



HAL
open science

Étude de différentes techniques alternatives pour l'entretien des sols en viticulture dans un contexte méditerranéen

Ewen Soubigou

► To cite this version:

Ewen Soubigou. Étude de différentes techniques alternatives pour l'entretien des sols en viticulture dans un contexte méditerranéen. Sciences du Vivant [q-bio]. 2024. <dumas-04937354>

HAL Id: dumas-04937354

<https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-04937354v1>

Submitted on 10 Feb 2025

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

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



HAL Authorization

Mémoire de fin d'études

présenté pour l'obtention du Diplôme d'Ingénieur Agronome

Option : Viticulture-Oenologie

**Étude de différentes techniques alternatives pour l'entretien des
sols en viticulture dans un contexte méditerranéen**



par Ewen SOUBIGOU

Année de soutenance : 2024

Organisme d'accueil : Chambre d'Agriculture de Vaucluse

Mémoire de fin d'études

présenté pour l'obtention du Diplôme d'Ingénieur Agronome

Option : Viticulture-Œnologie

Étude de différentes techniques alternatives pour l'entretien des sols en viticulture dans un contexte méditerranéen



par Ewen SOUBIGOU

Année de soutenance : 2024

Mémoire préparé sous la direction de : Léo GARCIA

Présenté le : 06/11/2024

devant le jury :

Léo GARCIA

Aurélie METAY

Organisme d'accueil : Chambre
d'Agriculture de Vaucluse

Maître de stage : Clarisse CICERON

RÉSUMÉ

Dans un contexte de transition écologique et de changement climatique, l'agriculture et plus particulièrement la viticulture en région méditerranéenne font face à des défis liés à la gestion des sols, l'utilisation de l'eau et la réduction de l'utilisation de pesticides. Ce mémoire se concentre sur deux pratiques agroécologiques – les paillages et les couverts végétaux – pour l'entretien des sols en viticulture. Il cherche à évaluer dans quelle mesure ces techniques peuvent répondre aux enjeux environnementaux et sociaux actuels.

L'étude repose sur une expérimentation menée sur deux parcelles distinctes. La première analyse l'effet des paillages sous le rang sur la gestion des adventices, la croissance, la vigueur et le rendement de la vigne. Tandis que la deuxième se concentre sur les couverts végétaux sur l'inter-rang et leurs impacts sur la croissance, la vigueur et le rendement de la vigne et sur la fertilité des sols.

Les paillages ont montré une efficacité comparable au glyphosate pour la gestion des adventices sans impacter la vigueur, la croissance de la vigne et en limitant son stress hydrique. Les couverts végétaux ont permis d'améliorer la fertilité du sol et les engrais verts n'ont pas impacté la vigueur, la croissance et état hydrique et azoté de la vigne. Cependant, les enherbements permanents sont concurrentiels en comparaison au travail du sol. Ils diminuent la vigueur, la croissance et l'état hydro-azoté de la vigne. Ces alternatives représentent un coût non négligeable, qui peut être un frein pour certains viticulteurs.

Mots clés : viticulture, pratiques agroécologiques, sols, paillages, couverts végétaux, enjeux, adventices, croissance, rendement, fertilité, état hydrique, état azoté, travail du sol, coût

Pour citer ce document : Soubigou, Ewen, 2024. Étude de différentes techniques alternatives pour l'entretien des sols en viticulture dans un contexte méditerranéen. Mémoire d'Ingénieur Agronome, option Viticulture-Cœnologie, L'Institut Agro Montpellier. 117p.]

ABSTRACT

Title : Study of different alternative techniques for soil maintenance in viticulture in a Mediterranean context.

In a context of ecological transition and climate change, agriculture, and more specifically viticulture in the Mediterranean region, is facing challenges relating to soil management, water use and reducing the use of pesticides. This study focuses on two agro-ecological practices - mulching and plant cover - for soil maintenance in viticulture. It seeks to assess the extent to which these techniques can meet current environmental and social challenges.

The study is based on experiments carried out on two separate plots. The first analyses the effect of under-row mulching on weed management, vine growth, vigour and yield. The second focused on inter-row cover crops and their impact on vine growth, vigour, yield and soil fertility.

Mulches proved to be as effective as glyphosate in managing weeds without impacting vine vigour or growth, and by limiting water stress. Cover crops improved soil fertility and green manures had no impact on the vigour, growth and water and nitrogen status of the vines.

However, permanent grass cover is competitive compared to tillage. They reduce the vigour, growth and hydro-nitrogen status of the vines. These alternatives represent a significant cost, which may be a barrier for some winegrowers.

Key words : viticulture, agroecological practices, soils, mulch, cover crops, issues, weeds, growth, yield, fertility, water status, nitrogen status, tillage, cost

REMERCIEMENTS

Je souhaite remercier l'ensemble des personnes ayant contribué, de près ou de loin, à la rédaction de ce rapport.

Je tiens tout d'abord à exprimer ma gratitude à l'ensemble des enseignants et intervenants du cursus Ingénieur Agronome, qui ont enrichi mon parcours académique et m'ont permis d'acquérir les compétences nécessaires pour mener à bien ce projet. J'adresse un remerciement particulier à Léo Garcia, mon tuteur pédagogique, pour sa réactivité et ses conseils éclairés.

Mes remerciements s'adressent à l'ensemble du pôle Vigne et Vin de la Chambre d'Agriculture de Vaucluse, c'était un plaisir de travailler dans une équipe soudée et dans la bonne humeur. Je remercie chaleureusement Clarisse Ciceron, ma maitre de stage, pour sa confiance, ses précieux conseils et son soutien tout au long de ce stage. Ton expertise et tes remarques constructives ont grandement contribué à la réalisation de ce travail.

Je souhaite remercier François Berud, chef d'équipe de l'équipe viti, pour l'accueil chaleureux et la transmission de ses connaissances. Merci pour le café et les pac lors des matinées au domaine !

Merci à Laura pour avoir toujours mis de la bonne humeur dans le bureau et d'avoir contribué à ma culture musicale.

Merci à Rémi pour son énergie débordante, qui remobilise toujours les troupes.

Merci à Florine, Séverine, Silvère, Nathalie et Marine pour votre sympathie, cela a été un plaisir de travailler à vos côtés.

Merci à Manon, la pâtissière qui nous a remonté le moral avec ses gâteaux et qui a été un grand soutien dans ce mémoire.

Je tiens également à remercier l'ensemble des stagiaires de la Chambre et de l'Institut qui m'ont aidé dans les mesures et qui ont contribué à cette bonne ambiance.

Enfin, je souhaite remercier ma famille et mes amis pour leur soutien, leur patience et leur aide précieuse tout au long de mes études.

TABLE DES MATIÈRES

RÉSUMÉ	5
ABSTRACT	7
REMERCIEMENTS	9
TABLE DES FIGURES.....	15
TABLE DES TABLEAUX.....	19
Introduction	23
1. État de l'art	23
1.1. <i>Importance et enjeux de la viticulture en France</i>	23
1.1.1. La crise économique.....	25
1.1.2. Le changement climatique	25
1.1.3. Gestion de la raréfaction de l'eau	27
1.1.4. Conservation des sols viticoles.....	27
1.1.5. Réduction des pesticides en agriculture.....	29
1.2. <i>Importance des types d'entretien du sol dans la réponse aux enjeux</i>	33
1.2.1. Gestion durable des adventices	33
1.2.2. Les couverts végétaux : un compromis entre services et dysservices.....	35
1.2.3. Le paillage sous le rang : une alternative aux désherbages chimique et mécanique du cavaillon 45	
1.3. <i>Contexte du stage et problématique d'étude</i>	47
2. Matériels et méthodes	51
2.1. <i>Entretien du sol sous le rang avec des paillages</i>	51
2.1.1. Description du site et du dispositif expérimental	51
2.1.2. Mesures et méthodes de suivi	53
2.2. <i>Entretien du sol de l'inter-rang avec des couverts végétaux</i>	59
2.2.1. Description du site et du dispositif expérimental	59
2.2.2. Mesures et méthodes de suivi	61
2.3. <i>Traitement des données et tests statistiques</i>	63
3. Résultats	65
3.1. <i>Entretien du sol sous le rang avec des paillages</i>	65
3.1.1. Taux de couverture des adventices.....	65
3.1.2. Croissance végétative.....	65
3.1.3. Évaluation de la contrainte hydrique	65
3.1.4. Statut azoté	67
3.1.5. Température à la surface du sol.....	67
3.1.6. Récolte.....	69
3.1.7. Épaisseur des bois de taille	71
3.2. <i>Entretien du sol de l'inter-rang avec des couverts végétaux</i>	71
3.2.1. Croissance végétative.....	71
3.2.2. Évaluation de la contrainte hydrique	71
3.2.3. Statut azoté	71

3.2.4.	Restitution potentielle en éléments fertilisants des couverts végétaux	73
3.2.5.	Récolte.....	73
3.2.6.	Poids des bois de taille	75
4.	Discussion	75
4.1.	<i>Entretien du sol sous le rang avec des paillages.....</i>	75
4.1.1.	Taux de couverture	75
4.1.2.	Croissance végétative et évaluation de la contrainte hydrique	75
4.1.3.	Statut azoté	77
4.1.4.	Température à la surface du sol.....	77
4.1.5.	Récolte.....	77
4.1.6.	Vigueur	77
4.2.	<i>Entretien du sol de l'inter-rang avec des couverts végétaux</i>	79
4.2.1.	Croissance végétative et évaluation de l'état hydrique	79
4.2.2.	Statut azoté	79
4.2.3.	Restitution potentielle en éléments fertilisants.....	79
4.2.4.	Récolte.....	81
4.2.5.	Poids des bois de taille	81
4.3.	<i>Évaluation économique des pratiques alternatives de désherbage</i>	83
	Conclusion	85
	Références bibliographiques	87
	Annexes	115
	RÉSUMÉ	117

TABLE DES FIGURES

Figure 1 : Évolution de la température à la surface du globe depuis 1850 (°C) en fonction des émissions cumulées de CO ₂ (GtCO ₂) (IPCC AR6, 2024)	24
Figure 2 : Inventaires des pratiques viticoles d'après l'enquête Pratiques culturales en viticulture 2019 (Graph'Agri 2023).	32
Figure 3 : Services et dysservices attendus des cultures de services dans les vignobles (Garcia et al., 2018).	34
Figure 4 : Services et dysservices des cultures de services (Garcia et al., 2020).	34
Figure 5 : Gestion stratégique et tactique des cultures de services (Garcia et al., 2020).	42
Figure 6 : Temporalité des services attendus en viticulture (région Méditerranéenne, France) (Garcia et al., 2018)	42
Figure 7 : Localisation de la parcelle d'étude, encadrée en rouge et localisation de l'essai, encadré en jaune.	48
Figure 8 : Données météorologiques moyennes depuis 1940 à Vacqueyras.	48
Figure 9 : Photographies des modalités : témoin glyphosate, paillages amidon, broyat et tuile.	50
Figure 10 : Plan de l'essai « paillages »	52
Figure 11 : Chronologie des mesures de l'essai « paillages »	52
Figure 12 : Méthode des apex (IFV Occitanie, 2020).	54
Figure 13 : Arbre de décision d'interprétation des résultats extrait de la fiche « Méthode des apex » de l'Institut Rhodanien	54
Figure 14 : Localisation de la parcelle d'étude, encadrée en rouge et localisation de l'essai, encadré en jaune.	56
Figure 15 : Données météorologiques moyennes depuis 1940 à Visan	56
Figure 16 : Photographies des modalités 3, 6 et 7.	58
Figure 17 : Plan de l'essai « couverts végétaux »	60
Figure 18 : Chronologie des mesures de l'essai « couverts végétaux »	60
Figure 19 : Taux de couverture moyen (en %).	62
Figure 20 : Évolution de l'indice de croissance par modalité (A) et par bloc (B)	64
Figure 21 : Teneur en eau du sol cumulée sur l'horizon 0-70 pour la modalité broyat	64
Figure 22 : Teneur en eau du sol cumulée sur l'horizon 0-70 pour la modalité glyphosate	64
Figure 23 : SPAD à mi-véraison par modalité (A) et par bloc (B).	66
Figure 24 : Quantité d'azote assimilable de la vendange par modalité (A) et par bloc (B)	66
Figure 25 : Nombre de grappes par cep	68
Figure 26 : Poids moyen de récolte par cep	68
Figure 27 : Épaisseur des rameaux lors de la taille en mars 2024.	68
Figure 28 : Évolution de l'indice de croissance par modalité Haut Bois	70
Figure 29 : Évolution de l'indice de croissance par modalité Bas Tournière	70
Figure 30 : Quantité d'azote assimilable de la vendange selon les modalités	70
Figure 31 : SPAD à mi-véraison Haut Bois	72
Figure 32 : SPAD à mi-véraison Bas Tournière	72
Figure 33 : Restitution potentielle en azote, phosphore et potassium selon les modalités	74
Figure 34 : Nombre de grappes par cep selon les modalités et le bloc	74
Figure 35 : Poids moyen de récolte par cep selon les modalités et le bloc.	74
Figure 36 : Nombre moyen de rameaux par cep selon les modalités et le bloc	74

<i>Figure 37 : Poids moyen des bois par cep selon les modalités et les blocs.....</i>	<i>74</i>
<i>Figure 38 : Photographie lors d'une mesure du taux de couverture de la modalité amidon ..</i>	<i>76</i>
<i>Figure 39 : Évolution de la quantité de nitrates du sol – nitratest</i>	<i>76</i>
<i>Figure 40 : Évolution du poids de récolte par cep Haut Bois</i>	<i>78</i>
<i>Figure 41 : Évolution du poids de récolte par cep Bas Tournière</i>	<i>78</i>
<i>Figure 42 : Évolution du poids des sarments par cep Haut Bois.....</i>	<i>80</i>
<i>Figure 43 : Évolution du poids des sarments par cep Bas Tournière</i>	<i>80</i>

TABLE DES TABLEAUX

<i>Tableau 1 : Méthodes de gestion des adventices (Gaviglio, 2013)</i>	<i>32</i>
<i>Tableau 2 : Principales espèces utilisées dans des couverts permanents ou hivernaux (Gaviglio, 2013).....</i>	<i>44</i>
<i>Tableau 3 : Récapitulatif des modalités de l'essai</i>	<i>58</i>
<i>Tableau 4 : Somme des températures par sonde et moyennes pour les deux modalités</i>	<i>67</i>
<i>Tableau 5 : Résultats des paramètres physico-chimiques de la vendange</i>	<i>68</i>
<i>Tableau 6 : Températures (en °C) à 17 h lors des 10 jours les plus chauds</i>	<i>69</i>
<i>Tableau 7 : Températures (en °C) à 7 h lors des 10 jours les plus froids</i>	<i>69</i>
<i>Tableau 8 : Résultats des paramètres physico-chimiques de la vendange</i>	<i>73</i>
<i>Tableau 9 : Coûts totaux (amortissement compris) en €/ha des différents modes de désherbage (Jacquet et al., 2019).....</i>	<i>84</i>

SIGLES ET ACRONYMES

110 R : 110 Richter

AOP : Appellation d'Origine Protégée

AT : Acidité Totale

CIRAME : Centre d'Information Régional Agro-Météorologique

MERCI : Méthode d'Estimation des Restitutions par les Cultures Intermédiaires

OIV : Organisation Internationale

PACA : Provence-Alpes-Côte d'Azur

RICA : Réseau d'Information Comptable Agricole

TAP : Titre Alcoométrique volumique Potentiel

TAV : Titre Alcoométrique Volumique total

Introduction

Dans un contexte de transition écologique et de changement climatique, la gestion durable des ressources agricoles est devenue une priorité, tant à l'échelle locale que globale. L'agriculture, notamment la viticulture dans les régions méditerranéennes, fait face à des défis multiples, tels que l'érosion des sols, la dégradation de la biodiversité, et la gestion des ressources hydriques. En parallèle, la réduction de l'usage des pesticides, et plus spécifiquement la suppression progressive du glyphosate, impose de repenser les pratiques agricoles traditionnelles. Ces pratiques, bien qu'efficaces à court terme, ne sont plus considérées comme durables en raison de leurs impacts négatifs sur l'environnement et la santé humaine. De plus, le travail du sol dans les inter-rangs des parcelles viticoles contribue à la dégradation de la qualité des sols. Il favorise l'érosion, réduit la capacité des sols à retenir l'eau, et entraîne une compaction accrue, limitant ainsi leur fertilité à long terme. Face à ces défis, il est urgent d'explorer des alternatives qui préservent l'intégrité des sols. Parmi ces alternatives, les pratiques agroécologiques, telles que les paillages et les couverts végétaux, se présentent comme des solutions prometteuses.

On peut alors se demander : Dans quelle mesure les paillages sous le rang et les couverts végétaux sur l'inter-rang sont-elles des techniques alternatives d'entretien des sols en viticulture répondant à la fois aux enjeux environnementaux, sociaux et économiques des viticulteurs ?

Pour répondre à cette question, ce travail repose sur une expérimentation menée en conditions réelles sur deux parcelles différentes, combinant des observations de la vigne et des analyses agronomiques. Après une revue de la littérature concernant l'utilisation de couverts végétaux et de paillages en viticulture et leur impact potentiel, nous décrirons la méthodologie employée dans l'expérimentation, puis analyserons les résultats obtenus avant d'en tirer des conclusions sur les bénéfices et les limites des pratiques étudiées.

1. État de l'art

1.1. Importance et enjeux de la viticulture en France

La viticulture en France occupe une place prépondérante tant sur le plan économique que culturel. Avec environ 750 000 hectares de vignobles en 2022, la France se positionne comme l'un des principaux producteurs de vin au monde, rivalisant avec l'Italie et l'Espagne. Le pays produit en moyenne 41,3 millions d'hectolitres de vin par an (moyenne de 2018 à 2022 selon l'Agreste), représentant environ 20 % de la production mondiale. Selon FranceAgriMer, les exportations de vin français ont généré plus de 12 milliards d'euros en 2022, renforçant l'importance de ce secteur dans l'économie nationale. C'est le deuxième produit agricole exporté après les céréales. C'est également un secteur qui génère beaucoup d'emploi avec près de 558 000 personnes directement et indirectement selon FranceAgriMer. Sur le plan culturel, la viticulture française reflète un savoir-faire et une tradition mondialement reconnus.

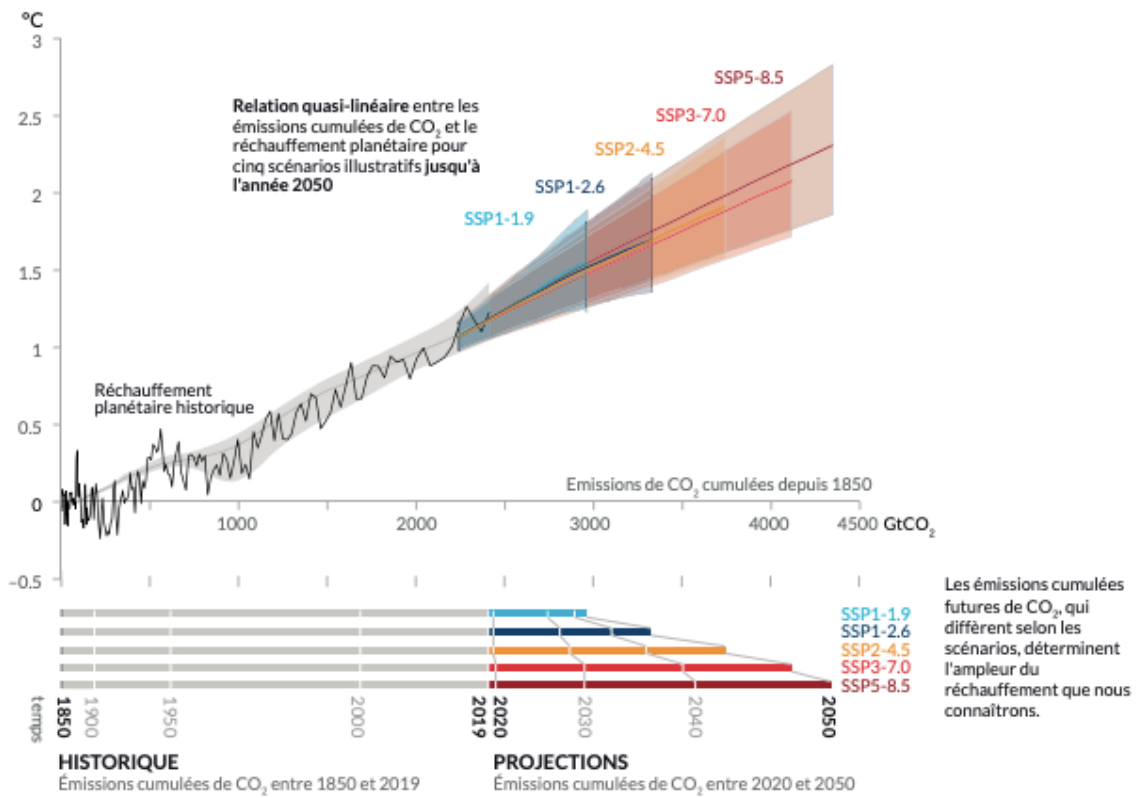


Figure 1 : Évolution de la température à la surface du globe depuis 1850 (°C) en fonction des émissions cumulées de CO₂ (GtCO₂) (IPCC AR6, 2024)

Bien que la viticulture ait une place importante en France, elle est confrontée à de nombreux enjeux environnementaux, économiques et sociaux.

1.1.1. La crise économique

La viticulture traverse actuellement une crise économique marquée par une surproduction, des changements dans les habitudes de consommation, et les effets du changement climatique. La baisse de la demande de vin, notamment dans les pays traditionnellement consommateurs, a conduit à une accumulation des stocks et une pression sur les prix (OIV, 2023). Les viticulteurs doivent faire face à une hausse des coûts de production due à l'inflation, ainsi qu'à des conditions météorologiques imprévisibles qui affectent la qualité et la quantité des récoltes. De plus, la concurrence internationale s'intensifie, avec des pays émergents qui produisent du vin à moindre coût comme le Chili et l'Argentine. Cette conjoncture défavorable pousse de nombreux producteurs à repenser leurs stratégies, que ce soit à travers leur gamme de vins, la diversification des produits, l'innovation dans les techniques, ou encore l'orientation vers des pratiques plus durables pour attirer une clientèle sensible à l'environnement.

1.1.2. Le changement climatique

Le changement climatique est un enjeu auquel toute l'agriculture fait face. Le dernier rapport du GIEC (6^{ème} rapport d'évaluation AR6) rappelle que les gaz à effet de serre émis par les activités humaines perturbent l'ensemble du système climatique. La température à la surface du globe a augmenté de 1,1°C (par rapport à 1850-1900), les océans se réchauffent, s'appauvrissent en oxygène et s'acidifient, la fonte des glaces s'accélère... Toutes ces perturbations ont entraîné des effets néfastes observables sur les écosystèmes et les sociétés humaines avec notamment des événements météorologiques extrêmes plus réguliers et plus intenses (sécheresses, vagues de chaleur, inondations, incendies, cyclones tropicaux...). Ils estiment également que le réchauffement va se poursuivre, atteignant +1,5°C d'ici 2030 par rapport à l'ère pré-industrielle. Selon les scénarios, cette augmentation de température peut être plus ou moins importante (jusqu'à + 5°C en 2100 dans le pire des cas) et dépend essentiellement de nos émissions de gaz à effet de serre (Figure).

Le changement climatique se manifeste par l'augmentation de la teneur en CO₂, l'augmentation des températures, des précipitations qui peuvent être plus intenses mais avec un bilan hydrique diminué par l'augmentation de l'évapotranspiration. Ainsi, le risque de sécheresse de type agricole et écologique est augmenté (IPCC, 2024).

Puisque la phénologie de la vigne est étroitement liée à la température (Parker et al., 2011), l'augmentation de la température impacte le cycle de la vigne. Le débourrement aura lieu plus tôt et donc les vendanges sont également avancées. La photosynthèse est également directement impactée par l'augmentation des températures car la vigne photosynthétise à son optimum entre 25 et 35°C. Pour des températures élevées (supérieur à 40°C en particulier), l'appareil photosynthétique et les voies biochimiques, notamment l'activité de la RubisCo, sont perturbées diminuant le taux de photosynthèse (Venios et al., 2020). Plusieurs voies métaboliques dans les baies sont également modifiées : accumulation des sucres et augmentation du taux d'alcool, diminution de l'acidité et notamment dégradation de l'acide

malique et diminution de la quantité d'anthocyanes (Venios et al., 2020 ; Van Leeuwen et al., 2019). L'augmentation du rayonnement UV-B (290-320 nm) liée au changement climatique augmenterait le taux de composés phénoliques et permettrait d'avoir des vins rouges plus concentrés (Berli et al., 2008). Enfin, en cas de sécheresse accrue, les baies sont plus petites, moins acides et plus riches en composés phénoliques (Van Leeuwen et al., 2009). Globalement, la qualité des vins rouges est augmentée mais au détriment du rendement. Mais, il peut avoir des blocages de maturité ou des goûts de confit trop importants et une augmentation du degré potentiel d'alcool ce qui peut être dérangeant. Cet enjeu nécessite de repenser les pratiques notamment sur le matériel végétal et la conduite de la vigne.

1.1.3. Gestion de la raréfaction de l'eau

L'eau est une ressource vulnérable, et d'autant plus dans la région méditerranéenne où l'évapotranspiration est forte et les précipitations rares. L'alimentation hydrique de la vigne est indispensable pour le fonctionnement physiologique de la vigne. Cela impacte tous les stades de la vigne et donc la production finale. Du débourrement à la floraison la croissance des rameaux est sensible à l'état hydrique. À la floraison, une bonne alimentation en eau est importante pour le développement des inflorescences. À partir de la nouaison, l'eau est nécessaire pour le grossissement des baies. Un important stress hydrique va impacter le développement des baies, ainsi que le rendement de l'année n mais aussi de l'année n+1 (Fourie, 2011 ; Guilpart et al., 2014). Un stress hydrique fort pendant la maturation peut altérer les composantes du rendement, bloquer la maturation et provoquer des pertes de récolte par déshydratation des baies. Cependant, un léger stress hydrique peut être bénéfique car il favorise la maturation avec l'accumulation des sucres et participe à la qualité des raisins avec l'augmentation de la synthèse de composés phénoliques notamment (Deloire et al., 2004 ; Pellegrino et al., 2006 ; Gaudin et al., 2014).

L'eau est également fondamentale pour l'absorption des minéraux car les éléments minéraux doivent être dilués dans une solution aqueuse pour être absorbés par les racines (Keller, 2005). Ainsi, un déficit hydrique impacte directement la nutrition de la vigne et d'autant plus entre la nouaison et la véraison, où l'absorption des éléments est maximale.

1.1.4. Conservation des sols viticoles

La viticulture fait face à un enjeu majeur concernant la gestion des sols. Les sols viticoles sont dégradés, appauvris en matière organique et éléments minéraux, sujets à l'érosion et contaminés par les traitements phytosanitaire (le cuivre en particulier).

L'érosion des sols impacte les vignobles du monde entier et plus généralement toutes les terres agricoles (Cerdà et al., 2007 ; Cerdà et al., 2009). Les vignobles méditerranéens sont les plus touchés par l'érosion due aux épisodes pluvieux très intenses, aux pentes raides (souvent utilisées pour la vigne car ce sont des terres peu productives pour d'autres cultures), au matériau parental. Ce sont souvent des sols fragiles à base d'argiles ou de limons, pauvres en nutriments et en matière organique, avec une faible rétention en eau (Novara et al., 2011 ; Rodrigo-Comino, 2018). Des taux d'érosion aussi élevés peuvent s'expliquer par la présence de sols nus dans les parcelles de vignes surtout pendant la période pluvieuse et par la plantation des vignes dans le sens de la pente ce qui favorise le ruissellement de l'eau et la

perte de sédiments (Novara et al., 2011). En plus de favoriser l'érosion des sols, l'utilisation d'herbicides et le travail du sol peuvent provoquer des éboulements de terrains, des inondations et le transport de polluants (Raclot et al., 2009 ; Sofia et Tarolli, 2017).

La majorité des sols viticoles français sont compactés dû à l'utilisation de machines agricoles et au travail du sol (Arnaez et al., 2007 ; Brevik et Fenton, 2004) pouvant avoir des effets à long-terme sur les vignobles (Legros et al., 1998). La compaction du sol dépend de plusieurs facteurs : le poids et le nombre de passage des machines, la teneur en eau du sol, la texture, la minéralogie et la structure du sol ainsi que le taux de matière organique (Cass et McGrath, 2004 ; Lagacherie et al., 2006 ; Linares et al., 2014). De plus, souvent ces opérations sont réalisées dans des conditions de sol humide aggravant la compaction du sol (Boizard et al., 2002 ; Richard et al., 1999).

Le travail du sol peut réduire le taux de matière organique, la stabilité structurale du sol et laisse la couche arable sans protection la rendant vulnérable à l'imperméabilisation et l'encroûtement (Linares et al., 2014). Ainsi, dans ces sols compactés, des problèmes d'enracinement, d'infiltration de l'eau, de lixiviation des nutriments peuvent avoir lieu, compliquant la croissance de la vigne.

Selon Komárek et al. (2010) la contamination des sols par des pesticides organiques et inorganiques (à base de cuivre) est un problème environnemental et toxicologique majeur. Dans la plupart des vignobles étudiés, les sols présentent des concentrations en cuivre supérieures aux limites légales dans l'UE. Leur surconcentration peut être nocif pour la santé humaine avec des risques de maladies neurologiques, des malformations, des troubles endocriniens et une augmentation de l'apparition d'un cancer.

La contamination par des métaux et des pesticides, associée à l'érosion et au travail du sol réduit la qualité des sols viticoles et constitue une réelle menace environnementale (Komárek et al., 2010).

1.1.5. Réduction des pesticides en agriculture

La viticulture est une des cultures les plus consommatrices de produits phytosanitaires. En 2019, pour l'ensemble des bassins viticoles, en moyenne 18 traitements ont été effectués, en grande majorité des fongicides (79%) pour lutter contre les maladies cryptogamiques (Agreste, 2023). En Provence (Var-Vaucluse), les parcelles ont reçu en moyenne 12 traitements, ce qui reste bien inférieur à la moyenne nationale, s'expliquant par une plus faible pression sanitaire. Ces chiffres sont en diminution par rapport au recensement de 2016, en moyenne 2 traitements de moins ont été effectués en 2019. Le nombre de traitements reste assez élevé, d'autant plus que 13% sont des herbicides.

Le désherbage chimique en agriculture a débuté au début du XXe siècle avec l'introduction d'agents chimiques pour le contrôle des « mauvaises herbes », maintenant appelées adventices. L'utilisation systématique des herbicides a pris son essor après la Seconde Guerre mondiale avec le développement du 2,4-D (acide 2,4-dichlorophénoxyacétique), un herbicide sélectif permettant de cibler les dicotylédones sans endommager les graminées. Cette innovation a marqué le début de l'ère moderne des herbicides, rendant possible une gestion plus efficace des adventices et une augmentation

significative des rendements agricoles nécessaires pour nourrir la population. Dans les années 1970, l'introduction du glyphosate par Monsanto a révolutionné le désherbage chimique en raison de son efficacité, de son large spectre d'action et de son faible coût. Cependant, l'utilisation intensive et répétée des herbicides a entraîné des problèmes d'apparition de résistances chez certaines espèces d'adventices (Délye et al., 2020). Sur le plan environnemental, les herbicides peuvent contaminer les sols et les eaux souterraines, on les retrouve notamment dans des sources d'eau potable. Cette contamination peut avoir des effets néfastes sur les organismes aquatiques et la faune environnante (Price & Kelton, 2013). Concernant la santé humaine, de nombreuses études ont montré que plusieurs problèmes de santé peuvent être liés à une exposition aux herbicides. Par exemple, des troubles endocriniens, des cancers ou encore des problèmes de reproduction (Morrison et al., 1992). Ainsi, en 2015, le glyphosate a été classé comme « probablement cancérigène pour l'homme » par le Centre International de Recherche sur le Cancer.

Ces préoccupations ont conduit à des réglementations plus strictes avec de nombreux pays limitant l'utilisation des herbicides et à une recherche accrue sur les alternatives durables et intégrées pour le désherbage. Les solutions de désherbage non-chimique sont le désherbage mécanique, le désherbage thermique et électrique dans une moindre mesure, et l'enherbement.

