces derniers. Les symptômes visibles sur les plantes sont dus aux perturbations que les phytoplasmes provoquent, d'une part, en obstruant le phloème ou en modifiant le transport de substances nutritives et, d'autre part, en dérangeant le métabolisme des phytohormones telles que les hormones de croissance (auxines) et de développement (cytokinines) des plantes hôtes. L'expression des symptômes peut être momentanément ou durablement masquée selon l'état physiologique de la plante et/ou des agents pathogènes présents, rendant le diagnostic particulièrement difficile. Les phytoplasmes, une fois installés à l'intérieur des tissus végétaux, interagissent à l'échelle vasculaire et cellulaire, induisant d'importants changements phénotypiques. Les symptômes foliaires ou les modifications du développement végétatif peuvent être souvent confondus avec des problèmes d'autre nature, comme des carences nutritionnelles ou des stress environnementaux. Chez un grand nombre de phytoplasmoses, les premiers signes qui se manifestent indépendamment de la plante hôte sont des décolorations localisées ou généralisées plus ou moins importantes du feuillage (jaunissement, rougissement, taches huileuses, flétrissement) ainsi que des déformations foliaires (*photo 2.9*). Chez la vigne, les phytoplasmes provoquent les jaunisses du bois noir et de la flavescence dorée aux symptômes absolument identiques. La virulence de la flavescence dorée la classe parmi les maladies de quarantaine.



▲ **Photo 2.9** : Les premiers symptômes des infections virales ou à phytoplasmes se manifestent par des décolorations et des déformations plus ou moins importantes du feuillage.

2.6 Virus

Les virus ont parfois été considérés comme étant les plus petites formes de vie existantes, toutefois leur statut d'organisme vivant est toujours débattu.

Contrairement aux champignons et aux bactéries qui se multiplient par division, les virus et les viroïdes suivent un processus de duplication. On les considère à l'heure actuelle comme des parasites qui sont incapables de se multiplier hors des cellules infectées. Ils se trouvent à la frontière du monde vivant, ne possèdent pas les structures cellulaires des procaryotes, ni celles des eucaryotes, n'ont pas de métabolisme propre, mais peuvent se répliquer de manière identique à eux-mêmes. Ils sont entièrement dépendants du métabolisme cellulaire de la plante hôte. Leur structure organisée est généralement constituée de protéines qui forment la capsidie et qui entourent une molécule d'ADN ou d'ARN porteuse de l'information génétique. La capsidie peut, dans certains cas, être elle-même entourée par une structure membranaire (lipoprotéines et glycoprotéines). La taille des virus est habituellement comprise entre 10 nm et 900 nm, proche de la taille des phytoplasmes. Selon la dimension de leur acide nucléique, les virus peuvent avoir entre trois et quelques centaines de gènes. Leur multiplication à l'intérieur d'une cellule peut aboutir à la production d'une multitude de copies en moins de trente minutes. On distingue un peu plus de 70 familles de virus, que l'on regroupe en différentes catégories selon leur morphologie et leur spécificité génétique. Les acides nucléiques qui composent leur génome permettent de différencier quatre types de virus : les virus à ADN ou à ARN, simple ou double brin. Il faut signaler que les génomes viraux ne sont jamais constitués simultanément d'ADN ou d'ARN. Les chaînes d'acides nucléiques peuvent être linéaires ou circulaires. Certains virus sont distribués dans des capsides différentes, comme dans le cas du virus du court-noué de la vigne. Les virus les plus fréquents infectant les végétaux sont constitués d'ARN simple brin.

Les virus peuvent entrer dans les cellules végétales uniquement par des blessures, par le biais de vecteurs (insectes piqueur-suceurs, nématodes, champignons), par l'inoculation d'un grain de pollen infecté lors de la fécondation ou par l'homme (greffage, marcottage, bouturage, multiplication végétative).

