



# **Comparaison de cultures intercalaires pour la répression des adventices et la stabilité des agrégats du sol dans la vigne semi-rustique en implantation au Québec**

**Mémoire**

**Audrey-Kim Minville**

**Maîtrise en biologie végétale - avec mémoire**

Maître ès sciences (M. Sc.)

Québec, Canada

© Audrey-Kim Minville, 2021

**Comparaison de cultures intercalaires  
pour la répression des adventices et la stabilité des agrégats du sol  
dans la vigne semi-rustique en implantation au Québec**

**Mémoire de maîtrise**

**Audrey-Kim Minville**

Sous la direction de :

Caroline Halde, directrice de recherche  
Marie-Josée Simard, codirectrice de recherche

## Résumé

Au Québec, la température hivernale atteint  $-35\text{ }^{\circ}\text{C}$  et les cépages non-rustiques (*Vitis vinifera* L.) doivent être protégés du gel par l'installation de géotextiles ou par buttage qui consiste en un travail du sol intensif et bisannuel pour recouvrir et découvrir les vignes. Ces conditions restreignent l'implantation de cultures intercalaires : (1) leur établissement et leur croissance sont limités à la saison de production, (2) le buttage détruit la végétation intercalaire à l'automne et (3) l'installation de géotextiles permet la culture d'espèces pérennes, mais elle est plus coûteuse. Au Québec, l'adoption de cultures intercalaires demeure donc marginale, malgré les bienfaits reconnus de ces cultures, dont le contrôle des adventices et l'atténuation de l'érosion hydrique. Leur impact sur la croissance et la production de la vigne sont également méconnus sous le climat continental du Québec.

Une expérience en blocs aléatoires complets a été établie (2018-2020) dont l'objectif était de comparer l'effet du désherbage mécanique à deux mélanges de graminées intercalaires (annuelles vs pérennes) sur le contrôle des adventices et leur diversité, la stabilité des agrégats du sol ainsi que la croissance et la productivité de la vigne durant la période d'implantation. L'expérience incluait aussi un témoin enherbé (adventices). Le désherbage mécanique a mieux contrôlé les adventices, et a diminué la richesse et la diversité de la flore comparativement aux couverts végétaux. La densité des adventices annuelles et vivaces n'a pas diminué sous cultures intercalaires et le recouvrement des adventices au sol surpassait les 50 % en fin de saison. Néanmoins, la biomasse aérienne des adventices est demeurée en-dessous de celle du traitement enherbé durant les deux premières années. En fin de saison, la stabilité des agrégats du sol était plus élevée sous couvert végétal comparativement au désherbage mécanique. Ni le rendement, ni la qualité des raisins n'ont été affectés par la régie de culture dans l'entre-rang.

# Abstract

Non-hardy grapevine varieties require winter protection in southern Quebec because temperature can drop to  $-35\text{ }^{\circ}\text{C}$  and cause irreversible frost damage. Winter protection is provided either by geotextiles or hilling, the latter generating intensive soil disturbance twice a year. These constraints limit the adoption of intercrops because 1) their establishment and growth are concurrent with the crop, 2) hilling destroys intercrops every fall, and 3) the use of geotextiles allows the adoption of perennial intercrops but is more expensive. Although it can control weeds and mitigate soil erosion, intercropping in Quebec vineyards is limited. Moreover, grapevine response to intercropping is poorly documented under Quebec's continental climate. A randomized complete block design experiment was conducted (2018-2020) to compare mechanical weeding to two grass mixture intercrops (annual vs perennial), during vineyard establishment. Variables tested included weed control and diversity, soil aggregate stability, vine growth, and grape yield. A weedy control was also included. Cultivation was more efficient at controlling weeds than both intercrops but decreased plant species richness and diversity in comparison to other treatments. Weed density did not decrease over time and weed cover was relatively high ( $> 50\%$  at the end of the growing season) under intercrops. Nevertheless, weed shoot biomass was lower under intercrops than in the weedy control during the first two years. Cultivation was also detrimental to soil structure, it showed lower aggregate stability compared to vegetated treatments by the end of the season. None of the interrow management methods had an impact on vine yield fruit quality.

# Table des matières

Résumé.....	ii
Abstract.....	iii
Table des matières.....	iv
Liste des tableaux.....	vi
Liste des figures.....	vii
Liste des abréviations, sigles et acronymes.....	viii
Remerciements.....	ix
Avant-propos.....	x
Introduction.....	1
Chapitre 1 : Revue de littérature.....	3
1.1 Historique de la production et portrait de l'industrie viticole québécoise.....	3
1.2 Origine et rusticité des cépages viticoles cultivés au Québec.....	4
1.3 Cycle de production de la vigne au Québec.....	6
1.4 Protection des vignes contre le gel.....	7
1.5 Gestion des adventices au vignoble et impacts sur la diversité des populations végétales.....	8
1.5.1 Objectifs et généralités.....	8
1.5.2 Description des quatre principales méthodes de lutte.....	9
1.5.3 Comparaison de la qualité du désherbage entre les différentes méthodes de lutte.....	11
1.5.3.1 Cultures intercalaires versus travail du sol ou usage d'herbicides.....	11
1.5.3.2 Cultures intercalaires versus paillis organiques.....	14
1.5.3.3 Travail du sol versus usage d'herbicides.....	14
1.5.4 Impact des régies de désherbage sur la richesse et diversité des populations d'adventices.....	15
1.5.5 Impact des régies de désherbage sur la productivité et qualité de la récolte.....	16
1.6 Problématique de l'érosion hydrique dans les vignobles.....	19
1.6.1 Définition des concepts d'érosion hydrique et d'érodabilité des sols agricoles.....	19
1.6.2 État de la problématique de l'érosion des sols en viticulture.....	20
1.6.3 Réduction des pertes de sol et d'eau de ruissellement sous cultures intercalaires.....	21
1.6.4 Amélioration de la stabilité des agrégats sous cultures intercalaires.....	23
Chapitre 2 : Objectifs et hypothèses.....	25
Chapitre 3 : Effets de l'adoption de cultures intercalaires sur la répression des adventices et la stabilité des agrégats du sol durant la période d'établissement de la vigne semi-rustique au Québec.....	26
Résumé.....	26

Abstract .....	27
3.1 Introduction.....	28
3.2 Material and methods.....	29
3.2.1 Site characteristics.....	29
3.2.2 Experimental design.....	30
3.2.3 Weed and intercrop sampling.....	31
3.2.4 Soil sampling.....	32
3.2.5 Vine growth, yield, and fruit quality .....	33
3.2.6 Statistical analysis .....	33
3.3 Results .....	34
3.3.1 Weed and intercrop density.....	34
3.3.2 Weed and intercrop cover .....	35
3.3.3 Weed and intercrop shoot and root biomass .....	35
3.3.4 Soil properties .....	36
3.3.5 Vine growth, yield, and fruit quality .....	37
3.4 Discussion .....	37
3.4.1 Weed control and weed community composition.....	37
3.4.2 Soil conservation.....	39
3.4.3 Vine growth, yield, and fruit quality .....	40
3.5 Conclusion.....	41
3.6 Acknowledgements .....	42
3.7 References .....	43
3.8 Tables .....	48
3.9 Figures.....	54
3.10 Supplementary files.....	58
3.10.1 Supplementary tables .....	58
3.10.2 Supplementary figures.....	59
Conclusion.....	62
Bibliographie.....	64

# Liste des tableaux

<b>Table 3-1.</b> Main field operations in various weed management method treatments throughout the experiment.....	48
<b>Table 3-2.</b> Vegetation, intercrop, and weed shoot biomass at the end of the growing season. ....	49
<b>Table 3-3.</b> Weed species richness, diversity, and relative abundance of the most frequent weed species. ....	50
<b>Table 3-4.</b> Mean weight diameter and particle size distribution of water stable aggregates. ....	51
<b>Table 3-5.</b> Vine growth at the end of the season. ....	52
<b>Table 3-6.</b> Vine yield and fruit quality at harvest in September 2020.....	53
<b>Table S-1.</b> Sampling events and dates throughout the experiment.....	48

# Liste des figures

**Fig. 1-1.** Distribution des vignobles entre les différentes régions administratives québécoises en 2017. Adapté de Keable (2019)..... 4

**Fig. 1-2.** Arbre phylogénétique de la vigne cultivée. Adapté de Reynier (2003). ..... 5

**Fig. 3-1.** Winter protection: Hilling (top) and geotextile fabric (bottom)..... 54

**Fig. 3-2.** Mean weed density at intercrop emergence in early June throughout the experiment. Columns with different letters are significantly different between treatments within year based on Tukey’s honest significant difference ( $\alpha = 0.05$ ). Error bars indicate + standard error. .... 55

**Fig. 3-3.** Mean intercrop and weed cover in the (a) Weedy Control, (b) Annual Intercrop, and (c) Perennial Intercrop treatments before mowing through the experiment. Treatment data were grouped by month within year. Columns with different letters (lowercase letters for weeds and capital letters for intercrop) are significantly different between months within year based on Tukey’s honest significant difference ( $\alpha = 0.05$ ). Error bars indicate + standard error..... 56

**Fig. 3-4.** Mean root biomass (ash-free) at 0-15 and 15-30 cm soil depth in weed management method before hilling. Columns with different lowercase letters are significantly different between treatments at 0-15 cm and columns with different capital letters are significantly different between treatments at 15-30 cm based on Tukey’s honest significant difference ( $\alpha = 0.05$ ). Error bars indicate + standard error. .... 57

**Fig. S-1.** Monthly mean air temperature (dots) and monthly mean cumulative precipitation (columns) throughout the experiment (2018-2020) and the 26-year normal (1994-2020) from Environment and Climate Change Canada (2020). ..... 60

**Fig. S-2.** Experimental design (randomized complete block design). ..... 61

**Fig. S-3.** Soil water gravimetric content in row (a, b) and in the interrow (c, d) at 15-30 (a, c), and 45-60 (b, d) cm soil depth. Dots with different letters are significantly different between months within panel based on Tukey’s honest significant difference ( $\alpha = 0.05$ ). Error bars indicate  $\pm$  standard error. .... 61

## Liste des abréviations, sigles et acronymes

CENJA	Centaurée jacée ( <i>Centaurea jacea</i> L.)
CVQ	Conseil des vins du Québec
DIGIS	Digitaire astringente ( <i>Digitaria ischaemum</i> [Schreb.] Muhl.)
EPPO	European and Mediterranean Plant Protection Organization
$H'$	Indice de Shannon
MWD	Diamètre moyen pondéré
$n$	Taille d'échantillon
PANCA	Panic capillaire ( <i>Panicum capillare</i> L.)
PLALA	Plantain lancéolé ( <i>Plantago lanceolata</i> L.),
POLAV	Renouée des oiseaux ( <i>Polygonum aviculare</i> L.)
POM	Matière organique particulaire
$S$	Richesse spécifique
SCA	Société canadienne d'agronomie
SCM	Société canadienne de malherbologie
SCP	Société canadienne de phytopathologie
SCSH	Société canadienne des spécialistes en horticulture
SERVO	Séance d'échange sur la recherche en viticulture et œnologie
TRFG	Trèfles ( <i>Trifolium spp.</i> L.)
UN@AR(1)	Direct product AR(1)
VC	Composante de la variance

# Remerciements

Derrière chaque projet de recherche se cache en réalité une foule de personnes qui contribuent chacune à leur manière à la réussite des travaux entrepris et ma maîtrise n'y fait pas exception. De près ou de loin, tous ceux que j'ai côtoyés ont été très généreux de leur temps et de leur expertise et m'ont appris énormément de choses. J'ai été très touchée par leur souci du travail bien fait et l'entraide dont ils ont fait part. J'aimerais avant tout remercier du fond du cœur mes directrices de recherche Caroline Halde et Marie-Josée Simard de m'avoir fait confiance pour ce mandat et de m'avoir si bien conseillée et accompagnée tout au long des deux ans passés ensemble. Vous avez été d'excellentes mentores, disponibles et à l'écoute.

Au Centre de recherche et développement d'Agriculture et Agroalimentaire Canada à Saint-Jean-sur-Richelieu, je remercie spécialement Odile Carisse, sans qui ce projet n'aurait jamais vu le jour. Je remercie également chaleureusement Sylvain Fortin, Lydia Maheux, Andréanne Fiola, Florence Lemaire et Audrée Guérin. Vous m'avez été d'une aide précieuse, votre travail était impeccable et votre bonne humeur rendait les journées de travail agréables et les tâches ardues et ennuyantes plus endurables. À la ferme expérimentale de Frelighsburg, j'aimerais remercier Steve Caron, Éric Courchesne, Samuel Pelletier, Alexandre Therrien, Caroline Prud'homme et Annie Lefebvre pour toutes les longues heures dédiées à l'entretien de mes parcelles expérimentales et tout ce qu'ils m'ont appris sur la culture de la vigne. Enfin, merci à Gaston Mercier et Luc Marchand pour l'aide qu'ils m'ont apportée pour le traitement des échantillons de sol et d'avoir accepté que je dévalise leurs cabinets de matériel trop fréquemment.

À Québec, je tiens à remercier Denis Angers, Gabriel Lévesque, Marie-Noëlle Thivierge et Chantal Lachance du Centre de recherche et développement d'Agriculture et Agroalimentaire Canada de Québec, qui m'ont initiée respectivement à l'évaluation de la stabilité des agrégats et à l'étude de la biomasse racinaire dans les productions végétales.

À l'Université Laval, merci à Laurence Desbois-Bédard pour son aide avec les analyses statistiques. Je salue également mes collègues et amies du *Laboratoire d'agroécologie de l'Université Laval* et remercie particulièrement Julie Forest-Drolet et Stéphanie Lavergne. Merci de m'avoir épaulée et soutenue moralement à plusieurs reprises. Ça a été très bénéfique pour moi d'échanger avec vous sur la rédaction et la réalité d'étudiante à la maîtrise.

# Avant-propos

Le présent mémoire est divisé en cinq sections principales : introduction, revue de littérature, objectifs et hypothèses, présentation et analyse des résultats sous forme d'article scientifique et conclusion. L'introduction est une brève présentation des enjeux actuels de l'industrie viticole québécoise et de la pertinence du projet. Le chapitre 1 correspond à la revue de littérature qui est divisée en trois sous-sections qui portent respectivement sur : 1) le portrait de la production de vin au Québec et ses particularités climatiques, 2) une description et comparaison entre les méthodes de désherbage principales dans les vignobles, et 3) l'utilisation des cultures intercalaires comme stratégie préventive de l'érosion hydrique dans les vignobles. Le chapitre 2 présente les objectifs et hypothèses du projet de recherche. Le chapitre 3 est consacré au projet de recherche et est rédigé en anglais sous forme d'article scientifique dans le but d'une éventuelle publication dans une revue révisée par les pairs. L'étudiante est l'auteure principale et a été impliquée dans l'élaboration des protocoles, l'entretien des parcelles, la collecte de données, le traitement des échantillons, l'analyse des données et la rédaction. Les Dres Marie-Josée Simard, Caroline Halde et Odile Carisse sont co-auteurs. Enfin, la conclusion du mémoire reprend les principaux résultats de l'expérimentation et les messages clés à en tirer.

Cette recherche a été financée par Agriculture et Agroalimentaire Canada dans le cadre du projet : Influence des pratiques culturales et des changements climatiques sur la production de raisin (vigne) en conditions nordiques (J-001792). Les résultats ont déjà été présentés lors du 73<sup>e</sup> congrès annuel de la société canadienne de malherbologie (SCM) en novembre 2020 : « *Can cover crops control weeds and mitigate soil water erosion during the establishment of grapevine (Vitis vinifera L.) in southern Quebec?* », lors de la 5<sup>e</sup> édition des journées Séance d'échange sur la recherche en viticulture et œnologie (SERVO) en avril 2020 : « *Comparaison des régies de culture dans l'entre-rang pour la répression des adventices et la prévention de l'érosion hydrique dans la vigne (Vitis sp.) semi-rustique en implantation au Québec* » et au congrès conjoint des sociétés canadiennes de phytopathologie (SCP), d'horticulture (SCSH) et d'agronomie (SCA) : « *Grass cover crops during vineyard establishment in southern Quebec: Their effects on weed control and soil aggregate stability to water* » le 9 juillet 2021.

# Introduction

L'histoire de l'industrie viticole québécoise telle qu'on la connaît aujourd'hui remonte au début des années 1980, quand des pionniers se sont lancés dans la culture de la vigne (*Vitis vinifera* L.) dans la région de l'Estrie et ce, malgré des défis législatifs et climatiques. Premièrement, la réglementation à l'époque rendait très difficile la commercialisation des produits et limitait conséquemment l'expansion de la filière. Cependant, les efforts consacrés à faire la promotion des vins québécois au fil du temps via l'œnotourisme ainsi que le développement d'une mise en marché et la création d'appellations reconnues ont permis de générer un vif engouement pour ces produits dans la dernière décennie (Huard 2019). À ce jour, l'industrie viticole québécoise est effectivement en pleine croissance. Par exemple, le nombre de bouteilles produites dans la province avait doublé entre 2012 et 2017 (Keable 2019).

Le deuxième défi de taille auquel faisaient face les vigneronns était le fait que les cépages européens populaires sur le marché mondial se sont avérés peu résistants aux températures hivernales québécoises. Ceci représentait un enjeu majeur, puisque la vigne est une plante pérenne dont la durée d'exploitation s'étale sur dix à quinze ans (Reynier 2003). Néanmoins, l'hybridation de *V. vinifera* avec des espèces indigènes plus rustiques a permis d'améliorer la survie à l'hiver des plants de façon à assurer un volume de production annuel à long terme qui soit rentable. Ceci a mené à la création de cépages typiques d'ici tels que Maréchal Foch, Marquette, Vidal, Seyval, etc. (Provost et Barriault 2019). Cependant, il demeure qu'une majorité des cépages requièrent une protection hivernale annuelle s'ils sont dits semi ou non rustiques. Au Québec, deux méthodes de protection prévalent, soit le buttage qui consiste à renchausser les ceps lors d'un travail du sol en profondeur dans l'entre-rang et l'installation de toiles en géotextiles (**Fig. 3-1**). Les vignes sont ensuite découvertes au printemps suivant lorsque le risque de gel tardif est passé (Dami et al. 2005).

Le contexte québécois est donc unique et diffère de la réalité des autres régions viticoles situées pour la plupart en climat méditerranéen. À ces endroits, le maintien d'un couvert végétal au sol entre les rangs de vigne, ou culture intercalaire, est une pratique ayant pour objectif principal d'atténuer l'érosion hydrique qui cause l'amincissement de la couche arable du sol, alors qu'il s'agit d'un milieu de croissance très fertile (Monteiro et al. 2008). Ces pertes de sol se font en effet au détriment du bon établissement de la vigne et compromettent donc le rendement et la durabilité de l'exploitation. Il s'agit d'une alternative aux méthodes les plus courantes de désherbage au vignoble, soit l'utilisation d'herbicides ou encore le désherbage mécanique, qui sont rapides et efficaces, mais où le sol dans l'entre-rang est laissé à nu et donc plus vulnérable à la dégradation (Duran et Rodriguez

2008). Malgré plusieurs bienfaits reconnus, un obstacle à l'adoption des cultures intercalaires au vignoble, notamment en climat méditerranéen, est l'appréhension qu'elles fassent compétition à la vigne pour les ressources. Le principal enjeu est la quantité d'eau disponible, car la croissance des vignes et l'absorption des éléments minéraux deviennent limitées lorsque cette ressource se fait rare durant la saison chaude (Mercenaro et al. 2014).

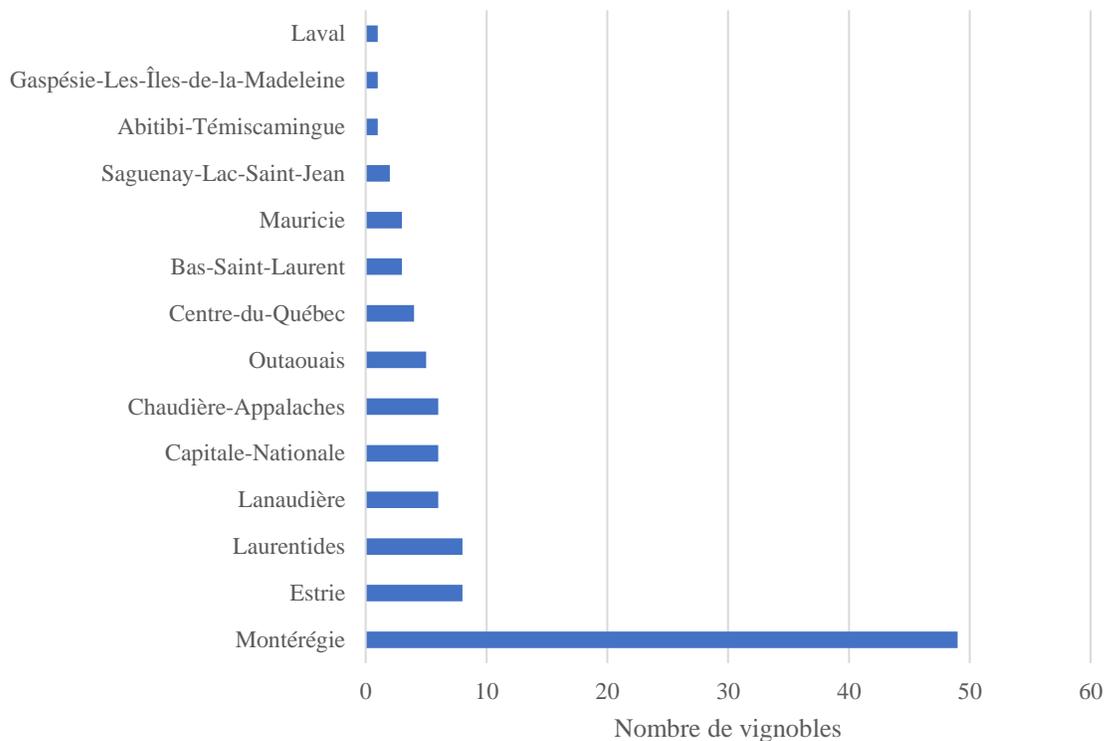
Il y a des lacunes dans la littérature scientifique en ce qui concerne l'impact des cultures intercalaires sur la qualité de la structure du sol et la croissance et la productivité de la vigne en climat continental, tel qu'au Québec et dans le Midwest américain (Devetter et al. 2015). Au Québec, par exemple, l'implantation d'une culture intercalaire est restreinte à la saison de production, car le sol est gelé en hiver. Le type de protection hivernale (avec ou sans travail du sol) contraint aussi le choix des espèces végétales qui la compose, annuelles ou pérennes. L'objectif principal du projet suivant est donc d'effectuer une comparaison entre le désherbage mécanique et la gestion sous cultures intercalaires durant la période d'implantation de la vigne dans les conditions climatiques du Québec sur l'efficacité du désherbage, la stabilité des agrégats et la croissance et la production de la vigne.

# Chapitre 1 : Revue de littérature

## 1.1 Historique de la production et portrait de l'industrie viticole québécoise

Au Québec, la vigne est cultivée pour le raisin de table ou encore pour la production de vin. Cette dernière représente une superficie cultivée de 1 023 hectares à l'échelle de la province, selon le dernier portrait statistique de la viticulture au Québec effectué en 2018 (Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation du Québec 2021). Les vins blanc et rouges représentent plus de la moitié de la production québécoise comparativement aux productions plus marginales de vins rosés et vins de spécialité (Keable 2019). De nombreux avancements tant au niveau agronomique qu'au niveau de la mise en marché ont contribué à l'essor de cette industrie depuis l'ouverture du premier vignoble commercial en 1981. L'offre était auparavant dominée par les produits européens, mais l'engouement récent pour les produits du terroir a créé une hausse de la demande dans les dernières années, faisant augmenter le nombre d'entreprises et de bouteilles produites (Hassen et Tremblay 2016). Par exemple, en 2017, le Conseil des vins du Québec (CVQ) enregistrait au total 2,3 millions de bouteilles produites par ses membres, ce qui correspond au double de la production de 2012 (Keable 2019).

Malgré cela, le Canada demeure un petit joueur de l'industrie mondiale et le Québec est la troisième province au pays quant à la superficie cultivée et le volume de production, derrière l'Ontario et la Colombie-Britannique (Agriculture and Agri-Food Canada 2018). Au Québec, les vignobles sont situés en grande majorité dans les régions administratives de la Montérégie, de l'Estrie et des Laurentides (**Fig. 1-1**), car le climat régional (minimum recommandé de 160 jours sans gel) convient à un plus large éventail de cépages. Le terme cépage désigne des populations de vigne présentant des caractéristiques similaires. Le modèle viticole québécois est effectivement unique en son genre et le climat pose un défi agronomique particulier, car les températures hivernales peuvent descendre jusqu'à -35 °C et causer des dommages irréversibles aux plants dits non ou semi-rustiques. La viabilité d'un cépage à un endroit donné est donc dépendante de la température hivernale minimale critique au débourrement pour éviter les blessures ainsi que la période d'accumulation de chaleur requise pour compléter le cycle vital de la vigne (Barriault 2012).