Même si le désherbage mécanique devient de plus en plus majoritaire, le désherbage chimique a encore une place importante dans les pratiques viticoles. En effet, 80 % des surfaces viticoles françaises sont traitées au moins une fois par an avec des herbicides, et 75 % de ces surfaces traitées le sont au glyphosate (Jacquet et al., 2019).

Le plan Ecophyto, mis en place en 2008, avait pour but de diminuer la dépendance aux produits phytopharmaceutiques ainsi que les risques associés pour la santé humaine et l'environnement. Il regroupe les actions interministérielles sur « les produits phytopharmaceutiques et une agriculture moins dépendante aux pesticides » et de « sortie du glyphosate » adopté le 22 juin 2018. Lors du Grenelle de l'environnement, l'engagement n°129 a été pris et prévoit un « *objectif de réduction de moitié des usages des pesticides en accélérant la diffusion des méthodes alternatives et sous réserve de leur mise au point* ». A l'issue de ces travaux, le ministre de l'Agriculture et de la Pêche a été chargé d'élaborer un plan de réduction de 50% des usages des pesticides en dix ans, si possible.

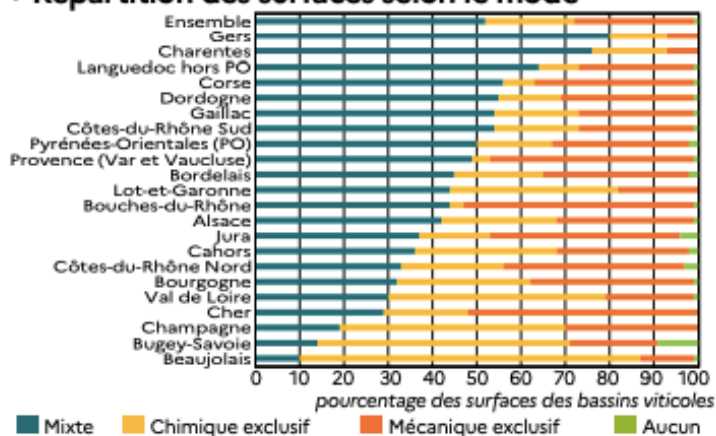
Depuis, les plans Ecophyto II et II+ ont été développés pour ajuster et détailler les actions nécessaires à l'atteinte de ces objectifs. En mai 2024, la stratégie Ecophyto 2030 a été présentée. Elle fixe des objectifs de réduction des risques et de l'usage des produits phytopharmaceutiques, alignés avec les engagements européens et internationaux en matière de lutte contre le changement climatique et de préservation de la biodiversité. Cette stratégie vise également à soutenir les agriculteurs dans leur transition en développant des méthodes alternatives et en renforçant l'accompagnement pour changer les pratiques agricoles (Le Plan Ecophyto, 2024).

Tableau 1 : Méthodes de gestion des adventices (Gaviglio, 2013)

Stade		Graine	Plantule ou plante adulte	
Objectif		Empêcher la levée	Destruction (partielle ou totale)	Contrôle du développement
Méthodes de contrôle	Physique	- Paillage - Désherbage mécanique	- Désherbage mécanique - Désherbage thermique	- Tonte - Roulage
	Chimique	Herbicides de prélevée	Herbicides de postlevée	Herbicides de postlevée et de contact à dose réduite
	Biologique	Enherbement semé		Pâturage (moutons...)

Modes de désherbage en 2019

• Répartition des surfaces selon le mode



Enherbement inter-rang en 2016 et 2019

	Nature de l'enherbement entre les rangs 2016			2019		
	Permanent	Temporaire	Aucun	Permanent	Temporaire	Aucun
	%			%		
Alsace	92	3	1	86	4	2
Beaujolais	44	1	55	43	4	53
Bordelais	81	3	16	78	9	11
Bouches-du-Rhône	18	9	73	12	26	62
Bourgogne	22	2	76	32	5	63
Bugey-Savoie	78	5	17	79	4	17
Cahors	85	3	11	77	10	5
Champagne	30	4	66	42	10	48
Charentes	68	9	22	69	15	14
Cher	38	13	49	41	14	45
Corse	11	41	48	9	75	16
Côtes-du-Rhône Nord	56	6	37	55	7	34
Côtes-du-Rhône Sud	31	7	63	39	12	48
Dordogne	95	4	1	87	7	2
Gaillac	45	23	30	39	52	6
Gers	69	25	3	42	50	4
Jura*	-	-	-	78	4	17
Languedoc hors PO	19	12	69	19	24	56
Lot-et-Garonne	78	11	2	60	33	1
Provence (Var et Vaucluse)	17	9	74	18	33	49
Pyénées-Orientales (PO)	19	7	74	5	16	79
Val de Loire	57	7	37	60	13	25
Ensemble (hors Jura)	43	9	48	43	19	36

Figure 2 : Inventaires des pratiques viticoles d'après l'enquête Pratiques culturales en viticulture 2019 (Graph'Agri 2023).

A : Modes de désherbage, répartition des surfaces selon le mode, par vignoble. B : Nature de l'enherbement inter-rang en 2016 et 2019.

1.2. Importance des types d'entretien du sol dans la réponse aux enjeux

1.2.1. Gestion durable des adventices

La présence d'une flore adventice n'est pas forcément problématique. Leur degré de nuisibilité dépend de leur développement. Certaines adventices sont nuisibles dès l'existence de quelques individus comme le chardon, le liseron ou encore l'érigéron car il est responsable des goûts herbacés dans les vins. Les adventices peuvent former un couvert dense concurrençant la vigne pour l'accès aux ressources du sol (eau et éléments minéraux) et à la lumière et favorise également le développement de maladies cryptogamiques (Kazakou *et al.*, 2012). En menaçant la nutrition hydrique et azotée cela peut provoquer une perte de vigueur et ainsi une diminution du rendement potentiel (Chantelot *et al.*, 2004) pouvant varier de 10 à 45% (Moulis, 1994), ce qui pousse les viticulteurs à désherber.

Le désherbage a aussi une portée sociale, c'est une question d'esthétique et d'image que d'avoir une parcelle bien désherbée. Cela relève d'une acceptation sociale d'avoir de l'herbe dans la parcelle car culturellement elle est considérée comme mauvaise, concurrentielle et « sale » (Schütte & Bergmann, 2019).

Il est alors important de préciser que l'objectif n'est pas d'avoir en permanence un sol désherbé mais de contrôler la présence des adventices et donc leur nuisibilité.

Avec le développement de la chimie et de la mécanisation, les techniques disponibles pour les viticulteurs sont nombreuses (Tableau 1). Pour contenir la population d'adventices, nous pouvons agir à deux stades : sur les graines en empêchant la levée ou sur la plante entre la détruisant (partiellement ou non) et/ou en contrôlant son développement.

Choisir le mode d'entretien de son sol dépend alors de nombreux paramètres : l'emplacement de la parcelle, les objectifs de production (rendement et qualité de la vendange, cahier des charges d'une appellation et/ou d'une certification), du type de sol et de ses caractéristiques (portance, sensibilité à l'érosion, présence de cailloux, fertilité), du climat, de l'état de la végétation du matériel (bineuse, décavaillonneuse, griffon, disques...) et de la main d'œuvre disponibles sur l'exploitation (Gaviglio, 2013).

La synthèse Graph'Agri réalisée en 2023 à partir des données Agreste a permis de dresser un inventaire des pratiques culturales en viticulture, en particulier le type d'enherbement et le mode de désherbage. En 2019, 64% des vignes sont enherbées entre les rangs, soit 12 points de plus qu'en 2016. L'enherbement permanent est prédominant, 43% des vignes, un chiffre stable entre 2016 et 2019. L'enherbement temporaire a, quant à lui doublé, passant de 9% en 2016 à 19% en 2019 (Figure 2B). 12% des vignes sont enherbées sous le rang, majoritairement spontané et temporaire, deux fois plus qu'en 2016.

Enfin, la moitié des vignes est désherbée de manière mixte (chimique et mécanique). Le désherbage chimique a diminué de 11 points par rapport à 2016 (20% en 2019) alors que le désherbage mécanique a augmenté de 8 points (27% en 2019). Cela reflète un changement dans les mentalités, qui va de pair avec les restrictions concernant l'utilisation du glyphosate. On remarque que les pratiques de gestion de l'enherbement sont très variables entre les différents bassins viticoles. Par exemple, plus de 80% du Beaujolais est désherbé chimiquement, contre moins de 10% du vignoble Var-Vaucluse (Figure 2A).

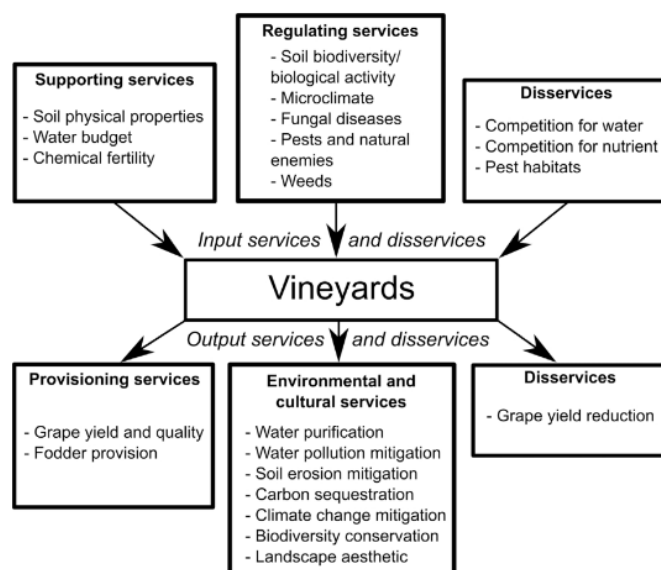


Figure 3 : Services et dysservices attendus des cultures de services dans les vignobles (Garcia et al., 2018).

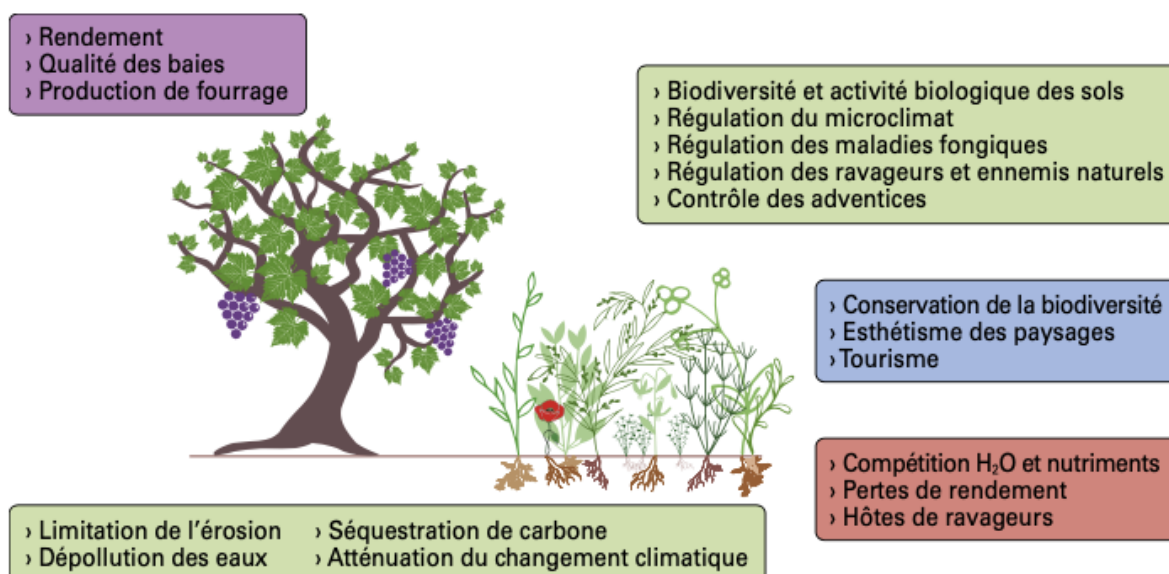


Figure 4 : Services et dysservices des cultures de services (Garcia et al., 2020).

En violet : services d'approvisionnement, en vert : services de régulation et conservation, en bleu : services culturels et en rouge : dysservices

1.2.2. Les couverts végétaux : un compromis entre services et dysservices

Finalement, les enjeux de la viticulture française, s'inscrivent dans la transition agroécologique. En effet, ils ont été énoncés dans le Guide de la transition agroécologique et changement climatique en viticulture (Herbin et al., 2022) et il s'agit de la préservation de la qualité des sols, la préservation et le développement de la biodiversité, la diminution de l'usage des produits phytosanitaires, la préservation de la ressource en eau, la préservation de l'atmosphère et de la qualité de l'air et enfin l'atténuation des effets du changement climatique. Les couverts végétaux pourraient alors être un des leviers à ces enjeux.

Le couvert végétal est un terme générique pour toute couverture du sol par des plantes, qu'elle soit naturelle ou semée, avec des objectifs variés (réduire l'érosion, améliorer la structure du sol, amélioration de la fertilité, etc.). Parfois on peut parler de cultures de services, désignant les cultures non marchandes utilisées pour leurs services écosystémiques c'est-à-dire « les conditions et les processus par lesquels les écosystèmes naturels et les espèces qui les composent, soutiennent et remplissent la vie humaine » (Daily et al., 1997). Les couverts végétaux peuvent fournir plusieurs services de soutien et de régulation pour la viticulture, ainsi que services environnementaux et culturels (Garcia et al., 2018), schématisés dans les figures 3 et 4.

1.2.2.1. Fonctions et services rendus

Lutte contre les adventices

De nombreuses études ont montré le rôle de ces cultures de services sur le contrôle du développement des adventices pouvant concurrencer la vigne pour les ressources. Les couverts végétaux sont considérés comme une méthode biologique non spécifique de lutte contre les adventices en pré-levée (Fourie et al., 2001), ce qui permettrait de réduire l'utilisation d'herbicides en agriculture (Tworkoski et Glenn, 2012). Le premier service visé lorsque des couverts végétaux sont installés est la lutte contre les adventices de l'inter-rang. En effet, de nombreuses études ont montré le rôle de ces cultures de services sur le contrôle du développement des adventices pouvant concurrencer la vigne. Les cultures de services peuvent affecter la structure et la dynamique de population des adventices. Les couverts végétaux étant l'espèce dominante, ils exercent une exclusion compétitive sur les adventices et inhibent leur développement. Cette compétition dépend notamment de la biomasse du couvert (Gago et al., 2007), mais aussi de composés allélochimiques libérés lors de la décomposition des résidus qui inhibent la germination et la croissance des graines d'adventices (Lou et al., 2015).

Fertilité chimique des sols

Un des principaux services fournis et attendus par les couverts végétaux est en lien avec la fertilité du sol.

Premièrement, la destruction et la minéralisation des couverts - dans ce cas appelés engrais verts - libèrent de l'azote dans le sol sous forme nitrique (NO_3^-) ou ammoniacale (NH_4^+), le rendant disponible pour la culture co-occurrence (la vigne par exemple) ou pour la prochaine culture (Patrick et al., 2004). Cette quantité relarguée dépend notamment du ratio C/N (Finney et al., 2016) et de la biomasse des espèces végétales (Vrignon-Brenas et al., 2016). L'azote est l'un des macroéléments minéraux de la vigne. Cet élément est indispensable à la vigne, il est utilisé notamment pour synthétiser les protéines comme les enzymes ou encore les acides nucléiques qui constituent l'ADN. L'azote est aussi un des composants de la chlorophylle et de la RubisCO indispensables pour la photosynthèse et donc la croissance végétative de la vigne (Delas, 2000).

Concernant les autres éléments minéraux, peu d'études ont montré le rôle des couverts végétaux (Thorup-Kristensen et al., 2003). Certains ont observé une augmentation de phosphore et de potassium dans les sols en présence de couverts végétaux (Ovalle et al., 2007), tandis que d'autres ont montré qu'ils peuvent diminuer la quantité de phosphore disponible car il est converti dans une forme organique (Blanco-Canqui et al., 2015). Enfin, certaines plantes sont efficaces dans la réduction du lessivage des nitrates résiduels du sol (Thorup-Kristensen et al., 2003).

Propriétés physiques du sol et effets sur la circulation et la pureté de l'eau

Les couverts végétaux réduisent l'érosion hydrique et éolienne des sols viticoles (Le Bissonais et al., 2004 ; Raclot et al., 2009 ; Novara et al., 2011). En effet, ils améliorent la stabilité des agrégats du sol (Goulet et al., 2004), réduisent leur décomposition et le détachement du sol (Dabney et al., 2001). De plus, ils maintiennent une structure et une porosité favorable, augmentent la résistance du sol à la compaction et améliorent sa portance (Ferrero et al., 2005 ; Polge de Combret-Champart et al., 2013). En améliorant la structure du sol et son taux de matière organique, la capacité de rétention en eau du sol est augmentée (Morlat and Jacquet, 2003). Par conséquent, les couverts végétaux améliorent l'infiltration de l'eau et le remplissage des réserves (Gaudin et al., 2010) et donc diminuent le ruissellement dépendant majoritairement du taux de couverture (Andrieux, 2007). En réduisant le ruissellement de surface (García-Díaz et al., 2017) et l'érosion des sols, les eaux de surface risquent moins d'être polluées par les matières en suspension et les pesticides (Alletto et al., 2010). Puisque le ruissellement est diminué et l'infiltration augmentée, les pesticides pénètrent mieux dans le sol et peuvent donc être dégradés. Mais cela dépend des caractéristiques du sol et des substances actives des pesticides car l'augmentation de la matière organique des sols peut augmenter la rétention des pesticides dans le sol et empêcher leur dégradation par les microorganismes (Alletto et al., 2010).

Biodiversité et activité biologique des sols

Les couverts végétaux augmentent l'abondance de la faune du sol et la biodiversité (Coll et al., 2009) et établissent des niveaux trophiques plus élevés dans le sol (Sánchez-Moreno et al., 2009). Abad et al. (2021), Ingels et al. (2005) et Steenwerth et Belina (2008a,b) ont montré que les couverts améliorent la biomasse microbienne et l'activité biologique des sols. Ils favorisent notamment le développement des champignons mycorhiziens à arbuscules formant des symbioses mutualistes (Cheng & Baumgartner, 2006), améliorant ainsi

l'absorption des nutriments pour la vigne. En plus de favoriser la diversité des microorganismes, les couverts végétaux favorisent la dégradation des fongicides et ainsi diminuent la contamination des sols par le cuivre (Komárek et al., 2010). Il a également été prouvé que la mise en place de cultures de services et de paillages augmente l'abondance et l'activité des vers de terre (Coll et al., 2011 ; Peigné et al., 2009 ; Vrsic, 2011). Enfin, selon Dinatale et al. (2005), les cultures de services amélioreraient la diversité des insectes. Les couverts seraient même la végétation la plus utile pour nourrir la faune pendant l'hiver (Kinross et al., 2002).

Régulation des ravageurs

Les études sont en désaccord sur le rôle des cultures de services dans la régulation des ravageurs. Fiedler et al. (2008) ont montré que les couverts sont utiles dans la lutte biologique pour réguler les ravageurs. En introduisant de la diversité dans les vignobles, cela pourrait abriter des ennemis naturels et donc réguler la population de ravageurs (Liguori et al., 2011; Woltz et al., 2012). Par exemple, Rahman et al. (2009) ont observé qu'un enherbement permanent augmente les nématodes bénéfiques et diminue les populations parasites. Cependant, d'autres études ont montré des bénéfices limités voire inexistant des couverts pour lutter contre les ravageurs (Bugg & Waddington, 1994). Si les cultures de services peuvent abriter des ennemis naturels, elles pourraient également servir d'hôte à des pathogènes ou à des nématodes du sol (Castillo et al., 2007). Hanna et al. (2003) ont montré que les couverts pouvaient abriter des ravageurs et des virus de la vigne, ce qui pose question sur l'avantage ou non des cultures de services sur la régulation des ravageurs.

Microclimat et maladies cryptogamiques

Les couverts végétaux peuvent réduire la vigueur, ce qui peut être intéressant dans des cas de vigueur excessive (Abad et al., 2021). Ils peuvent aussi augmenter l'évapotranspiration et réduire le développement des champignons responsables des maladies cryptogamiques (Guilpart et al., 2017 ; Valdés-Gómez et al., 2011). En diminuant la vigueur, les couverts augmentent l'aération dans le feuillage et donc modifient le microclimat de la canopée. Les conditions sont plus sèches ce qui diminue le risque d'infection et la dispersion des spores (Calonnec et al., 2012) et limite notamment le développement de la pourriture grise (Valdés-Gómez et al., 2011). Abad et al. (2021) ont noté que dans les deux tiers des cas étudiés, la présence de mildiou et son impact sont diminués avec des couverts végétaux. Les couverts réduiraient également l'impact du botrytis, du black et du pied noir.

Atténuation du changement climatique

Comme évoqué précédemment, les cultures de services peuvent augmenter le taux de matière organique du sol (MOS) dans la couche superficielle et ainsi contribuer à la séquestration du carbone. Cependant, ce changement est généralement long et inégal selon les agrosystèmes. Morlat et Jacquet (2003) ont obtenu une augmentation significative de la teneur en MOS après 17 ans d'enherbement permanent, alors que Celette et al. (2009) n'ont pas observé de changement significatif pendant quatre ans. D'autres, après seulement trois ans, ont obtenu une augmentation significative de la teneur en MOS selon l'espèce de culture de services (Belmonte et al. 2016 ; Marques et al., 2009). La séquestration du carbone peut se faire également par le biais de la production de biomasse mais cela reste négligeable lors d'une faible production de matière sèche à cause de mauvaises conditions climatiques ou d'un sol de mauvaise qualité (Celette et al., 2009 ; Coll et al., 2011 ; Salomé et al., 2016).

Plusieurs auteurs ont estimé qu'un stockage de carbone de l'ordre de $0,49 \pm 0,26$ tC/ha/an peut être obtenu avec un enherbement permanent (Arrouays et al., 2002 ; Freibaueur et al., 2004 ; Salomé et al., 2016).

Mais si l'on s'intéresse au bilan carbone, il est important de tenir compte de l'empreinte carbone globale de ces systèmes car le travail du sol et la destruction des cultures de services augmentent la production de CO₂ (et pas seulement) à partir de combustibles fossiles.

Même si ce n'est pas le premier service recherché, les cultures de services dans les vignobles peuvent également améliorer la valeur esthétique des exploitations et des paysages.

1.2.2.2. Risques et potentiels dysservices

Compétition pour les ressources et impact sur le rendement

Le principal dysservice que tous les viticulteurs craignent est la compétition pour l'eau et les nutriments. En effet, les cultures de services peuvent diminuer la quantité d'azote disponible pour la vigne de manière directe et indirecte. Pendant leur croissance, les couverts végétaux peuvent absorber de l'azote et l'immobiliser sous forme organique (la biomasse de la plante) et ainsi le rendre indisponible pour la vigne (Celette et al., 2009 ; Thorup-Kristensen et al., 2003). Ils réduisent également de manière indirecte la quantité d'azote minéral dans le sol en diminuant la minéralisation de l'azote organique car ils modifient la teneur en eau et la température des sols (Celette & Gary, 2013).

En cas de carence azotée, on observe un impact sur la croissance végétative avec une diminution de la vigueur, du nombre de feuilles, de l'élongation des rameaux. Cela influence aussi les composantes du rendement avec un taux de débourrement plus faible ainsi qu'une diminution de la fertilité des bourgeons de l'année n+1 (Guilpart et al., 2014). L'azote exerce également une influence à la nouaison, une trop faible alimentation en azote provoque de la coulure et donc une perte de rendement (Delas, 2000). En créant une compétition pour les ressources, les couverts végétaux peuvent diminuer le rendement (Deloire et al., 2004). C'est également ce qu'ont recensé Abad et al. (2021) dans 56 % des articles étudiés. Mais dans 16 % des cas le rendement a été augmenté et dans 28 % il n'y a eu aucun effet, ce qui laisse une interrogation quant à l'impact des couverts sur le rendement.

Microclimat : risque de gel et maladies fongiques

Au printemps, les couverts végétaux maintiennent une humidité relative dans le vignoble et dans la végétation augmentant les risques de gel et les dégâts sur la vigne (Sánchez et al., 2007). Cet excès d'humidité pourrait également favoriser le développement des pathogènes responsables des maladies cryptogamiques (Valdés-Gómez et al., 2011) mais aucune autre étude l'a observé.

1.2.2.1. Le pilotage des couverts végétaux : choix du couvert et de sa gestion

Il est essentiel de définir une stratégie d'enherbement adaptée aux objectifs principaux visés au sein de la parcelle, en priorisant le service de production. Cette stratégie doit également tenir compte des contraintes spécifiques, en particulier celles liées aux conditions pédoclimatiques et aux exigences de la production (Figure 5). Les variations climatiques (abondance et répartition des précipitations tout au long de l'année, températures extrêmes) ont notamment des conséquences sur la gestion des cultures de

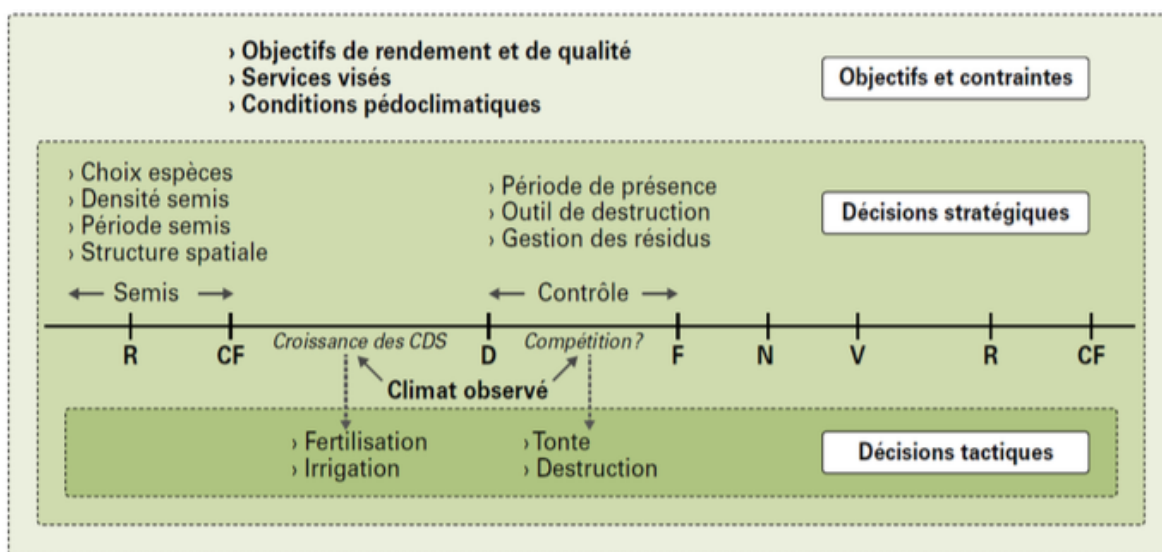


Figure 5 : Gestion stratégique et tactique des cultures de services (Garcia et al., 2020).
 D : débournement, F : floraison, N : nouaison, V : véraison, R : récolte, CF : chute des feuilles

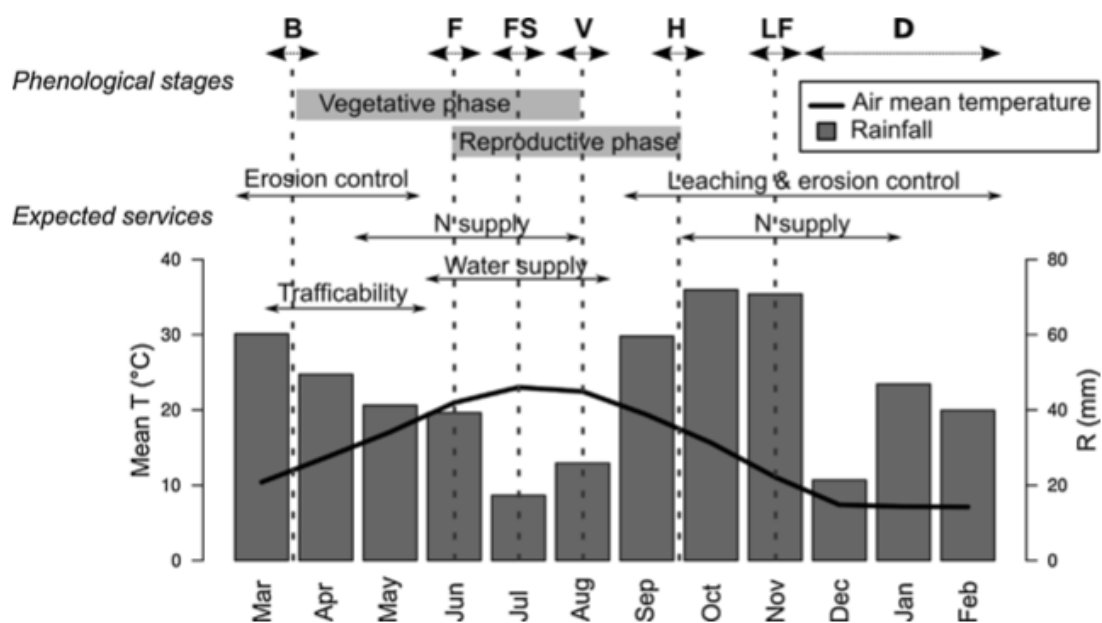


Figure 6 : Temporalité des services attendus en viticulture (région Méditerranéenne, France) (Garcia et al., 2018)

B : débournement, F : floraison, FS : nouaison, V : véraison, H : récolte, LF : chute des feuilles, D : dormance.

Données climatiques (pluviométrie, température moyenne) : moyenne de 2005-2015 à Roujan (sud de France).

services (période de destruction, risque de concurrence avec la vigne) et sur la fourniture de services (Figure 6). Il est alors important d'avoir une stratégie adaptative en prenant en compte la dynamique de fourniture des cultures de services pour la gestion des couverts (Schipanski et al., 2014).

La stratégie repose essentiellement sur le choix du couvert et des espèces, leur densité et leur date de semis affectant directement la levée, le développement et la production de biomasse du couvert. La date et la méthode de destruction des couverts a également son importance (Garcia et al., 2020). Chaque type de couvert végétal a ses propres avantages et inconvénients mais dans tous les cas la vocation principale des couverts est de rendre un service au viticulteur et à l'agrosystème. On peut alors parler de cultures de services (Garcia et al., 2018 ; Gardarin et al., 2022 ; Ogilvie et al., 2019).

Un couvert spontané peut être préféré par les viticulteurs car cela en fait une option sans coût d'installation et pouvant offrir des compromis intéressants en termes de services écosystémiques (Kazakou et al., 2016). De plus, la présence de couvert spontané dans les vignobles favorise d'autres services écosystémiques qui ne sont pas directement liés aux cultures. Cela préserve une diversité taxonomique et fonctionnelle des communautés végétales (Hall et al., 2020) ainsi que des habitats pour la faune (Kratschmer et al., 2019). Mais ce choix présente des inconvénients comme sa faible production de biomasse en comparaison à un couvert semé (Steenwerth et al., 2010) et la forte concurrence pour l'eau de certaines espèces (Ruiz-Colmenero et al., 2011 ; Delabays et al., 2006 ; Pardini et al., 2002). Les couverts semés (et majoritairement temporaires) sont de plus en plus choisis par les viticulteurs pour la multitude de services qu'ils rendent. Par exemple, en semant un mélange de légumineuses et non-légumineuses, le couvert peut servir d'engrais vert en restituant de l'azote après minéralisation et réduire le ruissellement et le lessivage des nitrates (Tribouillois et al., 2016). Généralement, les viticulteurs choisissent de semer un mélange de plusieurs espèces plutôt qu'une seule, ce qui les rassure quant à la réussite de leur semis. Le choix des espèces est important et doit être raisonné en fonction de la complémentarité des espèces sur leur architecture aérienne et racinaire, de leur vitesse de croissance, des fonctions de chaque famille (apport d'azote par exemple), de la résistance au froid et au gel dans le cas d'un semis automnal et de la facilité de destruction (Metay et al., 2022). Une culture de services avec une forte production de biomasse est intéressante car elle peut exercer un effet physique significatif sur les adventices, conduisant ainsi à leur suppression. De plus, des couverts avec une couverture précoce et une densité de semis élevée augmentent la compétition avec les adventices (Mennan et al., 2020). Gaviglio et al. (2013) ont listé les principales espèces utilisées dans des couverts en viticulture (Tableau 2). Ranaldo et al. (2019) ont montré qu'un semis d'espèces appartenant à différents groupes fonctionnels est plus avantageux pour le contrôle des adventices. Ils avaient notamment mélangé des Légumineuses à grosses graines à croissance rampante (pois fourrager, vesce commune), des Légumineuses à petites graines à croissance érigée (trèfle violet, trèfle squarrosus), des Graminées (orge, avoine) et des Brassicacées (radis, moutarde noire). De plus, chaque famille ayant des caractéristiques propres (Annexe 1) il est intéressant de les combiner afin d'en tirer le maximum de services.