Ils sont en mesure de parasiter tous les organismes vivants, de l'animal au végétal, en passant par les micro-organismes et les champignons. Plus de 5 000 virus sont identifiés de nos jours, dont la moitié infecte des plantes. Les symptômes qu'ils induisent sont très variables. Certains virus peuvent considérablement réduire la durée de vie d'une plante. Ils sont à l'origine du nanisme et du rabougrissement de plantes entières, de nombreuses décolorations et lésions chlorotiques ou nécrotiques du feuillage ou d'autres organes et peuvent toucher sévèrement le système racinaire.

Chez la vigne, plus de 70 virus, dont près de la moitié sont nuisibles, sont décrits actuellement (Reynard *et al.*, 2019). Leur apparition est favorisée par le fait que la vigne est une plante pérenne, inféodée aux mêmes zones de production depuis des siècles, multipliée par voie végétative et greffée. En raison de leur dangerosité et de leur incurabilité, les viroses doivent être par principe absentes du matériel de multiplication et de propagation. De ce fait, les plus nuisibles ont un caractère éliminatoire dans des processus de certification du matériel végétal, comme les viroses de l'enroulement et du court-noué de la vigne.

2.7 Viroïde

Les viroïdes sont des agents subviraux capables de se répliquer à l'intérieur d'une cellule végétale. Ils sont composés d'un ARN circulaire qui, à l'inverse des virus, n'est pas protégé par une capsid. La taille de leur génome est extrêmement réduite (< 400 nucléotides), ce qui fait des viroïdes les plus petits et les plus simples agents infectieux connus. De plus, leur génome est non-codant, c'est-à-dire qu'il ne contient pas d'information pour la synthèse des protéines. Comme pour les virus, les viroïdes sont classés en familles, genres et espèces. Six viroïdes ont été décrits sur la vigne. Ils font tous partie de la famille des Pospiviroidae.

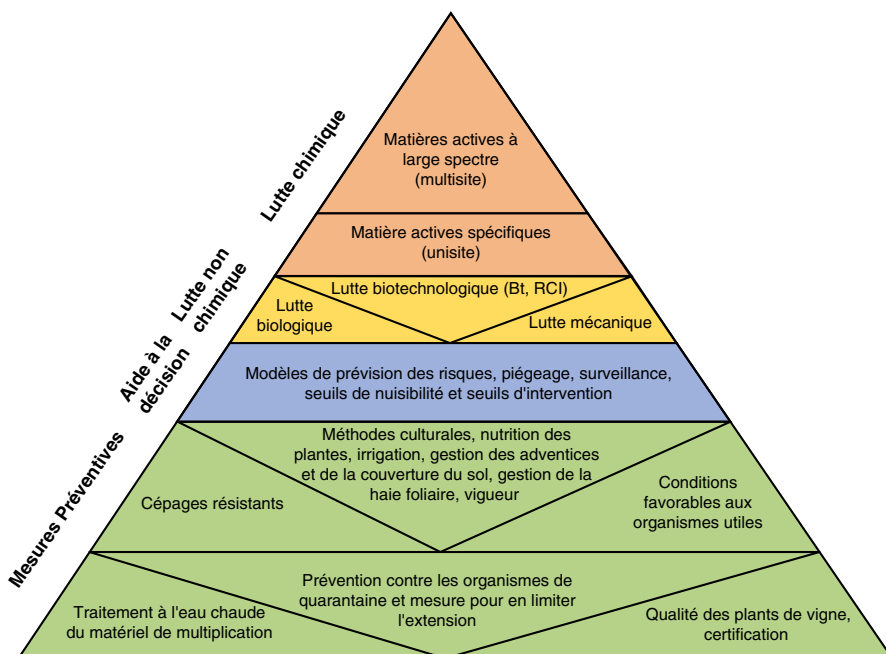
Bien que les viroïdes ne provoquent en général aucun symptôme sur la vigne, certains d'entre eux peuvent être, dans des conditions environnementales particulières, à l'origine de maladies, comme le *Grapevine yellow speckle viroid 1* (GYSVd-1) et 2 (GYSVd-2). En Australie, ces deux agents peuvent être responsables de mouchetures jaunes sur les feuilles de certains cépages (*photo 2.10*). Les viroïdes ne sont pas transmis par des insectes vecteurs mais par du matériel de multiplication contaminé.