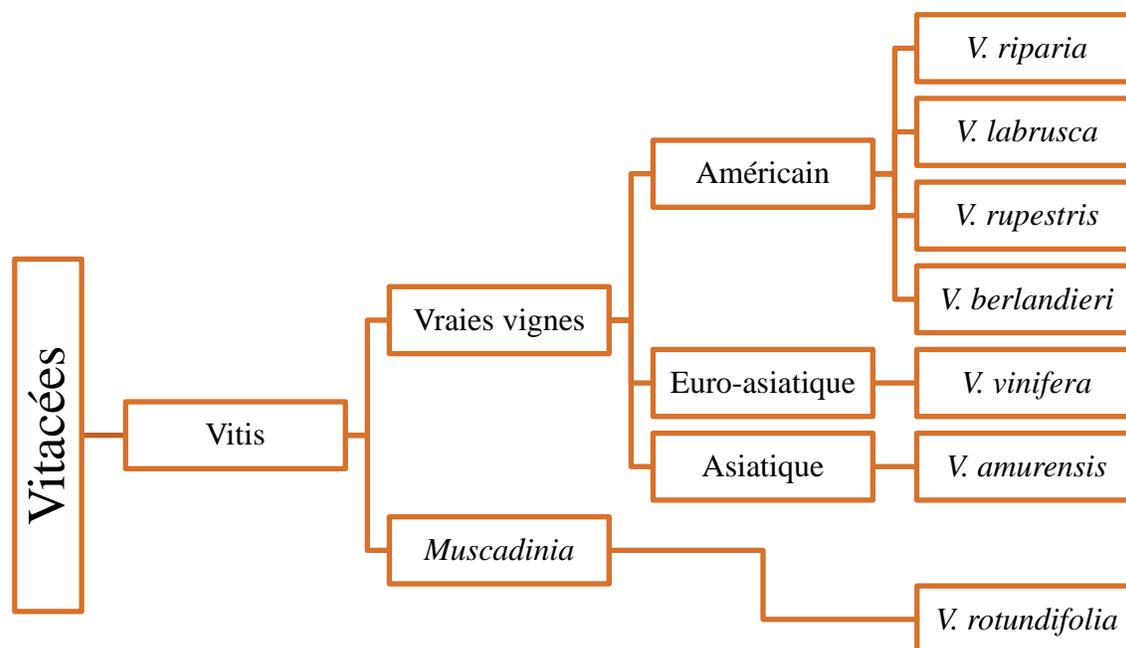
**Fig. 1-1.** Distribution des vignobles entre les différentes régions administratives québécoises en 2017. Adapté de Keable (2019).

## 1.2 Origine et rusticité des cépages viticoles cultivés au Québec

La vigne cultivée appartient à la famille des Vitacées et a l'apparence d'un arbrisseau fruitier où la canopée est portée sur le pied, ou cep. Comme il s'agit d'une espèce pérenne, les rameaux herbacés annuels croissent sur les rameaux lignifiés de l'année précédente, aussi appelés sarments, qui ont initié la différenciation des futurs bourgeons en fin de saison. Les feuilles de vigne sont quinquélobées, pétiolées, à marge dentelée et opposées l'une à l'autre le long du rameau. Les fleurs sont hermaphrodites et l'inflorescence est en forme de grappe composée dont l'allure (taille, compaction, nombre de fleurs) est variable selon les cépages. On retrouve également une autre structure, la vrille, qui confère la caractéristique de plante grimpante à la vigne (Reynier 2003).

L'arbre phylogénétique de la famille des Vitacées divise le genre *Vitis* en deux sous-groupes : les « vraies vignes » et *Muscadinia* (**Fig. 1-2**). Ce sont certaines différences comme le nombre de chromosome chez la plante, l'anatomie des nœuds, l'abondance des lenticelles et le type d'écorce qui différencient les individus des deux groupes. Historiquement, ce sont les cépages issus de la vigne d'ascendant européen (*V. vinifera* L.) qui dominent l'offre mondiale, car on retrouve

davantage de caractéristiques organoleptiques prisées pour la fermentation en alcool chez les individus de cette espèce (Jackson 2008 ; Reynier 2003).



**Fig. 1-2.** Arbre phylogénétique de la vigne cultivée. Adapté de Reynier (2003).

Au contraire, les espèces issues du tronc américain (**Fig. 1-2**) produisent des raisins ayant peu de valeur œnologique. Cependant, ils ont l'avantage d'être beaucoup plus résistants au froid que *V. vinifera* et ce trait a été exploité pour créer de nouveaux cépages par hybridation, mieux adaptés au climat québécois (Jolivet et Dubois 2000). Par exemple, Frontenac, Vandal-Cliche, Seyval et Maréchal Foch font partie de ces cépages émergents dits rustiques ou semi-rustiques, ces derniers nécessitant tout de même une protection hivernale. Le greffage de cépages européens sur des ceps américains est une autre pratique courante qui augmente la résilience des vignes (Barriault 2012). Toutefois, la tendance est plutôt à la plantation de cépages européens dans les vignobles québécois, car l'adoucissement graduel du climat lié à l'avènement du réchauffement climatique planétaire fait en sorte que les températures permettent désormais d'accumuler suffisamment de chaleur pour mener les récoltes de ces cépages à terme (Livernoche 2016). En effet, entre 1979 et 2009, la fréquence du nombre de jours de gel a diminué et les températures minimales au cours de la saison ont augmenté, ce qui fait en sorte que les degrés jours de croissance s'accumulent plus rapidement, considérant une température de base de 10° C (Jones 2012).

### 1.3 Cycle de production de la vigne au Québec

Puisque la vigne est une culture fruitière pérenne, la norme est de respecter une période d'implantation pour favoriser un bon développement racinaire des plants de manière à soutenir la productivité à long terme. Le plan de démarrage d'un vignoble tel que recommandé par Barriault (2012) prévoit une année pour la préparation du terrain précédant la plantation et ensuite trois saisons d'implantation avant la première récolte commerciale.

L'année précédant la plantation (an zéro) est consacrée à la correction des défauts de terrain car il est plus difficile de rectifier ceux-ci en effectuant des travaux majeurs une fois le vignoble établi sans compromettre la production. C'est aussi l'occasion de réprimer les adventices vivaces qui sont compétitives et qui ont des structures souterraines leur permettant de se régénérer, ce qui constitue un problème récurrent. À l'an un, une étape majeure est l'application de la fumure de fond (amendements organiques et inorganiques) sur toute la surface du vignoble avant la plantation. Il s'agit d'un mélange qui constituera une réserve dans le sol disponible aux plantes pour les années subséquentes. Par la suite, il s'agit d'entretenir la nouvelle plantation de façon à optimiser les conditions de croissance pour maximiser le rendement potentiel et assurer une formation adéquate des ceps grâce au palissage, ou tuteurage, et à la taille (Barriault 2012).

La taille est esthétique et permet de contrôler la croissance des plants en leur imposant une charpente, ou structure, qui convient davantage à la physiologie du cépage. Un autre objectif de la taille est d'assurer la pérennité de la production par l'atteinte d'un équilibre entre les cycles végétatif et reproductif. Ceci permet d'éviter que la croissance annuelle des rameaux et du feuillage ne devienne dominante par rapport à la production de bourgeons floraux. En effet, il y a une tendance chez la vigne à l'acrotonie, soit l'élongation de la cime par la dominance des bourgeons terminaux sur les sarments, et la taille permet de limiter ce phénomène et rediriger le métabolisme vers la production de raisins. Il existe plusieurs conduites de taille et le choix se fait selon la vigueur, la rusticité des cépages et la densité de la plantation (Villa 2005).

Au niveau physiologique, le cycle végétatif débute annuellement avec la levée de la dormance des plants au printemps et l'énergie requise pour le débourrement provient des réserves accumulées à l'automne précédent jusqu'à la reprise complète de l'activité du système racinaire. L'élongation des rameaux herbacés se poursuit alors que s'amorce le cycle reproductif. Les inflorescences formées au cours de l'été amorcent leur transformation phénologique en raisins lors d'une période appelée nouaison. L'arrêt de la croissance végétative correspond au début de la

véraison qui est marquée par le grossissement et le changement de couleur des raisins qui se gorgent de sucre. Au moment de la récolte, le processus d'aoûtement qui correspond à la lignification des rameaux de l'année pour les protéger du froid est déjà amorcé et le cycle redémarre (Reynier 2003).

## **1.4 Protection des vignes contre le gel**

Le gel peut entraîner des conséquences irréversibles sur les vignes lorsque les températures dépassent le seuil de tolérance des cépages, car des cristaux de glace se forment à partir de l'eau circulant dans le système vasculaire de la plante, asséchant dangereusement les tissus (Fennell 2004). On distingue trois périodes distinctes où le risque est élevé : le gel hivernal, le gel automnal hâtif et le gel printanier tardif (Provost et Barriault 2019). Le degré de dommages causés varie selon l'intensité du froid et l'état physiologique de la vigne (Reynier 2003). Le gel printanier est généré par l'arrivée d'une masse d'air froid ou encore lorsque les pertes de chaleur par rayonnement au cours de la nuit deviennent trop importantes. Le danger est relié à la mort des bourgeons primaires, à partir desquels est initiée la croissance des rameaux de l'année. Bien que la croissance végétative puisse reprendre à partir des bourgeons secondaires, celle-ci est retardée par rapport aux bourgeons primaires et les grappes se forment et mûrissent plus tard en comparaison, ce qui peut affecter le rendement selon les conditions climatiques annuelles (Reynier 2003). L'irrigation par aspersion et le chauffage ou brassage de l'air comptent parmi les méthodes fréquemment employées pour restituer de l'énergie dans le système et réchauffer les vignes (Barriault 2017 ; Girard 2003). D'un autre côté, la gravité des dégâts associés au gel d'automne dépend du moment où celui-ci survient par rapport à l'avancement du processus d'aoûtement. En effet, la lignification des rameaux peut être compromise si les températures atteignent les  $-2^{\circ}\text{C}$  avant la sénescence des feuilles, ce qui limite l'accumulation des photosynthétats dans les organes de réserve qui constituent la source principale d'énergie de la vigne lors du débourrement. Si les raisins n'ont pas encore atteint la maturité lors de vendanges tardives, le froid (température en dessous des  $-2^{\circ}\text{C}$ ) peut également altérer les saveurs du produit fini après la vinification ou causer la déshydratation des raisins. Toutefois, un tel refroidissement peut être bénéfique et recherché si le raisin est mature, car cela permet d'augmenter la teneur en sucre des raisins pour la fabrication de vin liquoreux (Barriault et Bergeron 2018 ; Crespy 1987).

En résumé, le gel pose un risque sérieux à la pérennité de la production, car la reprise de la croissance des vignes au printemps est affectée alors qu'il s'agit d'une étape déterminante pour le nombre d'inflorescences et donc de grappes produites en saison. Les vignerons québécois ont donc opté pour une méthode de protection physique directe où les plants sont recouverts le plus souvent sous de la terre râclée dans l'entre-rang : le buttage. L'alternative consiste à installer une toile de

géotextile au-dessus des vignes sur la pleine longueur du rang. Cette méthode, dite bâchée, est aussi efficace et gagne donc en popularité depuis quelques années. Au printemps suivant, on effectue le travail inverse en défaisant les buttes ou encore en retirant les bâches. Les deux méthodes ont des avantages et des inconvénients : le buttage est moins coûteux et plus rapide, offrant ainsi une plus grande flexibilité dans l'adaptation aux variations climatiques que les géotextiles (Provost et Barriault 2019). Cependant, l'installation de ces derniers est moins dommageable pour la structure du sol qui est autrement fortement perturbée par le passage de la machinerie pour la formation des buttes et diminue également le risque de blessures aux pieds de vignes (Jiang et al. 2016). Peu de travaux de recherche ont été effectués sur le sujet dans les conditions hivernales dans l'Est du Canada. Néanmoins, les quelques groupes de chercheurs ayant récemment comparé les méthodes de protection butteées versus bâchées au Québec concluent que la réponse des cépages à la protection hivernale est variable et qu'il y a des effets inhérents au site et de la conduite (Khanizadeh et al. 2005).

## **1.5 Gestion des adventices au vignoble et impacts sur la diversité des populations végétales**

### **1.5.1 Objectifs et généralités**

Le désherbage est un aspect important de l'entretien des cultures végétales, car les adventices posent des risques divers à la productivité et la qualité de la récolte. Non seulement elles entrent en compétition avec la culture pour les différentes ressources, mais elles peuvent aussi être un hôte potentiel de ravageurs et de pathogènes ou encore compliquer les opérations culturales (Granatstein et Mullinix 2008 ; Smith et al. 2008 ; Dami et al. 2005). Le désherbage est primordial lors du démarrage de plantations fruitières pérennes, car tel que mentionné précédemment il s'agit d'une période déterminante pour le rendement potentiel dans le futur. Dans ce type d'exploitation, les interventions sont concentrées dans deux zones distinctes dont les objectifs sont différents. Une bande d'une largeur d'environ un mètre de part et d'autre de la ligne de plantation délimite le rang, tandis que la largeur de l'entre-rang varie normalement entre deux et quatre mètres (Hammermeister 2016). Le désherbage sur le rang est essentiel pour limiter la compétition interspécifique et faciliter les autres opérations d'entretien. Le désherbage dans l'entre-rang est complémentaire et vise donc à réduire l'ampleur de la tâche sur le rang en évitant la dissémination des graines d'adventices dans le vignoble qui pourraient faire compétition à la vigne, surtout pour l'eau et l'azote (Fredrikson et al. 2011). Ainsi, la gestion des adventices dans les vignobles se fait dans deux zones distinctes.

Les techniques de désherbage peuvent être classées en méthodes de lutte chimiques, mécaniques, biologiques et culturales et plusieurs options existent à l'intérieur de chaque groupe. Les

quatre principales méthodes de lutte en viticulture sont les herbicides de synthèse, le travail du sol, les cultures de couverture ou paillis vivants et les paillis organiques et synthétiques. Les vignerons ont normalement recours à plus d'une méthode, une sur le rang et une autre dans l'entre-rang, quoique plusieurs méthodes peuvent aussi être combinées. La régie de désherbage est déterminée selon plusieurs facteurs : ressources disponibles, coûts, priorisation de tâches, types d'adventices, âge de la culture, compétition interspécifique, etc. (Hammermeister 2016). Néanmoins, l'exemple le plus répandu consiste à utiliser des herbicides sur le rang combinés à un travail du sol dans l'entre-rang (Ferrara et al. 2015 ; Ruiz-Colmenero et al. 2011 ; Monteiro et al. 2008 ; Steinmaus et al. 2008).

### **1.5.2 Description des quatre principales méthodes de lutte**

La lutte chimique est la méthode privilégiée par une majorité de vignerons pour sa simplicité, son efficacité et sa rapidité d'exécution (Guerra et Steenwerth 2012). Cependant, leur acceptabilité sociale s'effrite et on dénonce les risques que les herbicides posent pour l'environnement et la santé publique. En effet, les matières actives de certains produits peuvent avoir des effets nocifs sur les différents organismes vivants et certaines de ces molécules peuvent persister longtemps dans le sol, devenant alors susceptibles au lessivage et à la lixiviation vers les cours d'eau (Fourie 2010 ; Baumgartner et al. 2007). C'est le cas entre autres du diuron et de la simazine, deux molécules actives qui sont à la base d'herbicides commerciaux autorisés en viticulture au Québec (Turcotte et al. 2010). Une autre problématique qui prend de l'ampleur depuis les dernières années est le développement de la résistance des adventices aux herbicides. Des cas de résistance ont été rapportés dans des vignobles ontariens où l'on retrouve de la vergerette du Canada (*Conyza canadensis* [L.] Cronquist) résistante au glyphosate depuis 2019 (Simard et al. 2019). Aucun cas de résistance n'a été rapporté dans des vignobles au Québec depuis la mise en place du service de détection de la résistance en 2011, quoique les échantillons proviennent majoritairement de fermes en grandes cultures et que ces tests soient effectués sur une base volontaire des agriculteurs (Flores-Mejia et al. 2018). À court terme, les acteurs du milieu craignent que de plus en plus d'espèces d'adventices développent une résistance au glyphosate, car c'est un ingrédient actif dont l'utilisation est très répandue dans les vignobles établis depuis trois ans et plus. Seuls quelques produits sont homologués au Canada pour une application en pré ou en post-émergence des adventices dans les vignobles québécois et ontariens en implantation tels que le Frontier Max ® et le Devrinol 2-XT ®. La gamme d'herbicides commerciaux disponibles s'élargit par la suite lorsque les vignobles atteignent trois ans d'âge et que le risque de toxicité diminue (Obeid 2019).

Pour ce qui est de la lutte mécanique, le perfectionnement de la machinerie pour couper, déraciner ou enfouir les adventices accélère le processus comparé au désherbage à la main, mais augmente toutefois le risque de blessures aux cepes qui peuvent devenir une porte d'entrée pour les pathogènes. La norme dans l'entre-rang est de passer la machinerie à quelques reprises durant l'année : habituellement une fois à l'automne, de nouveau au printemps et au besoin durant l'été dans les régions viticoles sous climat méditerranéen, où l'émergence des adventices n'est pas limitée par le gel (Baumgartner et al. 2007). L'utilisation d'herbicides de synthèse est donc souvent privilégiée sur le rang, mais le travail du sol demeure très répandu lorsque leur utilisation est proscrite, par exemple sous régie biologique (Olmstead et al. 2012).

Une autre méthode de lutte aux adventices relativement populaire consiste à induire une compétition pour la lumière en couvrant la surface du sol pour créer une barrière physique. Cette dernière intercepte la lumière et influence le ratio de lumière rouge/infrarouge auquel les semences photosensibles de la banque de graines d'adventices dans le sol (dont en majorité des adventices communes) sont exposées (Garcia et al. 2018 ; Chauhan et al. 2006). Ce mécanisme se situe chez les plantes au niveau du phytochrome, un pigment photorécepteur qui induit ou inhibe la photo-réponse de la germination selon la longueur d'onde perçue (rouge vs rouge lointain) (Kendrick 1976). Il existe plusieurs déclinaisons de cette méthode, connue généralement sous le nom de paillis ou *mulching* en anglais. L'expression « culture de couverture » englobe plusieurs variantes de couverts végétaux dit vivants qui sont implantés subséquentement ou simultanément avec la culture principale (Devetter et al. 2015). Celles dont l'établissement se limite à l'entre-rang sont plutôt appelées cultures intercalaires. Cette revue de littérature porte spécifiquement sur l'implantation des cultures intercalaires au vignoble.

Les cultures intercalaires sont caractérisées par les espèces végétales qui les composent et qui influencent par la suite le type de gestion (Guerra et Steenwerth 2012). Par exemple, il peut s'agir d'espèces émergeant directement de la banque de semences du sol ou encore d'espèces herbacées ensemencées choisies pour remplir une fonction précise. Ces dernières appartiennent normalement aux familles des légumineuses et des graminées pour leurs effets positifs respectifs sur la fertilisation et la conservation des sols (Gómez 2017). En effet, les légumineuses ont la capacité de fixer l'azote atmosphérique et leur dégradation par les organismes dans le sol est plus rapide. D'un autre côté, les graminées ont un système racinaire fasciculé dont les multiples ramifications ont un effet bénéfique sur la structure du sol (McGourty et Reganold 2005). Certaines espèces sont aussi reconnues pour avoir des effets allélopathiques comme le seigle (*Secale cereale* L.) et le trèfle souterrain (*Trifolium subterraneum* L.) (Ranaivoson et al. 2017 ; Fredrikson et al. 2011 ; Steinmaus et al. 2008). La norme

dans les vignobles en climat méditerranéen est d'implanter une culture intercalaire annuellement à l'automne pour faire compétitionner les adventices durant la période de dormance des vignes puis de la détruire en début de saison avec une application d'herbicide ou un travail du sol (Olmstead 2006 ; Dami et al. 2005). Les résidus peuvent être incorporés ou encore laissés au sol, ou être exportés sur le rang et agissent alors comme paillis organiques, empêchant l'établissement des adventices plus tard en saison (Fredrikson et al. 2011). D'un autre côté, des espèces pérennes capables d'auto-ensemencement peuvent également être utilisées comme cultures intercalaires tel que l'ivraie vivace (*Lolium perenne* L.) ou encore le trèfle rouge (*Trifolium pratense* L.). Dans ce cas, il y a absence de travail du sol et on parle alors de « cultures intercalaires permanentes ». L'entretien des cultures intercalaires permanentes se fait normalement par la tonte sur toute la durée de vie du couvert, afin d'éviter la montée en graine et la propagation des semences sur le rang (Guerra et Steenwerth 2012).

Comme alternative aux cultures intercalaires, d'autres matériaux comme des résidus organiques ou des matières synthétiques peuvent aussi être utilisés dans l'entre-rang et sont appliqués directement au sol (Ferrara et al. 2015). Par exemple, la paille, les copeaux de bois, les résidus de papeterie ou encore le plastique font partie des matériaux fréquemment utilisés (Derr et Tech 2008 ; Granatstein et Mullinix 2008). Lorsqu'il s'agit de résidus organiques, la quantité appliquée doit permettre d'obtenir un couvert uniforme et suffisant et la qualité du matériel doit aussi être prise en compte pour éviter qu'il ne se dégrade trop rapidement. Les paillis organiques sont souvent préférés aux paillis de plastique, car c'est une option généralement moins coûteuse et ils se dégradent naturellement donc ne génèrent pas d'autres déchets (Hammermeister 2016). Ils sont aussi reconnus pour conserver davantage l'humidité dans le sol en faisant une barrière à l'évaporation et pour abaisser la température du sol (Fredrikson et al. 2011 ; Van Huyssteen et al. 1984).

### **1.5.3 Comparaison de la qualité du désherbage entre les différentes méthodes de lutte**

#### **1.5.3.1 Cultures intercalaires versus travail du sol ou usage d'herbicides**

Le climat dans la majorité des régions viticoles permet l'établissement d'adventices à la fois en saison et hors saison, lorsque la vigne est en dormance. Les cultures intercalaires doivent alors compétitionner efficacement les adventices au cours de ces deux périodes pour se mesurer aux herbicides et au travail du sol. Lorsqu'il s'agit de cultures intercalaires semi-permanentes, le succès repose d'une part sur le bon établissement du couvert en hiver et d'autre part sur la production de biomasse aérienne suffisante. Une fois le couvert détruit, le paillis organique formé par les résidus laissés au sol doit perdurer tout le reste de la saison (Fourie et al. 2006). Dans le cas d'une culture

intercalaire permanente, le ré-établissement naturel des espèces annuellement doit maintenir la même qualité de couverture au sol dans le temps.

Il y a donc un besoin en recherche sur la sélection de meilleures espèces végétales à ensemercer en intercalaire dans une région donnée, car une espèce mésadaptée ne remplira pas ces deux conditions et la couverture au sol sera insuffisante pour atteindre l'effet de désherbage escompté. Par exemple, Olmstead et al. (2012) ont démontré que le pois autrichien (*Pisum sativum* ssp. *sativum* var. *arvense* L.) n'était pas un choix de culture intercalaire semi-permanente adéquat pour les vignobles du Nord-Ouest américain. En effet, cette espèce annuelle a eu de la difficulté à s'implanter dans l'entre-rang dans les parcelles seule ou en mélange avec le blé commun (*Triticum aestivum* L.) durant toute la durée de l'expérience et ne persiste pas suffisamment longtemps en saison. Ces défauts ont permis au trèfle blanc (*Trifolium repens* L.) et à l'ivraie multiflore (*Lolium multiflorum* Lam.) qui sont particulièrement compétitifs, d'envahir complètement les parcelles lors de la deuxième année de l'expérience.

Les études dans lesquelles la qualité du désherbage est évaluée au printemps rapportent peu de différences entre les cultures intercalaires semi-permanentes et permanentes et le travail du sol ou encore l'usage d'herbicides quant à la biomasse sèche d'adventices d'hiver récoltée dans l'entre-rang (Fredrikson et al. 2011 ; Baumgartner et al. 2008 ; Monteiro et al. 2008). Malgré le fait que l'établissement du couvert est généralement reconnu pour être plus rapide et uniforme lorsqu'il s'agit d'espèces ensencées versus issues de la banque de semences du sol (adventices), Monteiro et al. (2008) n'ont observé aucune distinction entre ces deux types de couvert sur le plan de la répression des adventices d'hiver. Ceci est à prendre en considération, car les cultures intercalaires d'espèces de la banque de semences sont plus économiques puisqu'on épargne sur le prix des semences, alors que les couverts ensencés doivent être renouvelés régulièrement s'il s'agit d'espèces annuelles (Olmstead 2006). Baumgartner et al. (2008) soulèvent plutôt l'apport du travail du sol quant à la qualité du désherbage sous cultures intercalaires. La biomasse produite par les cultures intercalaires est souvent associée à leur compétitivité (MacLaren et al. 2019 ; Finney et al. 2016 ; Bàrberi et Mazzoncini 2001). Pourtant, Baumgartner et al. (2008) ont observé que le désherbage était plus efficace lorsque la gestion de la culture intercalaire annuelle intégrait un travail du sol en saison, malgré une production de biomasse inférieure à sa contrepartie sans travail du sol. Les auteurs concluent donc que l'effet du travail du sol dans ce cas a été plus significatif que la compétitivité de la culture intercalaire annuelle pour la suppression des adventices d'hiver.

En réalité, la majorité des travaux de recherche comparatifs porte sur le désherbage des adventices d'été, c'est-à-dire celles qu'on retrouve en saison i.e. durant la saison de croissance de la vigne. Dans le cas des cultures intercalaires semi-permanentes, des valeurs de références quant aux caractéristiques du paillis organique issu des résidus de culture à la suite de la destruction des couverts intercalaires ont été proposées par Teasdale et Mohler (1993). En effet, celui-ci devrait avoir une épaisseur d'au minimum de 10 cm et équivaloir à un taux d'application d'environ 600 g·m<sup>-2</sup> (base humide). Les résultats observés par Van Huyssteen et al. (1984) qui ont effectué une étude comparant la gestion de cultures intercalaires semi-permanentes de vesce cultivée (*Vicia sativa* L. subsp. *sativa*) et d'ivraie multiflore en Afrique du Sud, confirment cette règle. Leur conclusion est que la biomasse de 310 g·m<sup>-2</sup> produite en hiver par la vesce commune était insuffisante pour réduire significativement la densité des adventices à l'automne, alors que celle-ci était réduite sous le paillis d'ivraie multiflore appliqué à un taux de 517 g·m<sup>-2</sup>. D'autres tests ont également démontré que l'augmentation du taux d'application des résidus au-delà de ces valeurs de référence est relativement inutile et ne réduit pas la densité ou la biomasse des adventices d'été davantage (Fredrikson et al. 2011 ; Van Huyssteen et al. 1984).