Tableau 2 : Principales espèces utilisées dans des couverts permanents ou hivernaux (Gaviglio, 2013)

Famille	Nom latin	Nom commun
Espèces pérennes pour l'enherbement permanent des vignes		
Graminées (poacées)	<i>Festuca arundinacea</i>	Fétuque élevée
	<i>Lolium perenne</i>	Ray-grass anglais
	<i>Festuca rubra rubra</i>	Fétuque rouge traçante
	<i>Festuca rubra trichophylla</i>	Fétuque rouge demi-traçante
	<i>Festuca rubra commutata</i>	Fétuque rouge gazonnante
	<i>Festuca ovina</i>	Fétuque ovine
	<i>Poa pratensis</i>	Pâturin des prés
	<i>Poa trivialis</i>	Pâturin commun
	<i>Koeleria macrantha</i>	Koélérie
	<i>Dactylis glomerata</i>	Dactyle
	<i>Agrostis capilaris</i>	Agrostide
Légumineuses (fabacées)	<i>Trifolium repens</i>	Trèfle blanc
Espèces annuelles pour l'enherbement permanent des vignes		
Graminées (poacées)	<i>Bromus tectorum</i>	Brome des toits
	<i>Hordeum murinum</i>	Orge des rats
Légumineuses (fabacées)	<i>Medicago polymorpha</i>	Médics/luzerne annuelle
	<i>Medicago rigidula</i>	Luzerne raide
	<i>Medicago lupulina</i>	Luzerne lupuline
	<i>Trifolium subterraneum</i>	Trèfle souterrain
Espèces annuelles pour l'enherbement hivernal des vignes		
Graminées (poacées)	<i>Avena sativa</i>	Avoine
	<i>Lolium multiflorum</i>	Ray-grass d'Italie
	<i>Avena strigosa</i>	Avoine rude (ou avoine diploïde)
	<i>Secale cereale</i>	Seigle
	<i>Triticum sp. (turgidum et sativum)</i>	Blé (dur et tendre)
	<i>Hordeum vulgare</i>	Orge
Crucifères (brassicacées)	<i>Sinapis alba</i>	Moutarde blanche
	<i>Brassica juncea</i>	Moutarde brune
	<i>Brassica rapa oleifera</i>	Navette fourragère
	<i>Raphanus sativus</i>	Radis fourrager
	<i>Brassica napus</i>	Colza fourrager
Légumineuses (fabacées)	<i>Trifolium alexandrinum</i>	Trèfle d'Alexandrie
	<i>Trifolium incarnatum</i>	Trèfle incarnat
	<i>Vicia sativa</i>	Vesce commune de printemps
	<i>Vicia villosa</i>	Vesce velue
	<i>Pisum sativum</i>	Pois fourrager
	<i>Vicia faba</i>	Féverole
	<i>Trifolium incarnatum</i>	Trèfle incarnat
	<i>Trifolium alexandrinum</i>	Trèfle d'Alexandrie
Hydrophyllacées	<i>Phacelia tanacetifolia</i>	Phacélie à feuilles de tanaïs

Les choix de la date et du mode de destruction (outil et gestion des résidus) sont fondamentaux dans le pilotage des couverts pour atteindre des compromis entre services écosystémiques. Par exemple, selon Coppens et al. (2006) et Radicetti et al. (2016), enfouir les résidus par un travail du sol permet une minéralisation plus rapide des résidus organiques. Également, Garcia et al. (2021), ont observé que les reliquats azotés mesurés dans les modalités enfouies sont supérieurs aux autres modalités. L'enfouissement des résidus permettrait de mettre en contact la matière organique avec les micro-organismes du sol et ainsi d'accélérer leur minéralisation (Garcia et al., 2023 ; Ruiz-Colmenero et al., 2011 ; Novara et al., 2018) et de mieux contrôler l'apport des nutriments pour la vigne (Coll et al., 2011). D'autres études mettent également en avant l'efficacité du rouleau dans la lutte contre les adventices (Winter et al., 2018). L'utilisation du rouleau permet de créer un paillis en surface, réduisant ainsi l'interception de la lumière par les adventices (Paiola et al., 2020 ; Ragasová et al., 2019 ; Salomé et al., 2016) et inhibant leur germination par effet allélopathique (Garcia et al., 2018 ; Novara et al., 2020). Cependant, Garcia et al. (2023) ont observé que le rolofaca est moins efficace avec des biomasses faibles et certaines années il ne permet pas de détruire le couvert. De plus, la dynamique de minéralisation est plus lente que les autres modes de destruction, ce qui peut être moins avantageux sur l'effet fertilité des engrais verts. Enfin, selon Celette & Gary (2013), le fauchage de la culture de services pourrait modérer ou arrêter son absorption d'eau et d'azote.

La date de destruction est l'un des principaux leviers de gestion des cultures de services. Par exemple, la disponibilité de l'eau peut être déterminant dans le choix de la date de destruction (Figure X). En cas de manque d'eau en début de saison, la destruction du couvert peut arrêter le flux de transpiration et préserver les réserves d'eau du sol. Garcia et al. (2023) ont montré qu'une destruction tardive du couvert végétal favorise la production de biomasse, ainsi que les teneurs en matière organique libre et en biomasse microbienne comparé aux destructions précoces.

La dynamique de fourniture des services écosystémiques est variable selon les services. Certains s'évaluent seulement après plusieurs années de pratiques (comme le taux de matière organique dans les sols), alors que d'autres services s'obtiennent plus rapidement (services en lien avec la ressource hydrique et azotée) (Garcia et al., 2020). Ainsi, le pilotage des couverts végétaux implique des compromis constants pour optimiser les services fournis par le couvert tout en minimisant ses dysservices (Garcia et al., 2018).

1.2.3. Le paillage sous le rang : une alternative aux désherbages chimique et mécanique du cavaillon

Les viticulteurs recherchent de nouvelles méthodes de gestion des sols viticoles et l'utilisation de paillages synthétiques et naturels peuvent être une solution (Kasirajan & Ngouajio, 2012).

De nombreuses études ont prouvé que les paillages sont efficaces pour réduire la croissance des adventices sous le rang. Par exemple, Ferrara et al. (2012) ont observé que deux paillis synthétiques (géotextile en polypropylène et polyéthylène noir) et un paillis organique (grignons d'olives) exercent un bon contrôle sur le développement des adventices.

Follak et al. (2024) ont même obtenu des résultats comparables à un désherbage chimique et mécanique avec un paillage à base de matières premières renouvelables (principalement l'huile de colza, l'amidon et l'alginate de sodium). Goulet et al. (2017) ont testé des feutres en fibres végétales biodégradables (chanvre, lin, jute et maïs) qui se sont révélés efficaces pour lutter contre la croissance des adventices. Mais leur durée de vie est assez limitée (un à deux ans selon le matériau) ce qui peut en faire une bonne alternative technique au désherbage chimique ou mécanique des plantiers. De la même manière, les paillages utilisés par Gontier et Gaviglio (2012) ont eu une efficacité limitée dans le temps sur le contrôle des adventices : une campagne pour la paille de céréales compressée, deux campagnes pour la chènevotte et les écorces de châtaignier. Ces paillages pourraient alors trouver un intérêt pour l'entretien du sol des plantiers en viticulture biologique compte-tenu de la simplification d'organisation du travail qu'ils engendrent.

De plus, l'utilisation d'un paillage permet une meilleure gestion de l'eau du sol et donc de diminuer le stress hydrique chez les plantes (Yu et al., 2018). En effet, le paillage diminue l'évaporation de l'eau et augmente son infiltration dans le sol, permettant de conserver une certaine humidité par rapport à un sol nu (Chakraborty et al., 2008 ; Li et al., 2018 ; Zhao et al., 2014). Le paillage peut ainsi réduire l'érosion hydrique. Selon les matériaux, le paillage peut réduire le lessivage des herbicides appliqués et leur toxicité dans les eaux souterraines (Montanaro et al., 2017).

Selon les matériaux utilisés, le paillage capte l'énergie thermique du rayonnement solaire incident et ainsi réchauffe l'air sous le paillage selon le principe de l'effet de serre. Cela influence directement le taux de décomposition et la minéralisation des composés organiques du sol (Davidson & Janssens, 2006) ainsi que l'humidité du sol et la disponibilité de l'eau pour les plantes (Chen et al., 2018 ; Li et al., 2013).

Les paillages organiques impactent également le microbiome du sol et l'activité enzymatique en fournissant du carbone et des nutriments (Qian et al., 2015). Généralement, les paillages augmentent le taux de matière organique et d'éléments minéraux du sol améliorant ainsi la fertilité du sol (Bajgai et al., 2014 ; Ferrara et al., 2012 ; Jiménez et al., 2013).

Plusieurs études ont aussi observé que le paillage permettrait une meilleure production avec l'augmentation du rendement et l'amélioration de la qualité des raisins (Burg et al., 2022 ; Guerra & Steenwerth, 2011 ; Kader et al., 2017 ; Mundy & Agnew, 2002).

1.3. Contexte du stage et problématique d'étude

J'ai réalisé mon stage de fin d'études à la Chambre d'Agriculture de Vaucluse au pôle vigne et vin basé à l'Institut Rhodanien à Orange. Les Chambres d'Agriculture sont des établissements publics placés sous la tutelle de l'État et administrés par des élus issus du monde agricole. Elle est présente aux échelles nationale, régionale et départementales. Elles ont pour objectifs d'accompagner les agriculteurs par le conseil, la recherche et le développement, la formation et la gestion de projets.

Le Vaucluse, cœur viticole de la région Provence-Alpes-Côte d'Azur, se distingue par ses vins réputés et une diversité de terroirs exceptionnels. Le Vaucluse bénéficie d'un climat méditerranéen propice pour la culture de la vigne, avec des hivers doux et des étés chauds et secs.



Figure 7 : Localisation de la parcelle d'étude, encadrée en rouge et localisation de l'essai, encadré en jaune.

Coordonnées du point : 44.146763, 4.9591255

Vacqueyras

44.14°N, 4.98°E (119 m snm).
Modèle: ERA5T.

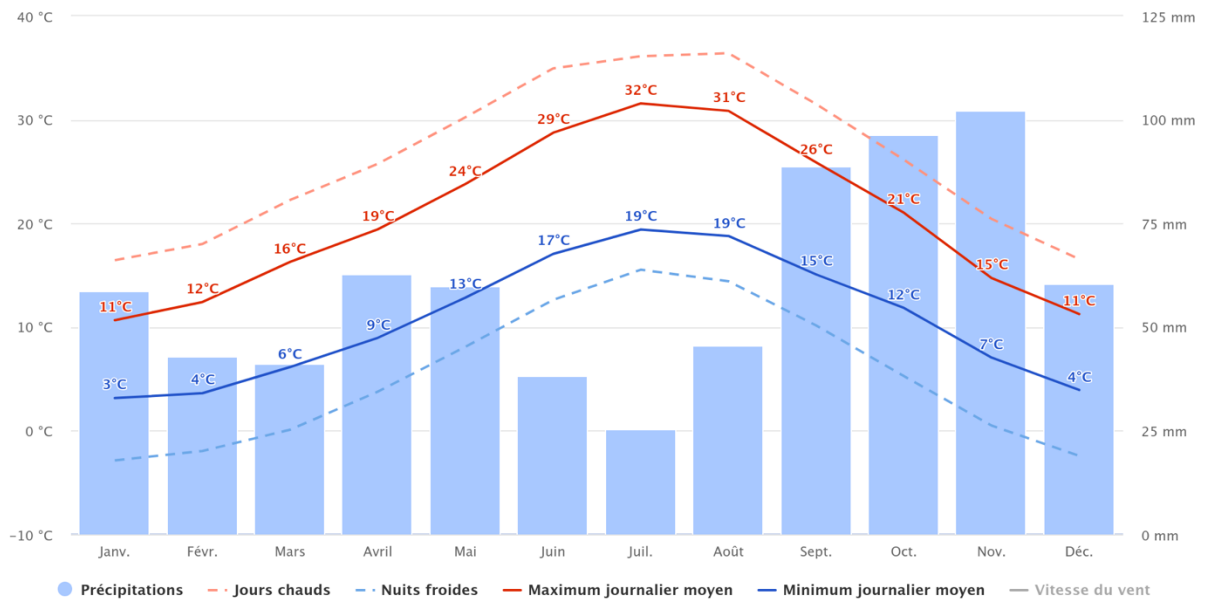


Figure 8 : Données météorologiques moyennes depuis 1940 à Vacqueyras

Le département abrite des appellations prestigieuses telles que Châteauneuf-du-Pape, Gigondas, Vacqueyras et Beaumes-de-Venise, qui sont reconnues pour leurs vins de haute qualité. Pour faire face aux défis climatiques (sécheresse, gel, grêle) et aux pressions sanitaires (maladies, ravageurs), les viticulteurs s'orientent de plus en plus vers des pratiques durables, avec une montée en puissance de la viticulture biologique et biodynamique. Le changement climatique entraîne des stress hydriques accrus, nécessitant des adaptations dans la gestion de l'eau et les techniques culturales. Les enjeux économiques et réglementaires sont également au cœur des préoccupations, avec des marchés volatils, des coûts de production en hausse, et une réglementation complexe à gérer. Les changements dans les habitudes de consommation, notamment avec une déconsommation des vins rouges puissants, pousse les viticulteurs à changer leurs pratiques et leur encépagement.

Mon stage de fin d'études s'inscrit dans un projet régional nommé « *Techniques alternatives d'entretien des sols* » mené en collaboration entre les Chambres d'Agriculture de PACA (Bouches-du-Rhône, Var et Vaucluse), le GRAB (Groupe de recherche en Agriculture Biologique) et financé par la région Provence-Alpes-Côte d'Azur.

Cette action cherche à répondre aux nouveaux enjeux de la viticulture dans un contexte de restriction de l'utilisation des herbicides, de développement de l'agriculture biologique, de réchauffement climatique et de la gestion de l'eau. L'adaptation des pratiques d'entretien du sol semble alors primordiale, voire urgente. Le mode d'entretien du sol est au cœur des enjeux environnementaux, économiques et sociaux.

Nous pouvons alors nous demander : Dans quelle mesure les paillages sous le rang et les couverts végétaux sur l'inter-rang sont-elles des techniques alternatives d'entretien des sols en viticulture répondant à la fois aux enjeux environnementaux, sociaux et économiques des viticulteurs ?

À partir des recherches bibliographiques plusieurs hypothèses en découlent :

H1 : Les paillages contrôlent efficacement le développement des adventices, aussi bien que le glyphosate.

H2 : Les paillages diminuent le stress hydrique de la vigne en limitant l'évaporation de l'eau et en améliorant son infiltration.

H3 : Les paillages n'impactent pas la vigueur et la croissance de la vigne.

H4 : La tuile plastique réchauffe le sol par effet de serre ce qui peut affecter la vie microbienne.

H5 : Les couverts végétaux contrôlent efficacement le développement des adventices

H6 : Les couverts végétaux n'impactent pas la croissance et le rendement de la vigne.

H7 : Les engrais verts améliorent la fertilité du sol en comparaison au travail du sol.

H8 : Un enherbement permanent est plus concurrentiel sur l'eau et l'azote que d'autres couverts.

H9 : L'enfouissement des engrais verts est le meilleur mode de destruction car il permet d'accélérer la minéralisation.

H10 : Le mélange de plusieurs familles est plus efficace sur le contrôle des adventices et la fertilité du sol.



Figure 9 : Photographies des modalités : témoin glyphosate, paillages amidon, broyat et tuile.

2. Matériels et méthodes

Dans ce projet, deux essais ont été mis en place. Un sur les techniques alternatives d'entretien du sol sous le rang (paillages) à Vacqueyras et l'autre sur l'entretien du sol de l'inter-rang (couverts végétaux) à Visan.

Puisque ces deux essais sont différents mais complémentaires j'ai décidé de les traiter séparément dans la suite du rapport (avec une partie propre à chaque essai).

2.1. Entretien du sol sous le rang avec des paillages

2.1.1. Description du site et du dispositif expérimental

2.1.1.1. Description du site

La parcelle d'essai « paillages » se situe sur la commune de Vacqueyras, à 15 km à l'Est de Orange, dans la délimitation AOP Vacqueyras (Cru Côtes du Rhône). Elle s'étend sur 1,34 hectares et appartient au Vignobles Saint-André (SAS Gabriel Rey) basé dans la commune voisine de Gigondas (Figure 7). La parcelle bénéficie d'un climat méditerranéen (Figure 8) caractérisé par des étés chauds et secs, des hivers doux. Les précipitations sont principalement concentrées à l'automne et au printemps.

De la Syrah greffée sur du Fercal a été plantée en 2021 à une densité d'environ 4500 pieds/hectares (2m20 x 1m). Le plantier de Syrah rentre donc en production cette année. La parcelle est située sur une terrasse alluviale formée par l'Ouvèze (à moins d'un kilomètre de la parcelle). La parcelle présente un léger dévers avec une pente allant jusqu'à 30% dans le sens est-ouest, elle a donc été plantée perpendiculaire à la pente dans le sens nord-sud.

D'après l'analyse de sol réalisée en 2019, avant plantation, la texture est limono-argileuse. Le taux de matière organique y était de 1,5%, un rapport C/N de 12,1 et une activité biologique faible entraînant une minéralisation ralentie. Le pH est fortement basique (8,4) pouvant entraîner des problèmes de disponibilités des éléments minéraux bien que leur concentration soit satisfaisante selon l'analyse. Le sol est fortement calcaire (12% de calcaire actif) et a donc un fort pouvoir chlorosant d'où le greffage sur du Fercal. De plus, en termes de rendement et de qualité, le Fercal donne de bons résultats avec la Syrah (Plantgrape).

La vigne est conduite de manière assez classique pour des Syrah de la région, à savoir, une taille en cordon de Royat, palissée et non irriguée, en agriculture conventionnelle. Aucun enherbement n'est réalisé sur l'inter-rang ni sur le rang pour éviter de concurrencer le plantier pendant ses premières années de plantation. Le sol est travaillé occasionnellement (griffage sur l'inter-rang et décavaillonnage pour le rang).

2.1.1.2. Dispositif expérimental

L'essai a démarré depuis la plantation, c'est-à-dire, depuis 2021. En effet, l'essai a comme objectif de tester des techniques alternatives au désherbage chimique sur le rang en utilisant des paillages.

L'essai se déroule sur deux rangs au milieu de la parcelle (rang 17 et 18) pour enlever un biais du bord de parcelle potentiellement concurrencée par des arbres par exemple.

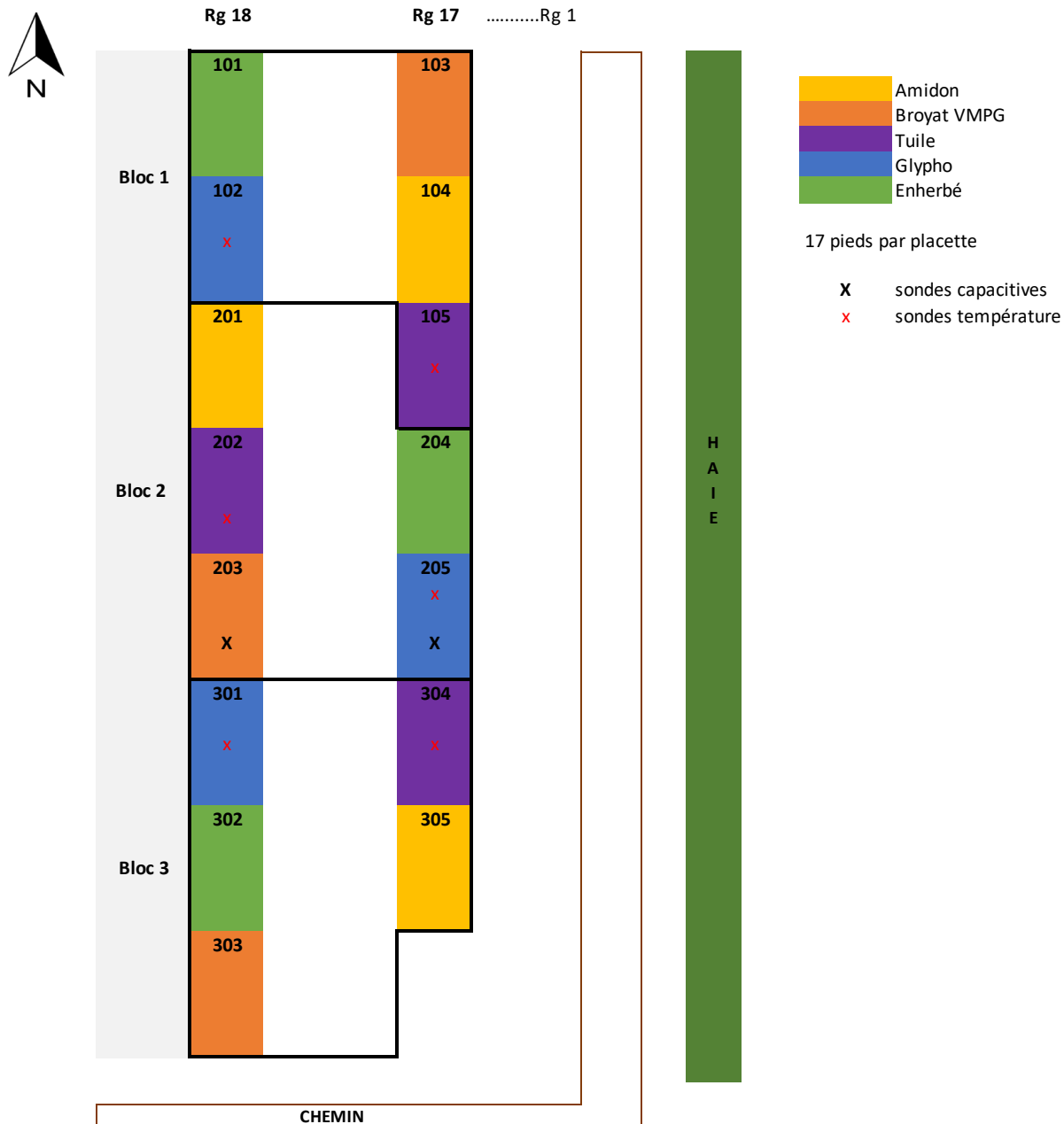
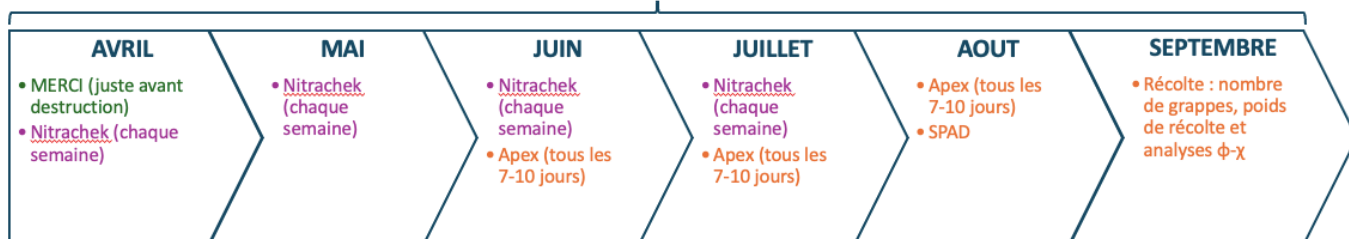


Figure 10 : Plan de l'essai « paillages »

Poids des bois de taille (hiver)

Photos



- Suivi vigne
- Suivi enherbement
- Suivi sol

Figure 11 : Chronologie des mesures de l'essai « paillages »

Sur ces deux rangs, trois blocs ont été réalisés pour avoir une répétition dans les mesures et lisser les potentielles hétérogénéités de la parcelle (sol, alimentation en eau...). Cinq modalités ont été créées, trois alternatives au désherbage chimique et deux témoins pour prouver ou non l'efficacité des alternatives (Figure 9). Les deux témoins sont un témoin désherbé chimiquement (glyphosate) et un témoin enherbé spontanément. Et les trois types de paillages testés sont un paillage amidon, un broyat de vigne mère de porte-greffe et une tuile Symbio (en polypropylène recyclé). Trois blocs ont été créés pour gommer l'hétérogénéité de la parcelle (Figure 10). Dans chaque bloc se trouve une placette de 17 pieds de chaque modalité (glyphosate, enherbé, amidon, broyat et tuile). Les paillages sont installés sur le cavaillon sur environ 50 centimètres. Au total il y a donc 15 placettes : 5 placettes dans chaque bloc numérotées de 101 à 105 pour le bloc 1, de 201 à 205 pour le bloc 2 et de 301 à 305 pour le bloc 3.

2.1.2. Mesures et méthodes de suivi

2.1.2.1. Taux de couverture des adventices

Afin de suivre l'évolution du développement des adventices et donc d'estimer l'efficacité des différents paillages, nous avons suivi les taux de couverture des adventices mensuellement d'avril à août (Figure 11). Dans chaque placette, nous avons fait 3 poses de cadre sur le rang. Le pourcentage de la surface du cadre couvert par les adventices est calculé, à partir d'une photographie, sur l'application *Canopéo*. Ainsi, par modalité nous avons fait un total de 9 répétitions du taux de couverture.

2.1.2.2. Croissance végétative

Pour suivre la croissance végétative, nous avons utilisé la méthode des apex. Cette méthode, basée sur l'observation de l'extrémité des rameaux (apex), permet de caractériser une dynamique de croissance qui est fortement liée à la contrainte hydrique de la vigne (Rodriguez Lovelle *et al.*, 2009 ; De Toda *et al.*, 2010). Elle a été développée et est utilisée depuis plusieurs années par les principaux acteurs des organisations techniques professionnelles du pourtour méditerranéen (Institut Français de la Vigne et du Vin, Chambres d'Agriculture, Syndicat des Vignerons des Côtes-du-Rhône).

Puisque le millésime 2024 a été assez pluvieux, nous avons décidé de commencer les mesures que début juin car nous savions que la vigne était encore en pleine croissance et que la contrainte arriverait dans les prochaines semaines. De mi-juin jusqu'à mi-août, toutes les unes à deux semaines, nous avons observé 50 apex dans chaque placette (soit environ 3 apex par pied). Nous les avons ensuite classés selon trois catégories : pleine croissance (les deux dernières feuilles ne recouvrent pas l'apex), croissance ralentie (les deux dernières feuilles recouvrent l'apex) et croissance arrêtée (l'apex est sec ou tombé) (Figure 12). Il est important de ne pas tenir compte des apex abîmés ou écimés par le vent et d'attendre une semaine avant de réaliser les observations si la parcelle a été écimée par le vigneron pour laisser les apex secondaires repartir. De même, après un écimage du vigneron nous avons attendu une semaine avant de faire des observations afin que les apex secondaires repartent.

À partir des comptages, nous avons pu calculer l'indice de croissance iC-Apex :

$$\text{iC-Apex} = (\% \text{ apex poussants} * 1) + (\% \text{ apex ralentis} * 0,5) + (\% \text{ apex arrêtés} * 0)$$



Figure 12 : Méthode des apex (IFV Occitanie, 2020)

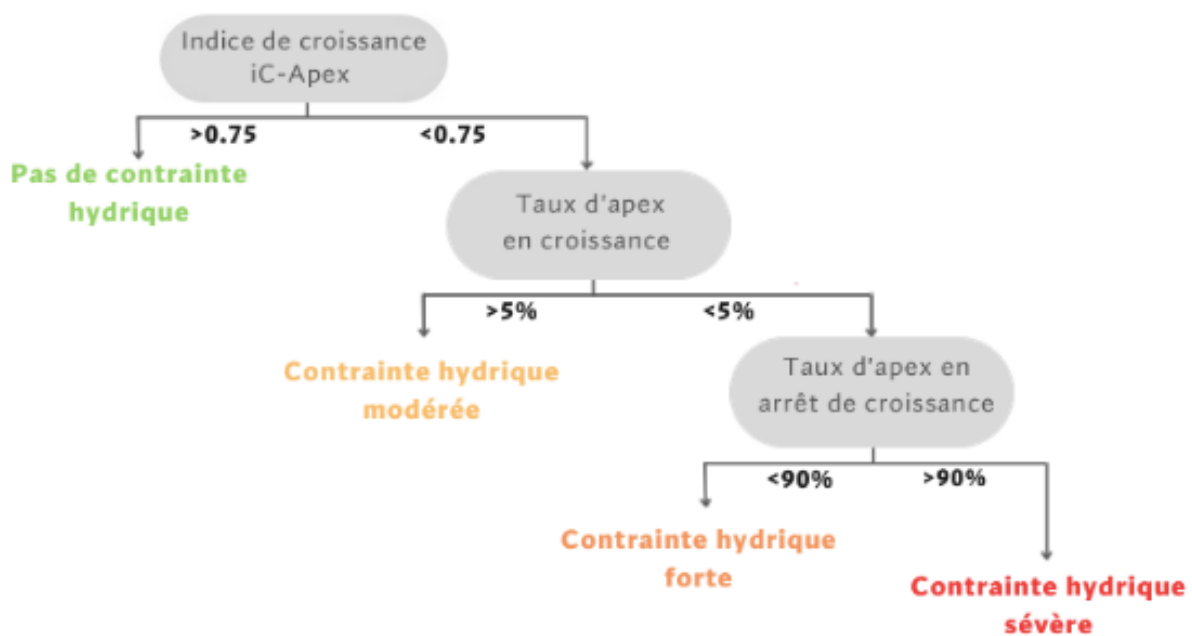


Figure 13 : Arbre de décision d'interprétation des résultats extrait de la fiche « Méthode des apex » de l'Institut Rhodanien

Dans notre cas, nous avons utilisé l'application ApeX-Vigne, développé par l'IFV et l'Institut Agro Montpellier, qui calcule l'indice automatiquement (Pichon et al., 2021). Au total, nous avons fait trois répétitions d'indice de croissance par modalité (un par bloc).

Les résultats peuvent également être interprétés pour discuter du niveau de contrainte hydrique de la vigne grâce à l'arbre de décision (Figure 13).

2.1.2.3. Évaluation de la contrainte hydrique

De plus, deux sondes capacitives SENTEK All in One ont été placées au milieu de l'essai, dans la modalité glyphosate et dans la modalité broyat du bloc 2. Ces sondes nous permettent un suivi quotidien de la quantité d'eau du sol cumulée sur l'horizon 0-70 cm (en mm) et ainsi de connaître l'état hydrique du sol et de la vigne (excès d'eau, confort hydrique ou stress hydrique).

Enfin, une mesure complémentaire aux sondes capacitives est la mesure du $\delta^{13}\text{C}$. C'est une méthode basée sur l'analyse du rapport isotopique entre le carbone 12 (^{12}C) et le carbone 13 (^{13}C) sur les sucres d'un moût à maturité. Lorsque la vigne fonctionne de manière optimale, elle absorbe du dioxyde de carbone de l'air pour synthétiser des sucres (photosynthèse). Quand les stomates sont ouverts, le CO_2 qui contient le ^{12}C est utilisé préférentiellement par l'enzyme RubisCO car l'isotope ^{12}C est plus léger que le ^{13}C . Lorsque la vigne subit un stress hydrique, celle-ci ferme progressivement ses stomates. La quantité de dioxyde de carbone disponible devient alors limitante et par conséquent le « tri » entre molécules de CO_2 lourdes (^{13}C) ou légères (^{12}C) est de moins en moins efficace. Le rapport isotopique des sucres synthétisés va donc forcément évoluer en fonction du stress hydrique. Plus ce rapport va s'éloigner de la valeur de référence, plus le stress hydrique aura été fort pendant la saison. Ce rapport est donc un bon indicateur global de la contrainte hydrique subie par la vigne au cours de la maturation (Gaudillère et al., 2001). Contrairement à la chambre à pression de Scholander, qui caractérise l'état de stress hydrique de la vigne à un instant t , la mesure du $\delta^{13}\text{C}$ est une méthode intégrative, c'est-à-dire que son résultat intègre l'ensemble des états hydriques rencontrés par la vigne au cours de la période de maturation. Une seule mesure de $\delta^{13}\text{C}$ est faite par modalité. L'échantillon de raisins envoyé au laboratoire est donc fait en mélangeant les raisins des trois blocs pour chaque modalité.