▲ **Photo 2.10** : Symptômes de yellow speckle ou mouchetures jaunes sur le cépage Grüner Veltliner associés aux viroïdes GYSVd-1 et GYSVd-2.

3 Principes de lutte contre les maladies et les ravageurs

La production intégrée ou la protection intégrée, également appelée raisonnée, implique le principe d'utiliser les produits phytosanitaires comme dernière alternative après avoir mis en œuvre toutes les mesures prophylactiques, toutes les techniques biologiques, écologiques et culturales pour contrôler les ravageurs et les maladies (figure 2.1).



▲ **Figure 2.1 :** Principes de la lutte intégrée ou raisonnée contre les maladies et les ravageurs des cultures qui priorise la mise en œuvre de tous les moyens possibles pour n'avoir recours qu'en dernier lieu à une lutte chimique.

3.1 Perspectives

Les questions générales actuelles sur l'usage des produits phytosanitaires en lien avec les enjeux environnementaux et de santé publique s'éloignent des connaissances scientifiques et des réalités pratiques du monde viticole. Dans l'histoire de la protection des végétaux, de telles préoccupations sont apparues dès l'apparition des produits phytosanitaires issus de la synthèse (Quartier & Murisier, 1976 ; Tissut *et al.*, 1979), lorsque les premières stratégies de lutte biologique ont été développées. Leur utilisation raisonnée en respectant toutes les précautions requises fait partie des obligations des viticulteurs en priorisant la protection de l'environnement pour une production qualitative et durable.

Une viticulture productive et qualitative sans produits phytosanitaires est une équation pratiquement impossible sans changement radical de cépages possédant des résistances

Comment produire des raisins en quantité et de qualité, pérenniser le vignoble, s'adapter au changement climatique, rechercher une performance économique et environnementale, intégrer les attentes de la société et des consommateurs ?

À ces questions essentielles pour les acteurs de la filière vigne et vin, *Les petits précis taillés pour les vigneron*s apportent des éléments de compréhension et des réponses pratiques essentielles pour le métier.

Ce second tome, *Petit précis de viticulture, la production du raisin*, développe toutes les connaissances sur la protection de la vigne et les auxiliaires, la gestion des sols et les couverts végétaux, la pulvérisation et les nouvelles applications de la viticulture de précision.

C'est un véritable outil de réflexion, de formation et de communication. Il résulte d'une collaboration interdisciplinaire d'enseignants en lycées, universités, écoles d'ingénieurs et d'ingénieurs, de centres techniques ou de conseil. Il est doté d'une riche iconographie.

Il s'adresse aux étudiants (BTS, licence, master) aux œnologues et aux ingénieurs, aux vignerons qui pourront actualiser leurs connaissances.

La collection *Les petits précis taillés pour les vigneron*s comporte 5 autres tomes :

- Un premier tome « viti » abordant les terroirs, l'implantation et le développement de la vigne.
- Deux tomes regroupant l'ensemble des connaissances en œnologie.
- Deux volumes dédiés aux vignerons comme acteurs du développement durable.

Direction : Jean Luc Berger, ex-Institut Français de la Vigne et du Vin.

Préface : Alain Deloire, professeur de Viticulture à L'Institut agro Montpellier.

Auteurs : Violette Aurelle, Lorelei Boechat-Cazenave, Olivier Geffroy, Katia Gindro, Christophe Héraud, Christian Linder, Océane Ricau, Frédérique Tavard, Olivier Viret.

En couverture : **Le Coliris**, nouvelle variété de cuve INRAE-Resdur 2, résistant mildiou, oïdium, botrytis... inscrite au catalogue officiel.
Source : IFV-Sicarex Beaujolais