Fredrikson et al. (2011) et Steinmaus et al. (2008) ont mesuré la biomasse d'adventices d'été sur le rang après l'exportation des résidus de cultures intercalaires en début de saison. Celles-ci étaient composées respectivement d'un mélange de seigle et trèfle incarnat (*Trifolium incarnatum* L.) et de cultures intercalaires de vesce du Bengale (*Vicia benghalensis* L.) et d'avoine (*Avena sativa* L.). Fredrikson et al. (2011) ont observé que le pourcentage de recouvrement des adventices en saison était inférieur sur le rang dans les régies avec paillis comparativement l'application de glyphosate durant la saison (une à trois fois, selon les années). De leur côté, Steinmaus et al. (2008) ont obtenu des résultats similaires en comparant un paillis de vesce du Bengale et d'avoine à une seule application d'un mélange d'oryzalin et d'oxyfluorfen (ou simazine, selon les années) à un passage de machinerie annuel pour travailler le sol, selon le site expérimental. Ces mêmes auteurs soulignent que la vitesse à laquelle les paillis organiques sont dégradés influence les résultats. En effet, ils ont observé une meilleure performance des paillis organiques à un seul des deux sites. Il y aurait donc un effet important des tendances climatiques régionales à prendre en compte dans le choix des espèces à utiliser en intercalaires. Cet impact est aussi rapporté par Ranaivoson et al. (2017) dans leur méta-analyse sur les fonctions agroécologiques de l'utilisation des paillis.

En ce qui concerne le désherbage sous cultures intercalaires permanentes comparativement au travail du sol et l'utilisation d'herbicides, les exemples sont moins nombreux dans la littérature, car celles-ci conviennent moins bien au climat sec caractéristique de la majorité des régions viticoles.

Cependant, des études dans le Nord-Ouest Pacifique américain rapportent des performances variables. Devetter et al. (2015) ont observé un plus faible taux de recouvrement des adventices en saison sur le rang sous couvert intercalaire permanent comparativement aux herbicides (de deux à trois applications de glyphosate durant la saison) et à un travail du sol mensuel. Au contraire, Baumgartner et al. (2008) ont observé une biomasse d'adventices inférieure dans l'entre-rang sous une culture intercalaire annuelle semi-permanente et lors d'application de glyphosate trisannuellement, comparativement à une culture intercalaire permanente.

Lorsqu'un vigneron choisit d'implanter une culture intercalaire, sa dispersion vers le rang n'est pas souhaitable, car réduire la compétition entre les adventices et la vigne pour l'eau et les éléments minéraux, surtout l'azote, fait partie des objectifs de désherbage dans l'entre-rang (Baumgartner et al. 2008 ; Olmstead 2006). Néanmoins, les études ont démontré que les régies de désherbage d'usage sur le rang suffisent à rendre négligeable la dispersion des cultures intercalaires vers le rang (Olmstead et al. 2012 ; Baumgartner et al. 2008 ; 2007).

### **1.5.3.2 Cultures intercalaires versus paillis organiques**

Devetter et al. (2015) rapportent des pourcentages de recouvrement par les adventices sur le rang similaires entre une culture de couverture permanente et un paillis organique composé de paille dans un vignoble de l'Iowa, aux États-Unis (< 10 %). Une autre étude de Ferrara et al. (2015) portant également sur le désherbage des adventices en saison conclut que l'application de résidus de moulage de l'industrie oléicole a significativement réduit le recouvrement des adventices comparativement à la simple tonte des adventices sur le rang (entretien minimal) ainsi qu'à l'application de glyphosate. Ranaivoson et al. (2017) démontrent aussi que les matières utilisées pour la composition des paillis modifient l'efficacité du désherbage. Des conclusions similaires ont été émises par Granatstein et Mullinix (2008) en pomiculture. Les auteurs ont comparé des paillis organiques de papier et de bois déchiquetés à un paillis organique issu de résidus de luzerne (*Medicago sativa* L.) et des cultures intercalaires de trèfle blanc, seigle (cv. Wheeler) et moutarde d'Inde (*Brassica juncea* L. cv. Pacific Gold) implantées en saison. Dans ce cas, il n'y avait aucune différence significative quant au pourcentage de recouvrement au sol des adventices d'été entre les paillis de papier et de bois et les cultures intercalaires de seigle et de trèfle spécifiquement.

### **1.5.3.3 Travail du sol versus usage d'herbicides**

Les études comparant le travail du sol et l'utilisation d'herbicides au vignoble portent surtout sur le désherbage des adventices sur le rang. Baumgartner et al. (2007) concluent que l'application

de glyphosate avant le début de la saison était la méthode de lutte constamment la plus efficace pour réduire la biomasse des adventices sur le rang durant la période de dormance, mais ont aussi observé une amélioration du désherbage mécanique avec une augmentation de la fréquence des passages. Plus précisément, en viticulture biologique, Shrestha et al. (2013) ont noté que la biomasse d'adventices d'été (annuelles et vivaces confondues) était inférieure en saison après un passage de cultivateur au printemps comparativement à une application d'un herbicide homologué en agriculture biologique à base de d-limonene (GreenMatch ®) à la même période.

#### **1.5.4 Impact des régies de désherbage sur la richesse et diversité des populations d'adventices**

Des études sur la composition de la flore dans les vignobles ont démontré qu'il y a un impact de la régie de désherbage sur la composition des populations d'adventices (Baumgartner et al. 2008). Les tendances observables varient selon les méthodes de lutte appliquées qui affectent les espèces d'adventices différemment selon leurs caractéristiques. En effet, certaines adventices sont favorisées par une régie de désherbage en particulier (herbicides, désherbage mécanique, paillis vivants ou organiques) et deviennent alors dominantes, alors que d'autres sont non-affectées (ubiquistes) ou encore ne suivent aucune tendance particulière (Baumgartner et al. 2007).

Steinmaus et al. (2008) ont observé qu'un mélange de glyphosate et d'oryzalin, d'oxyfluorfen ou de simazine (selon les années) avait été plus efficace pour contrôler les adventices annuelles favorisant ainsi le maintien des populations d'espèces vivaces dont le liseron des champs (*Convolvulus arvensis* L.). Jiang et al. (2008), qui ont recensé les populations d'adventices dans une trentaine de vignobles de l'Ohio, ont observé une augmentation des densités de digitale sanguine (*Digitaria sanguinalis* [L.] Scop.), de pissenlit officinal (*Taraxacum officinale* G. H. Weber ex Wiggers), de panic d'automne (*Panicum dichotomiflorum* Michx.), d'oxalide cornue (*Oxalis corniculata* L.) et de pourpier (*Portulaca oleracea* L.) lorsque le glyphosate était la seule méthode de lutte employée. Ces résultats s'expliquent par le fait que ces espèces sont parvenues à compléter leur cycle reproductif durant la période entre les applications et n'ont pas été éradiquées complètement par l'herbicide. Au contraire, ils ont observé une diminution de l'émergence de ces espèces lorsque le glyphosate était utilisé en combinaison avec un autre herbicide de prélevée (simazine, diuron ou dichlobenil).

Lorsqu'une culture intercalaire pérenne est implantée au vignoble, on observe habituellement une transition vers certaines espèces à feuilles larges vivaces et surtout des graminées, annuelles ou vivaces (Belmonte et al. 2018 ; Tworkoski et Glenn 2012 ; Fredrikson et al. 2011 ; Sanguaneko et al. 2009 ; Monteiro et al. 2008). La persistance de ces groupes d'adventices est expliquée en partie par

le port bas de certaines espèces dont le feuillage se développe sous la hauteur de coupe des tontes d'entretien du couvert, comme pour les différents trèfles vivaces (*Trifolium* spp. L.) ou la rosette de bisannuelles comme le pissenlit officinal. La multiplication végétative via des organes souterrains ou autres chez les plantes vivaces leur donne également un avantage compétitif en permettant un rétablissement rapide. Ces structures ne sont pas non plus affectées par la tonte et bénéficient de la réduction du travail du sol (Tworkoski et Glenn 2012 ; Jiang et al. 2008).

Au contraire, ce sont généralement les adventices annuelles à feuilles larges qui deviennent dominantes lorsque le vignoble est sous régie de désherbage de travail du sol (Sanguaneko et al. 2009 ; Monteiro et Lopes 2007). Celles-ci produisent des semences dont la longévité dans le sol peut s'étaler jusqu'à une dizaine, voire une vingtaine d'années (Gulden et Shirtliffe 2009) et le travail du sol assure leur redistribution fréquente dans le profil du sol, les exposant ainsi davantage à des conditions favorables à la germination. À l'opposé, celles-ci demeurent enfouies dans le sol et à l'état de dormance au profit d'autres types d'adventices en l'absence de travail du sol (Derksen et al. 1993). Lorsque la lutte mécanique est pratiquée en combinaison avec la lutte chimique, il se peut que l'activité des herbicides résiduels et de prélevée dans le sol soit compromise dû à la photodégradation ou encore à la dilution des produits en fonction de la profondeur du travail (Chauhan et al. 2006). Certaines espèces moins sensibles au travail du sol comme le laiteron rude (*Sonchus asper* [L.] Hill), seraient alors avantagées comparativement à d'autres espèces d'adventices, tel que démontré par Baumgartner et al. (2008) dans un vignoble californien.

### **1.5.5 Impact des régies de désherbage sur la productivité et qualité de la récolte**

À ce jour, l'appréhension que les cultures intercalaires fassent compétition à la vigne au détriment du rendement est un frein important à l'adoption de cette pratique par les vignerons (Mercenaro et al. 2014 ; Celette et al. 2009 ; Sanguaneko et al. 2009 ; Celette et al. 2008 ; Lopes et al. 2008 ; Steinmaus et al. 2008 ; Celette et al. 2005). En théorie, les vignes peuvent bénéficier d'un stress hydrique modéré induit par un couvert végétal dans l'entre-rang, car les vignes deviennent alors moins vigoureuses, stimulant le rendement et exposant ainsi davantage les raisins à la lumière et influençant positivement l'accumulation de composés œnologiques reflétés ensuite dans le goût du produit fini (Garcia et al. 2018 ; Medrano et al. 2015 ; Celette et al. 2008 ; Smith et al. 2008 ; Steinmaus et al. 2008 ; Celette et al. 2005). Cependant, en pratique, les conditions de croissance sont extrêmement changeantes et des problèmes physiologiques ou phytosanitaires peuvent survenir chez la vigne. Le rendement et la qualité de la récolte sont effectivement sensibles au stress hydrique et aux fluctuations du taux d'azote dans la plante. Par exemple, une carence en azote peut entraîner la coulure des fleurs, un mauvais aoûtement et nuire au bon déroulement du

processus de fermentation, alors qu'une vigne trop vigoureuse développe une canopée plus importante qui crée un microclimat humide favorisant le développement de certains pathogènes (Ferrara et al. 2015 ; Gaviglio 2013 ; Lopes et al. 2008).

Les résultats d'études sur le sujet sont partagés (Mercenaro et al. 2014 ; Celette et al. 2008). Il a été démontré à maintes reprises dans des vignobles européens et américains que le rendement et les principales caractéristiques du moût de raisins sont peu affectés par l'implantation d'une culture intercalaire, malgré les différences significatives observables dans certains cas entre les régies de désherbage sur la densité et la biomasse des adventices, le profil hydrique dans le sol et la croissance végétative des vignes, par exemple (Mercenaro et al. 2014 ; Sweet et Schreiner 2010 ; Lopes et al. 2008 ; Smith et al. 2008 ; Steinmaus et al. 2008 ; Baumgartner et al. 2007 ; Ingels et al. 2005).

Au contraire, d'autres auteurs ont observé une réponse négative nette chez la vigne à la suite de l'implantation de cultures intercalaires (Ruiz-Colmenero et al. 2011 ; Tesic et al. 2007 ; Celette et al. 2005 ; Rodriguez-Lovelle et al. 2000). L'implantation d'une culture intercalaire change la dynamique de la relation sol-plantes-eau et influence donc directement la capacité d'absorption de l'eau et des éléments minéraux disponibles dans le sol par la vigne en lui faisant compétition pour ces ressources. Ces changements peuvent nuire à la vigne en climat sec, car l'eau peut devenir limitante en saison à des moments déterminants pour le rendement et la qualité de la récolte (Guerra et Steenwerth 2012). Ce sont typiquement des périodes où les pics de besoins en azote atteignent des sommets comme lors de la formation des inflorescences qui deviendront les futures grappes ou encore à la véraison.

Lorsqu'on se penche spécifiquement sur l'évolution du profil hydrique dans le sol, il a été démontré qu'il existe une complémentarité spatiale et temporelle entre les espèces intercalaires et la vigne qui permet d'atténuer les effets de compétition pour l'eau disponible. Les cultures intercalaires bénéficient naturellement d'un avantage compétitif sur la vigne en conditions de climat sec, car leur système racinaire est plus actif au printemps et assèche les horizons de surface dans l'entre-rang. La plasticité du système racinaire des vignes fait en sorte que son développement est réorienté alors vis-à-vis le rang pour aller y puiser l'eau plus en profondeur. De plus, la réserve en eau dans le sol se refait normalement plus efficacement hors-saison lorsqu'il y a un couvert végétal que lorsque le sol est laissé à nu, car l'infiltration de l'eau dans le sol est améliorée. Ceci permet de compenser en partie pour le prélèvement important par les espèces intercalaires en début de saison (Celette et al. 2009 ; Celette et al. 2005 ; Van Huyssteen et al. 1984). Malgré tout, il semble que ces mécanismes demeurent insuffisants pour maintenir le rendement dans certains cas.

Conséquemment, il est important, tel que mentionné précédemment, de considérer également les flux d'azote entre l'environnement et les plantes. Par exemple, Celette et al. (2005) et Steenwerth et al. (2016) ont observé des différences significatives entre les traitements au niveau du rendement, bien que les mesures de potentiel hydrique prises en saison indiquent qu'en aucun cas les vignes aient subi de stress majeur. Les auteurs suspectent donc fortement que les résultats observés soient dus à une compétition pour l'azote. Les études sur le sujet démontrent qu'en général, l'implantation d'une culture intercalaire diminue effectivement la teneur en azote dans la plante comparativement au désherbage mécanique (Steenwerth et al. 2016 ; Sweet et Schreiner 2010 ; Celette et al. 2009 ; Tesic et al. 2007 ; Ingels et al. 2005 ; Rodriguez-Lovelle et al. 2000). Il est possible qu'il n'y ait aucune conséquence sur le rendement ou les caractéristiques des raisins de l'année en cours. Néanmoins, une baisse de la teneur en azote à long terme entraînera des répercussions négatives sur les récoltes suivantes. En effet, une diminution du taux d'azote chez la vigne à l'automne aura un impact sur sa productivité l'année suivante et ainsi de suite (Ripoche et al. 2011). Une teneur en azote inférieure en fin de saison signifie que moins d'azote est acheminé vers les organes de réserves, dont la capacité est d'autant plus limitée dans les vignobles en établissement. Cette réserve est pourtant essentielle pour soutenir la reprise de l'activité métabolique et le débourrement au printemps alors que les vignes subissent déjà une forte compétition par les cultures intercalaires, surtout les couverts de graminées qui atteignent leur pic d'absorption d'azote à cette période (Olmstead et al. 2012 ; Celette et al. 2009 ; Hirschfeld 1998).

Il demeure qu'il s'agit d'un sujet d'étude complexe, car plusieurs facteurs sont susceptibles d'influencer la réponse de la vigne à son environnement (Hirschfeld 1998). En effet, s'il est bien établi qu'une baisse du taux de précipitations annuelles peut accentuer l'effet de compétition entre la culture intercalaire et la vigne en climat aride ou semi-aride, la vigne peut y être plus ou moins sensible selon certains facteurs comme l'âge ou une régie d'irrigation. Le système racinaire d'une vigne âgée étant davantage développé, ceci améliore d'emblée sa capacité d'absorption et sa résilience (Mercenaro et al. 2014 ; Fredrikson et al. 2011 ; Lopes et al. 2011). Garcia et al. (2018) soutiennent également l'importance d'une gestion adéquate de la culture intercalaire et d'un choix approprié des espèces qui la composent pour se soustraire aux effets négatifs potentiels sur la production. En effet, certaines espèces sont naturellement plus compétitives et il a été démontré à plusieurs reprises que la tonte fréquente de culture intercalaire permanente ou encore l'incorporation de la culture intercalaire semi-permanente au printemps permet d'atténuer la compétition. De plus, l'implantation d'une culture intercalaire dans un entre-rang sur deux a aussi démontré un effet similaire. Enfin, il y a l'option

d'incorporer des espèces fixatrices d'azote atmosphérique seules ou en mélange pour compenser l'azote détourné par les cultures intercalaires au détriment de la vigne et vice-versa.

## **1.6 Problématique de l'érosion hydrique dans les vignobles**

### **1.6.1 Définition des concepts d'érosion hydrique et d'érodabilité des sols agricoles**

L'érosion hydrique peut être définie comme le détachement, le déplacement et le dépôt des particules de sol sous l'action de l'eau (pluie). La classification des différents types d'érosion repose alors sur le ou les mécanismes inducteurs et les conséquences subséquentes observées sur l'environnement (Ritter 2012 ; Bennett 1939). Lorsqu'il est question de l'érosion hydrique des sols cultivés, l'attention des scientifiques s'est principalement portée sur l'étude de l'érosion pluviale et de l'érosion en nappe qui surviennent habituellement de façon simultanée lors d'averses. L'érosion pluviale correspond à l'éclatement des agrégats sous l'impact des gouttes de pluie à la surface du sol, car celles-ci accumulent de l'énergie cinétique lors de leur chute, tandis que l'érosion en nappe est plutôt liée au ruissellement qui est la proportion de l'eau de pluie non-infiltrée dans le sol qui s'écoule en surface. L'eau de ruissellement est érosive et le flot entraîne une couche de sol arable de façon relativement uniforme en suivant le gradient de la pente. Ces pertes de sol s'ajoutent à celles causées par l'érosion pluviale, où les particules de sol détachées sous l'impact des gouttes de pluie au sol sont aussi emportées par le ruissellement. L'obstruction des pores dans le sol causée par le dépôt des particules déplacées via l'eau de ruissellement est à l'origine de ce qu'on appelle la battance, soit la formation d'une couche durcie et imperméable qui a pour conséquence de réduire encore davantage l'infiltration de l'eau dans le sol et d'amplifier l'érosion en nappe (Battany et Grismer 2000 ; Le Bissonnais et Le Souder 1995).

Le potentiel érosif d'une averse est influencé surtout par la quantité d'eau de pluie (mm) et la durée de l'averse (h) qui réfèrent à l'intensité ( $\text{mm}\cdot\text{h}^{-1}$ ) et qui peut ensuite être traduite en mesure de l'érosivité ( $\text{MJ}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$ ) (Napoli et al. 2017). Le relief du terrain peut aussi décupler l'érosivité d'une pluie, car le débit auquel s'écoule l'eau de ruissellement augmente avec l'inclinaison ou la longueur de la pente (Prosdocimi et al. 2016).

Au contraire, l'érodabilité ou érodibilité d'un sol peut être définie comme sa susceptibilité à l'érosion et fait état de la qualité de sa structure, c'est-à-dire de la cohésion, de l'arrangement et de la taille des particules (Bronick et Lal 2005 ; Le Bissonnais et Le Souder 1995 ; Oades 1984). L'agglomération des particules de sol en agrégats plus résistants est induite par différents mécanismes comme les forces d'attractions chimiques naturelles entre les particules, la consolidation physique par les systèmes racinaires des végétaux ou encore des substances liantes issues des exsudats

racinaires et des hyphes fongiques ainsi que de la décomposition de la matière organique par les macro et microfaune du sol (McGourty et Reganold 2005).

### **1.6.2 État de la problématique de l'érosion des sols en viticulture**

En réalité, tous les sols sont soumis à l'érosion hydrique dans une certaine mesure. Le réel problème survient lorsque le phénomène prend de l'ampleur et génère des pertes de sol trop importantes et que les conditions de croissance des plants deviennent non-optimales à la suite de la détérioration de la qualité des sols, affectant ainsi la productivité des cultures au champ (Lal et Pierce 1994). Il s'agit d'un enjeu agricole majeur, lorsqu'on considère que la vitesse à laquelle le sol se régénère est largement inférieure au taux de dégradation de la couche arable observé actuellement (Duran et Rodriguez 2008). À ce sujet, des préoccupations émergent à l'échelle mondiale par rapport à la durabilité de nombreuses cultures végétales, car le soutien des activités agricoles à long terme est compromis par les effets négatifs de l'érosion sur les ressources et l'environnement (Napoli et al. 2017 ; Prosdocimi et al. 2016 ; Pool et al. 1990).

En viticulture, la problématique de l'érosion hydrique est rattachée en partie au fait que les vignobles sont souvent implantés sur des sols en pente. D'autre part, certaines pratiques culturales accentuent considérablement l'érosion hydrique, dont le recours à une régie de désherbage intensive qui laisse le sol à nu dans l'entre-rang (Devetter et al. 2015 ; Ruiz-Colmenero et al. 2013 ; Novara et al. 2011 ; Whitelaw-Weckert et al. 2007 ; Hartwig et Ammon 2002). Les conséquences de l'érosion hydrique incluent une mauvaise infiltration de l'eau et une augmentation de l'exposition des pieds de vignes qui augmente le risque de blessure par la machinerie. Il y a également la perte d'éléments minéraux et de matière organique. Ceux-ci peuvent être exportés hors du vignoble lors des pluies s'ils sont adsorbés sur les sédiments ou encore se retrouvent en suspension dans l'eau de ruissellement. Ces pertes sont déplorables pour la fertilisation des vignes en plus de représenter un risque important de contamination des cours d'eau (Marques et al. 2008). En somme, il y a une diminution de la capacité de prélèvement de l'eau et des éléments nutritifs par les vignes ce qui a un impact direct sur le rendement annuel potentiel et celui à long terme (Prosdocimi et al. 2016 ; Gómez et al. 2011 ; Duran et Rodriguez 2008 ; Francia Martínez et al. 2006).

L'enjeu de l'érosion hydrique en viticulture fait l'objet de nombreuses études en Méditerranée depuis le début des années 1990, car la production de vin y est très rentable et donc très répandue, malgré qu'il s'agisse d'une des productions agricoles européennes où le taux d'érosion est le plus élevé (Napoli et al. 2017 ; Prosdocimi et al. 2016 ; Ruiz-Colmenero et al. 2013). Les caractéristiques édaphiques régionales rendent naturellement les sols de cette région plus vulnérables

à l'érosion hydrique et à l'intensification de la production en raison de la lucrativité des activités qui n'a fait qu'aggraver le problème avec le temps (García-Ruiz et al. 2013). En effet, la topographie et le climat méditerranéens sont propices à l'érosion hydrique, car les terrains en pente dominent le paysage et intensifient le ruissellement, ce qui augmente les pertes de sol. De plus, les pluies estivales sont très intenses et donc érosives et le contraste entre des étés secs et chauds et des hivers pluvieux et humides entraîne une minéralisation rapide de la matière organique qui autrement contribue fortement à l'agrégation des particules de sol (Belmonte et al. 2018 ; Prosdocimi et al. 2016 ; García-Ruiz et al. 2013 ; Corti et al. 2011 ; Novara et al. 2011).

### **1.6.3 Réduction des pertes de sol et d'eau de ruissellement sous cultures intercalaires**

Il existe plusieurs pratiques culturales de conservation des sols applicables en viticulture : terrassement ou nivellement, apports d'amendements au sol, travail de sol réduit, culture en contre-sens de la pente, cultures de couverture et paillis (*mulching*), etc. (Maetens et al. 2012). Toutefois, les deux sous-sections suivantes portent spécifiquement sur l'efficacité de l'implantation de cultures intercalaires comme mesure d'atténuation de l'érosion hydrique. Les services écologiques rendus par les cultures intercalaires reconnus pour réduire l'érosion hydrique peuvent être classés comme des leviers d'action à court et à long terme (Gaviglio 2013 ; Duran et Rodriguez 2008). À court terme, le couvert végétal intercalaire agit comme barrière physique et intercepte les gouttes de pluies avant que celles-ci ne frappent la surface du sol, ce qui permet de dissiper une partie de leur énergie cinétique et donc de réduire la désagrégation et la battance. Cette barrière freine également le ruissellement, où on observe un ralentissement de l'écoulement de l'eau à la surface, favorisant l'infiltration de l'eau dans le sol qui est aussi facilitée par les canaux creusés par les racines des espèces intercalaires. À long terme, les effets positifs escomptés des cultures intercalaires sont l'amélioration et le maintien de l'intégrité de la structure du sol via la stimulation de l'activité biologique dans le sol (meilleure porosité). D'une part, ceci favorise l'infiltration de l'eau dans le sol et réduit le ruissellement. De l'autre, il y a moins de pertes de sol encourues car les liens entre les différentes particules de sol sont plus solides (Garcia et al. 2018 ; Ruiz-Colmenero et al. 2013 ; Novara et al. 2011 ; Blavet et al. 2009 ; Duran et Rodriguez 2008 ; Francia Martínez et al. 2006 ; Battany et Grismer 2000 ; Stocking 1994).

L'uniformité et la densité du couvert végétal intercalaire au sol sont déterminantes dans l'efficacité de cette méthode, c'est-à-dire sur le taux de réduction des pertes de sol et du ruissellement observés dans les vignobles (Gómez 2017 ; Prosdocimi et al. 2016 ; Ruiz-Colmenero et al. 2013 ; Ruiz-Colmenero et al. 2011 ; Battany et Grismer 2000 ; Stocking 1994). La relation entre les pertes de sol et le ruissellement généré en fonction du recouvrement au sol a d'ailleurs fréquemment

été décrite par le passé comme étant curvilinéaire négative (Duran et Rodriguez 2008 ; Battany et Grismer 2000 ; Stocking 1994). Par exemple, Novara et al. (2011) ont mené un essai de sélection d'espèces intercalaires et ont observé une diminution significative des taux de sédiments lessivés sous toutes les cultures intercalaires testées comparativement à un labour d'automne, au terme d'une période de deux ans. Les mélanges les plus performants étaient à base de trèfle souterrain et de fétuque rouge (*Festuca rubra* L. var. *rubra*) et c'est leur émergence rapide combinée à une production importante de biomasse durant l'automne qui ont permis de maintenir une couverture au sol à l'année, sous forme de paillis vivant d'abord, puis organique (culture intercalaire semi-permanente).