2.1.2.4. Statut azoté

Le statut azoté de la vigne a été mesuré grâce à un SPAD-502 Plus de chez Konica Minolta. Cet appareil optique mesure l'intensité de la coloration verte du limbe, dépendant de la teneur en chlorophylle de la feuille, elle-même en relation avec la nutrition azotée de la vigne (Spring, 1999). C'est une méthode rapide et non destructive qui permet de détecter la teneur en azote dans les feuilles des plantes et donc de réaliser un diagnostic nutritionnel en azote des cultures. Les valeurs mesurées varient en fonction de plusieurs paramètres dont notamment le cépage, la période végétative, d'une potentielle maladie. Le SPAD est alors intéressant pour différencier le statut azoté de différentes modalités/parcelles d'un même cépage. En viticulture, puisque l'utilisation du SPAD est plus exact de la fermeture de la grappe jusqu'à la véraison (Metay et al., 2015) nous avons réalisé une mesure à mi-véraison.

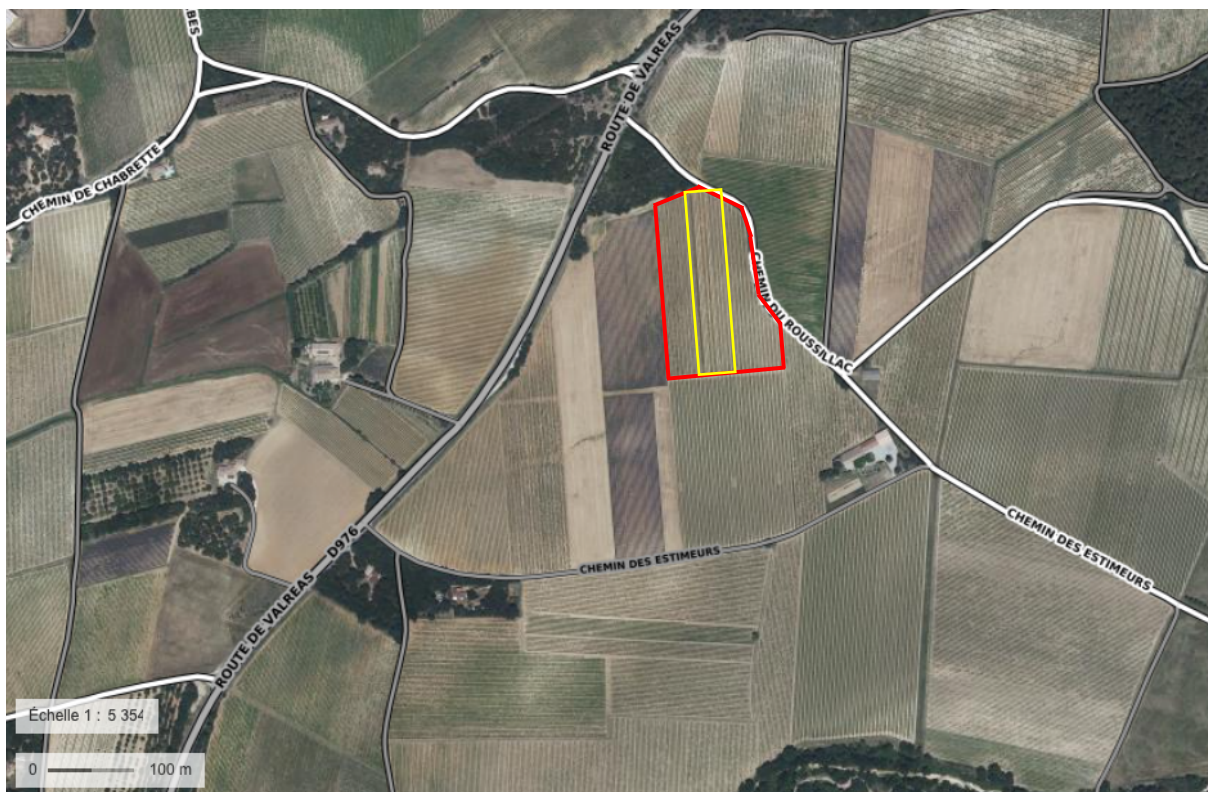


Figure 14 : Localisation de la parcelle d'étude, encadrée en rouge et localisation de l'essai, encadré en jaune.

Coordonnées du point : 44.347080, 4.9565023

Visan

44.31°N, 4.95°E (198 m snm).
Modèle: ERA5T.

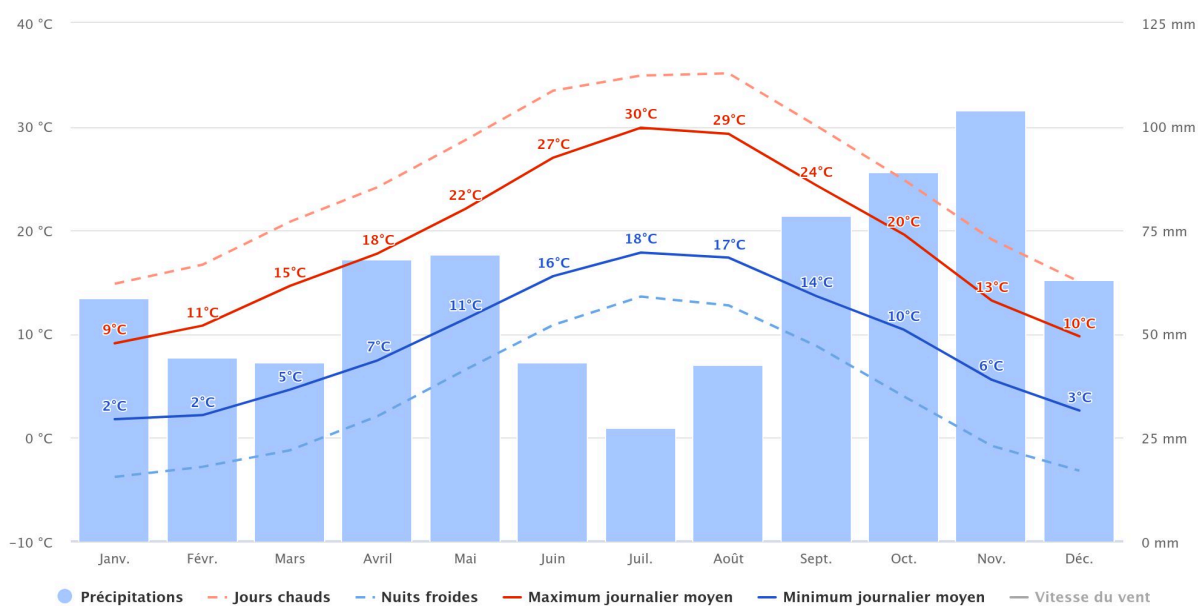


Figure 15 : Données météorologiques moyennes depuis 1940 à Visan

L'objectif n'étant pas d'avoir une dynamique mais plutôt une valeur de l'indice chlorophyllien dans les feuilles et donc de la teneur en azote. L'indice chlorophyllien a été mesuré sur 30 feuilles par placette, soit 90 feuilles par modalité.

Le statut azoté des baies a, quant à lui, été évalué à partir de l'azote assimilable des raisins vendangés. L'azote assimilable est composé de l'ammonium (NH_4^+) et des acides aminés (sauf la proline). En plus d'être un bon indicateur de la nutrition azotée de la vigne, il est source de précurseurs aromatiques et est essentiel au bon déroulement de la fermentation.

2.1.2.5. Température à la surface du sol

Afin de mesurer la température sous les tuiles, nous avons placé des sondes Tinytag Plus 2 (TGP-4500) de la marque Gemini qui enregistrent en continu les températures (de -25 à 85°C). Trois sondes témoin dans la modalité glyphosate (une par bloc) et trois sondes sous la tuile plastique (une par bloc) ont été placées de mi-juin jusqu'aux vendanges (mi-septembre). Elles ont été paramétrées pour mesurer et sauvegarder les données toutes les heures. J'ai ensuite calculé la somme des températures et analysé les températures des jours « froids » et des jours « chauds » pour voir s'il y avait une différence entre la tuile et le témoin.

2.1.2.6. Récolte

Les placettes de l'essai sont vendangées par l'équipe. Le rendement (quantité) est évalué avec le nombre de grappes et le poids par grappe ce qui donne un poids de récolte par pied (en kg). La qualité de la vendange est évaluée avec la quantité de grappes touchées par le botrytis (estimation visuelle en pourcentage) et tous les paramètres de maturité (TAV, AT, acide malique, tartrique, pH, K, azote assimilable). Un échantillon de raisins de chaque placette est envoyé au laboratoire Dubernet, ce qui fait au total trois analyses complètes par modalité.

2.1.2.7. Poids des bois de taille

Enfin, afin d'estimer si les modalités exercent une influence sur la vigueur et la croissance de la vigne des mesures sont réalisées lors de la taille : le nombre de rameaux et le poids des bois ce qui donne un poids total des sarments par pied. À noter que la seule mesure réalisée lors de la taille après les vendanges 2023 était l'épaisseur des rameaux car pour la troisième année du plantier certains rameaux ont été sélectionnés pour tirer les baguettes qui formeront les deux bras du cordon.

Tableau 3 : Récapitulatif des modalités de l'essai

Modalités	Inter-rang 1	Inter-rang 2	Espèces semées pour les engrais verts	Modes de destruction
Modalité 1	Travail du sol	Engrais vert	Mélange de légumineuses : trèfle, vesce, pois fourrager, féverole (avant 2023 : sainfoin, luzerne et lentille)	Tontes dès que le couvert mesure plus de 10 cm
Modalité 2	Enherbement permanent	Engrais vert	Mélange de légumineuses : trèfle, vesce, pois fourrager, féverole (avant 2023 : sainfoin, luzerne et lentille)	Enfouissement par griffonnage (1 en avril et 1 en mai)
Modalité 3	Travail du sol	Enherbement permanent	/	Tontes de l'enherbement permanent
Modalité 4	Travail du sol + fertilisation 30U N	Enherbement permanent	/	Tontes de l'enherbement permanent
Modalité 5	Travail du sol	Travail du sol	/	/
Modalité 6	Engrais vert vigneron	Travail du sol	Mélange du vigneron : Avoine, vesce et radis (avant 2022 : orge, trèfle, vesce et radis)	Tontes dès que le couvert mesure plus de 10 cm
Modalité 7	Engrais vert	Travail du sol	Mélange de légumineuses : trèfle, vesce, pois fourrager, féverole (avant 2023 : sainfoin, luzerne et lentille)	Enfouissement par griffonnage (1 en avril et 1 en mai)



Figure 16 : Photographies des modalités 3, 6 et 7.

2.2. Entretien du sol de l'inter-rang avec des couverts végétaux

2.2.1. Description du site et du dispositif expérimental

Description du site

La parcelle d'essai « couverts végétaux » se situe sur la commune de Visan, au nord du Vaucluse dans l'Enclave des Papes. Elle s'étend sur 2,4 hectares, dans la délimitation AOP Côtes du Rhône Villages Visan et appartient à un viticulteur coopérateur (Figure 14). La parcelle bénéficie d'un climat méditerranéen (Figure 15) caractérisé par des étés chauds et secs, des hivers doux. Les précipitations sont principalement concentrées à l'automne et au printemps.

Du Grenache noir greffé sur du 110 R a été planté en 2010 à une densité d'environ 3950 pieds/hectares (2m30 x 1m10). Les assemblages 110 R avec Grenache sont très satisfaisants. Le 110 R confère une forte vigueur et semble induire une bonne fertilité, ce que l'on retrouve sur la parcelle. Il est également très bien adapté à la sécheresse.

La parcelle présente une très légère pente de moins de 10% dans le sens nord-sud. Le type de sol dominant est un calcosol. Ce sont des sols moyennement épais à épais développés à partir de matériaux calcaires. Le sol est riche en carbonates de calcium et donc le pH est basique. La texture est sablo-limoneuse et la parcelle est peu caillouteuse.

Le choix du porte-greffe 110 R n'est pas le meilleur choix vis-à-vis du type de sol car il est moyennement adapté au calcaire et sa résistance à la chlorose ferrique est variable (Plantgrape).

La parcelle est taillée en double cordon de Royat, palissée et non irriguée, en agriculture conventionnelle. En dehors de l'essai, la parcelle est enherbée un rang sur deux. L'enherbement est spontané et permanent (quelques tontes sont faites pour entretenir cet enherbement). Les inter-rangs non-enherbés sont travaillés régulièrement et le rang est entretenu avec des lames bineuses.

Malgré l'âge de la parcelle, il y a beaucoup de manquants et plusieurs ceps ont des symptômes d'esca, ce qui pose des questions sur le choix du matériel végétal.

On remarque également une différence de vigueur entre le nord de la parcelle et le sud. Au nord surnommé « Haut Bois » correspond à une partie séchante avec des vignes moins vigoureuses et moins productives, tandis qu'au sud, la partie « Bas Tournière » possède un sol plus profond avec des vignes vigoureuses et plus productives.

Dispositif expérimental

L'essai a démarré en 2019 avec comme objectif de tester différents types de couverts végétaux pour l'entretien du sol de l'inter-rang. Pour cela, nous avons testé différents enherbements (spontanés et semés avec différents mélanges) et deux modes de destruction (tonte et enfouissement). Le travail du sol fait partie des modalités en tant que témoin.

L'essai se déroule sur neuf rangs au milieu de la parcelle pour enlever un biais du bord de parcelle potentiellement concurrencée

Sept modalités ont été mises en place (Tableau 3). Chaque modalité est composée du rang de vignes et des deux inter-rangs de chaque côté (Figure 16). Aucune placette n'a été créée, seulement deux blocs « Haut Bois » et « Bas Tournière » ont été imaginés d'une centaine de pieds chacun, car des différences de vigueur sont observées entre le haut et le bas de la parcelle (Figure 17).

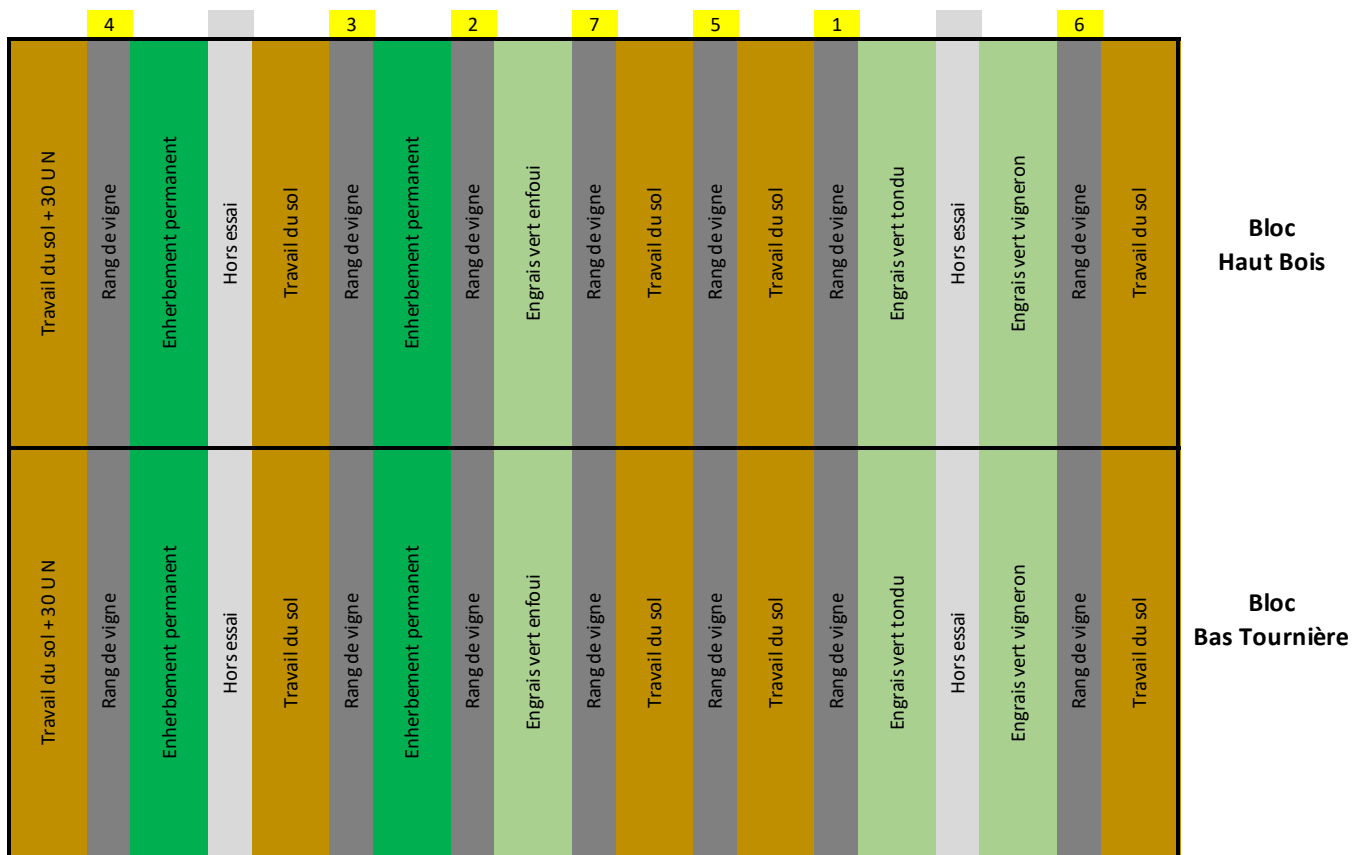


Figure 17 : Plan de l'essai « couverts végétaux »

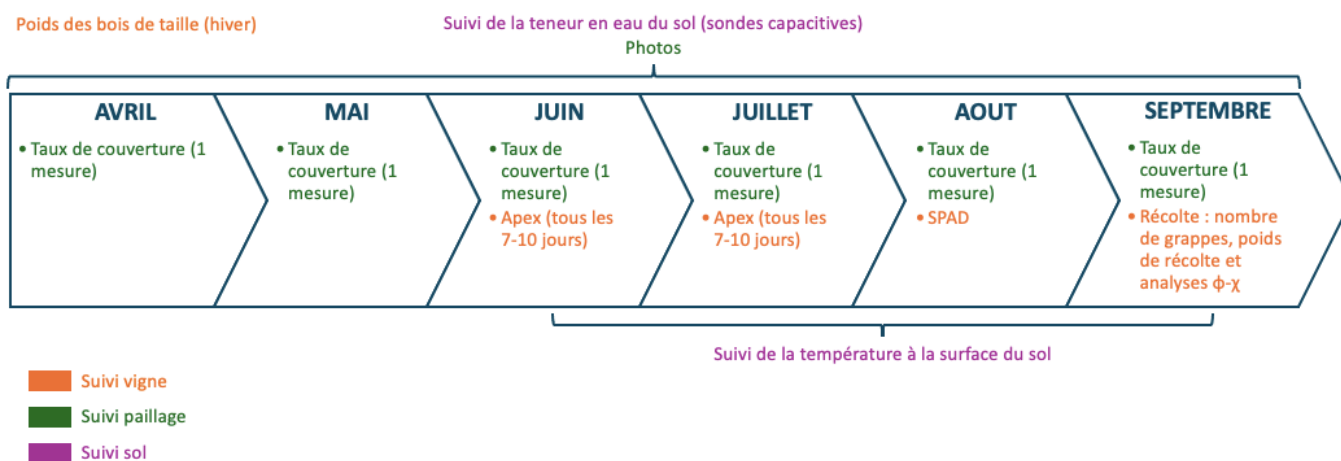


Figure 18 : Chronologie des mesures de l'essai « couverts végétaux »

2.2.2. Mesures et méthodes de suivi

2.2.2.1. Croissance végétative

De la même manière que l'essai « paillages », la croissance végétative est évaluée par la méthode des apex. De mi-juin jusqu'à mi-août (Figure 18), toutes les unes à deux semaines, nous avons observé 50 apex dans chaque bloc. Les rangs étant assez longs et pour avoir un échantillon représentatif nous avons observés tous les 5 pieds 5 apex et cela sur 10 pieds, en évitant les premiers pieds de la rangée. Au total, deux indices de croissance sont obtenus pour chaque modalité (un pour le haut et un pour le bas).

Comme pour l'autre essai lorsque la parcelle a été écimée nous avons attendu une semaine afin que les apex secondaires redémarrent.

2.2.2.2. Évaluation de la contrainte hydrique

La méthode des apex est également utilisée pour évaluer le statut hydrique de la vigne.

À cela s'ajoute également le $\delta^{13}\text{C}$ qui exprime à posteriori l'état hydrique de la vigne pendant la maturation des baies comme vu précédemment. Un échantillon de la vendange de chaque modalité est analysé au laboratoire, ce qui donne une seule valeur par modalité tout bloc confondu. L'échantillonnage est alors réalisé sur tout le rang pour avoir un résultat homogène.

2.2.2.3. Statut azoté

De la même manière que l'essai « paillages », le statut azoté de la vigne est mesuré par le SPAD sur 30 feuilles par bloc, soit 60 par modalité.

Et le statut azoté des baies est évalué par l'azote assimilable dosé lors de la vendange de chaque modalité.

2.2.2.4. Restitution potentielle en éléments fertilisants des couverts végétaux

Afin d'estimer la restitution en éléments minéraux par la destruction des couverts végétaux nous avons utilisé la méthode MERCI (Constantin et al., 2023). Cette méthode, développée en 2010 par la Chambre Régionale d'Agriculture de la Nouvelle-Aquitaine, permet d'évaluer concrètement l'intérêt d'implanter un couvert végétal et diminuer, le cas échéant, la fertilisation de la culture suivante (ou en place dans le cas de la vigne).

Dans un quadrat de 1m^2 , la partie aérienne des espèces est prélevée (coupée au ras du sol) puis elles sont triées et pesées séparément. Les résultats des pesées de biomasse fraîche sont saisis dans l'application internet ou, dans mon cas, dans un Excel interne des Chambres d'Agriculture calculant les quantités d'éléments minéraux relargués après destruction. La quantité de N, P, K, S et Mg potentiellement restituée dépend notamment de la biomasse de couvert, de sa date de semis et de destruction.

Enfin, pour évaluer la quantité d'azote relargué après destruction des engrais verts et indirectement la minéralisation de l'azote organique, nous avons utilisé un Nitrachek qui mesure la quantité de nitrates dans un échantillon.

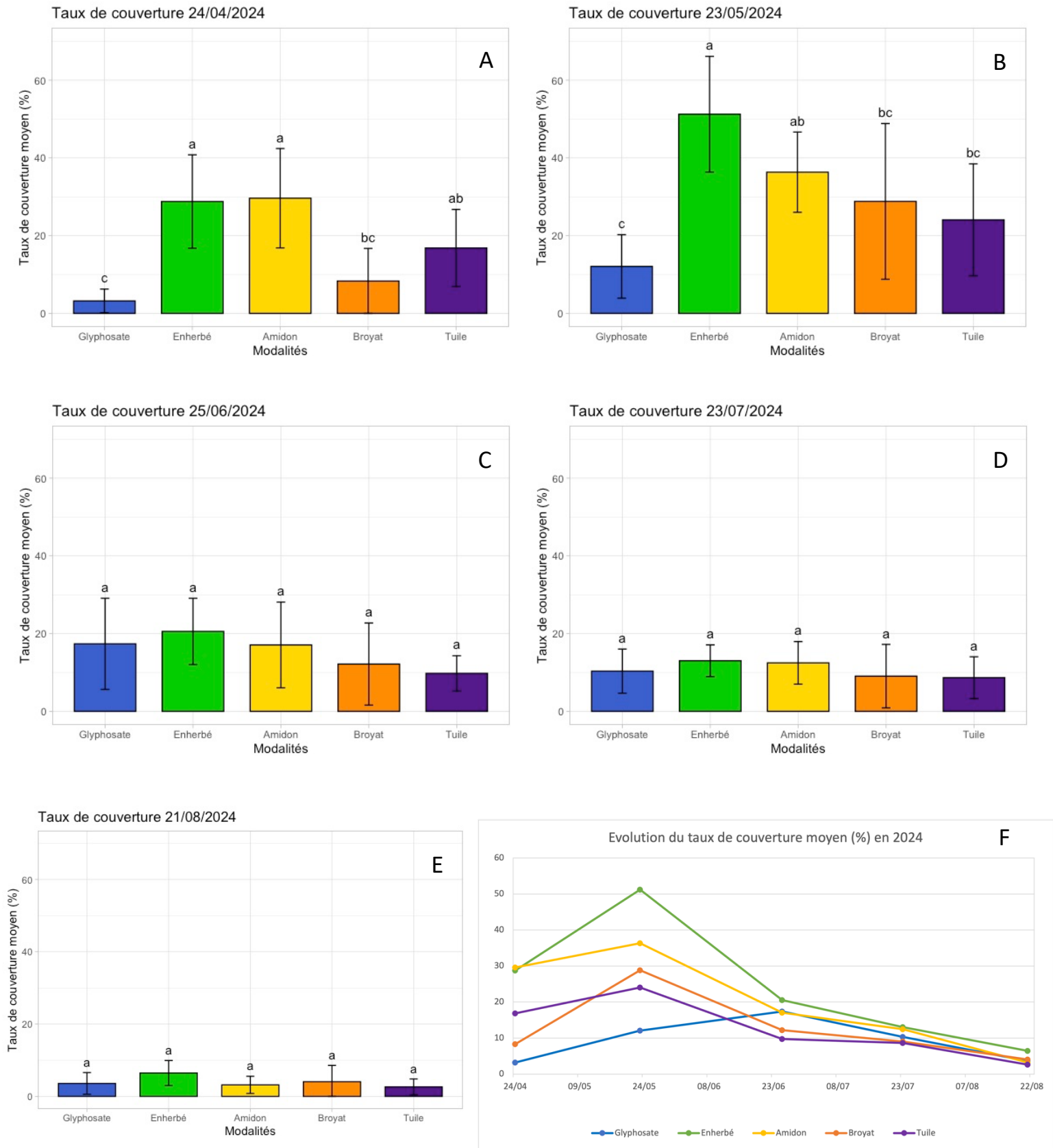


Figure 19 : Taux de couverture moyen (en %).

A : Résultats du 24 avril. B : Résultats du 23 mai. C : Résultats du 25 juin. D : Résultats du 23 juillet. E : Résultats du 21 août. F : Évolution du taux de couverture moyen au cours de l'année

Premièrement, un total de 6 échantillons de terre (jusqu'à 30 cm de profondeur) a été fait dans les différents inter-rangs (travail du sol, enherbement permanent, engrais vert fauché, engrais vert enfoui et engrais vert vigneron), soit 3 par bloc. L'ensemble est mélangé, les cailloux sont enlevés, les mottes émiettées et l'échantillon est tamisé à 5 mm. Ensuite, dans un flacon 100 g de terre et 100 mL d'eau déminéralisée sont assemblées et mélangées. On procède ensuite à une filtration inverse (avec un papier filtre) du mélange. Enfin, pour réaliser le dosage, des bandelettes nitrates spécialement conçues, sont trempées dans le filtrat pendant 1 seconde, puis agitées pendant 1 minute avant de l'insérer dans l'appareil. Le Nitrachek donne une concentration en nitrates (mg/L de NO_3^-) par réflectométrie de la bandelette. Ces valeurs peuvent être aussi converties en nombre d'unités d'azote en multipliant les résultats par le pourcentage de terre fine et un coefficient de conversion en fonction du type de sol, de son humidité et de la profondeur de prélèvement. Les mesures ont été réalisées toutes les semaines de début avril à début juin, nous permettant d'obtenir une dynamique de minéralisation des engrais verts et potentiellement de l'azote disponible dans le sol.

2.2.2.5. Récolte

Les mesures de récolte sont identiques à l'essai « paillages ». Le rendement est évalué avec le nombre de grappes et le poids par cep sur 30 pieds pour chaque modalité des deux blocs. La qualité de la vendange est évaluée avec la quantité de grappes touchées par le botrytis et tous les paramètres de maturité énoncés précédemment. Trois échantillons sont envoyés au laboratoire pour chaque modalité.

2.2.2.6. Poids des bois de taille

De même, la taille et donc la vigueur des pieds est évaluée avec le nombre de rameaux et le poids des bois pour l'ensemble des rangs de l'essai.

2.3. Traitement des données et tests statistiques

La démarche est identique pour les deux essais. Les résultats sont rentrés dans des tableaux Excel transformés ensuite en csv pour faire l'analyse statistique sur Rstudio.

Tout d'abord, une analyse de la variance, Anova, est réalisée pour voir si les modalités ont un impact sur la mesure. L'hypothèse nulle H_0 est alors : « les modalités n'ont pas d'effet la mesure ». Si la p-value est inférieure à 0,05 alors H_0 est rejetée et on peut accepter l'hypothèse alternative H_1 : « les modalités ont un effet sur la mesure ».

Si les hypothèses de l'Anova sont vérifiées : les résidus suivent une loi normale (test de Shapiro) et leur variance sont homogènes (test de Bartlett), alors l'Anova est valable et on peut envisager de réaliser d'autres tests. Notamment, j'ai réalisé un test de Tukey pour observer s'il existe des différences significatives d'une modalité à l'autre et dans ce cas les regrouper ensemble (groupes a, b, ab...). Si l'Anova n'est pas possible, alors, j'ai réalisé un test non paramétrique de Kruskal-Wallis pour observer quand même s'il existe des différences significatives entre les modalités, sans pour autant pouvoir faire des groupes.

Enfin, toutes les analyses sont représentées graphiquement avec, quand cela est possible, les résultats statistiques représentés dessus.

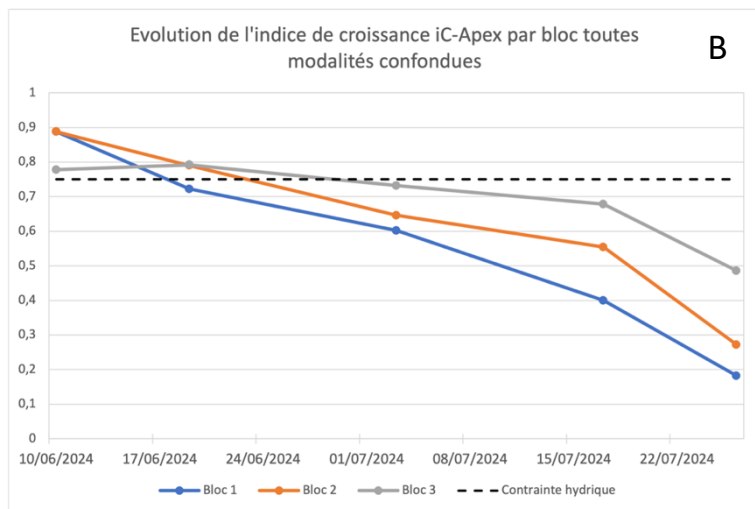
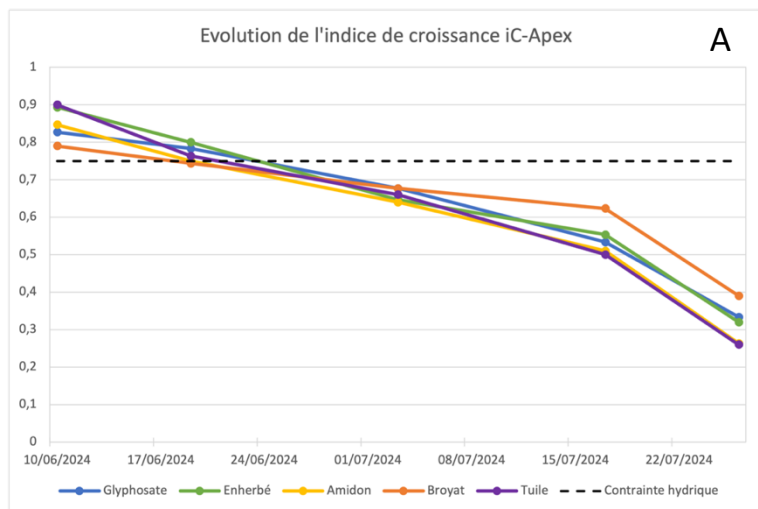


Figure 20 : Évolution de l'indice de croissance par modalité (A) et par bloc (B)

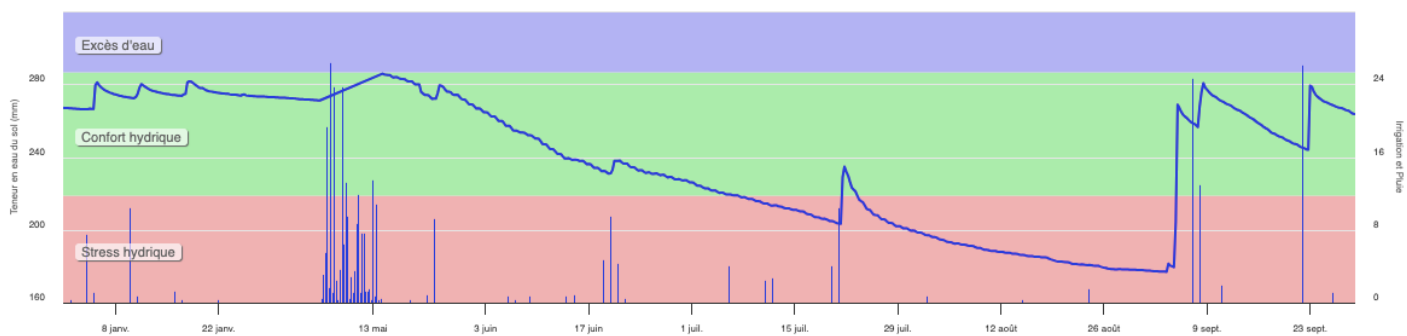


Figure 21 : Teneur en eau du sol cumulée sur l'horizon 0-70 pour la modalité broyat

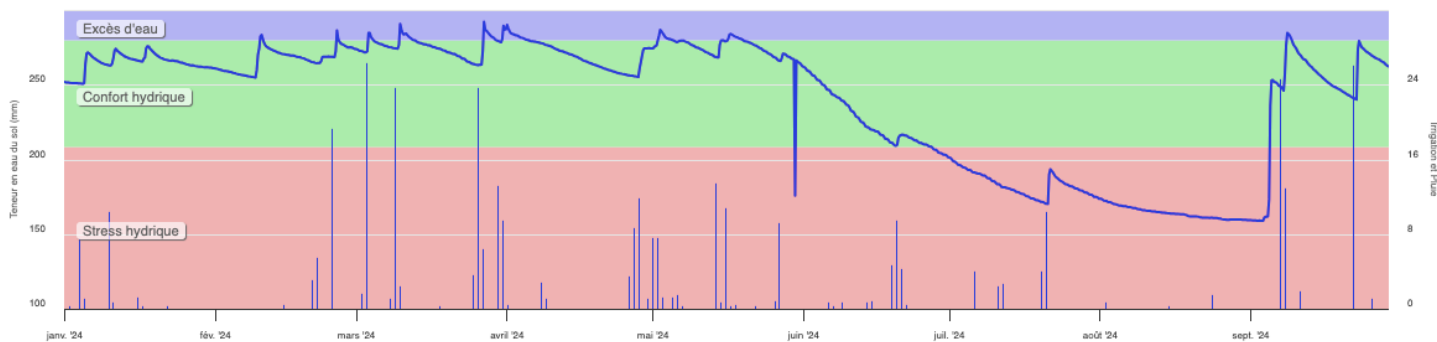


Figure 22 : Teneur en eau du sol cumulée sur l'horizon 0-70 pour la modalité glyphosate

3. Résultats

3.1. Entretien du sol sous le rang avec des pailles

3.1.1. Taux de couverture des adventices

Nous observons assez nettement que le taux de couverture des adventices varie fortement au cours du millésime (Figure 19F). Par exemple, au mois de mai, près de la moitié de la surface du rang est recouverte par des adventices sur le témoin enherbé contre seulement 6% au mois d'août.

On remarque également qu'il existe des différences statistiquement significatives entre les modalités sur les mois d'avril et de mai. En avril, d'après le test de Tukey, les modalités enherbé et amidon sont significativement différentes des autres modalités (Figure 19A). Elles présentent des taux de couverture deux fois plus élevés que le broyat et le témoin glyphosate. En mai, le témoin enherbé a le taux de couverture le plus élevé (Figure 19B), ce qui était attendu en tant que témoin. Sur ces deux mois, le glyphosate se démarque avec les plus faibles taux. On remarque également que les écarts entre les modalités se resserrent en avançant dans l'année, à tel point qu'il n'y a pas de différences significatives entre les modalités à partir de juin (Figures 19C, 19D et 19E).

Des tests pour voir s'il existait des différences entre les blocs toutes modalités confondues ont été réalisés. L'analyse statistique infirme le potentiel effet bloc. Donc, le développement des adventices dépend uniquement de la modalité.

3.1.2. Croissance végétative

Lors des observations des apex, nous avons remarqué des différences assez marquées entre les blocs. J'ai donc décidé de représenter graphiquement l'indice de croissance par modalité (Figure 20A) et par bloc (Figure 20B). Globalement, nous n'observons pas de réelle différence entre les modalités. Alors que toutes modalités confondues on voit bien qu'il y a un effet bloc, avec des indices de croissance plus faibles pour le bloc 1.

3.1.3. Évaluation de la contrainte hydrique

Le stade « contrainte hydrique » est fixé à un indice de croissance de 0,75 et on remarque que la vigne est en contrainte à la même date, autour du 20 juin, peu importe la modalité. Cependant, à partir de juillet, la modalité broyat se démarque légèrement avec un indice de croissance plus élevé et ainsi une vigne qui stresse moins qu'avec les autres modalités.

Les sondes capacitives installées dans le broyat et le témoin glyphosate ont permis d'obtenir une évolution de la teneur en eau du sol sur l'horizon 0-70 cm. Nous avons eu un problème de fonctionnement des sondes. Dans le broyat, aucune donnée n'a été enregistrée entre le 4 février et le 30 mai, les données ont été récupérées et rentrées manuellement mais il faut être vigilant car à ces dates là le graphique n'est pas à l'échelle. De plus, les sondes ont été reconnectées le 30 mai ce qui explique le pic visible sur la sonde témoin, qu'il ne faut pas tenir compte. Les seuils excès d'eau, confort hydrique et stress hydrique ont été décidés par le CIRAME Agrométéo, fournisseur des données.

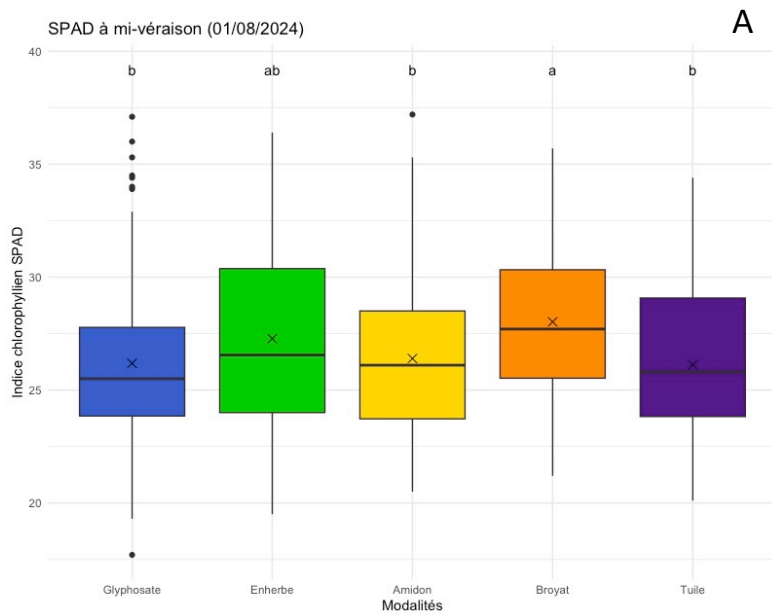


Figure 23 : SPAD à mi-véraison par modalité (A) et par bloc (B)

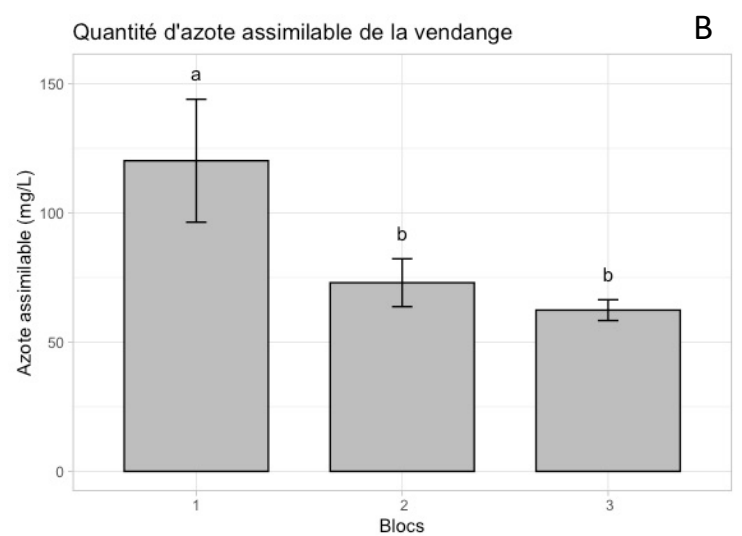
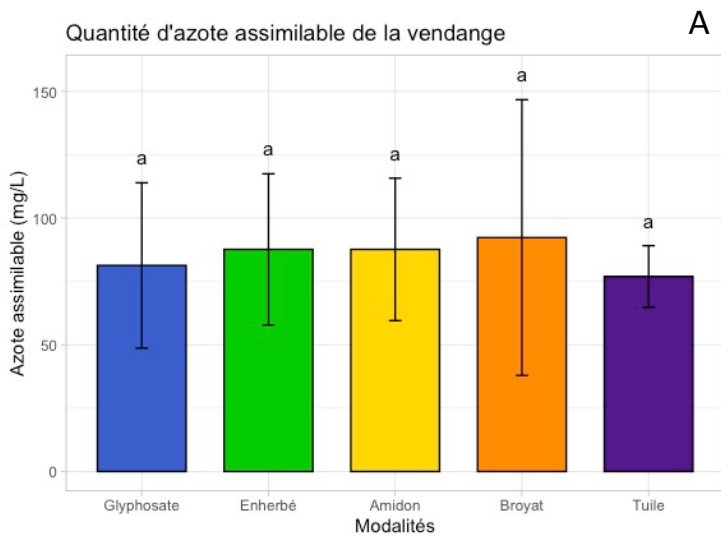
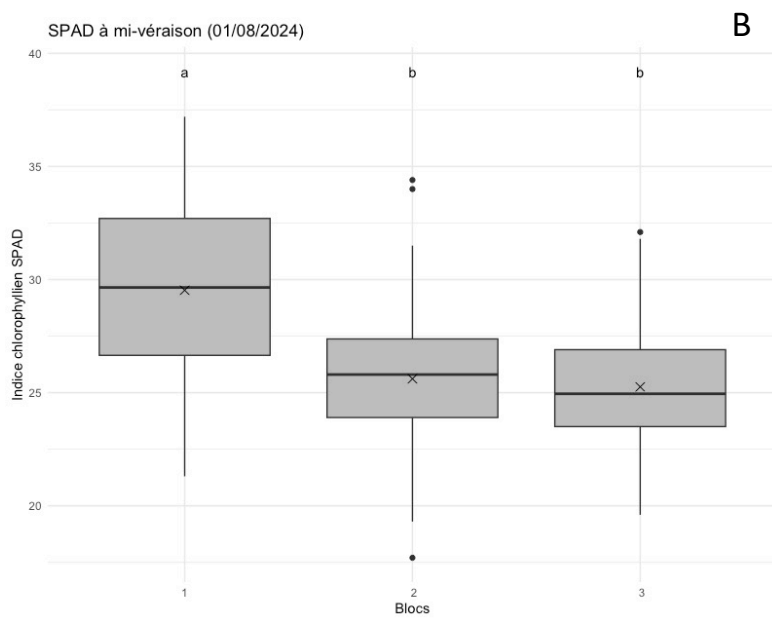


Figure 24 : Quantité d'azote assimilable de la vendange par modalité (A) et par bloc (B)

En dehors des interruptions on constate que le comportement des deux modalités est similaire avec une recharge de l'eau du sol après une pluie. Cette année a été particulièrement pluvieuse ce qui se reflète dans les graphiques avec une bonne partie de l'année où la vigne se trouvait en confort hydrique. Le 1^{er} avril la sonde témoin a même enregistré une teneur en eau du sol record de 290 mm plaçant la vigne en « excès d'eau » (Figure 21). Le 26 juin la sonde témoin passe en situation de stress hydrique avec une teneur de 208 mm d'eau dans le sol alors que la sonde paillage détecte 231 mm le même jour (Figure 22). Le passage en stress hydrique pour la modalité broyat est seulement le 7 juillet.

Il semblerait que le paillage retient plus l'eau, en gardant la vigne dans un état hydrique plus constant comparé au témoin où la teneur en eau du sol fluctue plus avec un passage en excès d'eau puis rapidement en stress hydrique.

Les vendanges ont été assez tardives cette année, le 17 septembre pour cet essai, je n'ai donc pas eu à temps les résultats du $\delta^{13}\text{C}$ pour les intégrer au rapport. Je les présenterai lors de la soutenance.

3.1.4. Statut azoté

Le statut azoté de la vigne a été évalué par le biais de l'indice chlorophyllien SPAD. Le broyat a l'indice chlorophyllien statistiquement plus élevé que le témoin glyphosate, l'amidon et la tuile (Figure 23). Cependant, on remarque que les valeurs sont très dispersées pour la modalité glyphosate allant de 17,7 à 37,1 alors que la moyenne est de 26,1. Pour comprendre ces dispersions, l'indice SPAD a été représenté en fonction des blocs toutes modalités confondues. On observe un effet bloc, avec le bloc 1 qui possède un indice SPAD moyen plus élevé que les deux autres blocs, 29 pour le bloc 1 contre 25 pour les blocs 2 et 3.

L'effet bloc se retrouve dans la quantité d'azote assimilable des raisins, avec une valeur plus élevée dans le bloc 1 (120,2) que les blocs 2 (73) et 3 (62,4). Enfin, aucune différence statistique n'est observée entre les modalités (Figure 24).

3.1.5. Température à la surface du sol

Tableau 4 : Somme des températures par sonde et moyennes pour les deux modalités

	Sondes 1	Sondes 2	Sondes 3	Moyenne par modalité
Glyphosate	29 243,2	29 026,0	29 433,0	29 234,1
Tuile	33 468,9	30 754,6	31 513,0	31 912,2

Les températures au niveau du sol ont été relevées du 11 juin au 17 septembre toutes les deux heures, ce qui donne 1184 mesures.

En faisant la somme des températures sur toute la période de relevé, on constate une nette différence entre la modalité glyphosate et la modalité tuile (Tableau 4). En effet, la tuile a une somme de température plus élevée de 2 678 °C, ce qui correspond en moyenne à 2,26°C de plus sur chaque mesure. De plus, lorsque l'on analyse les températures des jours les plus froids et les plus chauds (Tableaux 6 et 7), on remarque également que les températures sont bien plus élevées pour la modalité tuile.

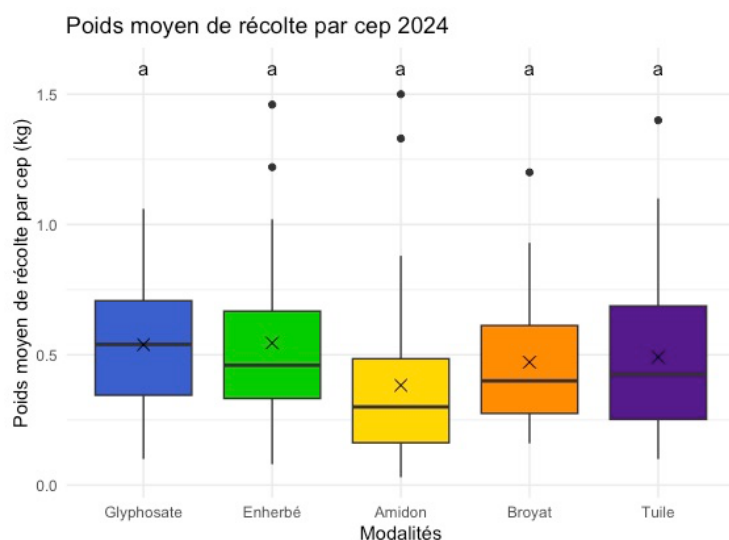
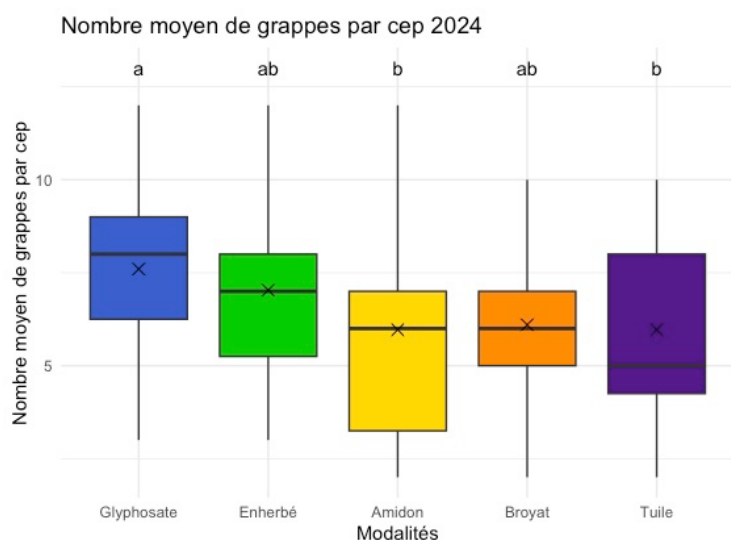


Figure 25 : Nombre de grappes par cep
Figure 26 : Poids moyen de récolte par cep

Tableau 5 : Résultats des paramètres physico-chimiques de la vendange

Modalités	TAV (%vol.)	AT (g.L ⁻¹ H ₂ SO ₄)	pH	Ac.mal (g.L ⁻¹)	Ac.tart (g.L ⁻¹)	Nass (mg.L ⁻¹)	P200b (g)
Glyphosate	14,36 (a)	3,23 (a)	3,79 (a)	1,97 (a)	7,33 (a)	81,33 (a)	238,00 (a)
Enherbé	14,18 (a)	3,24 (a)	3,74 (a)	1,90 (a)	7,03 (a)	87,67 (a)	240,67 (a)
Amidon	14,14 (a)	3,07 (a)	3,83 (a)	1,90 (a)	6,80 (a)	87,67 (a)	227,67 (a)
Broyat	14,08 (a)	3,22 (a)	3,73 (a)	1,87 (a)	6,90 (a)	92,33 (a)	230,33 (a)
Tuile	13,92 (a)	3,09 (a)	3,79 (a)	1,70 (a)	7,03 (a)	77,00 (a)	261,67 (a)

TAV : titre alcoométrique volumique total, AT : acidité totale, Ac.mal : quantité d'acide malique, Ac.tart : quantité d'acide tartrique, Nass : azote assimilable, P200b : poids de 200 baies

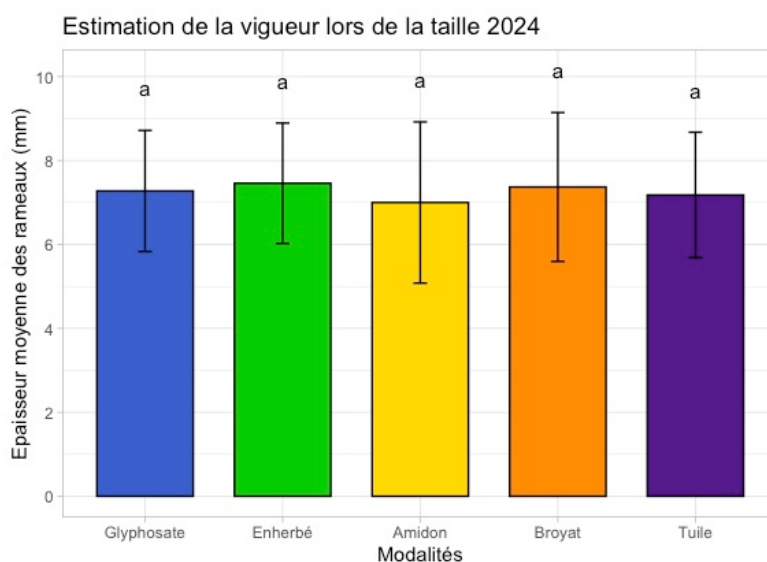


Figure 27 : Épaisseur des rameaux lors de la taille en mars 2024

En effet, la température à la surface du sol est augmentée de 1 à 10 °C avec la tuile en comparaison au témoin glyphosate que ce soit pendant les périodes chaudes ou froides.

Tableau 6 : Températures (en °C) à 17 h lors des 10 jours les plus chauds

	Glypho1	Tuile1	Glypho2	Tuile2	Glypho3	Tuile3
11-juil	42,255	53,048	40,866	38,931	40,8	43,867
18-juil	42,538	53,809	41,321	38,013	41,204	43,713
29-juil	44,151	53,435	42,434	39,383	42,572	44,471
30-juil	42,227	52,026	40,693	39,487	40,841	43,27
31-juil	41,692	51,819	40,36	39,075	40,441	43,134
01-août	42,499	52,05	40,509	40,049	41,49	44,02
05-août	40,587	51,014	38,487	38,87	38,985	43,357
10-août	42,788	51,266	40,73	41,053	41,825	44,865
11-août	41,522	50,784	40,866	40,992	39,836	43,312
12-août	41,074	50,973	39,767	40,869	39,458	43,115

Tableau 7 : Températures (en °C) à 7 h lors des 10 jours les plus froids

	Glypho1	Tuile1	Glypho2	Tuile2	Glypho3	Tuile3
12-juin	12,632	15,177	12,698	15,57	12,872	16,484
13-juin	12,76	15,207	12,878	15,822	13,114	16,523
16-juin	10,355	14,822	10,986	15,618	11,216	16,091
22-août	12,089	17,965	12,371	20,561	12,87	19,825
23-août	11,726	18,332	12,298	20,772	12,628	20,357
06-sept	12,688	16,737	12,912	18,5	12,899	17,335
12-sept	12,057	15,067	12,213	15,412	12,151	15,145
13-sept	10,134	12,599	10,214	13,149	10,154	13,16
14-sept	11,248	12,907	11,267	12,985	11,249	13,293
15-sept	10,531	12,833	10,59	13,174	10,513	13,283

3.1.6. Récolte

Le rendement est évalué à partir du nombre moyen de grappes par pied et du poids moyen de récolte par pied. On remarque que la modalité a un effet sur le nombre moyen de grappes par pied puisque le nombre de grappes de la modalité glyphosate est significativement plus élevé que celui des modalités amidon et tuile (Figure 25).

Cependant, le poids moyen de récolte par pied n'est pas significativement différent d'une modalité à l'autre, il oscille autour de 0,45 kg (Figure 26). Les écarts-types sont tout de même très importants avec des poids de récolte allant de 0,03 à 0,54 kg. De plus, le poids de 200 baies envoyées au laboratoire est similaire, peu importe la modalité.

Enfin, on constate que, pour les paramètres œnologiques de la récolte aucune modalité n'est statistiquement différente. Les modalités appartiennent au même groupe a, établi par le test de Tukey, autant les deux modalités témoin et que les paillages (Tableau 5).

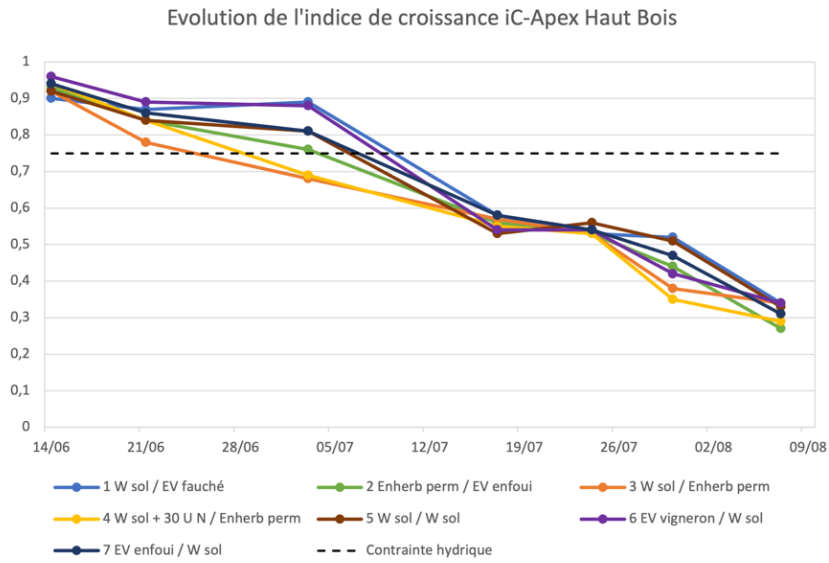


Figure 28 : Évolution de l'indice de croissance par modalité Haut Bois

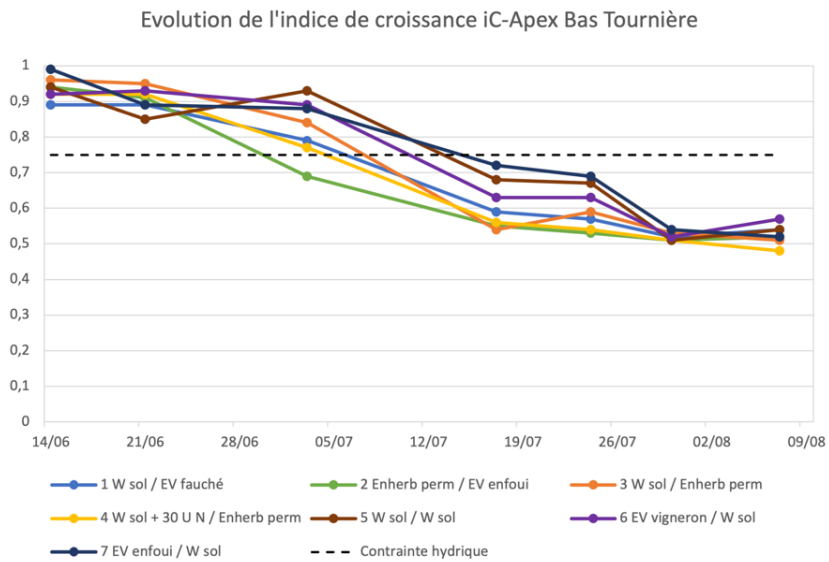
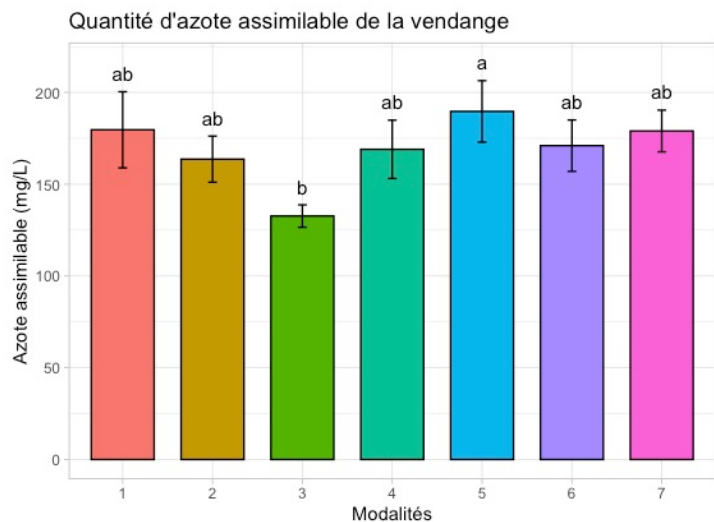


Figure 29 : Évolution de l'indice de croissance par modalité Bas Tournière

Figure 30 : Quantité d'azote assimilable de la vendange selon les modalités



Ainsi, cette année les paillages n'affectent ni le rendement, ni la qualité de la récolte.

3.1.7. Épaisseur des bois de taille

À partir de la Figure 27, on constate qu'il n'y a aucun effet du paillage sur la vigueur de la vigne. En effet, l'épaisseur des rameaux, lors de la taille début 2024, ne varie pas selon les modalités.

3.2. Entretien du sol de l'inter-rang avec des couverts végétaux

3.2.1. Croissance végétative

De manière générale, dans chaque bloc (Haut Bois et Bas Tournière) nous n'observons pas de réelle différence entre les modalités (Figures 28 et 29). On remarque néanmoins que pendant le mois de juillet certaines modalités décrochent (modalités 2, 3 et 4 pour le Haut et 1, 2, 3 et 4 pour le Bas) alors que d'autres ont des taux de croissance qui se maintiennent (modalités 1, 5, 6 et 7 pour le Haut et 5, 6 et 7 pour le Bas). Mais on constate que lorsque la vigne entre dans l'état « stress hydrique » les indices de croissance se resserrent et on ne distingue aucune différence entre les modalités au mois d'août.

Enfin, on remarque que le bloc Haut Bois présente des indices de croissance plus faibles que Bas Tournière. Cela confirme l'hétérogénéité de la parcelle que l'on observe avec le haut avec un sol superficiel, séchant et le bas avec un sol plus profond et plus humide.

3.2.2. Évaluation de la contrainte hydrique

Le stade « contrainte hydrique » est fixé à un indice de croissance de 0,75 et on remarque que selon la modalité la vigne n'entre pas en stress à la même date. En effet, dans le bloc « Haut Bois » les modalités avec un enherbement permanent (modalités 3 et 4) ont dépassé ce seuil dès la fin de juin alors que d'autres ne le franchissent que mi-juillet, comme c'est le cas des engrais verts (modalités 4 et 7). La tendance est similaire dans le bloc « Bas Tournière » avec les modalités enherbées en permanence (2,3 et 4) qui stressent plus tôt que les modalités travaillées (5, 6 et 7).

De la même manière que l'essai « paillages », les vendanges étant tardives, je n'ai pas reçu à temps les résultats $\delta^{13}\text{C}$ pour les intégrer au rapport.

3.2.3. Statut azoté

Le statut azoté des baies, évalué par le biais de l'azote assimilable, est plus faible dans la modalité avec un enherbement permanent (modalité 3) que dans la modalité 100% travail du sol (modalité 5). En effet, statistiquement la modalité témoin a la quantité d'azote assimilable la plus importante avec une moyenne de 189,7 mg/L contre 132,7 mg/L pour la modalité 3 (Figure 30). Les autres modalités ont des moyennes comprises entre 164 et 180 mg/L.