Les comparaisons entre les régies de désherbage dans l'entre-rang et l'érosion hydrique sont basées sur le bilan annuel de particules de sol et d'eau de ruissellement recueillies dans les parcelles expérimentales au champ. Il est clairement établi dans la littérature scientifique que les cultures intercalaires diminuent significativement les pertes de sol dans les vignobles. Cependant, leur efficacité à réduire le ruissellement est plus mitigée (Gómez 2017 ; Napoli et al. 2017 ; Maetens et al. 2012 ; Ruiz-Colmenero et al. 2011). Cette variabilité dans les résultats d'expérience serait attribuable à des conditions environnementales spécifiques aux sites expérimentaux (Maetens et al. 2012). Par exemple, Gómez et al. (2011) supposent que l'effet des cultures intercalaires est tangible seulement lorsque l'infiltration de l'eau dans le sol est limitée par une compaction de surface, causée par la battance ou le passage répété de la machinerie lourde. Au contraire, elles seraient peu utiles lorsque le problème d'obstruction des pores se produit davantage en profondeur dans le sol, car le problème se situe hors de la portée de leurs actions bénéfiques. Une autre hypothèse évoquée se rapporte plutôt à l'importance d'une implantation dense et uniforme de la culture de couverture, tel que mentionné précédemment.

Par exemple, Marques et al. (2010) ont observé périodiquement, dans un intervalle d'une année, un ruissellement supérieur sous une culture intercalaire de seigle, suivi d'un désherbage avec travail du sol et une culture intercalaire de brome (*Brachypodium distachyon* [L.] P.Beauv.). Cette distinction entre les deux cultures intercalaires est expliquée par le fait que le couvert végétal de seigle était épars, laissant des zones où le sol était laissé à nu et donc propices au ruissellement. À l'opposé, le passage de la machinerie ameublissait le sol laissé à nu et décompacte la couche superficielle, ce qui améliore momentanément l'infiltration de l'eau, alors que le sol sous cultures intercalaires n'est pas retravaillé au cours de cette période. Malgré une amélioration concrète observée au terme de leur expérience, cette façon de faire ne s'attaque pas au réel nœud du problème, car la battance surviendra tant que la structure du sol demeure fragile et érodable (Francia Martínez et al. 2006 ; Ruiz-Colmenero

et al. 2011) tant que la structure du sol demeure fragile et érodable (Ruiz-Colmenero et al. 2011 ; Francia Martínez et al. 2006).

#### **1.6.4 Amélioration de la stabilité des agrégats sous cultures intercalaires**

Il a été démontré par le passé qu'il y avait une augmentation des populations et également de la diversité des macro et microorganismes (vers de terre, bactéries, hyphes fongiques, etc.) favorisant l'agrégation des particules de sol à la suite de l'implantation de cultures intercalaires au vignoble, résultant en une communauté sous-terrainne riche et active qui contribue à réduire l'érodabilité des sols. Ces organismes dépendent de l'abondance d'une source de carbone organique pour leur alimentation et bénéficient alors du retour régulier de matière organique (résidus de culture) et de l'augmentation de la biomasse racinaire dans leur environnement (Belmonte et al. 2018 ; Devetter et al. 2015 ; Ruiz-Colmenero et al. 2011 ; Whitelaw-Weckert et al. 2007). En principe, il existe donc une corrélation positive linéaire significative entre le taux de matière et de carbone organique et la stabilité des agrégats, qui est une variable quantitative mesurant la sensibilité d'un sol à l'érosion hydrique, exprimée généralement par rapport à la distribution de la taille (diamètre) des agrégats (Blavet et al. 2009 ; Le Bissonnais et Le Souder 1995). Voilà pourquoi plusieurs travaux de recherche récents sur la conservation des sols en viticulture portent sur l'augmentation de l'apport en carbone au sol (Belmonte et al. 2018 ; Guerra et Steenwerth 2012).

En pratique, on observe effectivement une amélioration de la stabilité des agrégats lorsqu'on compare un sol laissé à nu à un sol avec couvert végétal, mais cette tendance n'est pas toujours significative entre les traitements expérimentaux et dépend aussi de la durée de l'étude. On observe également une amélioration d'autres caractéristiques physico-bio-chimiques du sol décrivant l'état de la structure du sol. Par exemple, il existe une corrélation négative entre la masse volumique apparente du sol ( $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$ ) et le contenu en carbone organique (Whitelaw-Weckert et al. 2007). Néanmoins, ces observations se limitent généralement aux 20 premiers centimètres de sol et seraient davantage attribuées à la contribution des racines des cultures intercalaires qu'à la biomasse aérienne produite (Belmonte et al. 2018 ; Gómez 2017 ; Ruiz-Colmenero et al. 2013 ; Peregrina et al. 2010 ; Liu et al. 2005 ; Morlat et Jacquet 2003).

Le temps de réponse avant la détection d'effets positifs significatifs sur la qualité de la structure du sol est donc variable selon ce qui est rapporté dans les études. Par exemple, Ruiz-Colmenero et al. (2013) et Devetter et al. (2015) ont observé une amélioration significative de la stabilité des agrégats au vignoble après l'implantation de cultures intercalaires à partir de la deuxième année seulement, alors que Marques et al. (2010) n'ont observé aucune différence significative après

dix-neuf mois. Le fait que certains auteurs obtiennent des résultats significatifs à court terme alors que d'autres non peut être expliqué en partie par l'entretien du site expérimental précédant le début de l'expérience, par exemple le type de travail du sol ou la présence versus l'absence de couvert végétal, qui influence les mécanismes de l'agrégation (Bronick et Lal 2005). Le climat régional pourrait également influencer le temps de réponse, car il s'agit d'un facteur ayant un impact direct sur le développement et la persistance des couverts végétaux intercalaires qui peuvent devenir limités en conditions sèches (Whitelaw-Weckert et al. 2007). Enfin, Belmonte et al. (2018), qui ont mené une expérience de longue durée sur le sujet, concluent que de jumeler le travail du sol aux cultures intercalaires peut en contrer complètement les effets bénéfiques et au contraire limiter l'accumulation de matière organique à long terme et diminuer la stabilité des agrégats. Dans ce cas précis, les auteurs ont observé une stabilité des agrégats inférieure pour un mélange intercalaire semi-permanent composé de féverole (*Vicia faba* L.), de pois cultivé (*Pisum sativum* L.), de blé commun et de seigle combiné à un travail du sol en saison comparativement à une régie de désherbage de sol nu (glyphosate et travail du sol) après une période de 22 ans.

## Chapitre 2 : Objectifs et hypothèses

L'objectif général du projet consiste à évaluer l'impact d'une culture intercalaire de graminées annuelles et une autre de graminées pérennes sur le désherbage, la diversité des adventices, la stabilité des agrégats du sol et la croissance et productivité de la vigne dans les conditions climatiques du Québec durant la période d'implantation (trois ans). Les objectifs spécifiques étaient :

1. Comparer la densité, la biomasse aérienne et le recouvrement des adventices ainsi que leur diversité, entre une gestion avec désherbage mécanique dans l'entre-rang et l'implantation d'une culture intercalaire de graminées annuelles et une autre pérenne.
2. Comparer la stabilité des agrégats du sol entre le désherbage mécanique dans l'entre-rang et l'implantation d'une culture intercalaire de graminées lors de période critiques (début, milieu, fin de saison).
3. Comparer le rendement et la qualité de la récolte à la fin de la période d'établissement de la vigne (troisième année) entre une gestion avec désherbage mécanique dans l'entre-rang et l'implantation d'une culture intercalaire de graminées.

Suite à la revue de littérature, les hypothèses de recherche étaient les suivantes :

1. Le niveau d'infestation des populations adventices dans l'entre-rang dans la culture intercalaire sera supérieur au désherbage mécanique, mais inférieur à une gestion minimale par la tonte (témoin enherbé).
2. L'adoption d'une culture intercalaire au vignoble influence la diversité et la composition des populations d'adventices dans l'entre-rang.
3. La stabilité des agrégats du sol sera plus élevée avec un couvert végétal dans l'entre-rang qu'avec le désherbage mécanique.
4. La présence d'un couvert végétal dans l'entre-rang n'aura aucun impact sur le rendement ni la qualité de la récolte à la fin de la période d'établissement de la vigne (troisième année).

# Chapitre 3 : Effets de l'adoption de cultures intercalaires sur la répression des adventices et la stabilité des agrégats du sol durant la période d'établissement de la vigne semi-rustique au Québec

Audrey-Kim Minville<sup>1</sup>, Marie-Josée Simard<sup>2</sup>, Odile Carisse<sup>2</sup>, Caroline Halde<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Faculté des sciences de l'agriculture et de l'alimentation (Université Laval)

Pavillon Paul-Comtois  
2425, rue de l'Agriculture  
Québec (Québec), Canada  
G1V 0A6

<sup>2</sup>Agriculture et Agroalimentaire Canada

Centre de recherche et de développement de Saint-Jean-sur-Richelieu  
430, boulevard Gouin  
Saint-Jean-sur-Richelieu (Québec), Canada  
J3B 3E6

Mots clés: Viticulture, structure du sol, stabilité des agrégats, vignoble en établissement, paillis vivant

## Résumé

Bien que les cultures intercalaires compétitionnent les adventices et soient bénéfiques pour la structure du sol, leur impact sur la vigne en climat continental, où les cépages semi-rustiques doivent être protégés du gel, est peu documenté. L'implantation d'une culture intercalaire est restreinte par la protection hivernale: les espèces annuelles sont incorporées à l'automne lors du buttage, tandis que les géotextiles permettent l'utilisation d'espèces pérennes. L'objectif de cette étude est d'évaluer l'impact de deux cultures intercalaires de graminées (annuelles vs pérennes) sur l'établissement des adventices, la stabilité des agrégats du sol, la croissance et la production de la vigne comparativement au désherbage mécanique et un témoin enherbé (adventices). Le désherbage mécanique s'est avéré plus efficace et a réduit la richesse et la diversité des populations d'adventices comparativement aux couverts végétaux. Ces derniers ont toutefois davantage préservé l'intégrité physique des agrégats en comparaison, sans baisse de rendement ni qualité de la récolte.

# Evaluating the effects of intercrop management on weeds and soil aggregate stability during the establishment of semi-hardy grapevines in southern Quebec

Audrey-Kim Minville<sup>1</sup>, Marie-Josée Simard<sup>2</sup>, Odile Carisse<sup>2</sup>, Caroline Halde<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Faculté des sciences de l'agriculture et de l'alimentation (Laval University)  
Paul-Comtois Building  
2425 Rue de l'Agriculture  
Quebec City, Quebec, Canada  
G1V 0A6

<sup>2</sup>Agriculture and Agri-Food Canada  
Saint-Jean-sur-Richelieu Research and Development Centre  
430 Boulevard Gouin  
Saint-Jean-sur-Richelieu, Quebec, Canada  
J3B 3E6

Keywords: Viticulture, soil water erosion, aggregate stability, vineyard establishment, living mulch

## Abstract

Living mulches from resident vegetation or intercrops could be used to control weeds and partially alleviate soil erosion during vineyard establishment in Quebec. However, their impact on grapevine yield and fruit quality is poorly documented. Growing semi-hardy grapevines is a challenge in southern Québec as winter protection is necessary. Winter protection is provided either by hilling or geotextiles and these methods determine what type of living mulch can be grown. Annual plant species are best suited for the former method while perennial species are compatible with the latter. The aim of this study was to evaluate the effect of two grass living mulches (annual and perennial) on weed control and diversity, soil aggregate stability, vine growth and fruit quality in comparison to cultivation and a weedy control during vineyard establishment. The cultivation treatment was the most efficient weed control method and decreased weed species richness and diversity in comparison to intercrops. Maintaining a living mulch in the interrow also helped preserve soil aggregate stability better than did cultivation. Vine yield and fruit quality were not affected by any interrow weed management method. Consequently, the use of living mulches is a promising alternative to cultivation during vineyard establishment in Quebec, Canada.

### 3.1 Introduction

Since the 1980s, the wine industry has expanded rapidly in Quebec, Canada. The growing popularity of local food movements, combined with marketing efforts, has resulted in a steady increase in the number of bottles of wine produced since 2010 (Keable 2019). However, wine grape production in Quebec presents challenges. Winter frost is a major hurdle for winegrowing in Quebec as the air temperature may drop to  $-35\text{ }^{\circ}\text{C}$ , below the frost tolerance threshold of the most common grapevine varieties (*Vitis vinifera* L.) (Jolivet and Dubois 2000). Hybridization with indigenous species has given rise to more winter hardy vine varieties while still maintaining good organoleptic characteristics for vinification. Nevertheless, winter protection remains necessary for the preferred non-hardy and semi-hardy grapevine varieties (Barriault 2012).

Hilling is the most used winter protection method to this day; it involves mounding soil over the vines by repetitive plowing to a depth of 30 cm before winter and uncovering them in the spring (Dami et al. 2005). Although essential, hilling reduces soil physical quality by increasing soil erosion, which is an important consideration given that many vineyards are often located on slopes (Jiang et al. 2016). Installing geotextile fabric is an alternative method of winter protection, but it is more expensive and time consuming (Barriault 2012). In vineyards, soil water erosion is exacerbated by chemical and mechanical weed control, which leaves bare soil in the interrow and increases vulnerability to degradation (Duran and Rodriguez 2008).

Establishing living mulches between vine rows by letting the resident vegetation grow or by growing pre-selected plant species as intercrops is an alternative to chemical and mechanical weed control that can limit weed establishment and promote soil conservation. Intercrops provide many ecosystem services, such as weed control, carbon sequestration and mitigation of soil erosion and water pollution (Garcia et al. 2018). However, their adoption is limited in the hot and dry Mediterranean climate where most grapevines are grown because the living mulch could compete with the grapevine for water or nutrients, resulting in lower vine yields (Steinmaus et al. 2008). Few studies have evaluated their impact under the cooler, more humid continental climate that prevails in certain regions of North America (Devetter et al. 2015). Furthermore, the harsh winter climate in Quebec limits intercrop establishment and growth to a six-month period, which is concurrent with grapevine growth. In addition, if the vines are hilled, the intercrop will be destroyed each fall, thereby limiting the use of perennial living mulches.

The aim of this experiment was to compare mechanical weed control to the use of living mulches (annual vs perennial) during the grapevine establishment period (first three years) in southern Quebec from the standpoint of weed control efficiency, plant diversity, soil aggregate stability, and fruit yield (at first commercial harvest). We hypothesized that 1) the weed infestation level would be greater in intercrops compared to cultivation but lower than in the unmanaged (weedy) treatment, 2) that soil aggregate stability would be greater in vegetated treatments than in the cultivation treatment, and that 3) grapevine productivity would not be reduced by the presence of living mulches.

## 3.2 Material and methods

### 3.2.1 Site characteristics

The experiment was conducted over three growing seasons (2018-2020) at Agriculture and Agri-Food Canada's experimental farm in Frelighsburg, QC, Canada (lat 45°03'16.9"N, long 72°51'39.2"W). This area has a continental climate characterized by cold winters and humid and warm summers (**Fig. S-1**). The soil at the study site is part of the Blandford loam series within the Brunisolic order (41% sand, 38% loam, and 22% clay), which is typically well-drained and associated with forested lands in Canada (Institut de recherche et de développement en agroenvironnement 2008; Soil Classification Working Group 2002; Cann et al. 1948).

The selected field has a slope of 2.75%, was not irrigated, and was restored from fallow. The soil was harrowed and cleared of stones before vine plantation. The study site was fertilized based on provincial recommendations (Barriault 2012): potassium sulfate (0-0-50) at 456 kg·ha<sup>-1</sup>, triple superphosphate (0-46-0) at 315 kg·ha<sup>-1</sup>, and sulphate of potash magnesia (0-0-22 + 21S + 11Mg) at 100 kg·ha<sup>-1</sup>. Fertilisation was adjusted in the following years based on the vine's response (Barriault 2012). Semi-hardy grapevines (cv. Vidal) were planted on 17 May 2018 at 0.9 m spacing. Interrows were 3.0 m wide and oriented north-south in the direction of the slope (**Fig. S-2**). Vines were either cane- or spur-trained after planting, depending on the winter protection method used, which is specific to each treatment. The guidelines for the gobelet system (spur-trained vines) were followed for hilled vines (Cultivation, Annual Intercrop, and Weedy Control) whereas vines covered with geotextile fabric during winter were double cordon-trained (cane-trained vines; Perennial Intercrop). All vines were supported upward by a trellis with a screw anchor end-post design. Every fall, vines were hilled or protected with geotextile fabric in early November in preparation for vine dormancy (**Table 3-1** and **Fig. 3-1**). Soil mounds in the vine row and geotextile fabric were removed every spring in April (**Table 3-1**). Starting in 2019, vines were pruned twice a year (spring and fall) (**Table 3-1**). Clusters

were thinned in-season at bloom in 2019, leaving just the first clusters starting from the bottom to promote vegetative growth during the establishment period (Barriault 2012).

### 3.2.2 Experimental design

The experimental layout was a randomized complete block design with four treatments and four blocks (**Fig. S-2**). A single experimental unit measured 12.0 m × 12.0 m and consisted of four vine rows with 12 vines per row. Units were secluded by a 5.0 m buffer alley. Treatments consisted of four interrow weed control management methods paired with a winter protection method: (1) Cultivation, (2) Annual Intercrop, (3) Perennial Intercrop, and (4) Weedy Control. The vines were hilled in all treatments, except the Perennial Intercrop treatment, in which geotextile fabric was used since in the hilling method, the vines are buried using soil taken between the rows and this kills all perennial vegetation in the interrow (**Fig. 3-1**).

A one-meter-wide strip centered under the vine row was kept weed free throughout the experiment in all treatments. This weeding was done using tractor-mounted finger weeders (Kult Kress, Vaihingen an der Enz, Germany) and hand-weeding. Dimethenamid-P (Frontier Max ®) was applied once in-row at a rate of 0.96 L·ha<sup>-1</sup> on 21 May 2018. The product must be applied before vine bud break to avoid crop damage. Weather conditions did not permit applications before bud break in 2019 and 2020. The Cultivation treatment consisted of keeping the interrow weed-free by using a rotary cultivator three to four times during the growing season (Frontier RT2283 model, John Deere US, Moline, IL, USA). All intercrops were planted in a 12.0 m × 2.0 m strip in the center of the interrow. The Annual Intercrop was a mixture of cultivated oats (*Avena sativa* L. cv. Fiona) from Pedigrain (Saint-Hyacinthe, QC, Canada; 38.4 g per 1000 seed) and Italian rye grass (*Lolium multiflorum* Lam. cv. Aubade) from Semican Inc. (Plessisville, QC, Canada; 4.1 g per 1000 seed). The Perennial Intercrop consisted of a sward commercial mix (Common No 1 Forage seed mix) from Centre Agricole Petit Bernier Inc. (Saint-Jean-sur-Richelieu, QC, Canada) with the following grass species ratio: 20% perennial rye grass (*Lolium perenne* L.), 15% Italian ryegrass (*Lolium multiflorum* L.), 30%, red fescue (*Festuca rubra* L.), and 35% Kentucky blue grass (*Poa pratensis* L.). In 2018, both intercrop treatments underwent seed bed preparation using a rotary cultivator pass, followed by vibrating tine cultivator passes (Track Curry, MK Martin Enterprise Inc., Elmira, ON, Canada). The Annual and Perennial intercrops were first planted on 22 May 2018 and the Annual Intercrop was re-seeded under similar conditions in mid-to-late May the next two years (**Table 3-1**).

Intercrops were seeded using a minimum-till compact drill seeder (model 3P600-1106, Great Plains Manufacturing Inc., Salina, KS, USA), with 12 units and 15.0 cm spacing. The Annual

Intercrop was seeded by offsetting two subsequent seeder passes to generate alternating rows of oats and Italian rye grass. Seeding rates were 169 kg·ha<sup>-1</sup> (440 seed·m<sup>-2</sup>) for oats and 17 kg·ha<sup>-1</sup> (424 seed·m<sup>-2</sup>) for Italian rye grass. The Perennial Intercrop was seeded at rate of 100 kg·ha<sup>-1</sup>. All rates were adjusted based on seed germination tests done prior to seeding. In the Weedy Control treatment, weeds were left to grow only to mowing height (14.0 cm) to limit the invasion of perennial woody plants and to allow tractors and workers to move between the rows. All treatments except Cultivation were mowed five to seven times a year using a lawn tractor (ZTrak™ Z915E, John Deere US, Moline, IL, USA; **Table 3-1**), before the dispersal of seeds from weeds or intercrops. Residues were left on the ground in the interrow after mowing. Finally, pest and disease management were identical for all units and based on standard recommendations.

### 3.2.3 Weed and intercrop sampling

Vegetation density, percent cover, and biomass data were taken using two 0.25 m<sup>2</sup> (50.0 cm × 50.0 cm) quadrats placed at approximately the same location (using flags located on the rows to mark the location) in the center interrow of each experimental unit. Weed and intercrop density sorted by species was evaluated yearly in all treatments in early June once the Annual Intercrop had emerged and before the first rotary cultivator pass in Cultivation treatment (**Table 3-1** and **Table S-1**). Intercrop density was evaluated June every year in the Annual Intercrop and once in 2018 in the Perennial Intercrop (the four species in the latter crop were not distinguished) due to early tillering of the perennial grasses. Weed and intercrop cover percentages were estimated visually at intercrop emergence, before each mowing (five to seven times per year) and at the end of the growing season. Weed and intercrop species were not distinguished for cover percentage evaluation. Weed shoot biomass sorted by species and the shoot biomass of intercrop plants (all species combined) was evaluated at the end of October. Specifically, both perennial white clover (*Trifolium repens* L.) and red clover (*Trifolium pratense* L.) were found in plots but were pooled for analysis, owing to the difficulty of differentiating between the two at emergence and because of the time required to separate them when harvesting biomass. Shoot biomass samples were then dried at 70 °C until the weight stabilized and were weighed. Weed shoot biomass samples where  $I = [1, 2, \dots, i]$  weed species present in plots also served to evaluate weed species richness ( $S$ ), relative abundance ( $p_i$ ), and diversity (Shannon's diversity index,  $H'$ ) based on the corresponding equations adapted from Hayek and Buzas (2010). When a plot was barren, a value of 0.0001 g·m<sup>-2</sup> was recorded for the most common species [brown knapweed (*Centaurea jacea* L.), present in all blocks every year] to retain this plot in the analysis (Baumgartner et al. 2008).

$S = \text{Total of } i \text{ weed species present within plot}$

$$p_i = \frac{i \text{ weed species biomass } (g \cdot m^{-2})}{\text{Weed sample biomass } (g \cdot m^{-2})}$$

$$H' = - \sum_1^i p_i \times \log_{10}(p_i)$$

To evaluate root biomass (intercrops and weeds not differentiated), six core samples were taken in October (**Table S-1**) in the middle interrow of each plot in 2019 and 2020 at two soil depths (0-15 and 15-30 cm) using a hydraulic soil corer (Giddings Machine Company, Windsor, CT, USA) with sampling tubes (diameter of 7.10 cm) mounted on a post (Multi-Pro™, Rhino Tool Company, Kewanee, IL, USA). Core samples from 2019 were kept frozen at -20 °C until evaluation in November 2020, whereas the cores samples from 2020 were kept refrigerated at 4 °C. Root biomass and ash content of the core samples were determined based on protocols adapted from Beyaert and Fox (2007) and Thivierge et al. (2016). All cores were soaked individually in 10% w·v<sup>-1</sup> (g·L<sup>-1</sup>) sodium hexametaphosphate solution for 16 h to disperse soil aggregates trapped within the root system before washing.

Cores were then pre-washed by rinsing them through a sieve nest with 1.0 mm and 250 µm openings to eliminate large rock fragments and part of the soil. Subsequent root washing was conducted using a hydropneumatic elutriation washing system (Gillison's Variety Fabrication Inc., Benzonia, MI, USA) and a 760 µm sieve, with air and water pressure set at 10 kPa and 69 PSI, respectively. After washing, the remaining root biomass was processed through a 250 µm sieve by flotation to separate roots from most other mineral and/or organic particles that had passed through as well. The recovered root biomass was dried at 60 °C until weight stabilization. The ash content was measured by heating ground samples (1600 Mini G, SPEX SamplePrep, Metuchen, NJ, USA) to 420 °C in a muffle furnace until weight stabilization. Root biomass was corrected afterwards by subtracting ash biomass in proportion to sample weight (Beyaert and Fox 2007).

### 3.2.4 Soil sampling

In 2019 and 2020, aggregate stability to water (mean weight diameter; 0-7 cm) and soil gravimetric water content at 15-30 cm and 45-60 cm depths were measured (1) before grapevine growth and annual crop seeding, (2) mid-season, and (3) at the end of the season (**Table S-1**). Four samples were randomly collected in the interrow of each plot using a square shovel. These samples were bulked and sieved through a 6.00 mm mesh and then stored in rigid-wall plastic containers at 4 °C within hours of sampling. Subsamples were then processed using a custom built wet-sieving apparatus based on the model used by Angers et al. (2007), which uses the oscillations applied to soil

samples placed atop a sieve nest immersed in water to disrupt soil aggregates. The selected sieve sizes were 1.00, 0.50, and 0.25 mm. Samples were covered in water only on the downward movement and the sieve nest was moved up and down 30 times per min at an amplitude of 4.50 cm for 10 min. Soil stable aggregates of each fraction: (1) > 2.00 mm, (2) [1.00; 2.00[ mm, (3) [0.50; 1.00[ mm, and (4) [0.25; 0.50[ mm were recovered into Erlenmeyer flasks and dried at 105 °C for 48 h in the first step (part one). Primary particles of each fraction were recovered into the same Erlenmeyer flasks and dried at 105 °C for 48 h in the second part of the analysis. A solution of 5% w·v<sup>-1</sup> (g·L<sup>-1</sup>) sodium hexametaphosphate was used to facilitate the dispersion of stable aggregates and the samples were placed on a lab shaker for 10 min. Mean weight diameter and particle size of water stables aggregates (fraction weight) were calculated according to Angers et al. (2007), and aggregate stability was determined using the classification developed by Le Bissonnais (2016). Soil gravimetric water content was evaluated by collecting one soil core at 15-30 and another at 45-60 cm depth in the middle interrow of each plot and on adjacent vine rows with an Edelman auger (Hoskin Scientific, Saint-Laurent, QC, Canada). These soil samples were bagged and refrigerated at 4 °C until processing, then weighed before and after drying at 105 °C for approximately 48 h.

### **3.2.5 Vine growth, yield, and fruit quality**

Measurements were taken in October from three randomly selected vines per pre-identified harvest row (**Table S-1**). In 2018, 2019, and 2020, all leaves from the same three randomly selected grapevines were sampled a few days before senescence and dried at 70 °C until weight stabilization to determine vine leaf biomass.

In 2019 and 2020, additional growth and yield variables were measured. The leaf area of a subsample of 20 leaves per vine was evaluated using a planimeter to estimate total vine leaf area. Fall pruning weight (upward from first trellis wire) was also evaluated. Vine yield and cluster number per vine were evaluated at the first harvest in 2020 according to the normal production cycle in Quebec vineyards (Barriault 2012). Grape must (without skin) was extracted from a subsample of 20 berries taken randomly from 20 clusters in the harvest row. Brix measurement was performed with an optical refractometer (Reicher 13853500 High-Precision Brix Refractometer, Buffalo, NY, USA) and pH and titratable acidity were measured using a pH meter (model AR15, Fisher Scientific, Ottawa, ON, Canada).

### **3.2.6 Statistical analysis**

Data analyses were conducted using the MIXED procedure in SAS University Edition 2.8.1 9.4 M6 (SAS Institute Inc. 2021). Block and sampling year were set as random effect and repeated

fixed effect, respectively, for the analysis of the following variables: weed and intercrop densities, weed abundance and diversity, shoot and root biomass, grapevine leaf area, canopy biomass, and pruning weight. Only the two intercrop treatments were taken into consideration when comparing intercrop densities, intercrop cover, and intercrop shoot biomass. When soil data were analyzed, the block was treated as a random effect and the sampling event as a repeated fixed effect. For the analysis of weed and intercrop cover, the model included the block as random effect and sampling month  $\times$  year interaction as a repeated fixed effect. All variables were analyzed using the VC (variance component) covariance structure according to the best model fit based on the Akaike information criterion, except vegetation, intercrop, and weed cover, for which the un@ar(1) (Direct product AR[1]) covariance structure was specified. For all analyses, homogeneity of variance was verified by plotting residuals using the SGPLOT procedure. The normal distribution of residuals was assessed graphically and by performing a Shapiro-Wilk test using the UNIVARIATE procedure. The standard error of means was also calculated using the UNIVARIATE procedure. Logarithmic (weed density, annual weed biomass, pruning weight, and particle size distribution of water stable aggregates) or square root transformations (perennial weed biomass, intercrop, and weed cover) were applied to data that did not meet these criteria, and back-transformed data were presented. Statistical significance between multiple comparisons was determined using Tukey's honestly significant difference test based on a 95% confidence interval.

### 3.3 Results

#### 3.3.1 Weed and intercrop density

There was a significant weed management method  $\times$  year effect on weed density at intercrop emergence in early June ( $P < 0.0001$ ;

**Fig. 3-2 3-2).** Every year, weed density was similar in the Annual Intercrop and Weedy Control while it was the lowest in the Cultivation treatment in 2020. Weed density was also lower in the Perennial Intercrop than in the Weedy Control in 2020. In 2019, weed density was only higher in the Perennial Intercrop relative to the Cultivation treatment. Weed density remained at similar levels between years within Weedy Control and Annual Intercrop, and reached its highest value in Perennial Intercrop in 2019.

The density of the Annual Intercrop (Italian rye grass and oats pooled together) treatment was lower in 2020 ( $354 \text{ plant}\cdot\text{m}^{-2}$ ) than in 2018 ( $605 \text{ plant}\cdot\text{m}^{-2}$ ) and 2019 ( $624 \text{ plant}\cdot\text{m}^{-2}$ ;  $P = 0.0024$ ). The Perennial Intercrop had a density of  $170 \text{ plant}\cdot\text{m}^{-2}$  in 2018.

### 3.3.2 Weed and intercrop cover

Vegetation cover (weeds and intercrops pooled together) varied between treatments within years ( $P < 0.0001$ ). It was consistently lower in the Cultivation treatment regardless of sampling month or year (data not shown). In June 2018, vegetation cover was higher in the Annual Intercrop ( $> 45\%$ ) but was surpassed by the Weedy Control and the Perennial Intercrop ( $> 60\%$ ) by the end of the season. Vegetation cover was consistently greater in the Perennial treatment than in the Annual Intercrop or Weedy Control in June 2019 (41% vs 11%, and 3%) and 2020 (90% vs 46%, and 37%); **Fig. 3-3**).

Weed cover was also affected by weed management method within year ( $P < 0.0001$ ; **Fig. 3-3**). Weed cover was generally lower in Cultivation at less than 5%, except in June 2018 and 2019, when weed cover in the Annual Intercrop and the Weedy Control treatments was also low (data not shown). In 2018, the highest weed cover values ( $> 60\%$ ) were consistently observed in the Weedy Control whereas the Annual and Perennial Intercrop treatments had similar values (less than 20%) throughout the season. During all years, weed cover in the Weedy Control reached values above 85% in August. In 2019, weed cover in the Annual Intercrop treatment peaked at 30% in August while weed cover in the Perennial Intercrop was higher (65%) starting in July. In 2020, weed cover in both intercrop treatments was high and equivalent to that of the Weedy Control in August and at the end of the season. Moreover, weed cover increased significantly within season in the Weedy Control (**Fig. 3-3a**) and in the Annual Intercrop (**Fig. 3-3b**), reaching significantly higher values after 2018 (up to more than 70% in 2020). On the contrary, weed cover was significantly higher after 2018 in Perennial Intercrop and remained approximatively at the same level within season except in June 2019, with values ranging from 60% to more than 85% (**Fig. 3-3c**).

Finally, intercrop cover was not different between the Annual and the Perennial Intercrop treatments except during three specific sampling months: July and August 2018, and July 2019 ( $P = 0.0002$ ; **Fig. 3-3**). More specifically, intercrop cover was constant within year in Annual Intercrop (except lower in June 2019) but was lower in 2020 in August than in October (**Fig. 3-3b**). Perennial Intercrop cover was also relatively stable throughout the season (except lower in June 2018 and 2019, and higher in October 2019) and tend to decrease in 2020 after July compared to prior years (**Fig. 3-3c**).

### 3.3.3 Weed and intercrop shoot and root biomass

Both total vegetation and weed shoot biomass were affected by a weed management method  $\times$  year interaction (**Table 3-2**). Vegetation shoot biomass was consistently lower in the

Cultivation treatment but the values for the Annual Intercrop, the Perennial Intercrop, and the Weedy Control were similar, except in 2020 when the Perennial Intercrop had a higher shoot biomass value ( $\times 1.49$ ) than the Weedy Control. Similarly, total weed shoot biomass was lowest in the Cultivation treatment and the two intercrop treatments had similar values in each year. Total weed shoot biomass remained lower in the Annual and Perennial Intercrop treatments than in the Weedy Control until 2020, when both intercrop treatments had high values that were similar to that of the Weedy Control. Intercrop shoot biomass did not vary between years and was higher ( $\times 1.42$ ) in the Perennial treatment than in the Annual Intercrop treatment. In 2019 and 2020, annual weed shoot biomass was higher in the Annual Intercrop compared to the Perennial Intercrop. The shoot biomass of perennial weeds in the Perennial Intercrop was greater than that of the Annual Intercrop in 2019 and 2020.

Brown knapweed, smooth crab grass (*Digitaria ischaemum* [Schreb.] Muhl.), witch grass (*Panicum capillare* L.), narrow-leaved plantain (*Plantago lanceolata* L.), prostrate knotweed (*Polygonum aviculare* L.), and clovers (*Trifolium spp.* L.) represented the majority of the weed species present in the Weedy Control, and the Annual, and Perennial Intercrop treatments throughout the experiment (**Table 3-3**).

Weed species richness ( $S$ ) and diversity ( $H'$ ) were both modulated by a weed management method  $\times$  year interaction (**Table 3-3**). Weed species richness was lowest in the Cultivation treatment except in 2020 when it was also low in Annual and Perennial Intercrop. Weed species richness was consistently similar between the Annual Intercrop and Weedy Control, the latter showing the highest values. Weed species diversity (Shannon's diversity  $H'$ ) was consistently lower in Cultivation than in the other treatments except in 2020 when it was equivalent to the Annual Intercrop. The highest values were recorded in the Weedy Control.

Root biomass varied between weed management methods at depths of 0-15 ( $P < 0.0001$ ) and 15-30 cm ( $P = 0.0005$ ; **Fig 3-4**). At a depth of 0-15 cm, root biomass was the highest in the Perennial Intercrop and the lowest in the Cultivation treatment, with intermediate values in the Weedy Control and the Annual Intercrop. At a depth of 15-30 cm, root biomass was significantly higher in the Perennial Intercrop than in the Cultivation treatment.

### 3.3.4 Soil properties

There was a significant effect of weed management method  $\times$  sampling event interaction on the average size (mean weight diameter) of water stable aggregates and on the proportion of medium and stable (1.3 – 2.0 mm) aggregates, and of macroaggregates ( $> 0.25$  mm; fraction weight) (**Table 3-4**). Over the two-year study, water-stable aggregation remained relatively constant over

time within each of the living mulch treatments, although differences between weed management methods occurred in October of both years. In October 2019, the lowest values for mean weight diameter and proportions of macroaggregates, medium aggregates and stable aggregates were found in the Cultivation treatment. In October 2020, the mean weight diameter as well as the proportions of macroaggregates and medium and stable aggregates were higher in the Perennial Intercrop than in the Cultivation treatment (**Table 3-4**).

Soil gravimetric water content did not vary among the weed management methods ( $P > 0.05$ ), regardless of soil depth or field sampling spot (in-row or interrow). It varied only between sampling events ( $P < 0.01$ ) and was generally the lowest in August (**Fig. S-3**).

### **3.3.5 Vine growth, yield, and fruit quality**

Weed management method and sampling year alone both modulated vine leaf biomass and leaf area (**Table 3-5**). Vine leaf biomass and leaf area were both lower in the Intercrop treatment than in the Cultivation treatment, and higher in 2019 than in 2020, regardless of treatment. In 2020, the weed management method had no effect on vine yield, on cluster number or on fruit quality at harvest as measured by Brix, pH, and titratable acidity (**Table 3-6**).

## **3.4 Discussion**

### **3.4.1 Weed control and weed community composition**

As predicted, intercrops did not outperform cultivation as a weed management method but still provided significant weed control in at least two years out of three relative to no weed management thus confirming our first hypothesis ( $> 65\%$  and  $> 55\%$  reduction in Annual and Perennial Intercrop, respectively, in 2018 and 2019). Results show that both Annual and Perennial Intercrops did not prevent weed establishment during the study, but prevented weed growth during the first two years. Weed density generally increased, except in the cultivated treatment because this intensive treatment prevented most weeds from producing seeds, whereas the seedbank was replenished in the other treatments despite regular mowing. Weed emergence may have been curbed by the dense cover of perennial weeds only in 2020. Luna et al. (2020), Meiss et al. (2010), Demjanova et al. (2009), and Wardle et al. (1992) showed that perennial plant species can effectively limit weed density in pastures.

Although deep tillage such as mouldboard ploughing can normally bury weed seeds deeper in the soil and thus reduce weed germination and emergence during the subsequent growing season (Cordeau et al. 2020; Rahman et al. 2000), ploughing to a depth of 30 cm (hilling and de-hilling every

year) did not result in a decrease of weed density in the hilled treatments where weeds were only mowed instead of being cultivated. This is probably because the first 30 cm top soil layer could still hold a lot of weed seeds despite repeated ploughing as reported by Vasileiadis et al. (2007) and that they do not become deeply buried during the growing season; they were buried in the soil mound on the vine row during winter, only to be redistributed in the interrows and rows in the spring.

The Perennial Intercrop did prevent new weed establishment during the third year, as mentioned above, but allowed for significantly higher weed cover in June over time (mostly brown knapweed, clovers, and prostrate knotweed). This is most likely attributable to management techniques, such as seeding date, mowing height, and fertilization, which failed to promote the competitiveness of the species in perennial grass mixtures. For instance, although low mowing height (< 5.0 cm) has been proven to consistently increase weed density (Busey 2003), higher mowing height alone (14 cm) will not prevent weed establishment. Typical grass management techniques, such as re-application of fertilizers, interseeding or chemical weed control are often required to limit weed establishment (Christians et al. 2017), but this is contrary to the idea that intercrops have to be low maintenance to remain cost effective for winegrowers. Finally, maybe seeding the Perennial Intercrop prior to the experiment in August or September 2017 would have been preferable to promote more rapid establishment in early season in 2018 to increase competition with weeds (Reicher et al. 2000).

Our results also demonstrated that living mulch management affects weed community assembly within a short time (first years), as has been reported by Ryan et al. (2010) and in vineyards specifically by Steenwerth et al. (2016) and Sanguankeo and León (2011). Cordeau et al. (2017) and Smith (2006) among others showed that soil tillage specifically is an important driver of weed community assembly and lower plant species richness and diversity are generally associated with soil tillage used for weed control, as observed in our cultivated treatment (Baumgartner et al. 2008; Moonen and Bàrberi 2004; Mas and Verdú 2003; Hyvönen and Salonen 2002; Ngouajio and McGiffen 2002; Bàrberi and Mazzoncini 2001).

Furthermore, annual weeds are usually associated with tilled annual intercrops (Chauhan et al. 2006; Tuesca et al. 2001) and they became dominant in our Annual Intercrop in 2020. Drier weather conditions during the spring of 2020 may also have promoted the proliferation of smooth crabgrass which is known for its tolerance to dryness owing to its C<sub>4</sub> type photosynthesis (Turner et al. 2012; Dore and McNeill 1980). This significantly increased weed cover in August and decreased weed species richness and diversity within the last year relative to the control.

The decrease in weed species richness and diversity in the Perennial Intercrop relative to the control and the Annual Intercrop after 2018 is in accordance with the conclusions of Jiang et al. (2008) who reported higher plant species richness and density in hilled vineyards compared to no-till vineyards. Our results coincide with the predominance of perennial weeds such as brown knapweed and clovers in the Perennial Intercrop. Indeed, perennial weeds are typically more persistent under perennial intercrop management because they benefit from the absence of soil disturbance, which leaves their root systems and underground plant propagation asexual organs intact. Mowing is thus mostly ineffective for weed species that grow low to the ground, which explains how brown knapweed, prostrate knotweed, narrow-leaved plantain, and clovers came to be the most common weed species in vegetated treatments (Jiang et al. 2008; Gago et al. 2007). Although the Cultivation treatment was hilled also, the frequent rotary cultivator passes kept weed infestation level at a low and thus weed species richness and diversity always remained inferior to the Perennial Intercrop's.

### **3.4.2 Soil conservation**

As was expected, maintaining living mulches in the interrow preserved the physical integrity of soil aggregates to a greater extent than did mechanical weeding throughout the season, thus confirming our second hypothesis. This difference between weed management methods seems to be the net result of the positive influence of groundcover root systems and the negative effect of repeated cultivation on aggregate stability. The living mulch shoot biomass and mowing residues were incorporated into the soil only once a year, in the fall (at hilling), in the Annual Intercrop and Weedy Control, compared to the three to four passes of a rotatory cultivator made in the Cultivation treatment each year. The fact that root biomass and mean weight diameter were constantly higher in the Perennial Intercrop in October suggests that rhizodeposition (root-derived carbon) had more of an effect than the decomposition of fresh material from shoot biomass by soil fauna and microorganisms in terms of mitigating aggregate breakdown. Higher proportions of stable aggregates (> 1 mm) and macroaggregates (> 0.250 mm; Le Bissonnais 2016) relative to sample weights in the living mulch treatments compared to cultivation in October also supports this idea. We observed no benefit from the use of the Perennial Intercrop compared to our Annual Intercrop on soil water-stable aggregation. This is likely because the selected Annual and Perennial Intercrop species had similar functional traits such as root architecture, whereas higher plant species diversity can promote aggregation through the positive influence of complementary root traits on soil physical properties (Saleem et al. 2020; Gould et al. 2016).

Soil tillage was detrimental to soil structure, as observed by Jiang (2010) in vineyards. Tillage for mechanical weed control is associated with the loss of particulate organic matter (POM) and thus

weakens aggregate cohesion (Six et al. 1999; Six et al. 1998). The idea that tillage limits the benefits of intercropping has been documented in vineyards growing in a Mediterranean climate. For example, a study conducted by Belmonte et al. (2018) in the Napa Valley of California showed that tillage limited the long-term capacity of an annual intercrop to accumulate soil organic carbon, thus preventing aggregate stability improvement in comparison to a no-till system (lower POM). Garcia et al. (2019) showed how aggregate stability rapidly degraded with the introduction of tillage even though intercropping had been the management strategy for years prior to this experiment.

### **3.4.3 Vine growth, yield, and fruit quality**

The fact that vine leaf biomass was higher in the Cultivation treatment than in the intercrops indicates the latter competed with grapevines for available resources at the beginning of the season, but not enough to cause yield loss or differences in fruit quality (Jackson 2008). Similar results have been observed in semi-permanent and permanent intercrops established in North American vineyards, as demonstrated by Sweet and Schreiner (2010), Smith et al. (2008), Steinmaus et al. (2008), and Ingels et al. (2005).

No nutrient analyses were conducted on vine leaf petiole during this study to further support this idea. However, since vine yield was similar between all treatments, it seems nutrient level were not severely affected by the weed management methods. Our results thus confirm our hypothesis; however, we acknowledge that the yield and fruit quality comparisons between the perennial intercrop and other treatments are imperfect because the vines did not have the same training and winter protection. This may have caused variations in bud fruitfulness and in the microclimate within the vine canopy during grape maturation (Provost and Barriault 2019; Greven et al. 2014).

It is assumed that the competition between intercrops and vines was alleviated by the sufficient replenishing of soil water reserves by rainfall, since this competition is largely influenced by yearly and local climatic conditions and intercrop management (Steenwerth et al. 2016). Tesic et al. (2007) explained how vine response to intercrops is tempered in a cooler and humid climate compared to that of locations in which water is scarcer. In addition, intercrop management by mowing or destroying annual intercrops before vine budbreak (semi-permanent intercrop) can help mitigate competition between intercrops and vines at critical stages that influences yield such as bloom and berry growth (Garcia et al. 2018). Studies in North American vineyards have also demonstrated that common weeding practices on the row (trellis) largely limit the establishment of interrow crops there (Olmstead et al. 2012; Baumgartner et al. 2007). Whether this conclusion also applies to weeds in the interrow in the long term remains to be tested.

Our soil gravimetric water content results indicate that there was little competition for water between intercrops and vine, because similar values were always obtained for the different weed management methods. Although no vine water status analyses were conducted to further confirm our assumption, monthly cumulative precipitation (yearly totals averaged 1 133 mm) likely provided a sufficient supply of water. Hartwig and Ammon (2002) found that competition for water in vineyards would be low if the average annual rainfall exceeded 1 100 mm, as was the case in the present study. Therefore mowing intercrops during this study limited weed seed dispersal and the establishment of shrubs and trees rather than reducing intercrop competitiveness for water.

### **3.5 Conclusion**

Our results confirmed our three hypotheses: 1) weed infestation in intercrops was intermediate between cultivation and the unmanaged (weedy) treatment, 2) soil aggregate stability was greater in living mulches at the end of the season, and 3) living mulches did not affect grapevine productivity. Growing intercrops during the establishment period of grapevines in southern Quebec did not compromise yield and fruit composition at the first commercial harvest (third year) and this approach limited weed growth during the first two years. Soil aggregate stability in the interrow and species richness were higher under living mulches (intercrops, resident vegetation) compared to repetitive interrow weed control based on cultivation. Although these are encouraging results from the perspective of sustainable winegrowing in the province of Quebec, further research is needed to evaluate the long-term effects of these practices. These results also raise the question of whether intercropping should be recommended over living mulches of resident vegetation, considering the costs associated with crop seed purchasing and buying or renting a planter, not to mention the time required to plant crops and/or manage a perennial turf grass that becomes dominated by perennial weeds. Although the living mulch option would decrease costs, leaving the interrow unmanaged, except for mowing, it could increase the soil weed seed bank or vegetative underground structures (if the interrow is never disturbed) on the row. This could possibly make weed control in this zone more challenging over time and cause further issues as certain weed species could be potential hosts for vine pests and pathogens.

### **3.6 Acknowledgements**

This research was supported by Agriculture and Agri-Food Canada's internal grant no J-001792 (Influence of cultural practices and climate change on sustainability of grape production under northern conditions). We would like to thank Sylvain Fortin, Lydia Maheux, all the summer students involved, and Agriculture and Agri-Food Canada's farm staff for technical support in the field trial and laboratory work. We are also grateful to Denis Angers for sharing his expertise on the methodology and Marie-Noëlle Thivierge for lending us material to evaluate root biomass.

### 3.7 References

- Angers, D.A., Bullock, M.S., and Mehuys, G.R. 2007. Aggregate stability to water. Pages 811-819 in M.R. Carter and E.G. Gregorich, eds. Soil sampling and methods of analysis. CRC Press, Boca Raton, FL, USA.
- Bàrberi, P., and Mazzoncini, M. 2001. Changes in weed community composition as influenced by cover crop and management system in continuous corn. *Weed Sci.* **49**(4): 491-499. doi:10.1614/0043-1745(2001)049[0491:CIWCCA]2.0.CO;2.
- Barriault, É. 2012. *Vigne : Guide d'implantation*. Centre de référence en agriculture et agroalimentaire du Québec, Quebec, QC, Canada. 117 pp.
- Baumgartner, K., Steenwerth, K.L., and Veilleux, L. 2008. Cover-crop systems affect weed communities in a California vineyard. *Weed Sci.* **56**(4): 596-605. doi:10.1614/WS-07-181.1.
- Baumgartner, K., Steenwerth, K.L., and Veilleux, L. 2007. Effects of organic and conventional practices on weed control in a perennial cropping system. *Weed Sci.* **55**(4): 352-358. doi:10.1614/WS-06-171.
- Belmonte, S.A., Celi, L., Stahel, R.J., Bonifacio, E., Novello, V., Zanini, E., and Steenwerth, K.L. 2018. Effect of long-term soil management on the mutual interaction among soil organic matter, microbial activity and aggregate stability in a vineyard. *Pedosphere.* **28**(2): 288-298. doi:10.1016/S1002-0160(18)60015-3.
- Beyaert, R.P., and Fox, C.A. 2007. Assessment of soil biological activity. Pages 527-547 in M.R. Carter and E.G. Gregorich, eds. Soil sampling and methods of analysis. CRC Press, Boca Raton, FL, USA.
- Busey, P. 2003. Cultural management of weeds in turfgrass: A review. *Crop Sci.* **43**(6): 1899-1911. doi:10.2135/cropsci2003.1899.
- Cann, D.B., Lajoie, P., and Stobbe, P.C. 1948. *Études des sols des comtés de Shefford, Brome et Missisquoi dans la province de Québec*. Le Service, Ottawa, ON, Canada. 94 pp.
- Chauhan, B.S., Gill, G., and Preston, C. 2006. Tillage system effects on weed ecology, herbicide activity and persistence: A review. *Aust. J. Exp. Agric.* **46**(12): 1557-1570. doi:10.1071/EA05291.
- Christians, N., Patton, A.J., and Law, Q.D. 2017. *Fundamentals of turfgrass management*. Fifth Edition. John Wiley & Sons, Hoboken, NJ, USA. 472 pp.
- Cordeau, S., Baudron, A., and Adeux, G. 2020. Is tillage a suitable option for weed management in conservation agriculture? *Agron.* **10**(11): 1746. doi:10.3390/agronomy10111746.
- Cordeau, S., Smith, R.G., Gallandt, E.R., Brown, B., Salon, P., DiTommaso, A., and Ryan, M.R. 2017. Timing of tillage as a driver of weed communities. *Weed Sci.* **65**(4): 504-514. doi:10.1017/wsc.2017.26.

- Dami, I., Bordelon, B., Ferree, D., Brown, M., Ellis, M., Williams, R., and Doohan, D. 2005. Midwest grape production guide [bulletin 919]. The Ohio State University Extension, Columbus, OH, USA. 155 pp.
- Demjanova, E., Macak, M., Dalovic, I., Majernik, F., Tyr, S., and Smatana, S. 2009. Effects of tillage systems and crop rotation on weed density, weed species composition and weed biomass in maize. *Agron. Res.* **7**(2): 785-792.
- Devetter, L.W., Dilley, C., and Nonnecke, G. 2015. Mulches reduce weeds, maintain yield, and promote soil quality in a continental-climate vineyard. *Am. J. Enol. Vitic.* **66**(1): 54-64. doi:10.5344/ajev.2014.14064.
- Dore, W.G., and McNeill, J. 1980. Grasses of Ontario. Research Branch Agriculture Canada, Ottawa, ON, Canada. 566 pp.
- Duran, Z.V., and Rodriguez, P.C. 2008. Soil-erosion and runoff prevention by plant covers. A review. *Agron. Sustain. Dev.* **28**(1): 65-86. doi:10.1051/agro:2007062.
- Environment and Climate Change Canada. 2020. Past weather and climate. [Online]. Available from: [https://climat.meteo.gc.ca/historical\\_data/search\\_historic\\_data\\_f.html](https://climat.meteo.gc.ca/historical_data/search_historic_data_f.html) [2 February 2020].
- Gago, P., Cabaleiro, C., and García, J. 2007. Preliminary study of the effect of soil management systems on the adventitious flora of a vineyard in northwestern Spain. *Crop Prot.* **26**(4): 584-591. doi:10.1016/j.cropro.2006.05.012.
- Garcia, L., Damour, G., Gary, C., Follain, S., Le Bissonnais, Y., and Metay, A. 2019. Trait-based approach for agroecology: Contribution of service crop root traits to explain soil aggregate stability in vineyards. *Plant Soil.* **435**(1): 1-14. doi: 10.1007/s11104-018-3874-4.
- Garcia, L., Celette, F., Gary, C., Ripoche, A., Valdés-Gómez, H., and Metay, A. 2018. Management of service crops for the provision of ecosystem services in vineyards: A review. *Agri. Ecosyst. Environ.* **251**: 158-170. doi:10.1016/j.agee.2017.09.030.
- Gould, I.J., Quinton, J.N., Weigelt, A., Deyn, D.G.B., Bardgett, R.D., and Seabloom, E. 2016. Plant diversity and root traits benefit physical properties key to soil function in grasslands. *Ecol. Lett.* **19**(9): 1140-1149. doi:10.1111/ele.12652.
- Greven, M.M., Bennett, J.S., and Neal, S.M. 2014. Influence of retained node number on Sauvignon Blanc grapevine vegetative growth and yield. *Aust. J. Grape Wine Res.* **20**(2): 263-271. doi:10.1111/ajgw.12074.
- Groupe de travail sur la classification des sols. 2002. Le système canadien de classification des sols. 3rd edn. Presses scientifiques du CNRC, Ottawa, ON, Canada. 96 pp.
- Hartwig, N.L., and Ammon, H.U. 2002. Cover crops and living mulches. *Weed Sci.* **50**(6): 688-699. doi:10.1614/0043-1745(2002)050[0688:AIACCA]2.0.CO;2.
- Hayek, L.A.C., and Buzas, M.A. 2010. Surveying natural populations : Quantitative tools for assessing biodiversity. 2nd ed. Columbia University Press, New York, NY, USA. 590 pp.