SPAD à mi-véraison (05/08/2024) Haut Bois

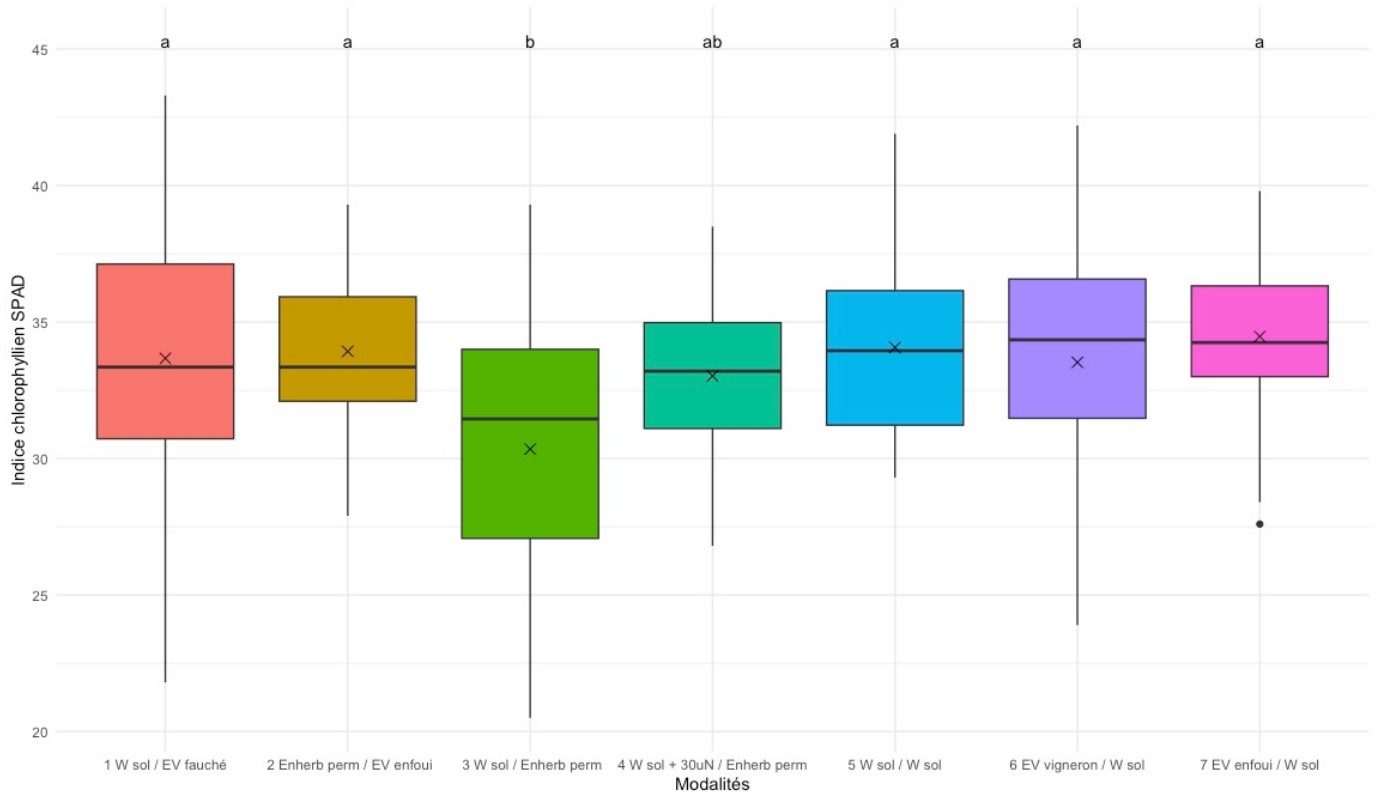


Figure 31 : SPAD à mi-véraison Haut Bois

SPAD à mi-véraison (05/08/2024) Bas Tournière

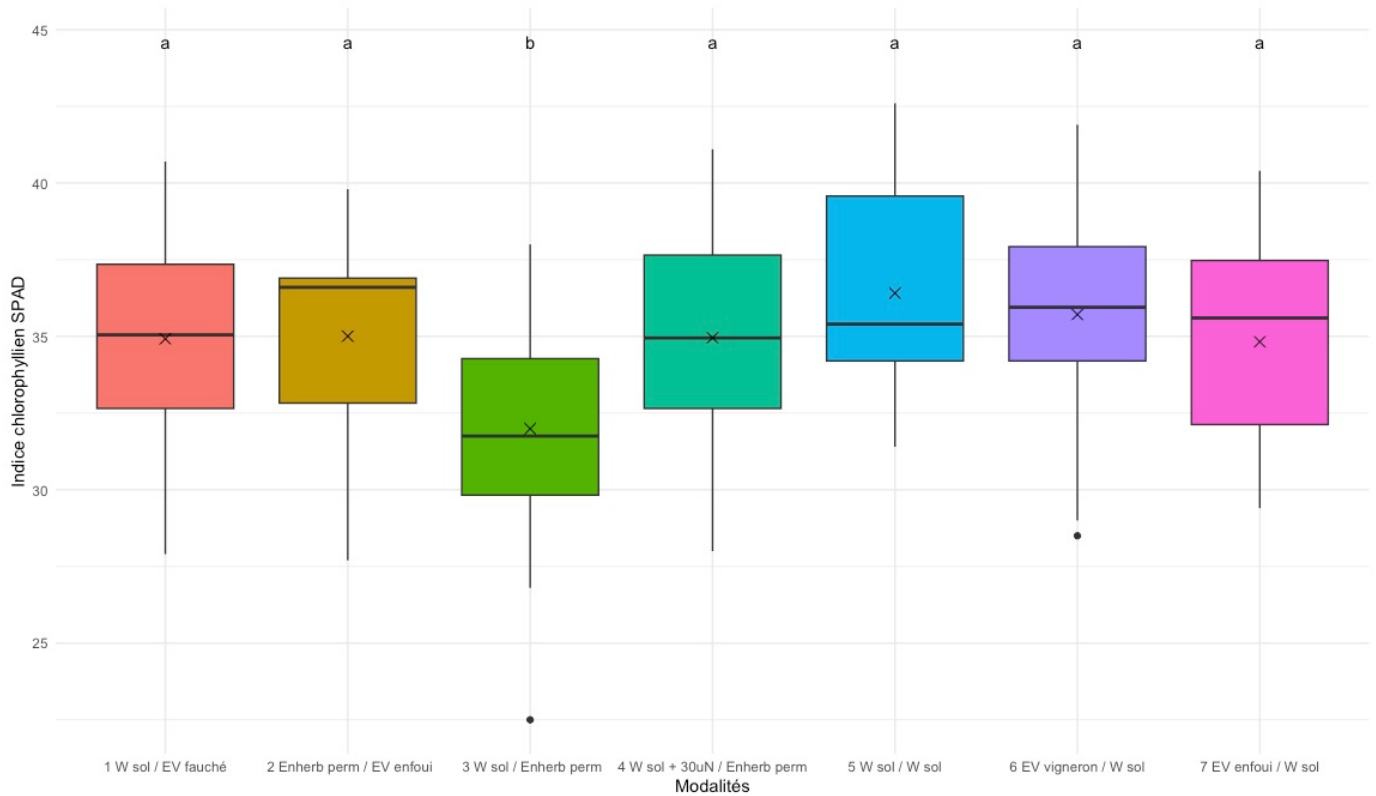


Figure 32 : SPAD à mi-véraison Bas Tournière

Comme pour l'azote assimilable, que ce soit sur le haut ou le bas, la modalité 3 avec un enherbement permanent sur un inter-rang se démarque des autres modalités avec un indice chlorophyllien SPAD significativement plus faible (Figures 31 et 32). La modalité 3 a un SPAD moyen de 30 en haut et 32 en bas alors qu'il est aux alentours de 34 en haut et 35 en bas pour les autres modalités.

3.2.4. Restitution potentielle en éléments fertilisants des couverts végétaux

Peu importe le bloc, on constate que la restitution potentielle en éléments fertilisants est plus importante sur la modalité vigneron que sur les modalités enfoui et tondu (Figure 33). En effet, la destruction des engrais verts du vigneron apporterait 45 kg/ha d'azote en haut et 120 kg/ha d'azote en bas contre 35 et 50 kg/ha pour les engrais verts tondu et 20 et 35 kg/ha pour les engrais verts enfoui. De plus, on note une nette différence entre le bloc Haut et le bloc Bas, où la restitution est plus importante.

3.2.5. Récolte

Tout d'abord, on remarque que au sein de chaque bloc le nombre de grappes ne diffère pas d'une modalité à une autre (Figure 34). De même, les modalités n'ont pas d'effet sur le poids de récolte par pied qui est en moyenne de 2,6 kg sur le haut et 3,3 kg sur le bas (Figure 35). On remarque également des différences entre les modalités dans le bloc haut et dans le bloc bas, notamment le poids de récolte de la modalité 4 est statistiquement plus élevé dans le bloc bas que dans le haut. Cela confirme les observations de différence de vigueur due au sol entre le haut et le bas de la parcelle.

Tableau 8 : Résultats des paramètres physico-chimiques de la vendange

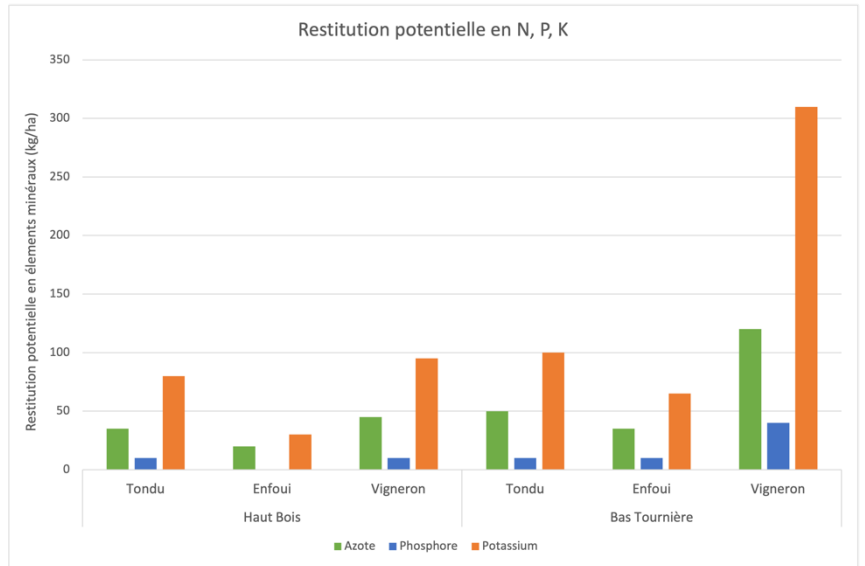
Modalités	TAV (%vol.)	AT (g.L ⁻¹ H ₂ SO ₄)	pH	Ac.mal (g.L ⁻¹)	Ac.tart (g.L ⁻¹)	Nass (mg.L ⁻¹)	P200b (g)
1	14,13 (a)	2,87 (a)	3,44 (a)	0,57 (a)	6,07 (a)	179,67 (ab)	424,67 (a)
2	14,29 (a)	2,99 (a)	3,45 (a)	0,53 (a)	6,20 (a)	163,67 (ab)	449,00 (a)
3	14,74 (a)	3,10 (a)	3,44 (a)	0,43 (a)	6,20 (a)	132,67 (b)	424,00 (a)
4	14,45 (a)	3,08 (a)	3,41 (a)	0,53 (a)	6,03 (a)	169,00 (ab)	459,00 (a)
5	13,96 (a)	3,01 (a)	3,42 (a)	0,57 (a)	6,33 (a)	189,67 (a)	432,00 (a)
6	14,36 (a)	3,13 (a)	3,42 (a)	0,57 (a)	6,47 (a)	171,00 (ab)	435,67 (a)
7	14,21 (a)	3,03 (a)	3,41 (a)	0,53 (a)	6,30 (a)	179,00 (ab)	447,67 (a)

TAV : titre alcoométrique volumique total, AT : acidité totale, Ac.mal : quantité d'acide malique, Ac.tart : quantité d'acide tartrique, Nass : azote assimilable, P200b : poids de 200 baies

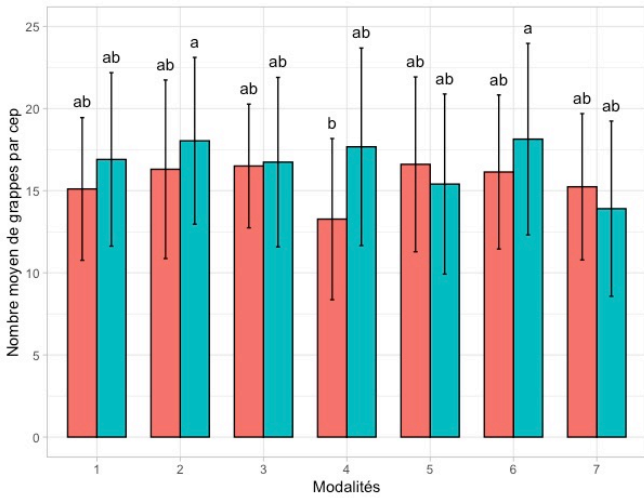
Enfin, on constate que, mise à part l'azote assimilable aucune modalité n'est statistiquement différente pour les paramètres œnologiques de la récolte. Les modalités appartiennent au même groupe a, établi par le test de Tukey (Tableau 8).

Ainsi, les couverts végétaux n'affectent ni le rendement, ni la qualité de la récolte.

Figure 33 : Restitution potentielle en azote, phosphore et potassium selon les modalités



Nombre moyen de grappes par cep selon les modalités et les blocs



Poids moyen de récolte par cep selon les modalités et les blocs

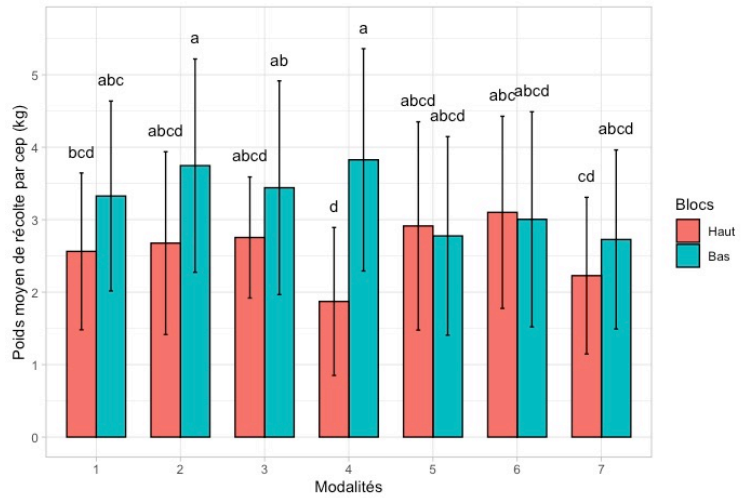
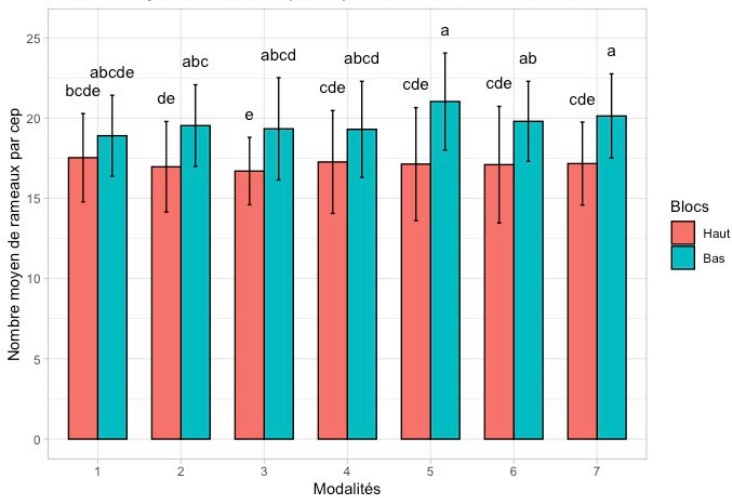


Figure 34 : Nombre de grappes par cep selon les modalités et le bloc

Figure 35 : Poids moyen de récolte par cep selon les modalités et le bloc

Nombre moyen de rameaux par cep selon les modalités et les blocs



Poids moyen des bois par cep selon les modalités et les blocs

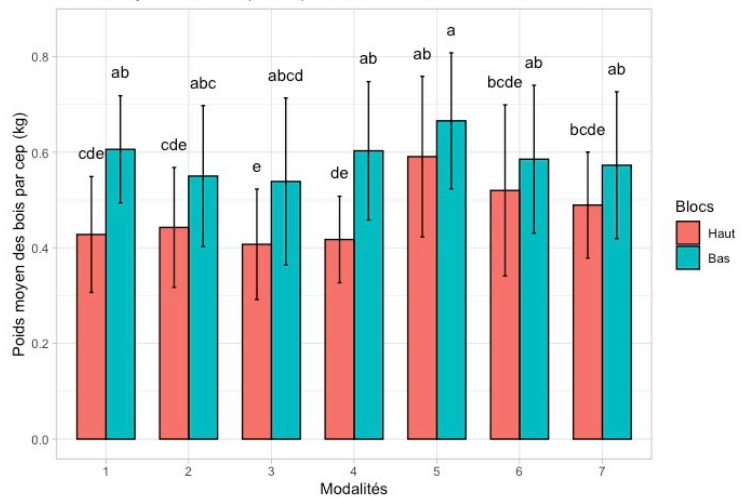


Figure 36 : Nombre moyen de rameaux par cep selon les modalités et le bloc

Figure 37 : Poids moyen des bois par cep selon les modalités et les blocs

3.2.6. Poids des bois de taille

On remarque encore qu'au sein de chaque bloc le nombre de rameaux ne diffère pas (Figure 36). Mais on note une nette différence entre le bloc du haut et le bloc du bas. Toutes les modalités sauf les 1 et 4 sont statistiquement différentes d'un bloc à un autre. Concernant le poids moyen des bois (Figure 37), dans le haut la modalité témoin 6 est statistiquement plus élevée que les modalités 1, 2, 3 et 4 alors que dans le bas aucune modalité n'est différente. Encore une fois on distingue une nette différence entre le haut et le bas (notamment les modalités 1, 2, 3, 4). Il semblerait que les enherbements permanents limitent la vigueur de la vigne alors que les autres modes de couverture n'ont pas d'effet négatif.

4. Discussion

4.1. Entretien du sol sous le rang avec des paillages

4.1.1. Taux de couverture

L'évolution des taux de couverture concorde avec le climat. Au printemps, les précipitations sont plus nombreuses et le rayonnement solaire satisfaisant, ce qui favorisent le développement des adventices. Ceci explique pourquoi les taux de couverture sont maximum en mai. Ensuite, avec l'arrivée de l'été, des chaleurs et d'un rayonnement important, les adventices sèchent et meurent ce qui se reflète dans des taux de couverture faibles (en août ils n'atteignent pas 10%). En terme d'efficacité, le glyphosate reste la solution la plus efficace sur les mois humides (avril-mai). Tandis que les autres modalités sont équivalentes sur les mois secs. Néanmoins, le broyat ne diffère pas statistiquement du glyphosate et apparait donc comme une solution efficace alternative au glyphosate pour le contrôle des adventices sous le rang.

Comme on peut le voir sur la Figure 38, à cause du dévers, du sol est déplacé au-dessus des paillages en amidon et des tuiles. Les adventices ont alors pu se développer au-dessus des paillages et cela a peut-être biaisé nos mesures des taux de couverture qui aurait été plus faibles sans déplacement de sol.

4.1.2. Croissance végétative et évaluation de la contrainte hydrique

D'après les résultats des indices de croissance, les paillages n'affectent pas la croissance de la vigne. On note seulement un effet des blocs, reflétant l'hétérogénéité de la parcelle avec le bloc 1 qui semble plus séchant que le bloc 3.

Tout de même, la modalité broyat se démarque légèrement avec un indice de croissance plus élevé et ainsi une vigne qui stresse moins qu'avec les autres modalités.

Enfin, d'après les sondes capacitatives, il semblerait que le paillage retient plus l'eau, en gardant la vigne dans un état hydrique plus constant comparé au témoin où la teneur en eau du sol fluctue plus avec un passage en excès d'eau puis rapidement en stress hydrique.



Figure 38 : Photographie lors d'une mesure du taux de couverture de la modalité amidon

Evolution de la quantité de nitrates du sol mesurée par le Nitratek

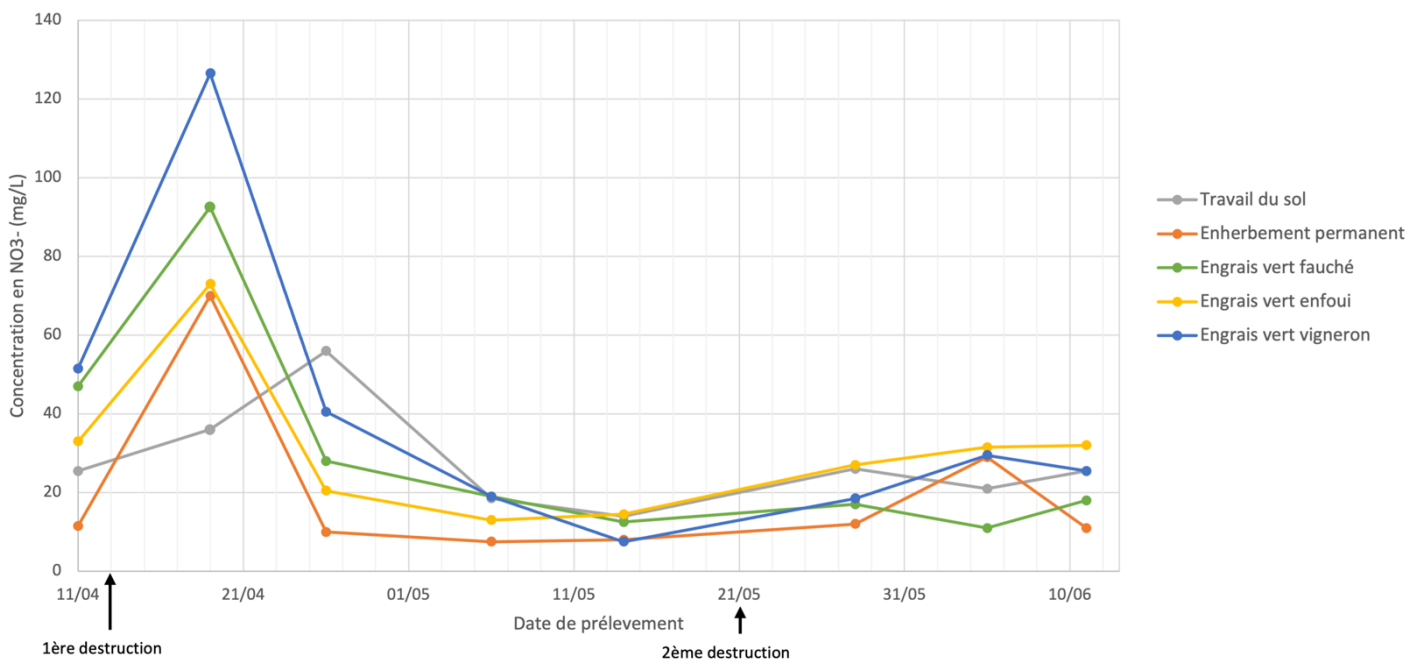


Figure 39 : Évolution de la quantité de nitrates du sol – nitratek

4.1.3. Statut azoté

Bien que l'indice chlorophyllien SPAD soit supérieur dans la modalité broyat que dans les autres cas, les valeurs restent faibles avec une valeur de 28 pour le broyat, de 27,3 pour la modalité enherbée et autour de 26 pour le glyphosate, l'amidon et la tuile. En effet, même s'il est difficile d'avoir des normes d'interprétation, on considère pour le N-tester qu'à véraison une valeur inférieure à 400 reflète une très faible alimentation en azote de la vigne, 400-450 une alimentation faible, 450-500 une alimentation moyenne, 500-550 alimentation forte et supérieure à 550 une alimentation en azote très forte (Van Leeuwen et al., 2011). D'après la corrélation obtenue entre les indices chlorophylliens N-tester et SPAD établit par Verdenal et al. (2023), on considère alors que pour le SPAD, à véraison, une valeur inférieure à 30 reflète une très faible alimentation en azote de la vigne, 30-33 une alimentation faible, 33-36 une alimentation moyenne, 36-39 alimentation forte et supérieure à 39 une alimentation en azote très forte.

Cela est confirmé avec les analyses sur moût qui révèlent des azotes assimilables très faibles de 77 mg/L pour la tuile à 92,3 mg/L pour le broyat pour des TAP de 13 à 15 %vol.. En général, on considère qu'un moût est carencé en azote si l'azote assimilable est inférieur à 140 mg/L pour 12 %vol. de TAP. En effet, Van Leeuwen et al. (2000) ont établi un seuil à 180 mg/L, au-delà duquel les besoins en azote de la vigne sont satisfaits mais ce seuil peut être revu à la baisse dans certaines situations comme pour la production de vin rouge (Van Leeuwen et al., 2018).

Même si les paillages ne créent pas de carence azotée, la vigne a tout de même des problèmes d'alimentation azotée ce qui peut gommer les potentiels effets des paillages.

4.1.4. Température à la surface du sol

Les mesures ont confirmé l'hypothèse de départ, les tuiles réchauffent le sol. Il aurait pu être intéressant de mesurer la température du sol dans les 50 premiers centimètres afin de comprendre l'impact que les tuiles peuvent avoir sur la vie biologique du sol.

4.1.5. Récolte

Même si les paillages n'affectent ni le rendement, ni la qualité de la récolte, les poids de récolte par pied restent très faibles (0,45 kg) comparés à la moyenne régionale (aux alentours de 1,5 kg par pied). Cependant, c'est la première année de production de la vigne et certains pieds n'ont même pas deux baguettes ce qui réduit considérablement sa capacité de production.

4.1.6. Vigueur

Les mesures de l'épaisseur des rameaux nous indique qu'il n'y a aucun effet du paillage sur la vigueur de la vigne. Il sera intéressant de voir les prochaines années lors de la réelle taille ce que cela va donner.

Ainsi, parmi les différents paillages, le broyat semble être l'alternative la plus efficace pouvant remplacer le glyphosate. Cependant, comme le broyat se décompose et est déplacé du rang au fil du temps, tous les ans un nouvel apport est effectué, ce qui est contraignant.

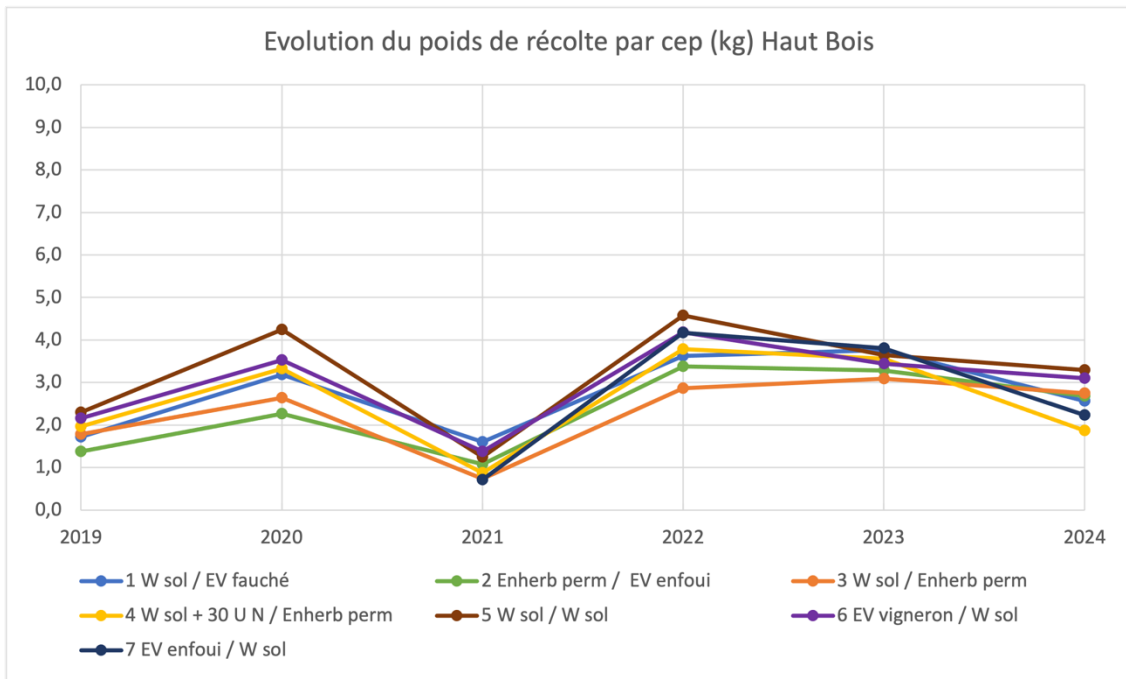


Figure 40 : Évolution du poids de récolte par cep Haut Bois

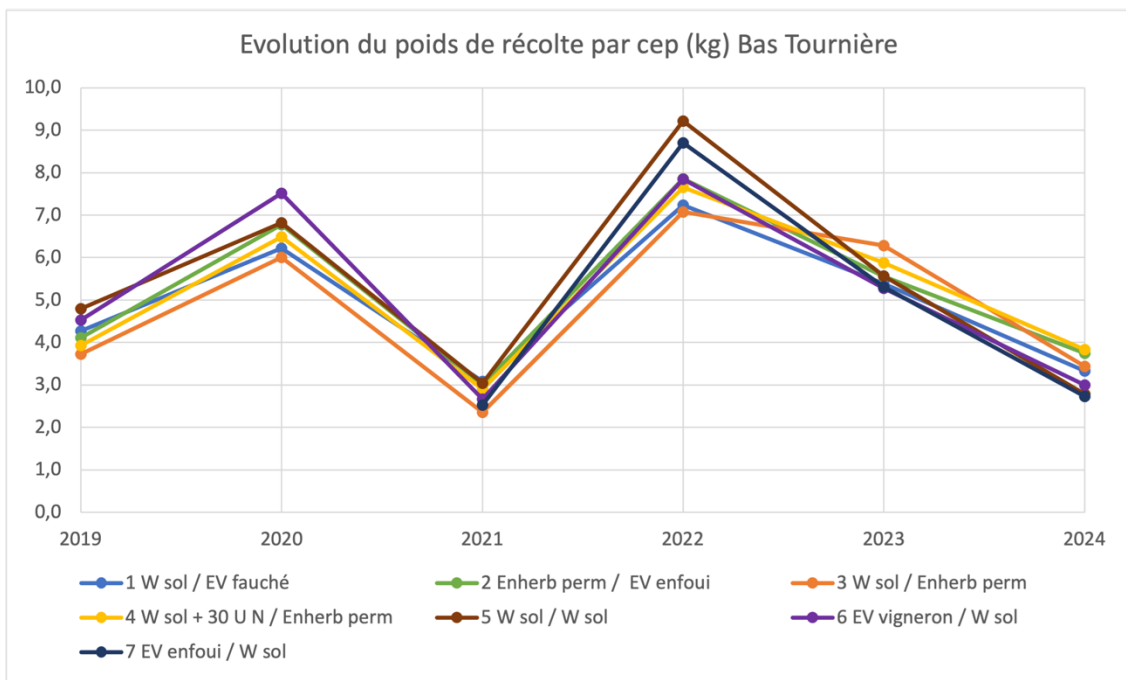


Figure 41 : Évolution du poids de récolte par cep Bas Tournière

Il pourrait tout de même être une solution intéressante à mettre sur les trois années de plantier où il est sensible à la concurrence des adventices puis envisager un autre mode d'entretien du rang. Également un frein à ces alternatives est l'interdiction du paillage tuile et amidon en AOP.

4.2. Entretien du sol de l'inter-rang avec des couverts végétaux

4.2.1. Croissance végétative et évaluation de l'état hydrique

D'après les indices de croissance, on remarque que la vigne entre en stress hydrique plus tôt avec les enherbements permanents qu'avec un travail du sol ou des engrais verts. Une fois le stress bien installé, nous n'observons plus de différence entre les modalités mais cela est à prendre avec du recul car la méthode des apex est peu fiable quand la vigne est déjà trop stressée. À partir de l'apparition du stress hydrique il est alors plus judicieux de faire des mesures de potentiel hydrique avec une chambre à pression.

4.2.2. Statut azoté

La modalité 3 avec un inter-rang enherbé en permanence présente le statut azoté le plus faible. En effet, l'indice chlorophyllien SPAD de 30 en haut et 32 en bas indique une alimentation azotée faible alors que les autres modalités se situant aux alentours de 35 sont dans des cas d'alimentation azotée moyenne. De plus, la teneur d'azote assimilable à 132,7 mg/L pour un TAV de 14,74 %vol. indique un moût carencé en azote alors que les autres modalités ont des moûts non carencés (autour de 180 mg/L).

4.2.3. Restitution potentielle en éléments fertilisants

La restitution potentielle en éléments fertilisants est plus importante sur la modalité vigneron que sur les modalités enfoui et tondu. Cela s'explique notamment avec le choix des espèces semées. Alors que les modalités enfoui et tondu sont un mélange exclusivement de légumineuses, la modalité vigneron est un mélange de trois familles. Le mélange vigneron a bien mieux poussé, par exemple les radis se sont bien développés et ont donné des biomasses importantes, expliquant ainsi la meilleure restitution. De plus, dans le mélange de légumineuses certaines espèces ne se sont pas développées comme c'est le cas du pois fourrager et du trèfle souterrain. Malheureusement c'est une limite des couverts végétaux, un semoir défaillant ou une météo compliquée au moment des semis peuvent entraîner une levée faible ou hétérogène des graines.

Enfin, l'évolution du nitrate (Figure 39) confirme les données MERCI avec une teneur en nitrates du sol bien supérieure dans l'engrais vert vigneron que dans les engrais verts légumineuses. Mais, on retrouve moins de nitrates dans le sol sous la modalité enfoui que sous la modalité tondu. Nous ne pensions pas à avoir ces résultats car l'enfouissement est le mode de destruction permettant une meilleure décomposition et minéralisation du couvert. Cela s'explique notamment avec un problème de semis qui s'est effectué un mois plus tard. De plus, il pourrait être intéressant de tester un autre mode de destruction comme le rolofaca formant un mulch qui est de plus en plus utilisé par les vigneron. Enfin, la différence de restitution entre le haut et le bas s'explique par un meilleur développement des couverts en bas où le sol est plus profond et moins séchant.