- Hyvönen, T., and Salonen, J. 2002. Weed species diversity and community composition in cropping practices at two intensity levels: A six-year experiment. *Plant Ecol.* **159**(1): 73-81.
- Ingels, C.A., Scow, K.M., Whisson, D.A., and Drenovsky, R.E. 2005. Effects of cover crops on grapevines, yield, juice composition, soil microbial ecology, and gopher activity. *Am. J. Enol. Vitic.* **56**(1): 19-29.
- Institut de recherche en développement en agroenvironnement. 2008. Carte pédologique – Feuillet 31H02101. [Online]. Available from: [https://irda.blob.core.windows.net/media/3418/pedo\\_31h02101.pdf](https://irda.blob.core.windows.net/media/3418/pedo_31h02101.pdf) [7 May 2021].
- Jackson, R.S. 2008. *Wine science: Principles and applications*. 3rd ed. Elsevier/Academic Press, Amsterdam, Netherlands. 751 pp.
- Jiang, L., Dami, I., and Doohan, D. 2016. Effects of mulching on soil temperature, scion rooting, and soil moisture of mounded grapevines. *Int. J. Fruit Sci.* **16**(2): 182-190. doi:10.1080/15538362.2015.1105170.
- Jiang, L. 2010. Simazine treated mulch: An intergrated management tool for vinifera grape (*Vitis vinifera* L.) production. Doctor of Philosophy, The Ohio State University. 163 pp.
- Jiang, L., Koch, T., Dami, I., and Doohan, D. 2008. The effect of herbicides and cultural practices on weed communities in vineyards: An Ohio survey. *Weed Technol.* **22**(1): 91-96. doi:10.1614/WT-07-100.1.
- Jolivet, Y., and Dubois, J.M. 2000. Evaluation of hilling efficiency as a method of protection of vine against winter cold in Québec. *OENO One.* **34**(3): 83-92. doi:10.20870/oenone.2000.34.3.1001.
- Keable, Stéphanie. 2019. Les vins du Québec : Les consommateurs en redemandent. [Online]. Available from [https://www.mapaq.gouv.qc.ca/SiteCollectionDocuments/Bioclips/BioClips2019/Volume\\_27\\_no3.pdf](https://www.mapaq.gouv.qc.ca/SiteCollectionDocuments/Bioclips/BioClips2019/Volume_27_no3.pdf) [6 May 2021].
- Le Bissonnais, Y. 2016. Aggregate stability and assessment of soil crustability and erodibility: I. Theory and methodology. *Eur. J. Soil Sci.* **47**(4): 425-437. doi:doi.org/10.1111/ejss.4\_12311.
- Luna, I.M., Fernández-Quintanilla, C., and Dorado, J. 2020. Is pasture cropping a valid weed management tool? *Plants.* **9**(2): 135. doi:10.3390/plants9020135.
- Mas, M.T., and Verdú, A.M. 2003. Tillage system effects on weed communities in a 4-year crop rotation under Mediterranean dryland conditions. *Soil Tillage Res.* **74**(1): 15-24. doi:10.1016/S0167-1987(03)00079-5.
- Meiss, H., Médiène, S., Waldhardt, R., Caneill, J., and Munier-Jolain, N. 2010. Contrasting weed species composition in perennial alfalfas and six annual crops: Implications for integrated weed management. *Agron. Sustain. Dev.* **30**(3): 657-666. doi:10.1051/agro/2009043.
- Moonen, A.C., and Bàrberi, P. 2004. Size and composition of the weed seedbank after 7 years of different cover-crop-maize management systems. *Weed Res.* **44**(3): 163-177. doi:10.1111/j.1365-3180.2004.00388.x.

- Ngouajio, M., and McGiffen, M.E. 2002. Going organic changes weed population dynamics. *HortTechnology*. **12**(4): 590-596. doi:10.21273/HORTTECH.12.4.590.
- Olmstead, M., Miller, T., Bolton, C.S., and Miles, C. 2012. Weed control in a newly established organic vineyard. *HortTechnology*. **22**(6): 757-765. doi:10.21273/HORTTECH.22.6.757.
- Provost, C., and Barriault, É. 2019. Caractéristiques agronomiques des cépages cultivés au Québec et résumé de l'état des connaissances scientifiques sur la protection contre les gels. [Online]. Available from: [https://www.agrireseau.net/documents/Document\\_102225.pdf](https://www.agrireseau.net/documents/Document_102225.pdf) [7 May 2021].
- Rahman, A., James, T., Mellsop, J., et Grbavac, N. 2000. Effect of cultivation methods on weed seed distribution and seedling emergence. *N. Z. Plant Prot.* **53**: 28-33. doi:10.30843/nzpp.2000.53.3644.
- Reicher, Z.J., Throssell, C.S., and Weisenberger, D.V. 2000. Date of seeding affects establishment of cool-season turfgrasses. *HortScience*. **35**(6): 1166-1169. doi:10.21273/HORTSCI.35.6.1166.
- Ryan, M.R., Smith, R.G., Mirsky, S.B., Mortensen, D.A., and Seidel, R. 2010. Management filters and species traits: Weed community assembly in long-term organic and conventional systems. *Weed Sci.* **58**(3): 265-277. doi:10.1614/WS-D-09-00054.1.
- Saleem, M., Pervaiz, Z.H., Contreras, J., Lindenberger, J.H., Hupp, B.M., Chen, D., Zhang, Q., Wang, C., Iqbal, J., and Twigg, P. 2020. Cover crop diversity improves multiple soil properties via altering root architectural traits. *Rhizosphere*. **16**: doi:10.1016/j.rhisph.2020.100248.
- Sanguankeo, P.P., and León, R.G. 2011. Weed management practices determine plant and arthropod diversity and seed predation in vineyards. *Weed Res.* **51**(4): 404-412. doi:10.1111/j.1365-3180.2011.00853.x.
- SAS Institute Inc. 2021. SAS University Edition. SAS Institute Inc., Cary, NC, USA. [Online]. Available from: [https://www.sas.com/en\\_ca/software/university-edition.html](https://www.sas.com/en_ca/software/university-edition.html) [14 October 2020].
- Six, J., Elliott, E., and Paustian, K. 1999. Aggregate and soil organic matter dynamics under conventional and no-tillage systems. *Soil Sci. Soc. of Am. J.* **63**(5): 1350-1358. doi:10.2136/sssaj1999.6351350x.
- Six, J., Elliott, E.T., Paustian, K., and Doran, J.W. 1998. Aggregation and soil organic matter accumulation in cultivated and native grassland soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.* **62**(5): 1367-1377. doi:10.2136/sssaj1998.03615995006200050032x.
- Smith, R.G., Bettiga, L., Cahn, M., Baumgartner, K., Jackson, L., and Bensen, T. 2008. Vineyard floor management affects soil, plant nutrition, and grape yield and quality. *Calif. Agri.* **62**(4): 184-190. doi:10.3733/ca.v062n04p184.
- Smith, R.G. 2006. Timing of tillage is an important filter on the assembly of weed communities. *Weed Sci.* **54**(4): 705-712.
- Soil Classification Working Group. 1998. The Canadian System of Soil Classification. Third edition. NRC Research Press, Ottawa, ON, Canada. 187 pp.

- Steenwerth, K.L., Calderón-Orellana, A., Hanifin, R.C., Storm, C., and McElrone, A.J. 2016. Effects of various vineyard floor management techniques on weed community shifts and grapevine water relations. *Am. J. Enol. Vitic.* **67**(2): 153-162. doi:10.5344/ajev.2015.15050.
- Steinmaus, S., Elmore, C.L., Smith, R.J., Donaldson, D., Weber, E.A., Roncoroni, J.A., and Miller, P.R.M. 2008. Mulched cover crops as an alternative to conventional weed management systems in vineyards. *Weed Res.* **48**(3): 273-281. doi:10.1111/j.1365-3180.2008.00626.x.
- Sweet, R.M., and Schreiner, R. 2010. Alleyway cover crops have little influence on Pinot Noir grapevines (*Vitis vinifera* L.) in two western Oregon vineyards. *Am. J. Enol. Vitic.* **61**(2): 240-252.
- Tesic, D., Keller, M., and Hutton, R. 2007. Influence of vineyard floor management practices on grapevine vegetative growth, yield, and fruit composition. *Am. J. Enol. Vitic.* **58**(1): 1-11.
- Thivierge, M.N., Angers, D.A., Chantigny, M.H., Seguin, P., and Vanasse, A. 2016. Root traits and carbon input in field grown sweet pearl millet, sweet sorghum, and grain corn. *Agron. J.* **108**(1): 459-471. doi: 10.2134/agronj2015.0291
- Tuesca, D., Puricelli, E., and Papa, J.C. 2001. A long-term study of weed flora shifts in different tillage systems. *Weed Res.* **41**(4): 369-382. doi:10.1046/j.1365-3180.2001.00245.x.
- Turner, F.A., Jordan, K.S., and Acker, R.C.V. 2012. Review: The recruitment biology and ecology of large and small crabgrass in turfgrass: Implications for management in the context of a cosmetic pesticide ban. *Can. J. Plant Sci.* **92**(5): 829-845. doi:10.1139/CJPS2011-258.
- Vasileiadis, V., Froud-Williams, R., et Eleftherohorinos, I. 2007. Vertical distribution, size and composition of the weed seedbank under various tillage and herbicide treatments in a sequence of industrial crops. *Weed Res.* **47**(3): 222-230. doi:10.1111/j.1365-3180.2007.00564.x.
- Wardle, D.A., Nicholson, K.S., and Rahman, A. 1992. Influence of pasture grass and legume swards on seedling emergence and growth of *Carduus nutans* L. and *Cirsium vulgare* L. *Weed Res.* **32**(2): 119-128. doi:10.1111/j.1365-3180.1992.tb01869.x

### 3.8 Tables

**Table 3-1.** Main field operations in various weed management method treatments throughout the experiment.

Field operations	Weed management method treatments in which the field operation was performed	Year				
		2018	2019	2020		
De-hilling	Cultivation, Annual Intercrop, and Weedy Control	-	29 April	7 April		
Removal of geotextiles	Perennial Intercrop	-	18 April	2 April		
Spring pruning	All treatments <sup>a</sup>	-	25 May	9 April		
Fall pruning	All treatments <sup>a</sup>	-	29 October	28 October		
Seeding of Annual Intercrop	Annual Intercrop	22 May	22 May	14 May		
Seeding of Perennial Intercrop	Perennial Intercrop	22 May	-	-		
In-row weeding	All treatments <sup>a</sup>	11 June <sup>b</sup>	20 July	21 May		
		27 June <sup>c</sup>	4 July	9 July		
		28 June <sup>d</sup>	15 and 16 July	-		
		6 July <sup>d</sup>	2 August	-		
		9 July	30 September	-		
		30 July	-	-		
		14 August	-	-		
		12 September	-	-		
		Rotary cultivator in the interrow	Cultivation	12 June	26 June	19 June
				30 July	10 July	15 July
14 August	24 July			27 August		
5 September	1 October			-		
27 June	18 June			10 June		
Living mulch mowing	Annual Intercrop, Perennial Intercrop, and Weedy Control	9 July	2 July	23 June		
		20 July	12 July	15 July		
		30 July	24 July	7 August		
		10 August	6 August	26 August		
		27 August	20 August	-		
		-	6 September	-		
		-	-	-		
Hilling	Cultivation, Annual Intercrop, and Weedy Control	5 November	4 November	9 November		
Installation of geotextiles	Perennial Intercrop	9 November	4 November	10 November		

<sup>a</sup>The four weed management methods were: Cultivation, Annual Intercrop, Perennial Intercrop, and Weedy Control.

<sup>b</sup>All except Weedy Control.

<sup>c</sup>Annual and Perennial Intercrop only.

<sup>d</sup>Weedy Control only.

**Table 3-2.** Vegetation, intercrop, and weed shoot biomass at the end of the growing season.

Weed management method	Vegetation shoot biomass <sup>a</sup> (g·m <sup>-2</sup> )	Intercrop shoot biomass (g·m <sup>-2</sup> )	Weed shoot biomass		
			Annual (g·m <sup>-2</sup> )	Perennial (g·m <sup>-2</sup> )	Total <sup>b</sup> (g·m <sup>-2</sup> )
Cultivation	-	-	-	-	-
Weedy Control	-	-	-	-	-
Annual Intercrop <sup>c</sup>	-	115.55 ± 20.03 b	-	-	-
Perennial Intercrop <sup>d</sup>	-	164.42 ± 14.84 a	-	-	-
<b>Weed management method × year</b>					
<b>2018</b>					
Cultivation	0.74 ± 0.27 b	-	0.05 ± 0.02 c	0.69 ± 0.27 c	0.74 ± 0.27 b
Weedy Control	233.24 ± 14.97 a	-	74.82 ± 15.11 a	157.40 ± 13.82 a	233.24 ± 14.97 a
Annual Intercrop <sup>c</sup>	169.46 ± 19.59 a	-	14.52 ± 6.39 b	59.09 ± 20.80 b	73.65 ± 24.04 b
Perennial Intercrop <sup>d</sup>	207.73 ± 8.24 a	-	12.22 ± 5.30 b	34.87 ± 1.83 b	47.18 ± 4.71 b
<b>2019</b>					
Cultivation	3.45 ± 3.28 j	-	0.00 ± 0.00 k	0.21 ± 0.12 k	3.45 ± 3.28 k
Weedy Control	287.54 ± 12.84 i	-	124.59 ± 21.76 i	146.46 ± 18.29 i	287.54 ± 12.84 i
Annual Intercrop <sup>c</sup>	239.39 ± 11.88 i	-	25.04 ± 11.59 j	44.34 ± 11.41 j	74.89 ± 17.17 jk
Perennial Intercrop <sup>d</sup>	304.90 ± 27.40 i	-	0.58 ± 0.31 k	120.49 ± 16.73 i	121.06 ± 16.49 j
<b>2020</b>					
Cultivation	10.68 ± 3.75 z	-	4.83 ± 1.88 y	5.85 ± 2.83 z	10.68 ± 3.75 y
Weedy Control	237.30 ± 17.78 y	-	132.12 ± 28.42 x	105.17 ± 24.38 y	237.30 ± 17.78 x
Annual Intercrop <sup>c</sup>	288.81 ± 42.54 xy	-	187.64 ± 57.77 x	14.82 ± 5.51 z	202.47 ± 55.62 x
Perennial Intercrop <sup>d</sup>	353.16 ± 14.03 x	-	0.88 ± 0.37 z	203.42 ± 28.29x	204.30 ± 27.94 x
<b>Source of variation</b>			<b>P-values</b>		
Weed management method	< 0.0001	0.0233	< 0.0001	< 0.0001	0.0001
Year	< 0.0001	0.0686	< 0.0001	0.2388	0.0005
Weed management method × year	0.0036	0.5701	< 0.0001	< 0.0001	0.0014

Note: Mean value ( $n = 4$ ) ± standard error. Significant differences are indicated by different letters within column based on Tukey's honest significant difference ( $\alpha = 0.05$ ).

<sup>a</sup>Intercrop and weed biomass pooled.

<sup>b</sup>Includes unknown, unidentified weeds.

<sup>c</sup>Italian rye grass and oats biomass pooled.

<sup>d</sup>Italian and perennial rye grass, red fescue, and Kentucky blue grass biomass pooled.

**Table 3-3.** Weed species richness, diversity, and relative abundance of the most frequent weed species.

Weed management method × year	Weed species richness ( <i>S</i> )	Weed species diversity ( <i>H'</i> )	Weed species relative abundance ( $p_i$ )					
			CENJA (%)	DIGIS (%)	PANCA (%)	PLALA (%)	POLAV (%)	TRFG <sup>a</sup> (%)
2018								
Cultivation	4 ± 1 b	0.46 ± 0.04 b	30	0	0	27	0	1
Weedy Control	13 ± 0 a	0.81 ± 0.02 a	28	0	10	7	12	4
Annual Intercrop	10 ± 2 a	0.58 ± 0.11 ab	49	0	4	15	9	5
Perennial Intercrop	10 ± 1 a	0.64 ± 0.06 a	41	0	6	15	12	7
2019								
Cultivation	1 ± 0 k	0.00 ± 0.00 k	6	0	0	0	0	0
Weedy Control	15 ± 15 i	0.87 ± 0.02 i	12	2	24	9	10	4
Annual Intercrop	13 ± 13 i	0.86 ± 0.08 i	11	9	8	13	11	4
Perennial Intercrop	7 ± 7 j	0.40 ± 0.03 j	36	0	0	9	0	49
2020								
Cultivation	5 ± 1 y	0.29 ± 0.07 z	0	8	14	4	0	0
Weedy Control	12 ± 1 x	0.73 ± 0.11 x	17	24	16	6	3	12
Annual Intercrop	9 ± 2 xy	0.39 ± 0.10 yz	2	73	7	3	1	1
Perennial Intercrop	8 ± 1 y	0.46 ± 0.01 y	41	0	0	1	0	46
Source of variation			<i>P-values</i>					
Weed management method	< 0.0001	< 0.0001	-	-	-	-	-	-
Year	0.6132	0.0097	-	-	-	-	-	-
Weed management method × year	0.0026	0.0004	-	-	-	-	-	-

Note: Mean value ( $n = 4$ ) ± standard error. Significant differences are indicated by different letters within sampling event based on Tukey's honest significant difference ( $\alpha = 0.05$ ). EPPO codes represent these weed species: brown knapweed (CENJA), smooth crab grass (DIGIS), witch grass (PANCA), narrow-leaved plantain (PLALA), prostrate knotweed (POLAV), and clovers (TRFG).

<sup>a</sup>White and red clover biomass were pooled for analysis.

**Table 3-4.** Mean weight diameter and particle size distribution of water stable aggregates.

Weed management method × sampling	Mean weight diameter (mm)	Particle size distribution	
		Medium, stable aggregates > 1 mm (%)	Macroaggregates > 0.25 mm (%)
May 2019			
Cultivation	2.03 ± 0.06 a	51.43 ± 1.77 a	84.53 ± 2.87 a
Weedy Control	2.01 ± 0.06 a	50.82 ± 1.90 a	84.39 ± 1.79 a
Annual Intercrop	2.14 ± 0.15 a	55.22 ± 4.85 a	85.13 ± 2.93 a
Perennial Intercrop	1.83 ± 0.08 a	45.22 ± 2.40 a	80.61 ± 3.82 a
August 2019			
Cultivation	1.79 ± 0.16 a	44.44 ± 4.91 a	78.48 ± 2.75 a
Weedy Control	1.60 ± 0.08 a	38.29 ± 2.75 a	76.22 ± 1.30 a
Annual Intercrop	1.97 ± 0.24 a	50.36 ± 7.69 a	80.84 ± 3.61 a
Perennial Intercrop	1.65 ± 0.11 a	39.90 ± 3.47 a	76.05 ± 1.43 a
October 2019			
Cultivation	1.59 ± 0.15 b	39.40 ± 4.61 b	68.86 ± 3.01 b
Weedy Control	2.23 ± 0.10 a	58.16 ± 3.38 a	87.65 ± 1.72 a
Annual Intercrop	2.48 ± 0.07 a	65.77 ± 2.53 a	93.15 ± 0.48 a
Perennial Intercrop	2.22 ± 0.15 a	57.58 ± 4.93 a	88.48 ± 2.96 a
May 2020			
Cultivation	2.20 ± 0.13 a	57.23 ± 4.07 a	87.24 ± 1.98 a
Weedy Control	2.08 ± 0.22 a	53.14 ± 7.24 a	86.30 ± 3.17 a
Annual Intercrop	2.32 ± 0.13 a	60.96 ± 4.09 a	89.06 ± 2.50 a
Perennial Intercrop	2.39 ± 0.18 a	63.77 ± 5.77 a	88.97 ± 3.50 a
August 2020			
Cultivation	1.39 ± 0.06 a	31.53 ± 2.33 b	73.94 ± 0.89 a
Weedy Control	1.80 ± 0.10 a	45.26 ± 3.39 ab	77.80 ± 1.41 a
Annual Intercrop	1.90 ± 0.07 a	47.75 ± 2.18 a	82.59 ± 1.96 a
Perennial Intercrop	1.88 ± 0.08 a	47.42 ± 2.51 ab	80.16 ± 2.29 a
October 2020			
Cultivation	1.55 ± 0.14 b	37.80 ± 4.42 b	68.52 ± 3.09 b
Weedy Control	1.91 ± 0.18 ab	48.94 ± 5.80 ab	75.17 ± 3.83 ab
Annual Intercrop	1.77 ± 0.21 ab	44.79 ± 6.27 ab	71.77 ± 5.80 ab
Perennial Intercrop	2.10 ± 0.10 a	54.77 ± 3.24 a	81.35 ± 2.01 a
Source of variation		<i>P-values</i>	
Weed management method	0.0009	0.0007	0.0004
Sampling	< 0.0001	0.0001	< 0.0001
Weed management method × sampling	0.0027	0.0316	0.0009

Note: Mean value ( $n = 4$ ) ± standard error. Significant differences are indicated by different letters within sampling event based on Tukey's honest significant difference ( $\alpha = 0.05$ ).

**Table 3-5.** Vine growth at the end of the season.

Weed management method	Vine growth		
	Pruning weight (g·vine <sup>-1</sup> )	Vine leaf biomass (g·vine <sup>-1</sup> )	Leaf area (m <sup>2</sup> ·vine <sup>-1</sup> )
Cultivation	690 ± 94 a	252 ± 46 a	4.65 ± 0.69 a
Weedy Control	580 ± 138 a	184 ± 38 ab	3.25 ± 0.48 ab
Annual Intercrop	425 ± 57 a	182 ± 32 b	3.08 ± 0.39 b
Perennial Intercrop	562 ± 302 a	137 ± 24 b	2.31 ± 0.34 b
<b>Year</b>			
2018	-	57 ± 7 c	-
2019	712 ± 144 a	313 ± 24 a	4.29 ± 0.37 a
2020	417 ± 78 b	196 ± 19 b	2.35 ± 0.24 b
<b>Source of variation</b>			
Weed management method	0.0341	0.0009	0.0026
Year	0.0169	< 0.0001	< 0.0001
Weed management method × year	0.4584	0.1589	0.5338

Note: Mean value ( $n = 4$ ) ± standard error. Significant differences are indicated by different letters within column based on Tukey's honest significant difference ( $\alpha = 0.05$ ).

**Table 3-6.** Vine yield and fruit quality at harvest in September 2020.

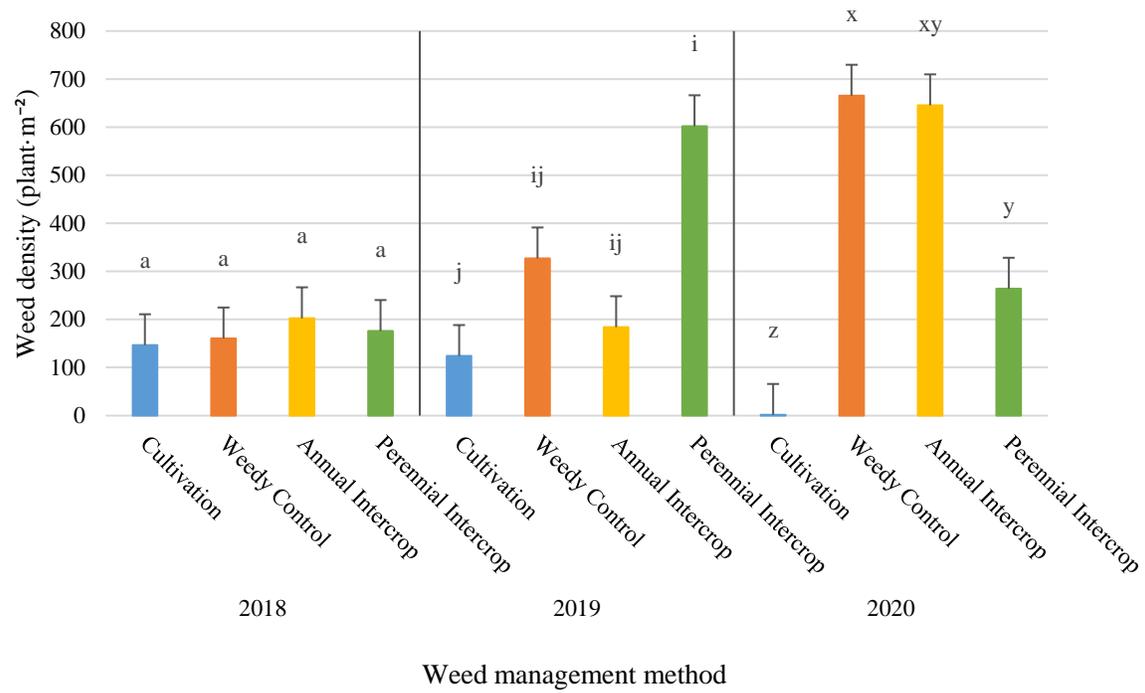
Weed management method	Vine yield (kg·vine <sup>-1</sup> )	Cluster number (no·vine <sup>-1</sup> )	Fruit quality		
			Brix	pH	Titrateable acidity (g·L <sup>-1</sup> )
Cultivation	1.38 ± 0.31	13 ± 3	17.7 ± 0.5	3.37 ± 0.04	7.84 ± 0.24
Weedy Control	1.22 ± 0.29	13 ± 2	16.0 ± 1.2	3.33 ± 0.03	7.09 ± 0.22
Annual Intercrop	1.33 ± 0.18	12 ± 1	16.8 ± 0.6	3.33 ± 0.07	7.51 ± 0.27
Perennial Intercrop	2.43 ± 0.80	20 ± 5	16.1 ± 0.5	3.31 ± 0.03	7.63 ± 0.36
Source of variation			<i>P-values</i>		
Weed management method	0.2653	0.3363	0.3850	0.7252	0.3250

Note: Mean value ( $n = 4$ ) ± standard error.