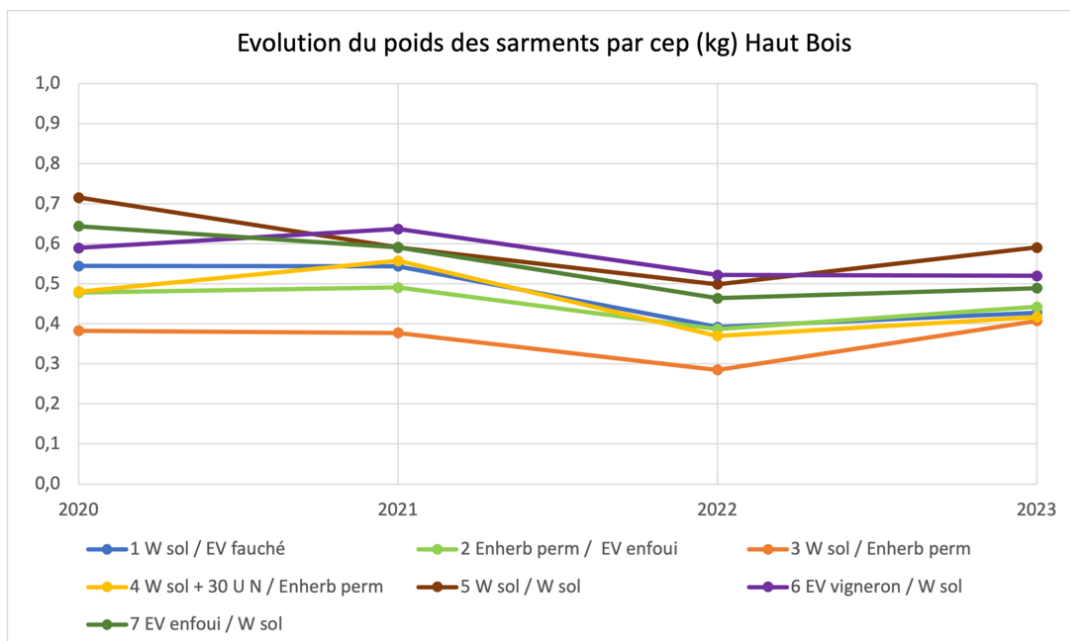


Figure 42 : Évolution du poids des sarments par cep Haut Bois

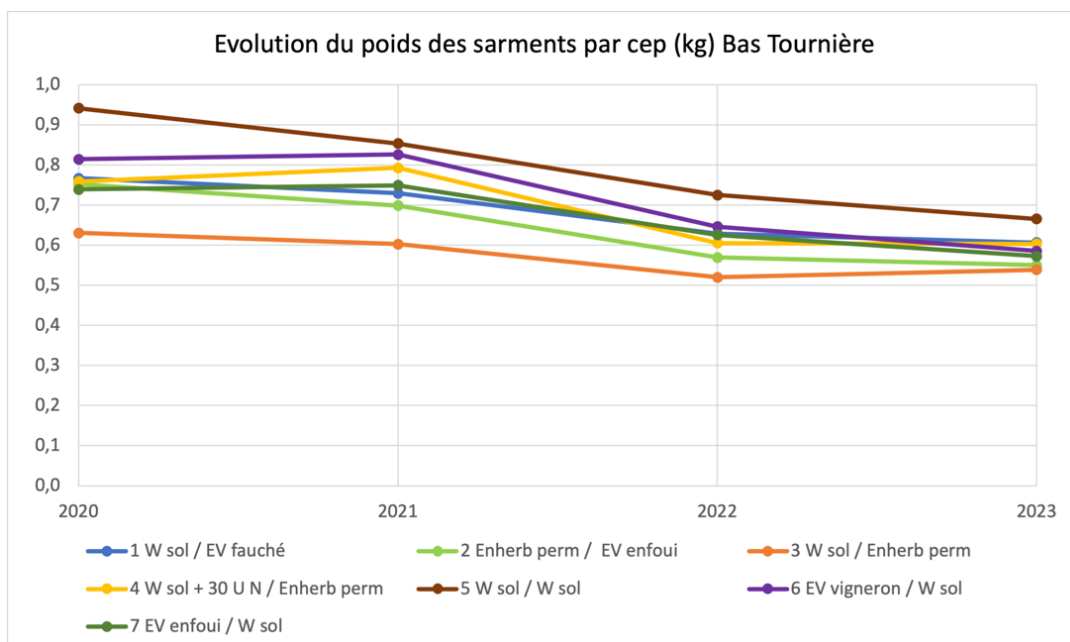


Figure 43 : Évolution du poids des sarments par cep Bas Tournière

Les biomasses sèches sont alors plus importantes en bas et donc la restitution potentielle aussi. Par exemple, la biomasse sèche totale des engrais verts tondu est de 2,3 kg en bas contre 1,9 kg en haut.

4.2.4. Récolte

Au sein des deux blocs les modalités ne diffèrent pas. Alors, les couverts végétaux en contexte méditerranéen n'affecteraient ni la qualité de la vendange, ni le rendement, contrairement à ce qui peut être écrit dans la bibliographie. La récolte reste tout de même fluctuante d'une année à l'autre. Par exemple, cette année le rendement est plus faible qu'habituellement à cause du mildiou. On a d'ailleurs remarqué que le bas de la parcelle, plus humide, a plus été touché que le haut et d'autant plus pour les modalités 5, 6 et 7.

L'évolution des poids de récolte par cep, Haut et Bas (Figures 40 et 41), confirme bien que le bas de la parcelle est plus vigoureux et plus productif que le haut, on obtient jusqu'à deux fois de rendement en bas. Ces variations d'une année à l'autre sont surtout le reflet du climat plus que l'effet des modalités. Néanmoins sur ces six années d'expérimentation, la modalité 5 100 % travail du sol se démarque avec des poids de récolte plus élevés que les autres modalités. La modalité 3 avec un enherbement permanent a, quant à elle, les poids de récolte les plus faibles. Par exemple, en 2022, en haut la modalité 5 a obtenu 4,58 kg/pied contre 2,86 kg/pied pour la modalité 3.

De même, en bas, la modalité a obtenu 9,21 kg/pied contre 7,07 kg/pied pour la modalité 3. Même si ces différences ne sont pas significatives, il semblerait que les couverts végétaux et surtout l'enherbement permanent réduisent légèrement le rendement comparé au témoin travail du sol. Il est alors intéressant de continuer ces essais car l'impact des enherbements s'observera mieux après plusieurs années.

4.2.5. Poids des bois de taille

Les résultats de la taille 2023 montrent un impact négatif de l'enherbement permanent sur le poids des bois de taille qui est le plus faible de toutes les modalités (Figures 42 et 43). La modalité témoin 100 % travail du sol (modalité 5) est celle qui présente les poids les plus élevés. Ces résultats sont également observés les autres années. En effet, la modalité 3 décroche complètement de 2020 à 2023 peu importe le bloc. La modalité témoin ressort largement sur le bas les quatre années. Les autres modalités ne se différencient pas réellement. Ainsi, les couverts végétaux limiteraient la vigueur de la vigne, surtout les enherbements permanents spontanés qui l'inhiberaient assez fortement.

Alors que les engrais verts ne concurrencent pas la vigne et peuvent restituer des éléments minéraux, les enherbements permanents impactent le statut hydro-azoté de la vigne, son rendement et sa vigueur. Les engrais verts composés de plusieurs familles seraient alors la meilleure technique d'entretien de l'inter-rang.

4.3. Évaluation économique des pratiques alternatives de désherbage

Dans un contexte de crise, il est intéressant de se pencher sur le coût de ces alternatives, afin de comprendre ce qui est acceptable et envisageable de mettre en place.

Jacquet et al. (2019) ont fait une évaluation économique des pratiques de désherbage en France. À partir de l'Enquête Pratiques Culturelles en viticulture de 2017 (SSP 2017) et du RICA, ils ont estimé les coûts de chaque pratique et de chaque intervention.

L'évaluation des coûts dépend du type de travail, conditionnant le nombre de passages et la vitesse de passage, et donc le temps de travail. Par exemple, un désherbage mécanique nécessite plus de passages (4-5) qu'un désherbage chimique (2 passages). De même, une tonte pour détruire le couvert des inter-rangs demande 1 h/ha contre 2 h/ha pour l'utilisation d'un griffon. De plus, la vitesse de travail est réduite dans les vignes étroites comparé aux vignes larges et par conséquent le temps de travail est augmenté et le coût à l'hectare aussi. Par exemple, un désherbage chimique prend 2 à 10h/ha en vignes larges contre 6 à 15h/ha en vignes étroites. À cela s'ajoute le coût d'achat du matériel (intercep, tondeuse, semoir, voire d'un tracteur), ainsi que l'amortissement qui est fortement dépendant de la taille de l'exploitation. Ils ont alors obtenu les coûts totaux (€/ha) des différentes pratiques de désherbage pour chaque bassin viticole (Tableau 9). On remarque que dans le sud-est ces coûts sont moins importants que dans les régions du nord de la France où les vignes sont étroites. Les résultats qui nous intéressent dans le cadre du projet sont les coûts d'un désherbage chimique en totalité, un désherbage 100% mécanique et un enherbement un inter-rang sur deux avec destruction mécanique. Les coûts totaux respectifs sont de 199 €/ha, 526 €/ha et 507 €/ha. Cela coûte presque trois fois plus cher de désherber mécaniquement que chimiquement. On comprend alors pourquoi il est si compliqué de se séparer du glyphosate pour certains viticulteurs. La pratique de l'enherbement reste une option envisageable car cela revient moins cher qu'un désherbage 100% mécanique mais cela coûte tout de même deux fois plus qu'un désherbage chimique.

Enfin, dans le cas des couverts végétaux, le prix des semences représente la part majoritaire de dépenses. En effet, le coût des semences est estimé de 150 à 300 €/hectare (selon le type de couvert, les semences et mélanges utilisés si elles sont certifiées ou non, leur provenance...). En général, il faut compter 10 à 160 €/ha par semence. L'Institut Français de la Vigne et du Vin a évalué que pour un semis tous les inter-rangs il faut compter 250 €/ha pour les semences, les coûts de la main d'œuvre et de la traction. Il faut ensuite compter environ 35 €/ha pour une destruction des couverts avec un rouleau et 55 €/ha pour un enfouissement. Selon la Chambre d'Agriculture de l'Allier, le coût de la mise en place (labour, déchaumage, type de semis) et la destruction des couverts varie entre 40 et 150 €/ha hors coût des semences. Finalement, le coût total de la mise en place et de la gestion des couverts végétaux varie de 200 à 500 €/ha. On retrouve une fourchette similaire au coût du désherbage chimique et mécanique, ce qui est encourageant pour l'adoption de cette pratique. Toutefois cela reste à nuancer, car certaines espèces se ressèment d'une année à l'autre lorsque le couvert est simplement tondu. Cela permettrait de faire des économies et resterait une option intéressante pour les viticulteurs.

Tableau 9 : Coûts totaux (amortissement compris) en €/ha des différents modes de désherbage (Jacquet et al., 2019)

	Mécanique			Mixte			Chimique		
	Sans Enh	Enh	Enh 1/2	Sans Enh	Enh	Enh 1/2	Sans Enh	Enh	Enh 1/2
Bordelais	779 €	-	486 €	-	320 €	357 €	-	-	-
Alsace	-	-	1 129 €	-	615 €	576 €	-	-	-
Bourgogne-Beaujolais	769 €	-	-	645 €	528 €	-	476 €	-	-
Champagne	1 072 €	1 146 €	-	978 €	1 156 €	-	584 €	-	-
Charentes	-	-	-	551 €	378 €	499 €	-	-	-
Languedoc-Roussillon	436 €	282 €	-	321 €	271 €	363 €	198 €	-	-
Sud-Est	526 €	422 €	507 €	387 €	275 €	346 €	199 €	-	-
Sud-Ouest	-	265 €	341 €	323 €	295 €	329 €	-	-	-
Val-de-Loire	686 €	730 €	-	579 €	493 €	487 €	418 €	-	-

À ce jour aucune étude n'a été réalisée pour des paillages. Pour les tuiles Symbio il faut compter 15 000 €/ha pour une plantation de 5 000 pieds/ha. Même si leur durée de vie est d'une trentaine d'année cela représenterai, amorti sur 30 ans, un coût de 500€/ha. À cela s'ajoute le temps de pose et l'entretien de l'inter-rang. Pour le paillage en amidon, il faudrait compter 1250 €/ha/an, avec un amortissement sur 10 ans, comprenant le prix du paillage en lui-même et le temps de pose qui est conséquent. Finalement, l'installation de paillages reste un investissement important qui n'est pas envisageable pour la plupart des exploitations.

Conclusion

Les mesures sur les deux essais ont permis de répondre en partie aux hypothèses énoncées en début de mémoire. Les paillages contrôlent efficacement le développement des adventices, surtout le broyat qui fonctionne aussi bien que le glyphosate. Les paillages n'impactent pas la vigueur, la croissance de la vigne et limitent son stress hydrique. La tuile plastique garde la chaleur les jours chauds comme les jours froids mais nous ne savons pas si cela impacte la vie du sol. Les paillages sont alors une bonne alternative au désherbage chimique pour la gestion du rang mais la réglementation et le coût sont des freins importants à sa diffusion. Les couverts végétaux contrôlent la population d'adventices et affecte peu voire pas la croissance de la vigne. Seuls les enherbements permanents sont concurrentiels avec la vigne et diminuent le rendement et sa vigueur. Les engrais verts restituent des éléments minéraux mais cela n'est pas visible au niveau de l'indice chlorophyllien ou de l'azote assimilable des moûts. Cependant, le mélange de plusieurs familles a donné des résultats plus satisfaisant que des légumineuses seules. Enfin, l'enfouissement n'est pas apparu comme la meilleure destruction car les couverts ne se sont pas développés comme espéré à cause d'un problème de semis.

Ces résultats restent interprétables uniquement cette année. Il est difficile de faire des conclusions générales car le comportement de la vigne vis-à-vis des couverts dépend beaucoup du millésime et de son climat. La stratégie d'enherber n'est pas la solution pour toutes les situations, cela dépend beaucoup des caractéristiques de la parcelle et des objectifs du viticulteur.

Des questions demeurent quant aux effets sur le sol. Alors il pourrait être intéressant de réaliser plusieurs tests. Par exemple, le test bêche permettrait d'évaluer la structure du sol (porosité, état des mottes), le test du slip permettrait d'estimer l'activité biologique et compter les vers de terre pourrait être instructif car ils sont un bon indicateur de la qualité des sols en favorisant l'aération du sol et le brassage de la matière organique. De plus, afin de suivre plus rigoureusement l'état hydrique de la vigne, des mesures de potentiel hydrique foliaire de base pourraient être réalisées au cours de la saison : une mesure avant l'arrivée du stress, une autre lors de l'apparition du stress (souvent vers le stade fermeture de grappe), puis une à mi-véraison et une avant récolte.

Références bibliographiques

- Abad, J., Hermoso De Mendoza, I., Marín, D., Orcaray, L., et Santesteban, L. G. (2021a). Cover crops in viticulture. A systematic review (1) : Implications on soil characteristics and biodiversity in vineyard. *OENO One*, 55(1), 295-312. <https://doi.org/10.20870/oenoone.2021.55.1.3599>
- Abad, J., De Mendoza, I. H., Marín, D., Orcaray, L., & Santesteban, L. G. (2021). Cover crops in viticulture. A systematic review (2) : Implications on vineyard agronomic performance. *OENO One*, 55(2), 1-27. <https://doi.org/10.20870/oeno-one.2021.55.2.4481>
- Alletto, L., Coquet, Y., Benoit, P., Heddadj, D., & Barriuso, E. (2010). Tillage management effects on pesticide fate in soils. A review. *Agronomy For Sustainable Development*, 30(2), 367-400. <https://doi.org/10.1051/agro/2009018>
- Andrieux, P. (2007). Dynamique des états de surface des sols viticoles méditerranéens. Journées GeDuQuE, Montpellier, France.
- Arias, M., Paradelo, M., López, E., & Simal-Gándara, J. (2006). Influence of pH and Soil Copper on Adsorption of Metalaxyl and Penconazole by the Surface Layer of Vineyard Soils. *Journal Of Agricultural And Food Chemistry*, 54(21), 8155-8162. <https://doi.org/10.1021/jf061526r>
- Arrouays, D., Balesdent, J., Germon, J., Jayet, P., Soussana, J., & Stengel, P. (2002). Increasing carbon stocks in French agricultural soils ? *HAL (le Centre Pour la Communication Scientifique Directe)*. <https://doi.org/10.15454/wnky-ms73>
- Arnaez, J., Lasanta, T., Ruiz-Flaño, P., & Ortigosa, L. (2007). Factors affecting runoff and erosion under simulated rainfall in Mediterranean vineyards. *Soil And Tillage Research*, 93(2), 324-334. <https://doi.org/10.1016/j.still.2006.05.013>
- Bajgai, Y., Hulugalle, N., Kristiansen, P., McHenry, M., & Cowie, A. (2014). Residue incorporation mitigates tillage-induced loss of soil carbon in laboratory microcosms. *Soil Use And Management*, 30(3), 328-336. <https://doi.org/10.1111/sum.12130>
- Belmonte, S. A., Celi, L., Stanchi, S., Said-Pullicino, D., Zanini, E., & Bonifacio, E. (2016). Effects of permanent grass versus tillage on aggregation and organic matter dynamics in a poorly developed vineyard soil. *Soil Research*, 54(7), 797. <https://doi.org/10.1071/sr15277>
- Berli, F., D'Angelo, J., Cavagnaro, B., Bottini, R., Wuilloud, R., et Silva, M. F. (2008). Phenolic Composition in Grape (*Vitis vinifera* L. cv. Malbec) Ripened with Different Solar UV-B Radiation Levels by Capillary Zone Electrophoresis. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 56(9), 2892-2898. <https://doi.org/10.1021/jf073421+>

- Blanco-Canqui, H., Shaver, T. M., Lindquist, J. L., Shapiro, C. A., Elmore, R. W., Francis, C. A., & Hergert, G. W. (2015). Cover Crops and Ecosystem Services : Insights from Studies in Temperate Soils. *Agronomy Journal*, 107(6), 2449-2474. <https://doi.org/10.2134/agronj15.0086>
- Boizard, H., Richard, G., Roger-Estrade, J., Dürr, C., & Boiffin, J. (2002). Cumulative effects of cropping systems on the structure of the tilled layer in northern France. *Soil And Tillage Research*, 64(1-2), 149-164. [https://doi.org/10.1016/s0167-1987\(01\)00252-5](https://doi.org/10.1016/s0167-1987(01)00252-5)
- Brevik, E.C., Fenton, T.E. (2004). The effect of changes in bulk density on soil electrical conductivity as measured with the Geonics EM-38 Soil Horiz., 45 (2004), pp. 96-102, [10.2136/sh2004.3.0096](https://doi.org/10.2136/sh2004.3.0096)
- Bugg, R. L., & Waddington, C. (1994). Using cover crops to manage arthropod pests of orchards : A review. *Agriculture Ecosystems & Environment*, 50(1), 11-28. [https://doi.org/10.1016/0167-8809\(94\)90121-x](https://doi.org/10.1016/0167-8809(94)90121-x)
- Burg, P., Čížková, A., Mašán, V., Sedlar, A., Matwijczuk, A., & Souček, J. (2022). The Effect of Mulch Materials on Selected Soil Properties, Yield and Grape Quality in Vineyards under Central European Conditions. *Agronomy*, 12(8), 1862. <https://doi.org/10.3390/agronomy12081862>
- Calonnec, A., Burie, J., Langlais, M., Guyader, S., Saint-Jean, S., Sache, I., & Tivoli, B. (2012). Impacts of plant growth and architecture on pathogen processes and their consequences for epidemic behaviour. *European Journal Of Plant Pathology*, 135(3), 479-497. <https://doi.org/10.1007/s10658-012-0111-5>
- Cass, A., McGrath, M.C. (2004). Compost Benefits and Quality for Viticultural Soils. *Soil Environment and Vine mineral Nutrition Symposium*.
- Castillo, P., Rapoport, H. F., Rius, J. E. P., & Díaz, R. M. J. (2007). Suitability of weed species prevailing in Spanish vineyards as hosts for root-knot nematodes. *European Journal Of Plant Pathology*, 120(1), 43-51. <https://doi.org/10.1007/s10658-007-9195-8>
- Celette, F., Findeling, A., & Gary, C. (2009). Competition for nitrogen in an unfertilized intercropping system : The case of an association of grapevine and grass cover in a Mediterranean climate. *European Journal Of Agronomy*, 30(1), 41-51. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2008.07.003>
- Celette, F., & Gary, C. (2013). Dynamics of water and nitrogen stress along the grapevine cycle as affected by cover cropping. *European Journal Of Agronomy*, 45, 142-152. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2012.10.001>
- Cerdà, A., Imeson, A.C., Poesen, J. (2007). Soil water erosion in rural areas. *Catena* (Special issue), 71, 191-252. [10.1016/j.catena.2007.03.002](https://doi.org/10.1016/j.catena.2007.03.002)

- Cerdà, A., Flanagan, D. C., Le Bissonnais, Y. L., & Boardman, J. (2009). Soil erosion and agriculture. *Soil And Tillage Research*, 106(1), 107-108. <https://doi.org/10.1016/j.still.2009.10.006>
- Chakraborty, D., Nagarajan, S., Aggarwal, P., Gupta, V., Tomar, R., Garg, R., Sahoo, R., Sarkar, A., Chopra, U., Sarma, K. S., & Kalra, N. (2008). Effect of mulching on soil and plant water status, and the growth and yield of wheat (*Triticum aestivum* L.) in a semi-arid environment. *Agricultural Water Management*, 95(12), 1323-1334. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2008.06.001>
- Chantelot, E., Celette, F., & Wery, J. (2004). Concurrence pour les ressources hydriques et azotées entre vigne et enherbement en milieu méditerranéen. https://www.researchgate.net/publication/283922413_Concurrence_pour_les_ressources_hydriques_et_azotees_entre_vigne_et_enherbement_en_milieu_mediterraneen
- Chen, B., Liu, E., Mei, X., Yan, C., & Garré, S. (2018). Modelling soil water dynamic in rain-fed spring maize field with plastic mulching. *Agricultural Water Management*, 198, 19-27. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2017.12.007>
- Cheng, X., & Baumgartner, K. (2006). Effects of mycorrhizal roots and extraradical hyphae on 15N uptake from vineyard cover crop litter and the soil microbial community. *Soil Biology And Biochemistry*, 38(9), 2665-2675. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2006.03.023>
- Coll, P., Arnal, D., Blanchart, E., Hinsinger, P., Le Cadre, E., Souche, G., Villenave, C. (2009). Viticultural soils quality: benefits of permanent grass cover on soil chemical characteristics and soil biological indicators. *Progress Agric. Vitic.* 126, 527–531.
- Coll, P., Cadre, E. L., Blanchart, E., Hinsinger, P., & Villenave, C. (2011). Organic viticulture and soil quality : A long-term study in Southern France. *Applied Soil Ecology*, 50, 37-44. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2011.07.013>
- Constantin, J., Minette, S., Vericel, G., Jordan-Meille, L., & Justes, E. (2023). MERCI : a simple method and decision-support tool to estimate availability of nitrogen from a wide range of cover crops to the next cash crop. *Plant And Soil*, 494(1-2), 333-351. <https://doi.org/10.1007/s11104-023-06283-1>
- Coppens, F., Merckx, R., & Recous, S. (2006). Impact of crop residue location on carbon and nitrogen distribution in soil and in water-stable aggregates. *European Journal Of Soil Science*, 57(4), 570-582. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2389.2006.00825.x>
- Dabney, S. M., Delgado, J. A., & Reeves, D. W. (2001). USING WINTER COVER CROPS TO IMPROVE SOIL AND WATER QUALITY. *Communications In Soil Science And Plant Analysis*, 32(7-8), 1221-1250. <https://doi.org/10.1081/css-100104110>
- Daily, G., Postel, S., Bawa, K. S., & Kaufman, L. (1997). Nature's Services : Societal dependence on natural ecosystems. *ResearchGate*.

https://www.researchgate.net/publication/37717461_Nature's_Services_Societal_Dependence_On_Natural_Ecosystems

- Davidson, E. A., & Janssens, I. A. (2006). Temperature sensitivity of soil carbon decomposition and feedbacks to climate change. *Nature*, 440(7081), 165-173. <https://doi.org/10.1038/nature04514>
- Delabays, N., Spring, J., & De Recherche Agroscope Changins-Waedenswil Acw Nyon Mermillod, G. (2006). *Essai d'enherbement de la vigne avec des especes peu concurrentielles : aspects botaniques et malherbologiques*. <https://agris.fao.org/search/en/providers/122607/records/647245b453aa8c8963044d07>
- Delas, J. (2000). Fertilisation de la vigne. *Féret ed. Bordeaux*, 159 p
- Deloire, A., Carbonneau, A., Wang, Z., & Ojeda, H. (2004). Vine and water : a short review. *OENO One*, 38(1), 1. <https://doi.org/10.20870/oeno-one.2004.38.1.932>
- Délye, C., Colbach, N., & Corre, V. L. (2020). Résistances aux herbicides : mécanismes, situation en France et bonnes pratiques. *HAL (le Centre Pour la Communication Scientifique Directe)*. <https://doi.org/10.15454/8j8h-6610>
- De Toda, F. M., Balda, P., & Oliveira, M. (2010). Estimation of vineyard water status (*Vitis vinifera* L. cv. Tempranillo) from the developmental stage of the shoot tips. *OENO One*, 44(4), 201. <https://doi.org/10.20870/oeno-one.2010.44.4.1476>
- Dinatale, A., Pardini, A., & Argenti, G. (2005). Cover crops effects on plant and insect biodiversity in Western Australian vineyards. Dans *CABI Publishing eBooks* (p. 255-256). <https://doi.org/10.1079/9781845930011.0255>
- Fernández-Calviño, D., Rodríguez-Suárez, J. A., López-Periago, E., Arias-Estévez, M., & Simal-Gándara, J. (2008). Copper content of soils and river sediments in a winegrowing area, and its distribution among soil or sediment components. *Geoderma*, 145(1-2), 91-97. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2008.02.011>
- Fernández-Calviño, D., Pérez-Novo, C., Nóvoa-Muñoz, J. C., & Arias-Estévez, M. (2009). Copper fractionation and release from soils devoted to different crops. *Journal Of Hazardous Materials*, 167(1-3), 797-802. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2009.01.054>
- Ferrara, G., Fracchiolla, M., Chami, Z. A., Camposeo, S., Lasorella, C., Pacifico, A., Aly, A., & Montemurro, P. (2012). Effects of Mulching Materials on Soil and Performance of cv. Nero di Troia Grapevines in the Puglia Region, Southeastern Italy. *American Journal Of Enology And Viticulture*, 63(2), 269-276. <https://doi.org/10.5344/ajev.2011.11092>
- Ferrero, A., Usowicz, B., & Lipiec, J. (2005). Effects of tractor traffic on spatial variability of soil strength and water content in grass covered and cultivated sloping vineyard. *Soil And Tillage Research*, 84(2), 127-138. <https://doi.org/10.1016/j.still.2004.10.003>

- Fiedler, A. K., Landis, D. A., & Wratten, S. D. (2008). Maximizing ecosystem services from conservation biological control : The role of habitat management. *Biological Control*, 45(2), 254-271. <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2007.12.009>
- Finney, D. M., White, C. M., & Kaye, J. P. (2016). Biomass Production and Carbon/Nitrogen Ratio Influence Ecosystem Services from Cover Crop Mixtures. *Agronomy Journal*, 108(1), 39-52. <https://doi.org/10.2134/agronj15.0182>
- Follak, S., Kirchinger, M., Menger, A. *et al.* Evaluation of a Biodegradable and Sprayable Mulch Material for Weed Control in Vineyards and Orchards. *Applied Fruit Science* (2024). <https://doi.org/10.1007/s10341-024-01163-z>
- Fourie, J.C. (2011). Soil Management in the Breede River Valley Wine Grape Region, South Africa. 3. Grapevine Performance. *South African Journal Of Enology And Viticulture*, 32(1). <https://doi.org/10.21548/32-1-1367>
- Fourie, J. C., Louw, P. J., & Agenbag, G. A. (2001). Effect of seeding date on the performance of grasses and broadleaf species evaluated for cover crop management in two wine grape regions of South Africa. *South African Journal Of Plant And Soil*, 18(3), 118-127. <https://doi.org/10.1080/02571862.2001.10634415>
- Freibauer, A., Rounsevell, M. D., Smith, P., & Verhagen, J. (2004). Carbon sequestration in the agricultural soils of Europe. *Geoderma*, 122(1), 1-23. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2004.01.021>
- Gago, P., Cabaleiro, C., & García, J. (2007). Preliminary study of the effect of soil management systems on the adventitious flora of a vineyard in northwestern Spain. *Crop Protection*, 26(4), 584-591. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2006.05.012>
- García-Díaz, A., Bienes, R., Sastre, B., Novara, A., Gristina, L., & Cerdà, A. (2017). Nitrogen losses in vineyards under different types of soil groundcover. A field runoff simulator approach in central Spain. *Agriculture Ecosystems & Environment*, 236, 256-267. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2016.12.013>
- Garcia, L., Celette, F., Gary, C., Metral, R., & Metay, A. (2020). Vers des systèmes de culture agroécologiques - Usage des couverts végétaux semés ou spontanés comme cultures de services dans les vignobles – Comment raisonner leur pilotage en viticulture ?. *Revue des Œnologues et des Techniques Vitivinicoles et Œnologiques*, 177, 28-31.
- Garcia, L., Celette, F., Gary, C., Ripoche, A., Valdés-Gómez, H., & Metay, A. (2018). Management of service crops for the provision of ecosystem services in vineyards : A review. *Agriculture Ecosystems & Environment*, 251, 158-170. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2017.09.030>
- Garcia, L., Peyrot, S., & Kleiber, A. (2021). Gestion des cultures de services dans les vignobles - Éléments techniques pour un pilotage optimisé issus de résultats expérimentaux. *Revue des Œnologues et des Techniques Vitivinicoles et Œnologiques*, 31-34.