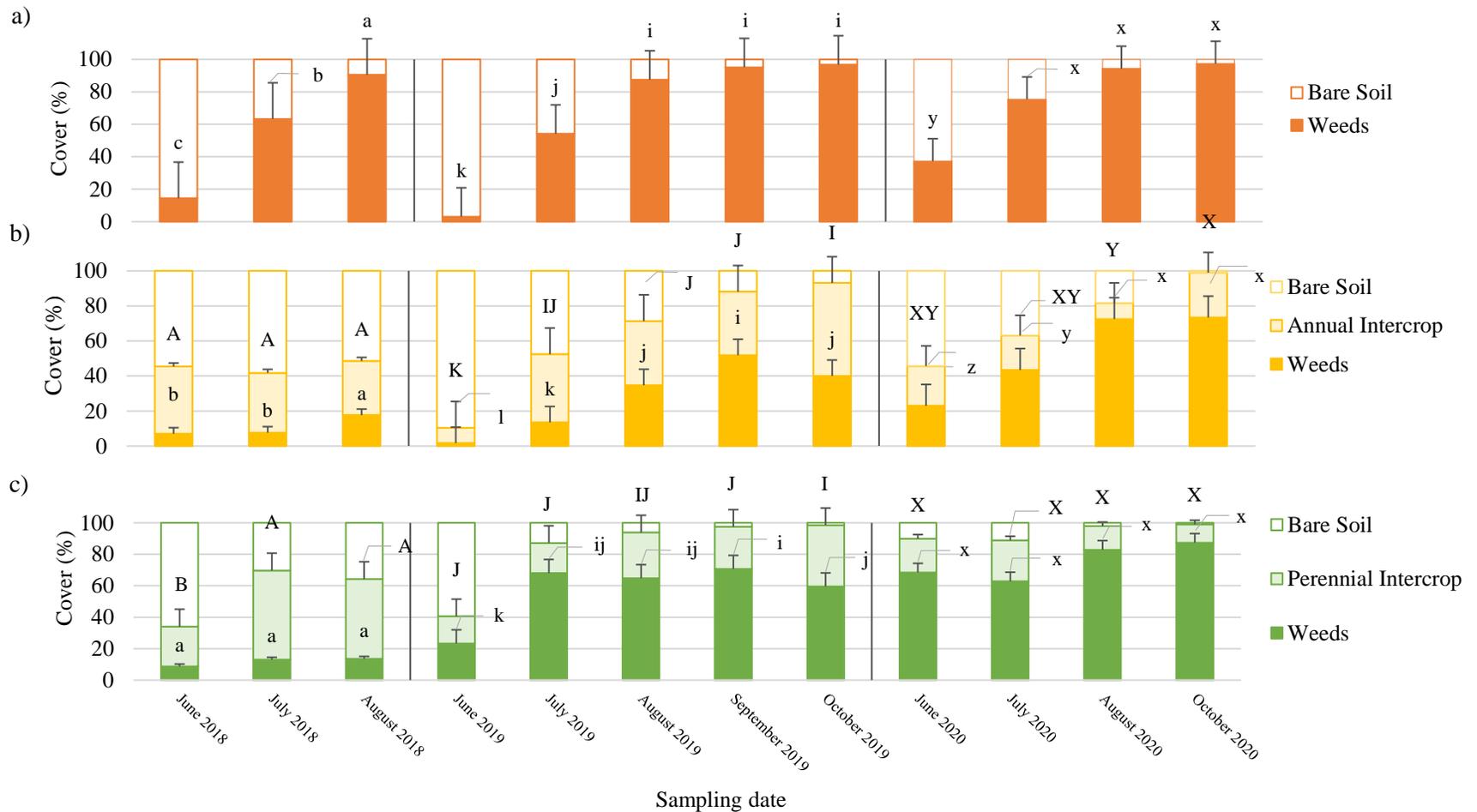
### 3.9 Figures



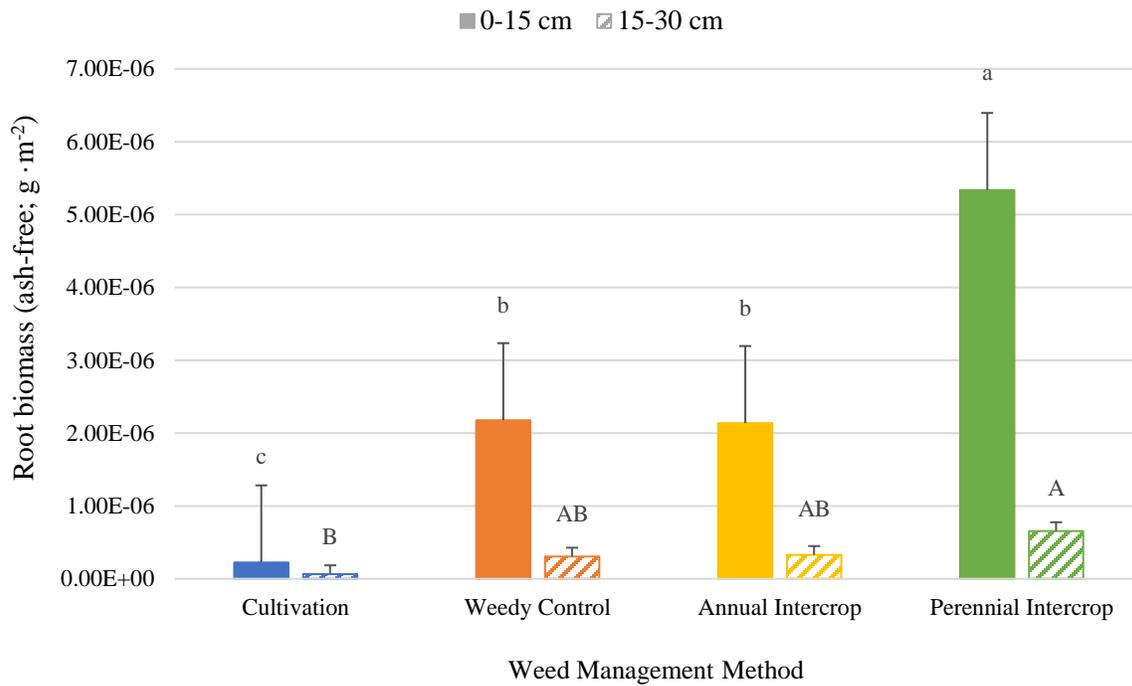
**Fig. 3-1.** Winter protection: Hilling (top) and geotextile fabric (bottom). Photo credit: Agriculture and Agri-Food Canada (2018).



**Fig. 3-2.** Mean weed density at intercrop emergence in early June throughout the experiment. Columns with different letters are significantly different between treatments within year based on Tukey's honest significant difference ( $\alpha = 0.05$ ). Error bars indicate + standard error.



**Fig. 3-3.** Mean intercrop and weed cover in the (a) Weedy Control, (b) Annual Intercrop, and (c) Perennial Intercrop treatments before mowing through the experiment. Treatment data were grouped by month within year. Columns with different letters (lowercase letters for weeds and capital letters for intercrop) are significantly different between months within year based on Tukey's honest significant difference ( $\alpha = 0.05$ ). Error bars indicate + standard error.



**Fig. 3-4.** Mean root biomass (ash-free) at 0-15 and 15-30 cm soil depth in weed management method before hilling. Columns with different lowercase letters are significantly different between treatments at 0-15 cm and columns with different capital letters are significantly different between treatments at 15-30 cm based on Tukey's honest significant difference ( $\alpha = 0.05$ ). Error bars indicate + standard error.

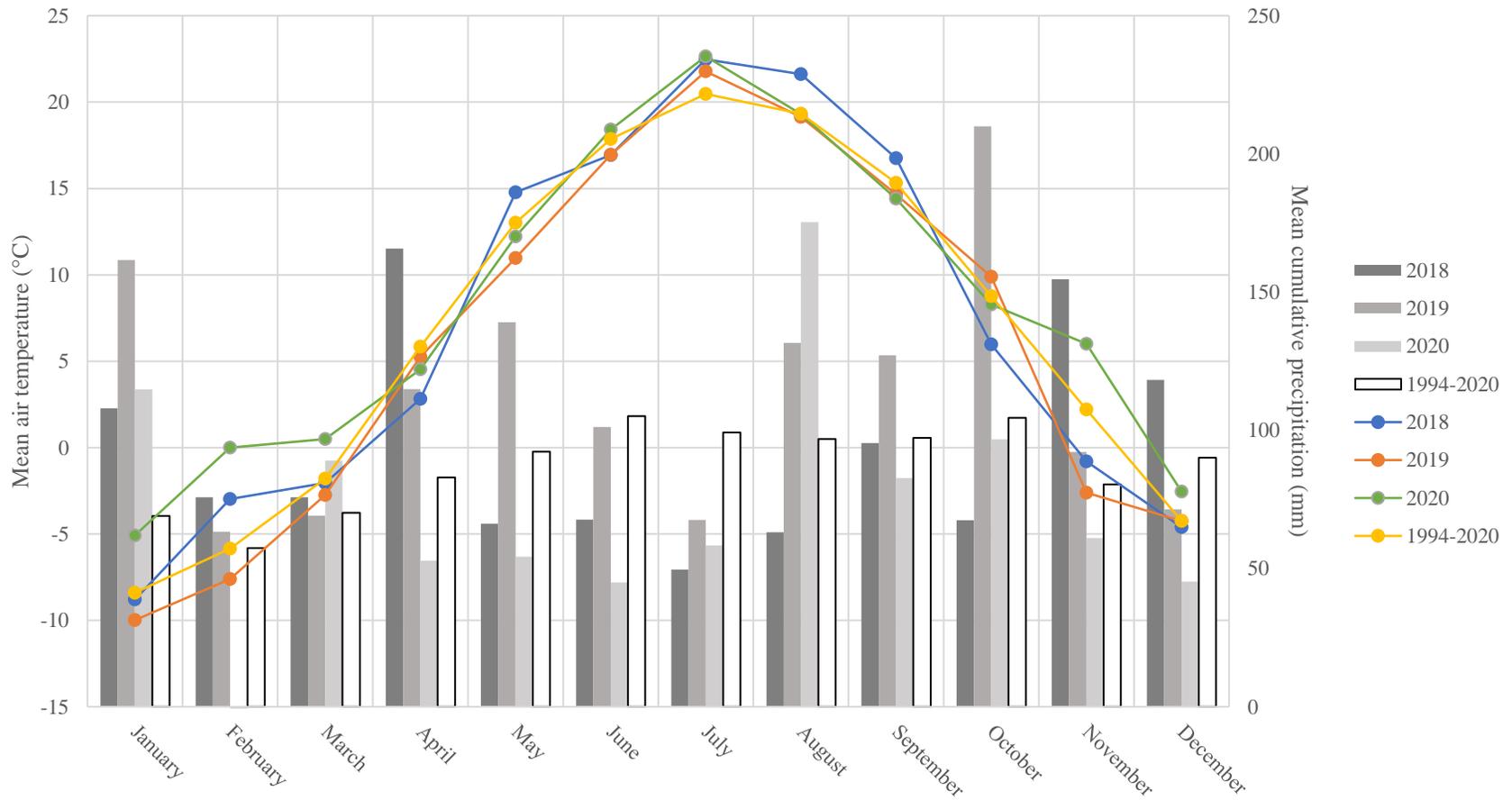
## 3.10 Supplementary files

### 3.10.1 Supplementary tables

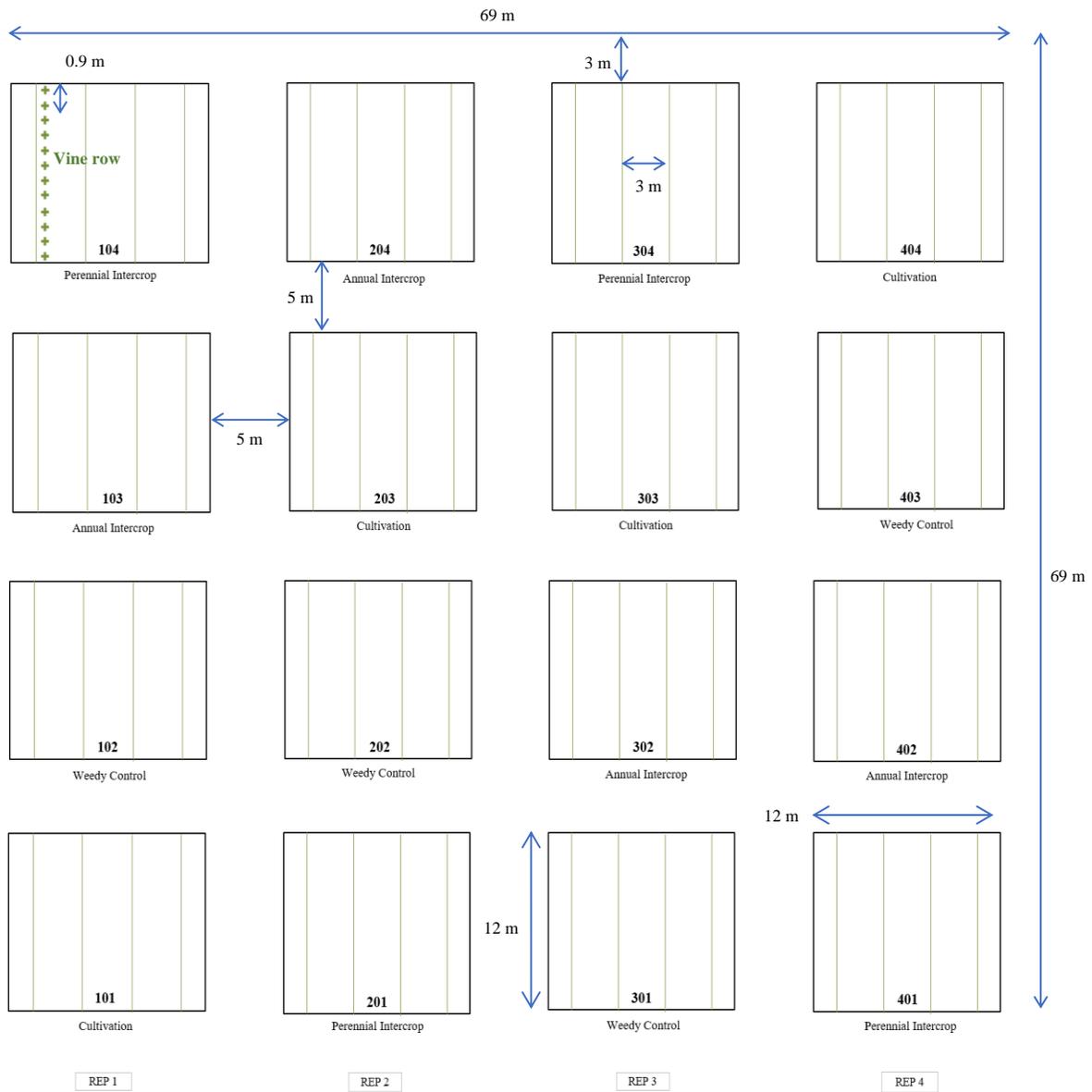
**Table S-1.** Sampling events and dates throughout the experiment.

Sampling events	Year		
	2018	2019	2020
Weed density	6 and 7 June	7 and 10 June	2 June
Vegetation cover	6 June	7 June	2 June <sup>a</sup>
	27 June	18 June	12 June <sup>b</sup>
	9 July	2 July	23 June
	18 July	12 July	14 July
	30 July	24 July	6 August
	10 August	6 August	25 August
	27 August	20 August	19 October
		6 September	
	21 October		
Vegetation shoot biomass	22 and 23 October	21 and 22 October	14 and 15 October
Vegetation root biomass	-	24 October	28 October
Aggregate stability to water	-	8 May	29 April
	-	6 August	10 August
	-	16 October	6 October
	-		
Soil gravimetric water content	-	30 May	29 April
	-	29 August	10 August
	-	16 October	6 October
	-		
Yield and fruit quality	-	-	24 September
Pruning weight, vine leaf biomass	16 October	9 and 10 October	6 and 9 October

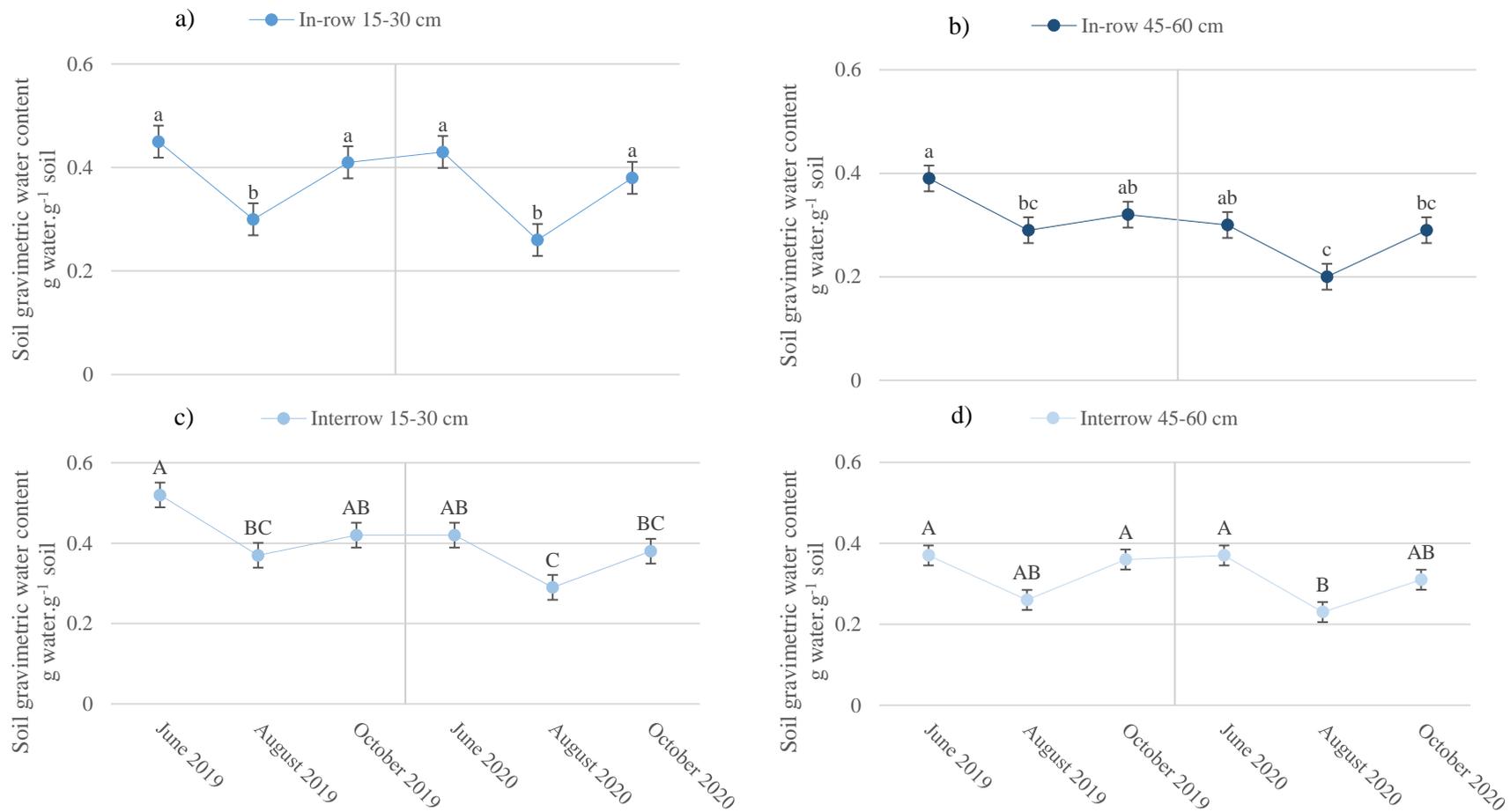
### 3.10.2 Supplementary figures



**Fig. S-1.** Monthly mean air temperature (dots) and monthly mean precipitation (columns) at the experimental site Frelighsburg, Quebec, Canada throughout the experiment (2018-2020) and the 26-year normal (1994-2020). Data from Environment and Climate Change Canada (2020).



**Fig. S-2.** Experimental design (randomized complete block design).



**Fig. S-3.** Soil water gravimetric content in row (a, b) and in the interrow (c, d) at 15-30 (a, c), and 45-60 (b, d) cm soil depth. Dots with different letters are significantly different between months within panel based on Tukey's honest significant difference ( $\alpha = 0.05$ ). Error bars indicate  $\pm$  standard error.

## Conclusion

Ce projet avait pour but de comparer une régie de désherbage où le sol est laissé à nu (désherbage mécanique) à l'implantation d'une culture intercalaire de graminées annuelles, une autre de graminées pérennes, ainsi qu'un témoin enherbé sur la répression des adventices, la stabilité des agrégats du sol ainsi que la croissance et le rendement de la vigne dans les conditions climatiques du Québec. Une expérience a été menée sur trois ans (2018-2020), dans laquelle nous avons évalué la croissance des adventices et des cultures intercalaires (densité, recouvrement, diversité, biomasses aériennes et racinaires), la stabilité des agrégats (diamètre moyen pondéré), la teneur en eau gravimétrique dans le sol et la croissance et productivité de la vigne (rendement, Brix, pH et acidité titrable du moût).

Les quatre hypothèses de départ ont été confirmées. Tout d'abord, tel que supposé, les cultures intercalaires ne sont pas parvenues à limiter l'établissement des adventices, contrairement au désherbage mécanique. Cependant, le niveau d'infestation était inférieur sous cultures intercalaires comparativement à celui observé sous le traitement témoin (enherbé). Les traitements incluant un couvert végétal (culture intercalaire ou adventices) avaient une plus grande richesse et diversité des populations végétales. La combinaison entre le type de protection hivernale et le type de culture intercalaire affecte aussi la composition des populations d'adventices. Le travail du sol automnal pour butter les vignes a mené à une augmentation de la proportion d'adventices annuelles dans la culture intercalaire annuelle. Au contraire, une augmentation de la proportion d'adventices pérennes a été observée dans la culture intercalaire pérenne où il y a absence de travail du sol (utilisation de géotextiles, donc aucun buttage).

Au niveau du sol, l'intensité du désherbage mécanique répété en saison a effectivement été nuisible pour la structure du sol (diamètre moyen pondéré inférieur en fin de saison). Au contraire, les exsudations du système racinaire des couverts végétaux qui sont une source de carbone organique ont certainement contribué à préserver la cohésion entre les particules de sol. Le fait que les espèces intercalaires appartenaient à la même famille botanique (Poacées) et présentent donc des caractéristiques fonctionnelles identiques quant au type de système racinaire pourrait expliquer les similarités observées entre la culture intercalaire annuelle et pérenne en ce qui concerne à la stabilité des agrégats.

Enfin, la dernière hypothèse concernant le rendement et la qualité de la récolte a aussi été validée par les résultats : la présence d'un couvert végétal dans l'entre-rang (culture intercalaire, adventices) n'a pas eu de répercussion sur le rendement de la vigne ni les caractéristiques du moût

après la période d'implantation. Néanmoins, il semble que les cultures intercalaires aient fait compétition à la vigne surtout en début de saison car la biomasse foliaire et la surface foliaire moyenne d'un plant de vigne étaient plus importantes sous désherbage mécanique que dans les cultures intercalaires. Il s'agit d'une période où les besoins en eau et minéraux des cultures intercalaires sont particulièrement importants pour l'établissement qui coïncide avec le cycle végétatif de la vigne. Cependant, cette compétition n'a pas réduit le rendement et la qualité de la récolte. En effet, le climat continental qui est davantage tempéré et humide en saison que dans la plupart des autres régions viticoles (climat méditerranéen), permet d'atténuer la pression exercée par les cultures intercalaires sur les ressources disponibles au détriment de la vigne lors de sécheresses.

À la lumière de ces résultats, les cultures intercalaires sont une alternative intéressante au désherbage intégral de l'entre-rang dans les vignobles québécois à condition que le désherbage sur le rang demeure efficace tout au long de la saison. En effet, la productivité de la vigne n'a pas été impactée négativement par l'implantation de couverts végétaux dans l'entre-rang, malgré une augmentation du niveau d'infestation des adventices, et ceux-ci permettent de préserver la qualité de la structure du sol contrairement au désherbage mécanique.

Toutefois, cette recherche soulève le point suivant : un couvert végétal d'adventices, nécessitant un entretien minimum par la tonte, est-il plus avantageux qu'une culture intercalaire ensemencée ? Considérant l'absence d'effet sur le rendement et la qualité de la récolte, un effet positif similaire sur la stabilité des agrégats et les coûts plus élevés associés à l'ensemencement (semences, location/achat d'un semoir, etc.), la question se pose. Il faudrait toutefois évaluer l'impact sur la banque de semences et ce que cela implique à long terme. Il faudrait donc élargir la question de recherche aux années suivant la période d'implantation, afin de pouvoir faire une recommandation éclairée. En effet, au terme de trois ans, il est évident que l'implantation ou non de cultures intercalaires avec ou sans travail du sol (selon le type de protection hivernale) peut augmenter les populations d'adventices observées dans l'entre-rang alors qu'il demeure primordial de limiter leur dispersion vers le rang. Selon les espèces dominantes, ceci pourrait s'avérer être un défi s'il s'agissait par exemple de vivaces difficiles à réprimer mécaniquement ou de biotypes résistants aux herbicides utilisés sur le rang.