- Gardarin, A., Celette, F., Naudin, C., Piva, G., Valantin-Morison, M., Vrignon-Brenas, S., Verret, V., & Mediene, S. (2022). Intercropping with service crops provides multiple services in temperate arable systems : a review. *Agronomy For Sustainable Development*, 42(3). <https://doi.org/10.1007/s13593-022-00771-x>
- Gaudillère, J.-P., Van Leeuwen, C., Trégoat, O. (2001). The assessment of vine water uptake conditions by $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ discrimination in grape sugar. *OENO One* 35, 195. <https://doi.org/10.20870/oeno-one.2001.35.4.984>
- Gaudin, R., Celette, F., & Gary, C. (2010). Contribution of runoff to incomplete off season soil water refilling in a Mediterranean vineyard. *Agricultural Water Management*, 97(10), 1534-1540. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2010.05.007>
- Gaudin, R., Kansou, K., Payan, J. C., Pellegrino, A., & Gary, C. (2014). A water stress index based on water balance modelling for discrimination of grapevine quality and yield. *OENO One*, 48(1), 1. <https://doi.org/10.20870/oeno-one.2014.48.1.1655>
- Gaviglio, C. (2013). *Gestion des sols viticoles* (1^{re} éd.). La France Agricole.
- Gontier, L., Gaviglio, C., (2012). Mise en œuvre de paillages sous le rang comme solution de lutte contre les adventices en viticulture.
- Goulet, E., Dousset, S., Chaussod, R., Bartoli, F., Doledec, A., & Andreux, F. (2004). Water-stable aggregates and organic matter pools in a calcareous vineyard soil under four soil-surface management systems. *Soil Use And Management*, 20(3), 318-324. <https://doi.org/10.1111/j.1475-2743.2004.tb00376.x>
- Goulet, E., Fortin, E., Grondain, V., & Grelier C. (2017). Feutres en fibres végétales : Alternatives au désherbage du cavaillon.
- Guerra, B., & Steenwerth, K. (2011). Influence of Floor Management Technique on Grapevine Growth, Disease Pressure, and Juice and Wine Composition : A Review. *American Journal Of Enology And Viticulture*, 63(2), 149-164. <https://doi.org/10.5344/ajev.2011.10001>
- Guilpart, N., Metay, A., & Gary, C. (2014). Grapevine bud fertility and number of berries per bunch are determined by water and nitrogen stress around flowering in the previous year. *European Journal Of Agronomy*, 54, 9-20. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2013.11.002>
- Guilpart, N., Roux, S., Gary, C., & Metay, A. (2017). The trade-off between grape yield and grapevine susceptibility to powdery mildew and grey mould depends on inter-annual variations in water stress. *Agricultural And Forest Meteorology*, 234-235, 203-211. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2016.12.023>
- Hall, R. M., Penke, N., Kriechbaum, M., Kratschmer, S., Jung, V., Chollet, S., Guernion, M., Nicolai, A., Burel, F., Fertil, A., Lora, Á., Sánchez-Cuesta, R., Guzmán, G., Gómez, J. A., Popescu, D., Hoble, A., Bunea, C., Zaller, J. G., & Winter, S. (2020). Vegetation

- management intensity and landscape diversity alter plant species richness, functional traits and community composition across European vineyards. *Agricultural Systems*, 177, 102706. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2019.102706>
- Hanna, R., Zalom, F. G., & Roltsch, W. J. (2003). Relative impact of spider predation and cover crop on population dynamics of *Erythroneura variabilis* in a raisin grape vineyard. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 107(3), 177-191. <https://doi.org/10.1046/j.1570-7458.2003.00051.x>
- Herbin, C., Adoir, E., Audeguin, L., Aveline, N., Bonnisseau, M., Cahurel, J., Cailleau, R., Chantelot, E., Codis, S., Cunty, C., Davy, A., Delanoue, G., Dufourcq, T., Gaviglio, C., Gonin, C., Ivaldi, M., Lafond, D., Le Cunff, L., Lempereur, V., Luz, H., Merdy, M., Payan, J., Raynal, M., Riou, C., Sentenac, G. (2022) - Guide transition agroécologique & changement climatique en viticulture. *IFV*, 80 p.
- Ingels, C. A., Scow, K. M., Whisson, D. A., & Drenovsky, R. E. (2005). Effects of Cover Crops on Grapevines, Yield, Juice Composition, Soil Microbial Ecology, and Gopher Activity. *American Journal Of Enology And Viticulture*, 56(1), 19-29. <https://doi.org/10.5344/ajev.2005.56.1.19>
- Institut Français de la Vigne et du Vin. (s. d.). *Les engrais verts en viticulture*. <https://www.vignevin.com/publications/fiches-pratiques/engrais-verts-en-viticulture/>
- Jacquet, F., Delame, N., Lozano -Vita, J., Reboud, X., & Huyghe, C. (2019). Alternatives au glyphosate en viticulture. Evaluation économique des pratiques de désherbage. 26.
- Jiménez, M. N., Fernández-Ondoño, E., Ripoll, M. Á., Castro-Rodríguez, J., Huntsinger, L., & Navarro, F. B. (2013). Stones and Organic Mulches Improve the *Quercus Ilex* L. Afforestation Success Under Mediterranean Climatic Conditions. *Land Degradation And Development*, 27(2), 357-365. <https://doi.org/10.1002/ldr.2250>
- Kader, M., Senge, M., Mojid, M., & Ito, K. (2017). Recent advances in mulching materials and methods for modifying soil environment. *Soil And Tillage Research*, 168, 155-166. <https://doi.org/10.1016/j.still.2017.01.001>
- Karlsson, T., Persson, P., & Skyllberg, U. (2006). Complexation of Copper(II) in Organic Soils and in Dissolved Organic Matter – EXAFS Evidence for Chelate Ring Structures. *Environmental Science & Technology*, 40(8), 2623-2628. <https://doi.org/10.1021/es052211f>
- Kasirajan, S., & Ngouajio, M. (2012). Polyethylene and biodegradable mulches for agricultural applications : a review. *Agronomy For Sustainable Development*, 32(2), 501-529. <https://doi.org/10.1007/s13593-011-0068-3>
- Kazakou, E., Fried, G. G., Richarte, J., Gimenez, O., Violle, C., & Metay, A. (2016). A plant trait-based response-and-effect framework to assess vineyard inter-row soil management. *Botany Letters*, 163(4), 373-388. <https://doi.org/10.1080/23818107.2016.1232205>

- Kazakou, E., Fried, G., Richarte, J., Lesniak, V., Guilpart, N., Andrieux, P., & Metay, A. (2012). Réponses de la flore adventice aux différents modes d'entretien du sol et effets sur la croissance de la vigne : le cas du Domaine du Chapitre (Sud de la France). <https://hal.science/hal-01506176>
- Kratschmer, S., Pachinger, B., Schwantzer, M., Paredes, D., Guzman, G., Gomez, J. A., Entrenas, J. A., Guernion, M., Burel, F., Nicolai, A., Fertil, A., Popescu, D., Macavei, L., Hoble, A., Bunea, C., Kriechbaum, M., Zaller, J. G., & Winter, S. (2019). Response of wild bee diversity, abundance, and functional traits to vineyard inter-row management intensity and landscape diversity across Europe. *Ecology And Evolution*, 9(7), 4103-4115. <https://doi.org/10.1002/ece3.5039>
- Keller, M. (2005). Deficit Irrigation and Vine Mineral Nutrition. *American Journal of Enology and Viticulture*, 56(3), 267-283. <https://doi.org/10.5344/ajev.2005.56.3.267>
- Kinross, C., Wratten, S.D., Gurr, G.M. (2002). Pest management and wildlife conservation: compatible goals for ecological engineering? In: Gurr, G., Wratten, S.D., Altieri, M.A. (Eds.), *Ecological Engineering for Pest Management: Advances in Habitat Manipulation for Arthropods*. CSIRO Publishing, pp. 199–218.
- Komárek, M., Čadková, E., Chrástný, V., Bordas, F., & Bollinger, J. (2010). Contamination of vineyard soils with fungicides : A review of environmental and toxicological aspects. *Environment International*, 36(1), 138-151. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2009.10.005>
- Lagacherie, P., Coulouma, G., Ariagno, P., Virat, P., Boizard, H., & Richard, G. (2006). Spatial variability of soil compaction over a vineyard region in relation with soils and cultivation operations. *Geoderma*, 134(1-2), 207-216. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2005.10.006>
- Le Bissonnais, Y. L., Lecomte, V., & Cerdan, O. (2004). Grass strip effects on runoff and soil loss. *Agronomie*, 24(3), 129-136. <https://doi.org/10.1051/agro:2004010>
- Le Plan Ecophyto : 2018, II, II+ et stratégie 2030 | Ecophytopic. (2024). <https://ecophytopic.fr/pic/pour-aller-plus-loin/le-plan-ecophyto-2018-ii-ii-et-strategie-2030#accordeon-55186>
- Li, H., Zhao, X., Gao, X., Ren, K., & Wu, P. (2018). Effects of water collection and mulching combinations on water infiltration and consumption in a semiarid rainfed orchard. *Journal Of Hydrology*, 558, 432-441. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2018.01.052>
- Li, R., Hou, X., Jia, Z., Han, Q., Ren, X., & Yang, B. (2013). Effects on soil temperature, moisture, and maize yield of cultivation with ridge and furrow mulching in the rainfed area of the Loess Plateau, China. *Agricultural Water Management*, 116, 101-109. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2012.10.001>

- Liguori, M., Tixier, M., Hernandez, A. F., Douin, M., & Kreiter, S. (2011). Agroforestry management and phytoseiid communities in vineyards in the South of France. *Experimental And Applied Acarology*, 55(2), 167-181. <https://doi.org/10.1007/s10493-011-9450-8>
- Linares, R., De la Fuente, M., Junquera, P., Lissarrague, J. R., & Baeza, P. (2014). Effects of soil management in vineyard on soil physical and chemical characteristics. *BIO Web Of Conferences*, 3, 01008. <https://doi.org/10.1051/bioconf/20140301008>
- Lou, Y., Davis, A. S., & Yannarell, A. C. (2015). Interactions between allelochemicals and the microbial community affect weed suppression following cover crop residue incorporation into soil. *Plant And Soil*, 399(1-2), 357-371. <https://doi.org/10.1007/s11104-015-2698-8>
- Marques, M. J., García-Muñoz, S., Muñoz-Organero, G., & Bienes, R. (2009). Soil conservation beneath grass cover in hillside vineyards under Mediterranean Climatic conditions (Madrid, Spain). *Land Degradation And Development*, 21(2), 122-131. <https://doi.org/10.1002/ldr.915>
- Mennan, H., Jabran, K., Zandstra, B. H., & Pala, F. (2020). Non-Chemical Weed Management in Vegetables by Using Cover Crops : A Review. *Agronomy*, 10(2), 257. <https://doi.org/10.3390/agronomy10020257>
- Metay, A., Garcia, L., Kazakou, E., & Fried, G. (2022). Effet des couverts sur la flore en viticulture. *Agronomie, Environnement & Sociétés*, 12(1). <https://doi.org/10.54800/prt789>
- Metay, A., Magnier, J., Fauchon, C., Mandin, T., Merot, A., Smits, N., & Christophe, A. (2015, 31 mai). Using spad for the early detection of nitrogen deficiency on different vine varieties in pots or in the field. <https://hal.inrae.fr/hal-01506547v1>
- Miguéns, T., Leirós, M. C., Gil-Sotres, F., & Trasar-Cepeda, C. (2007). Biochemical properties of vineyard soils in Galicia, Spain. *The Science Of The Total Environment*, 378(1-2), 218-222. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2007.01.050>
- Montanaro, G., Xiloyannis, C., Nuzzo, V., & Dichio, B. (2017). Orchard management, soil organic carbon and ecosystem services in Mediterranean fruit tree crops. *Scientia Horticulturae*, 217, 92-101. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2017.01.012>
- Morlat, R., & Jacquet, A. (2003). Grapevine Root System and Soil Characteristics in a Vineyard Maintained Long-term with or without Interrow Sward. *American Journal Of Enology And Viticulture*, 54(1), 1-7. <https://doi.org/10.5344/ajev.2003.54.1.1>
- Morrison, H. I., Wilkins, K., Semenciw, R., Mao, Y., & Wigle, D. (1992). Herbicides and Cancer. *JNCI Journal Of The National Cancer Institute*, 84(24), 1866-1874. <https://doi.org/10.1093/jnci/84.24.1866>

- Moulis, L. (1994). L'enherbement des vignobles méditerranéens : importance de la compétition hydrique vigne / culture intercalaire herbacée en vue d'une maîtrise de la production viticole. PhDthesis. 106p.
- Novara, A., Cerdà, A., & Gristina, L. (2018). Sustainable vineyard floor management : An equilibrium between water consumption and soil conservation. *Current Opinion In Environmental Science & Health*, 5, 33-37. <https://doi.org/10.1016/j.coesh.2018.04.005>
- Novara, A., Favara, V., Novara, A., Francesca, N., Santangelo, T., Columba, P., Chironi, S., Ingrassia, M., & Gristina, L. (2020). Soil Carbon Budget Account for the Sustainability Improvement of a Mediterranean Vineyard Area. *Agronomy*, 10(3), 336. <https://doi.org/10.3390/agronomy10030336>
- Novara, A., Gristina, L., Saladino, S., Santoro, A., & Cerdà, A. (2011). Soil erosion assessment on tillage and alternative soil managements in a Sicilian vineyard. *Soil And Tillage Research*, 117, 140-147. <https://doi.org/10.1016/j.still.2011.09.007>
- Nóvoa-Muñoz, J. C., Queijeiro, J. M. G., Blanco-Ward, D., Alvarez-Olleros, C., Martínez-Cortizas, A., & García-Rodeja, E. (2007). Total copper content and its distribution in acid vineyards soils developed from granitic rocks. *The Science Of The Total Environment*, 378(1-2), 23-27. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2007.01.027>
- Ogilvie, C., Deen, W., & Martin, R. (2019). Service crop management to maximize crop water supply and improve agroecosystem resilience : A review. *Journal Of Soil And Water Conservation*, 74(4), 389-404. <https://doi.org/10.2489/jswc.74.4.389>
- Ovalle, C., Del Pozo, A., Lavín, A., & Hirzel, J. (2007). Cubiertas Vegetales en Viñedos : Comportamiento de mezclas de Leguminosas Forrajeras Anuales y Efectos sobre la Fertilidad del Suelo. *Agricultura Técnica*, 67(4). <https://doi.org/10.4067/s0365-28072007000400006>
- Parker, A. K., De Cortázar-Atauri, I. G., Van Leeuwen, C., et Chuine, I. (2011). General phenological model to characterise the timing of flowering and veraison of *Vitis vinifera* L. : Grapevine flowering and veraison model. *Australian Journal of Grape and Wine Research*, 17(2), 206-216. <https://doi.org/10.1111/j.1755-0238.2011.00140.x>
- Pardini, A., Faiello, C., Longhi, F., Mancuso, S., Snowball, R. (2002). Cover crop species and their management in vineyards and olive groves. *Adv. Hortic. Sci.* 16, 225–234.
- Patrick, A. E., Smith, R., Keck, K., & Berry, A. M. (2004). Grapevine Uptake of ¹⁵N-Labeled Nitrogen Derived from a Winter-Annual Leguminous Cover-Crop Mix. *American Journal Of Enology And Viticulture*, 55(2), 187-190. <https://doi.org/10.5344/ajev.2004.55.2.187>
- Peigné, J., Cannavaciolo, M., Gautronneau, Y., Aveline, A., Giteau, J., & Cluzeau, D. (2009). Earthworm populations under different tillage systems in organic farming. *Soil And Tillage Research*, 104(2), 207-214. <https://doi.org/10.1016/j.still.2009.02.011>

- Pellegrino, A., Gozé, E., Lebon, E., & Wery, J. (2006). A model-based diagnosis tool to evaluate the water stress experienced by grapevine in field sites. *European Journal Of Agronomy*, 25(1), 49-59. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2006.03.003>
- Pichon, L., Brunel, G., Payan, J. C., Taylor, J., Bellon-Maurel, V., & Tisseyre, B. (2021). ApeX-Vigne : experiences in monitoring vine water status from within-field to regional scales using crowdsourcing data from a free mobile phone application. *Precision Agriculture*, 22(2), 608-626. <https://doi.org/10.1007/s11119-021-09797-9>
- Polge de Combret - Champart, L., Guilpart, N., Mérot, A., Capillon, A., & Gary, C. (2013). Determinants of the degradation of soil structure in vineyards with a view to conversion to organic farming. *Soil Use And Management*, 29(4), 557-566. <https://doi.org/10.1111/sum.12071>
- Price, A. J., & Kelton, J. A. (2013). Herbicides - Current Research and Case Studies in Use. Dans *InTech eBooks*. <https://doi.org/10.5772/56743>
- Qian, X., Gu, J., Pan, H., Zhang, K., Sun, W., Wang, X., & Gao, H. (2015). Effects of living mulches on the soil nutrient contents, enzyme activities, and bacterial community diversities of apple orchard soils. *European Journal Of Soil Biology*, 70, 23-30. <https://doi.org/10.1016/j.ejsobi.2015.06.005>
- Raclot, D., Le Bissonnais, Y. L., Louchart, X., Andrieux, P., Moussa, R., & Voltz, M. (2009). Soil tillage and scale effects on erosion from fields to catchment in a Mediterranean vineyard area. *Agriculture Ecosystems & Environment*, 134(3-4), 201-210. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2009.06.019>
- Radicetti, E., Mancinelli, R., Moschetti, R., & Campiglia, E. (2016). Management of winter cover crop residues under different tillage conditions affects nitrogen utilization efficiency and yield of eggplant (*Solanum melanogena* L.) in Mediterranean environment. *Soil And Tillage Research*, 155, 329-338. <https://doi.org/10.1016/j.still.2015.09.004>
- Ragasová, L., Kopta, T., Winkler, J., & Pokluda, R. (2019). The Current Stage of Greening Vegetation in Selected Wine-Regions of South Moravian Region (Czech Republic). *Agronomy*, 9(9), 541. <https://doi.org/10.3390/agronomy9090541>
- Rahman, L., Whitelaw-Weckert, M., Hutton, R., & Orchard, B. (2009). Impact of floor vegetation on the abundance of nematode trophic groups in vineyards. *Applied Soil Ecology*, 42(2), 96-106. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2009.02.006>
- Ranaldo, M., Carlesi, S., Costanzo, A., & Bàrberi, P. (2019). Functional diversity of cover crop mixtures enhances biomass yield and weed suppression in a Mediterranean agroecosystem. *Weed Research*, 60(1), 96-108. <https://doi.org/10.1111/wre.12388>
- Richard, G., Boizard, H., Roger-Estrade, J., Boiffin, J., & Guerif, J. (1999). Field study of soil compaction due to traffic in northern France : pore space and morphological analysis of

- the compacted zones. *Soil And Tillage Research*, 51(1-2), 151-160. [https://doi.org/10.1016/s0167-1987\(99\)00058-6](https://doi.org/10.1016/s0167-1987(99)00058-6)
- Rodrigo-Comino, J. (2018). Five decades of soil erosion research in “terroir”. The State-of-the-Art. *Earth-Science Reviews*, 179, 436-447. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2018.02.014>
- Rodriguez Lovelle B., Trambouze W., Jacquet O. (2009). Évaluation de l'état de croissance végétative de la vigne par la méthode des apex. *Progrès Agric. Vitic.*, 126, 77 - 88.
- Ruiz-Colmenero, M., Bienes, R., & Marques, M. (2011). Soil and water conservation dilemmas associated with the use of green cover in steep vineyards. *Soil And Tillage Research*, 117, 211-223. <https://doi.org/10.1016/j.still.2011.10.004>
- Salomé, C., Coll, P., Lardo, E., Metay, A., Villenave, C., Marsden, C., Blanchart, E., Hinsinger, P., & Le Cadre, E. (2016). The soil quality concept as a framework to assess management practices in vulnerable agroecosystems : A case study in Mediterranean vineyards. *Ecological Indicators*, 61, 456-465. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2015.09.047>
- Sánchez, E. E., Giayetto, A., Cichón, L., Fernández, D., Aruani, M. C., & Curetti, M. (2007). Cover crops influence soil properties and tree performance in an organic apple (*Malus domestica* Borkh) orchard in northern Patagonia. *Plant And Soil*, 292(1-2), 193-203. <https://doi.org/10.1007/s11104-007-9215-7>
- Sánchez-Moreno, S., Nicola, N. L., Ferris, H., & Zalom, F. G. (2009). Effects of agricultural management on nematode–mite assemblages : Soil food web indices as predictors of mite community composition. *Applied Soil Ecology*, 41(1), 107-117. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2008.09.004>
- Schipanski, M. E., Barbercheck, M., Douglas, M. R., Finney, D. M., Haider, K., Kaye, J. P., Kemanian, A. R., Mortensen, D. A., Ryan, M. R., Tooker, J., & White, C. (2014). A framework for evaluating ecosystem services provided by cover crops in agroecosystems. *Agricultural Systems*, 125, 12-22. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2013.11.004>
- Schütte, R., & Bergmann, H. (2019). The attitudes of French and Spanish winegrowers towards the use of cover crops in vineyards. *Journal Of Wine Research*, 30(2), 107-121. <https://doi.org/10.1080/09571264.2019.1568975>
- Sofia, G., & Tarolli, P. (2017). Hydrological Response to ~30 years of Agricultural Surface Water Management. *Land*, 6(1), 3. <https://doi.org/10.3390/land6010003>
- Spring J. (1999). Indice chlorophyllien du feuillage et nutrition azotée du cépage Chasselas. Premières expériences en Suisse romande. *Revue suisse de viticulture arboriculture horticulture*. 31, p. 141-145.

- Steenwerth, K., & Belina, K. (2008a). Cover crops enhance soil organic matter, carbon dynamics and microbiological function in a vineyard agroecosystem. *Applied Soil Ecology*, 40(2), 359-369. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2008.06.006>
- Steenwerth, K., & Belina, K. (2008b). Cover crops and cultivation : Impacts on soil N dynamics and microbiological function in a Mediterranean vineyard agroecosystem. *Applied Soil Ecology*, 40(2), 370-380. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2008.06.004>
- Steenwerth, K.-L., Pierce, D.-L., Carlisle, E.-A., Spencer, R.-G.-M., Smart D.-R., (2010). A vineyard agroecosystem: disturbance and precipitation affect soil respiration under mediterranean conditions. *Soil Science Society of America Journal*, 74, 231. <https://doi.org/10.2136/sssaj2008.0346>
- Thorup-Kristensen, K., Magid, J., & Jensen, L. S. (2003). Catch crops and green manures as biological tools in nitrogen management in temperate zones. Dans *Advances in agronomy* (p. 227-302). [https://doi.org/10.1016/s0065-2113\(02\)79005-6](https://doi.org/10.1016/s0065-2113(02)79005-6)
- Tribouillois, H., Cohan, J., & Justes, E. E. (2016). Cover crop mixtures including legume produce ecosystem services of nitrate capture and green manuring : assessment combining experimentation and modelling. *Plant And Soil*, 401(1-2), 347-364. <https://doi.org/10.1007/s11104-015-2734-8>
- Tworokski, T. J., & Glenn, D. M. (2012). Weed Suppression by Grasses for Orchard Floor Management. *Weed Technology*, 26(3), 559-565. <https://doi.org/10.1614/wt-d-11-00044.1>
- Valdés-Gómez, H., Gary, C., Cartolaro, P., Lolas-Caneo, M., & Calonnec, A. (2011). Powdery mildew development is positively influenced by grapevine vegetative growth induced by different soil management strategies. *Crop Protection*, 30(9), 1168-1177. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2011.05.014>
- Van Leeuwen, Destrac-Irvine, Dubernet, Duchêne, Gowdy, Marguerit, Pieri, Parker, De Rességuier, et Ollat. (2019). An Update on the Impact of Climate Change in Viticulture and Potential Adaptations. *Agronomy*, 9(9), 514. <https://doi.org/10.3390/agronomy9090514>
- Van Leeuwen, C., et Friant, P. (2011). « Les méthodes d'estimation de l'alimentation azotée de la vigne et des raisins au vignoble: état de l'art ». p. 7. <https://hal.inrae.fr/hal-02806995/document>
- Van Leeuwen, C., Friant, P., Soyer, J.-P., Molot, C., Chone, X., & Dubourdieu, D. (2000). L'intérêt du dosage de l'azote total et de l'azote assimilable dans le moût comme indicateur de la nutrition azotée de la vigne. *Journal International des Sciences de la Vigne et du Vin*, 34(2), 75-82.
- Van Leeuwen, C., Roby, J.-P., & de Rességuier, L. (2018). Soil-related terroir factors: a review. *Oeno One*, 52(2), 173-188. <https://doi.org/10.20870/oenone.2018.52.2.2208>

- Van Leeuwen, C., Trégoat, O., Choné, X., Bois, B., Pernet, D., & Gaudillère, J. (2009). Vine water status is a key factor in grape ripening and vintage quality for red Bordeaux wine. How can it be assessed for vineyard management purposes ? *OENO One*, 43(3), 121. <https://doi.org/10.20870/oeno-one.2009.43.3.798>
- Verdenal, T., Zufferey, V., Reynard, J., & Spring, J. (2023). Nitrogen nutrition status of the vine : correlation between N-tester and SPAD chlorophyll indices. *IVES Technical Reviews Vine And Wine*. <https://doi.org/10.20870/ives-tr.2023.7649>
- Venios, X., Korkas, E., Nisiotou, A., et Banilas, G. (2020). Grapevine Responses to Heat Stress and Global Warming. *Plants*, 9(12), 1754. <https://doi.org/10.3390/plants9121754>
- Vrignon-Brenas, S., Celette, F., Piquet-Pissaloux, A., Jeuffroy, M., & David, C. (2016). Early assessment of ecological services provided by forage legumes in relay intercropping. *European Journal Of Agronomy*, 75, 89-98. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2016.01.011>
- Vrsic, S. (2011). Soil erosion and earthworm population responses to soil management systems in steep-slope vineyards .. *Plant Soil And Environment*, 57(6), 258-263. <https://doi.org/10.17221/439/2010-pse>
- Winter, S., Bauer, T., Strauss, P., Kratschmer, S., Paredes, D., Popescu, D., Landa, B., Guzmán, G., Gómez, J. A., Guernion, M., Zaller, J. G., & Batáry, P. (2018). Effects of vegetation management intensity on biodiversity and ecosystem services in vineyards : A meta-analysis. *Journal Of Applied Ecology*, 55(5), 2484-2495. <https://doi.org/10.1111/1365-2664.13124>
- Woltz, J. M., Isaacs, R., & Landis, D. A. (2012). Landscape structure and habitat management differentially influence insect natural enemies in an agricultural landscape. *Agriculture Ecosystems & Environment*, 152, 40-49. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2012.02.008>
- Yu, Y., Turner, N. C., Gong, Y., Li, F., Fang, C., Ge, L., & Ye, J. (2018). Benefits and limitations to straw- and plastic-film mulch on maize yield and water use efficiency : A meta-analysis across hydrothermal gradients. *European Journal Of Agronomy*, 99, 138-147. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2018.07.005>
- Zhao, H., Wang, R., Ma, B., Xiong, Y., Qiang, S., Wang, C., Liu, C., & Li, F. (2014). Ridge-furrow with full plastic film mulching improves water use efficiency and tuber yields of potato in a semiarid rainfed ecosystem. *Field Crops Research*, 161, 137-148. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2014.02.013>

Annexes

Annexe 1 : Caractéristiques des principales espèces semées pour les couverts végétaux (Chambre d'Agriculture de l'Isère)

FAMILLE	ESPÈCE	FACILITÉ D'IMPLANTATION	RAPIDITÉ DE DÉVELOPPEMENT	BIOMASSE PRODUITE	EFFET STRUCTURANT POUR LE SOL	PIÉGEAGE DE L'AZOTE	FACILITÉ DE DESTRUCTION	AVANTAGES	INCONVÉNIENTS
CRUCIFÈRES	Moutarde blanche	+++	+++	+++	++ (surface)	+++	++ (roulage sur gel)	<ul style="list-style-type: none"> Itinéraire technique simple Limite les adventices Peu attractif pour les limaces Très bon derrière céréales 	<ul style="list-style-type: none"> Montée à graines précoce (des variétés tardives permettent d'éviter ce risque) Peut nécessiter un broyage avant labour si fort développement Eviter dans les rotations avec colza
	Colza	++	+++	+++	+++ (fissuration en profondeur)	+++	+	<ul style="list-style-type: none"> Limite les adventices 	<ul style="list-style-type: none"> A éviter dans les rotations avec colza Très attractif pour les limaces, sensible aux altises
	Navette	+++	+	+++	+++ (surface)	+++	+	<ul style="list-style-type: none"> Limite les adventices Floraison tardive Rupture de la plupart des maladies des céréales 	<ul style="list-style-type: none"> A éviter dans les rotations avec colza Risque sclerotinia
	Radis fourrager	+++	+++	++	+++ (pivot restructurant)	+++	+	<ul style="list-style-type: none"> Limite les adventices Floraison tardive Nématocide, réduit les infestations de piétin échaudage Peu attractif pour les limaces Très bon derrière céréales 	<ul style="list-style-type: none"> A éviter dans les rotations avec colza Destruction difficile (pivot très développé) Risque sclerotinia Re-pousses possibles
CRAMINÉES	Avoine fourragère (diploïde, rude)	+++	+	+++	++ (en profondeur)	++	+	<ul style="list-style-type: none"> Forte production de biomasse si associée à une légumineuse Peu attractif pour les limaces grises Effet allélopathique Peut être utilisée dans les rotations céréalières 	<ul style="list-style-type: none"> Couvert pouvant être difficile à décomposer (risque de faim d'azote sur culture suivante)
	Seigle	+	+	+	+++ (surface)	++	+	<ul style="list-style-type: none"> Forte production de biomasse si associé à une légumineuse Supporte bien les conditions sèches Effet allélopathique 	<ul style="list-style-type: none"> Attractif pour les pucerons et les limaces A éviter dans les rotations céréalières (risque de parasitisme)
	Ray-gras italien	+	++	++	++ (surface)	++	+	<ul style="list-style-type: none"> Utilisation fourragère possible Enracinement restructurant en surface 	<ul style="list-style-type: none"> Risque de salissement (montée à graines) Attractif pour les limaces grises

FAMILLE	ESPECE	FACILITE D'IMPLANTATION	RAPIDITE DE DEVELOPPEMENT	BIOMASSE PRODUITE	EFFET STRUCTURANT POUR LE SOL	PIEGEAGE DE L'AZOTE	FACILITE DE DESTRUCTION	AVANTAGES	INCONVENIENTS
GRAMINEES	Moha	+	++	+++	++	++	+++ très gélif	<ul style="list-style-type: none"> • Supporte bien les conditions sèches • Utilisation fourragère possible • Conseillé en association avec une légumineuse 	<ul style="list-style-type: none"> • A éviter sur cultures sensibles à la fusariose • Attractif pour les pucerons
	Sorgho fourrager	+	++	+++	+	++	++	<ul style="list-style-type: none"> • Limite les adventices • Supporte bien les conditions sèches • Utilisation fourragère possible 	<ul style="list-style-type: none"> • Semis à soigner, levée délicate • Attractif pour les limaces
HYDROPHYL-LACEES	Phacélie	+	+++	++	+++ surface	++	++ roulage sur gel	<ul style="list-style-type: none"> • Bonne dans toutes les successions culturales • Limite les adventices • Peu attractif pour les limaces, répulsif pucerons et altises • S'associe bien avec le trèfle Mèlifère 	<ul style="list-style-type: none"> • Risque de salissement (montée à graines) à long terme • Eviter dans les sols pauvres en azote et compacts
POLYGONACEES	Sarrasin	+	++	++	++ fissuration du sol	+++	+++ très gélif	<ul style="list-style-type: none"> • Limite les adventices • Peu attractif pour les limaces • Effet allélopathique 	<ul style="list-style-type: none"> • Risque de salissement (montée à graines)
LEGUMINEUSES	Pois fourrager	++	++	+	++	+	++ mais forte fourniture	<ul style="list-style-type: none"> • Facile en mélange 	<ul style="list-style-type: none"> • Attractif pour les pigeons • Sensible à la sécheresse
	Vesce (hiver ou printemps)	++	+	++	+	+	++ si printemps	<ul style="list-style-type: none"> • Si associée à une graminée, limite les adventices et forte production de biomasse • Peu attractive pour les limaces grises 	<ul style="list-style-type: none"> • Attractive pour les limaces noires • Risque sclerotinia sur tournesol ou colza
	Trèfle d'Alexandrie	+++	++	++	+	+	++ mais forte fourniture	<ul style="list-style-type: none"> • Bonne association avec l'avoine fourragère Limite les adventices si semé tôt • Supporte bien les conditions sèches 	<ul style="list-style-type: none"> • Nécessite un bon recouvrement des graines
	Lentille fourragère	++	++	+	+	+	++ mais forte fourniture	<ul style="list-style-type: none"> • Limite les adventices 	<ul style="list-style-type: none"> • A associer pour avoir assez de biomasse Coût des semences
	Féverole (hiver ou printemps)	++	++	+++	+	+	++ si variété de printemps	<ul style="list-style-type: none"> • Supporte bien les conditions sèches • Développement rapide 	<ul style="list-style-type: none"> • Bien enterrer la semence (4-5 cm) • Quantité de semence nécessaire • Couvre moyennement le sol (à associer)

RÉSUMÉ

Dans un contexte de transition écologique et de changement climatique, l'agriculture et plus particulièrement la viticulture en région méditerranéenne font face à des défis liés à la gestion des sols, l'utilisation de l'eau et la réduction de l'utilisation de pesticides. Ce mémoire se concentre sur deux pratiques agroécologiques – les paillages et les couverts végétaux – pour l'entretien des sols en viticulture. Il cherche à évaluer dans quelle mesure ces techniques peuvent répondre aux enjeux environnementaux et sociaux actuels.

L'étude repose sur une expérimentation menée sur deux parcelles distinctes. La première analyse l'effet des paillages sous le rang sur la gestion des adventices, la croissance, la vigueur et le rendement de la vigne. Tandis que la deuxième se concentre sur les couverts végétaux sur l'inter-rang et leurs impacts sur la croissance, la vigueur et le rendement de la vigne et sur la fertilité des sols.

Les paillages ont montré une efficacité comparable au glyphosate pour la gestion des adventices sans impacter la vigueur, la croissance de la vigne et en limitant son stress hydrique. Les couverts végétaux ont permis d'améliorer la fertilité du sol et les engrais verts n'ont pas impacté la vigueur, la croissance et état hydrique et azoté de la vigne. Cependant, les enherbements permanents sont concurrentiels en comparaison au travail du sol. Ils diminuent la vigueur, la croissance et l'état hydro-azoté de la vigne. Ces alternatives représentent un coût non négligeable, qui peut être un frein pour certains viticulteurs.

Mots clés : viticulture, pratiques agroécologiques, sols, paillages, couverts végétaux, enjeux, adventices, croissance, rendement, fertilité, état hydrique, état azoté, travail du sol, coût

Pour citer ce document : Soubigou, Ewen, 2024. Étude de différentes techniques alternatives pour l'entretien des sols en viticulture dans un contexte méditerranéen. Mémoire d'Ingénieur Agronome, option Viticulture-Œnologie, L'Institut Agro Montpellier. 117p.]

Institut Agro | Montpellier SupAgro, 2 place Pierre Viala, 34060 Montpellier cedex 02.
<https://www.institut-agro-montpellier.fr/>