# Bibliographie

- Agriculture and Agri-Food Canada. 2018. Crop profile for grape in Canada, 2016. [En ligne]. Disponible à: [https://www.agrireseau.net/phytoprotection/documents/Profil\\_culture\\_vigne\\_Can\\_2006F.pdf](https://www.agrireseau.net/phytoprotection/documents/Profil_culture_vigne_Can_2006F.pdf) [7 Mai 2021].
- Angers, D.A., Bullock, M.S., et Mehuys, G.R. 2007. Aggregate stability to water. 2nd ed. Pages 811-819 dans M.R. Carter et E.G. Gregorich, eds. Soil sampling and methods of analysis. CRC Press, Boca Raton, FL, USA.
- Bàrberi, P. et Mazzoncini, M. 2001. Changes in weed community composition as influenced by cover crop and management system in continuous corn. *Weed Sci.* **49**(4): 491-499. doi:10.1614/0043-1745(2001)049[0491:CIWCCA]2.0.CO;2.
- Barriault, É. et Bergeron, K. 2018. [En ligne]. Prévenir el gel automnal hâtif pour prolonger la saison et favoriser la maturité des fruits. [En ligne]. Disponible à: [https://www.agrireseau.net/documents/Document\\_98634.pdf](https://www.agrireseau.net/documents/Document_98634.pdf) [7 Mai 2021].
- Barriault, É. 2017. Guide de bonnes pratiques en viticulture. Centre de référence en agriculture et agroalimentaire du Québec, Québec, QC, Canada. 123 pp.
- Barriault, É. 2012. Vigne : Guide d'implantation. Centre de référence en agriculture et agroalimentaire du Québec, Québec, QC, Canada. 117 pp.
- Battany, M. et Grismer, M.E. 2000. Rainfall runoff and erosion in Napa Valley vineyards: Effects of slope, cover and surface roughness. *Hydrol. Process.* **14**(7): 1289-1304. doi:10.1002/(SICI)1099-1085(200005)14:7<1289::AID-HYP43>3.0.CO;2-R.
- Baumgartner, K., Steenwerth, K.L., et Veilleux, L. 2008. Cover-crop systems affect weed communities in a California vineyard. *Weed Sci.* **56**(4): 596-605. doi:10.1614/WS-07-181.1.
- Baumgartner, K., Steenwerth, K.L., et Veilleux, L. 2007. Effects of organic and conventional practices on weed control in a perennial cropping system. *Weed Sci.* **55**(4): 352-358. doi:10.1614/WS-06-171.
- Belmonte, S.A., Celi, L., Stahel, R.J., Bonifacio, E., Novello, V., Zanini, E., et Steenwerth, K.L. 2018. Effect of long-term soil management on the mutual interaction among soil organic matter, microbial activity and aggregate stability in a vineyard. *Pedosphere.* **28**(2): 288-298. doi:10.1016/S1002-0160(18)60015-3.
- Bennett, H.H. 1939. Soil conservation. McGraw-Hill, New York, NY, USA. 993 pp.
- Beyaert, R.P. et Fox, C.A. 2007. Assessment of soil biological activity. 2nd ed. Pages 527-547 dans M.R. Carter et E.G. Gregorich, eds. Soil sampling and methods of analysis. CRC Press, Boca Raton, FL, USA.
- Blavet, D., De Noni, G., Le Bissonnais, Y., Leonard, M., Maillo, L., Laurent, J.Y., Asseline, J., Leprun, J.C., Arshad, M.A., et Roose, E. 2009. Effect of land use and management on the early stages of soil water erosion in French Mediterranean vineyards. *Soil Tillage Res.* **106**(1): 124-136. doi:10.1016/j.still.2009.04.010.

- Bronick, C.J. et Lal, R. 2005. Soil structure and management: A review. *Geoderma*. **124**(1-2): 3-22. doi:10.1016/j.geoderma.2004.03.005.
- Busey, P. 2003. Cultural management of weeds in turfgrass: A review. *Crop Sci.* **43**(6): 1899-1911. doi:10.2135/cropsci2003.1899.
- Cann, D.B., Lajoie, P., et Stobbe, P.C. 1948. Études des sols des comtés de Shefford, Brome et Missisquoi dans la province de Québec. Le Service, Ottawa, ON, Canada. 94 pp.
- Celette, F., Findeling, A., et 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. *Eur. J. Agron.* **30**(1): 41-51. doi:10.1016/j.eja.2008.07.003.
- Celette, F., Gaudin, R., et Gary, C. 2008. Spatial and temporal changes to the water regime of a Mediterranean vineyard due to the adoption of cover cropping. *Eur. J. Agron.* **29**(4): 153-162. doi:10.1016/j.eja.2008.04.007.
- Celette, F., Wery, J., Chantelot, E., Celette, J., et Gary, C. 2005. Belowground interactions in a vine (*Vitis vinifera* L.)-tall fescue (*Festuca arundinacea* Shreb.) intercropping system: Water relations and growth. *Plant Soil.* **276**(1-2): 205-217. doi:10.1007/s11104-005-4415-5.
- Chauhan, B.S., Gill, G., et Preston, C. 2006. Tillage system effects on weed ecology, herbicide activity and persistence: A review. *Aust. J. Exp. Agric.* **46**(12): 1557-1570. doi:10.1071/EA05291.
- Christians, N., Patton, A.J., et Law, Q.D. 2017. Fundamentals of turfgrass management. Fifth Edition. John Wiley & Sons, Hoboken, NJ, USA. 472 pp.
- Cordeau, S., Baudron, A., et Adeux, G. 2020. Is tillage a suitable option for weed management in conservation agriculture? *Agron.* **10**(11): 1746. doi:10.3390/agronomy10111746.
- Cordeau, S., Smith, R.G., Gallandt, E.R., Brown, B., Salon, P., DiTommaso, A., et Ryan, M.R. 2017. Timing of tillage as a driver of weed communities. *Weed Sci.* **65**(4): 504-514. doi:10.1017/wsc.2017.26.
- Corti, G., Cavallo, E., Cocco, S., Biddoccu, M., Brecciaroli, G., et Agnelli, A. 2011. Evaluation of erosion intensity and some of its consequences in vineyards from two hilly environments under a mediterranean type of climate, italy. Pages 113-160 dans D. Godone et S. Stanchi, eds. Soil erosion issues in agriculture. InTech, Rijeka, HRV.
- Crespy, A. 1987. Viticulture d'aujourd'hui. Tec & Doc, Paris, France. 176 pp.
- Dami, I., Bordelon, B., Ferree, D., Brown, M., Ellis, M., Williams, R., et Doohan, D. 2005. Midwest grape production guide [bulletin 919]. The Ohio State University Extension, Columbus, OH, USA. 155 pp.
- Demjanova, E., Macak, M., Dalovic, I., Majernik, F., Tyr, S., et Smatana, S. 2009. Effects of tillage systems and crop rotation on weed density, weed species composition and weed biomass in maize. *Agron. Res.* **7**(2): 785-792.

- Derksen, D.A., Lafond, G.P., Thomas, A.G., Loeppky, H.A., et Swanton, C.J. 1993. Impact of agronomic practices on weed communities: Tillage systems. *Weed Sci.*: 409-417.
- Derr, J.F. et Tech, V. 2008. Vineyard weed management. Pages 262-271 dans T.K. Wolf et V. Tech, eds. *Wine grape production guide for eastern North America*. Natural Resource, Agriculture, and Engineering Service Cooperative Extension, Ithaca, NY, USA.
- Devetter, L.W., Dilley, C., et Nonnecke, G. 2015. Mulches reduce weeds, maintain yield, and promote soil quality in a Continental-climate vineyard. *Am. J. Enol. Vitic.* **66**(1): 54-64. doi:10.5344/ajev.2014.14064.
- Dore, W.G. et McNeill, J. 1980. *Grasses of Ontario*. Research Branch Agriculture Canada, Ottawa, ON, Canada. 566 pp.
- Duran, Z.V. et Rodriguez, P.C. 2008. Soil-erosion and runoff prevention by plant covers. A review. *Agron. Sustain. Dev.* **28**(1): 65-86. doi:10.1051/agro:2007062.
- Environment and Climate Change Canada. 2020. Past weather and climate. [En ligne]. Disponible à: [https://climat.meteo.gc.ca/historical\\_data/search\\_historic\\_data\\_f.html](https://climat.meteo.gc.ca/historical_data/search_historic_data_f.html) [2 Février 2020].
- Fennell, A. 2004. Freezing tolerance and injury in grapevines. *J. Crop Improv.* **10**(1-2): 201-235. doi:10.1300/J411v10n01\_09.
- Ferrara, G., Mazzeo, A., Matarrese, A.M.S., Pacifico, A., Fracchiolla, M., Al Chami, Z., Lasorella, C., Montemurro, P., et Mondelli, D. 2015. Soil management systems: Effects on soil properties and weed flora. *S. Afr. J. Enol. Vitic.* **36**(1): 11-20.
- Finney, D.M., White, C.M., et Kaye, J.P. 2016. Biomass production and carbon/nitrogen ratio influence ecosystem services from cover crop mixtures. *Agron. J.* **108**(1): 39-52. doi:10.2134/agronj15.0182.
- Flores-Mejia, S., Fréchette, I., et Marcoux, A. 2018. 6. Résultats du service de détection de la résistance des mauvaises herbes aux herbicides pour la saison 2018-2019 et portrait de la résistance au Québec de 2011 à 2018. [En ligne]. Disponible à: [https://www.agrireseau.net/documents/Document\\_100807.pdf](https://www.agrireseau.net/documents/Document_100807.pdf) [7 May 2021].
- Fourie, J. 2010. Soil management in the Breede River Valley wine grape region, South Africa. 1. Cover crop performance and weed control. *S. Afr. J. Enol. Vitic.* **31**(1): 14-21. doi:10.21548/31-1-1394
- Fourie, J., Louw, P., et Agenbag, G. 2006. Cover crop management in a Chardonnay/99 Richter vineyard in the coastal wine grape region, South Africa. 1. Effect of two management practices on selected grass and broadleaf species. *S. Afr. J. Enol. Vitic.* **27**(2): 167-177. doi:10.21548/27-2-1616.
- Francia Martínez, J.R., Durán Zuazo, V.H., et Martínez Raya, A. 2006. Environmental impact from mountainous olive orchards under different soil-management systems (SE Spain). *Sci. Total Environ.* **358**(1-3): 46-60. doi:10.1016/j.scitotenv.2005.05.036.

- Fredrikson, L., Skinkis, P.A., et Peachey, E. 2011. Cover crop and floor management affect weed coverage and density in an establishing Oregon vineyard. *HortTechnology*. **21**(2): 208-216. doi:10.21273/HORTTECH.21.2.208.
- Gago, P., Cabaleiro, C., et García, J. 2007. Preliminary study of the effect of soil management systems on the adventitious flora of a vineyard in northwestern Spain. *Crop Prot.* **26**(4): 584-591. doi:10.1016/j.cropro.2006.05.012.
- Garcia, L., Damour, G., Gary, C., Follain, S., Le Bissonnais, Y., et Metay, A. 2019. Trait-based approach for agroecology: Contribution of service crop root traits to explain soil aggregate stability in vineyards. *Plant Soil*. **435**(1): 1-14. doi:10.1007/s11104-018-3874-4.
- Garcia, L., Celette, F., Gary, C., Ripoche, A., Valdés-Gómez, H., et Metay, A. 2018. Management of service crops for the provision of ecosystem services in vineyards: A review. *Agri. Ecosyst. Environ.* **251**: 158-170. doi:10.1016/j.agee.2017.09.030.
- García-Ruiz, J.M., Nadal-Romero, E., Lana-Renault, N., et Beguería, S. 2013. Erosion in Mediterranean landscapes: Changes and future challenges. *Geomorphol.* **198**: 20-36. doi:10.1016/j.geomorph.2013.05.023.
- Gaviglio, C. 2013. *Gestion des sols viticoles*. Éd. France agricole, Paris, France. 241 pp.
- Girard, G. 2003. *Bases scientifiques et technologiques de la viticulture : Bac pro cgea, option vigne et vin, modules mp 141-142*. Tec & Doc, Paris, France. 334 pp.
- Gómez, J.A. 2017. Sustainability using cover crops in Mediterranean tree crops, olives and vines—challenges and current knowledge. *Hungr. Geogr. Bull.* **66**(1): 13-28. doi:10.15201/hungeobull.66.1.2.
- Gómez, J.A., Llewellyn, C., Basch, G., Sutton, P.B., Dyson, J.S., et Jones, C.A. 2011. The effects of cover crops and conventional tillage on soil and runoff loss in vineyards and olive groves in several Mediterranean countries. *Soil Use Manag.* **27**(4): 502-514. doi:10.1111/j.1475-2743.2011.00367.x.
- Gould, I.J., Quinton, J.N., Weigelt, A., Deyn, D.G.B., Bardgett, R.D., et Seabloom, E. 2016. Plant diversity and root traits benefit physical properties key to soil function in grasslands. *Ecol. Lett.* **19**(9): 1140-1149. doi:10.1111/ele.12652.
- Granatstein, D. et Mullinix, K. 2008. Mulching options for northwest organic and conventional orchards. *HortScience*. **43**(1): 45-50. doi:10.21273/HORTSCI.43.1.45.
- Greven, M.M., Bennett, J.S., et Neal, S.M. 2014. Influence of retained node number on Sauvignon Blanc grapevine vegetative growth and yield. *Aust. J. Grape Wine Res.* **20**(2): 263-271. doi:10.1111/ajgw.12074.
- Guerra, B. et Steenwerth, K. 2012. Influence of floor management technique on grapevine growth, disease pressure, and juice and wine composition: A review. *Am. J. Enol. Vitic.* **63**(2): 149-164. doi:10.5344/ajev.2011.10001.
- Gulden, R.H. et Shirliffe, S.J. 2009. Weed seed banks: Biology and management. *Prairie Soils Crop. J.* **2**: 46-52.

- Hammermeister, A.M. 2016. Organic weed management in perennial fruits. *Sci. Hortic.* (Amsterdam, Neth.). **208**: 28-42. doi:10.1016/j.scienta.2016.02.004.
- Hartwig, N.L. et Ammon, H.U. 2002. Cover crops and living mulches. *Weed Sci.* **50**(6): 688-699. doi:10.1614/0043-1745(2002)050[0688:AIACCA]2.0.CO;2.
- Hassen, T.B. et Tremblay, D.-G. 2016. Innovation et territoire dans le secteur du vin au Québec. *Rev. Écon. Rég. Urbaine.* **2**: 325-354. doi:10.3917/rru.162.0325.
- Hayek, L.A.C. et Buzas, M.A. 2010. *Surveying natural populations : Quantitative tools for assessing biodiversity.* 2nd ed. Columbia University Press, New York, NY, USA. 590 pp.
- Hirschfeld, D.J. 1998. Soil fertility and vine nutrition. Pages 61-68 dans C.A. Ingels, R.L. Bugg, G.T. McGourty et C.L. Peter, eds. *Cover cropping in vineyards. A grower's handbook.* University of California, Division of Agriculture and Natural Resources, Oakland, CA, USA.
- Huard, C. 2019. Survol historique du vignoble québécois - 2ième partie. [En ligne]. Disponible à: <https://boiteavins.com/blogs/vin-du-quebec/ceci-est-juste-pour-donner-une-idee> [21 avril 2021].
- Hyvönen, T. et Salonen, J. 2002. Weed species diversity and community composition in cropping practices at two intensity levels: A six-year experiment. *Plant Ecol.* **159**(1): 73-81. doi:10.1023/A:1015580722191.
- Ingels, C.A., Scow, K.M., Whisson, D.A., et Drenovsky, R.E. 2005. Effects of cover crops on grapevines, yield, juice composition, soil microbial ecology, and gopher activity. *Am. J. Enol. Vitic.* **56**(1): 19-29.
- Institut de recherche en développement en agroenvironnement. 2008. Carte pédologique – Feuillet 31H02101. [En ligne]. Disponible à: [https://irda.blob.core.windows.net/media/3418/pedo\\_31h02101.pdf](https://irda.blob.core.windows.net/media/3418/pedo_31h02101.pdf) [7 Mai 2021].
- Jackson, R.S. 2008. *Wine science: Principles and applications.* 3rd ed. Elsevier/Academic Press, Amsterdam, Netherlands. 751 pp.
- Jiang, L., Dami, I., et Doohan, D. 2016. Effects of mulching on soil temperature, scion rooting, and soil moisture of mounded grapevines. *Int. J. Fruit Sci.* **16**(2): 182-190. doi:10.1080/15538362.2015.1105170.
- Jiang, L. 2010. *Simazine treated mulch: An intergrated management tool for vinifera grape (vitis vinifera l.) production.* Doctor of Philosophy, The Ohio State University. 163 pp.
- Jiang, L., Koch, T., Dami, I., et Doohan, D. 2008. The effect of herbicides and cultural practices on weed communities in vineyards: An Ohio survey. *Weed Technol.* **22**(1): 91-96. doi:10.1614/WT-07-100.1.
- Jolivet, Y. et Dubois, J.M. 2000. Evaluation of hilling efficiency as a method of protection of vine against winter cold in Québec. *OENO One.* **34**(3): 83-92. doi:10.20870/oeno-one.2000.34.3.1001.

- Jones, N.K. 2012. The influence of recent climate change on wine regions in Quebec, Canada. *J. Wine Res.* **23**(2): 103-113. doi:10.1080/09571264.2012.678933.
- Keable, S. 2019. Les vins du Québec : Les consommateurs en redemandent. [En ligne]. Disponible à: [https://www.mapaq.gouv.qc.ca/SiteCollectionDocuments/Bioclips/BioClips2019/Volum\\_e\\_27\\_no3.pdf](https://www.mapaq.gouv.qc.ca/SiteCollectionDocuments/Bioclips/BioClips2019/Volum_e_27_no3.pdf) [6 Mai 2021].
- Kendrick, R.E. 1976. Photocontrol of seed germination. *Sci. Prog.* **63**(251): 347-367. doi:10.1007/978-94-017-2624-5\_19.
- Khanizadeh, S., Rekika, D., Levasseur, A., Groleau, Y., Richer, C., et Fisher, H. 2005. The effects of different cultural and environmental factors on grapevine growth, winter hardiness and performance, in three locations, in Canada. *Small Fruits Rev.* **4**(3): 3-28. doi:10.1300/J301v04n03\_02.
- Lal, R. et Pierce, F.J. 1994. Monitoring the impact of soil erosion on crop productivity. 2nd ed. Pages 235-263 dans R. Lal, ed. *Soil erosion research methods*. St. Lucie Press, Delray Beach, FL, USA.
- Le Bissonnais, Y. 2016. Aggregate stability and assessment of soil crustability and erodibility: I. Theory and methodology. *Eur. J. Soil Sci.* **47**(4): 425-437. doi:doi.org/10.1111/ejss.4\_12311.
- Le Bissonnais, Y., et Le Souder, C. 1995. Mesurer la stabilité structurale des sols pour évaluer leur sensibilité à la battance et à l'érosion. *Étude Gest. Sols.* **2**(1): 43-56.
- Liu, A., Ma, B.L., et Bomke, A.A. 2005. Effects of cover crops on soil aggregate stability, total organic carbon, and polysaccharides. *Soil Sci. Soc. Am. J.* **69**(6): 2041-2048. doi:10.2136/sssaj2005.0032.
- Livernoche, B. 2016. Les changements climatiques favorables à la production du vin au Québec. [En ligne]. Disponible à: <https://ici.radio-canada.ca/nouvelle/805724/vins-changements-climatique-quebec-europe> [2 Avril 2021].
- Lopes, C.M., Santos, T.P., Monteiro, A., Rodrigues, M.L., Costa, J.M., et Chaves, M.M. 2011. Combining cover cropping with deficit irrigation in a Mediterranean low vigor vineyard. *Sci. Hortic. (Amsterdam, Neth.)* **129**(4): 603-612. doi:10.1016/j.scienta.2011.04.033.
- Lopes, C., Monteiro, A., Machado, J., Fernandes, N., et Araújo, A. 2008. Cover cropping in a sloping non-irrigated vineyard: II—Effects on vegetative growth, yield, berry and wine quality of 'Cabernet Sauvignon' grapevines. *Cienc. Tec. Vitivinic.* **23**(1): 37-43.
- Luna, I.M., Fernández-Quintanilla, C., et Dorado, J. 2020. Is pasture cropping a valid weed management tool? *Plants.* **9**(2): 135. doi:10.3390/plants9020135.
- MacLaren, C., Swanepoel, P., Bennett, J., Wright, J., et Dehnen-Schmutz, K. 2019. Cover crop biomass production is more important than diversity for weed suppression. *Crop Sci.* **59**(2): 733-748. doi:10.2135/cropsci2018.05.0329.
- Maetens, W., Poesen, J., et Vanmaercke, M. 2012. How effective are soil conservation techniques in reducing plot runoff and soil loss in Europe and the Mediterranean? *Earth-Sci. Rev.* **115**(1-2): 21-36. doi:10.1016/j.earscirev.2012.08.003.

- Marques, M.J., García-Muñoz, S., Muñoz-Organero, G., et Bienes, R. 2010. Soil conservation beneath grass cover in hillside vineyards under Mediterranean climatic conditions (Madrid, Spain). *Land Degrad. Dev.* **21**(2): 122-131. doi:10.1002/ldr.915.
- Marques, M., Bienes, R., Pérez-Rodríguez, R., et Jiménez, L. 2008. Soil degradation in central Spain due to sheet water erosion by low-intensity rainfall events. *Earth Surf. Process. Landforms.* **33**(3): 414-423. doi:10.1002/esp.1564.
- Mas, M.T. et Verdú, A.M. 2003. Tillage system effects on weed communities in a 4-year crop rotation under mediterranean dryland conditions. *Soil Tillage Res.* **74**(1): 15-24. doi:10.1016/S0167-1987(03)00079-5.
- McGourty, G.T., et Reganold, J.P. 2005. Managing vineyard soil organic matter with cover crops. *Proc. Soil Environment and Vine Mineral Nutrition Symposium, San Diego, United States, 29-30 June 2004.* pp. 145-151.
- Medrano, H., Tomás, M., Martorell, S., Escalona, J.-M., Pou, A., Fuentes, S., Flexas, J., et Bota, J. 2015. Improving water use efficiency of vineyards in semi-arid regions. A review. *Agron. Sustian. Dev.* **35**(2): 499-517. doi:10.1007/s13593-014-0280-z.
- Meiss, H., Médiène, S., Waldhardt, R., Caneill, J., et Munier-Jolain, N. 2010. Contrasting weed species composition in perennial alfalfas and six annual crops: Implications for integrated weed management. *Agron. Sustian. Dev.* **30**(3): 657-666. doi:10.1051/agro/2009043.
- Mercenaro, L., Nieddu, G., Pulina, P., et Porqueddu, C. 2014. Sustainable management of an intercropped mediterranean vineyard. *Agri. Ecosyst. Environ.* **192**: 95-104. doi:10.1016/j.agee.2014.04.005.
- Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation du Québec. 2021. Culture du raisin (viticulture). [En ligne]. Disponible à: <https://www.quebec.ca/agriculture-environnement-et-ressources-naturelles/agriculture/industrie-agricole-au-quebec/productions-agricoles/culture-raisin-viticulture/> [4 April 2021].
- Monteiro, A., Lopes, C.M., Machado, J.P., Fernandes, N., Araujo, A., et Moreira, I. 2008. Cover cropping in a sloping, non-irrigated vineyard: I - Effects on weed composition and dynamics. *Cienc. Tec. Vitivinic.* **23**(1): 29-36.
- Monteiro, A. et Lopes, C.M. 2007. Influence of cover crop on water use and performance of vineyard in mediterranean Portugal. *Agri. Ecosyst. Environ.* **121**(4): 336-342. doi:10.1016/j.agee.2006.11.016.
- Moonen, A.C. et Bàrberi, P. 2004. Size and composition of the weed seedbank after 7 years of different cover-crop-maize management systems. *Weed Res.* **44**(3): 163-177. doi:10.1111/j.1365-3180.2004.00388.x.
- Morlat, R. et Jacquet, A. 2003. Grapevine root system and soil characteristics in a vineyard maintained long-term with or without interrow sward. *Am. J. Enol. Vitic.* **54**(1): 1-7.

- Napoli, M., Marta, A.D., Zanchi, C.A., et Orlandini, S. 2017. Assessment of soil and nutrient losses by runoff under different soil management practices in an Italian hilly vineyard. *Soil Tillage Res.* **168**: 71-80. doi:10.1016/j.still.2016.12.011.
- Ngouajio, M. et McGiffen, M.E. 2002. Going organic changes weed population dynamics. *HortTechnology.* **12**(4): 590-596. doi:10.21273/HORTTECH.12.4.590.
- Novara, A., Gristina, L., Saladino, S., Santoro, A., et Cerdà, A. 2011. Soil erosion assessment on tillage and alternative soil managements in a Sicilian vineyard. *Soil Tillage Res.* **117**: 140-147. doi:10.1016/j.still.2011.09.007.
- Oades, J.M. 1984. Soil organic matter and structural stability: Mechanisms and implications for management. *Plant Soil.* **76**(1-3): 319-337. doi:10.1007/BF02205590.
- Obeid, K. 2019. 75B. Guide to weed control: Horticulture crops. [En ligne]. Disponible à: [http://www.omafra.gov.on.ca/english/crops/pub75/pub75B/pub\\_75B.pdf](http://www.omafra.gov.on.ca/english/crops/pub75/pub75B/pub_75B.pdf) [7 Mai 2021].
- Olmstead, M., Miller, T., Bolton, C.S., et Miles, C. 2012. Weed control in a newly established organic vineyard. *HortTechnology.* **22**(6): 757-765. doi:10.21273/HORTTECH.22.6.757.
- Olmstead, M.A. 2006. Cover crops as a floor management strategy for Pacific northwest vineyards. [En ligne]. Disponible à: <https://pubs.extension.wsu.edu/cover-crops-as-a-floor-management-strategy-for-pacific-northwest-vineyards> [7 Mai 2021].
- Peregrina, F., Larrieta, C., Ibáñez, S., et García-Escudero, E. 2010. Labile organic matter, aggregates, and stratification ratios in a semiarid vineyard with cover crops. *Soil Sci. Soc. Am. J.* **74**(6): 2120-2130. doi:10.2136/sssaj2010.0081.
- Pool, R., Dunst, R., et Lakso, A. 1990. Comparison of sod, mulch, cultivation, and herbicide floor management practices for grape production in nonirrigated vineyards. *J. Am. Soc. Hortic. Sci.* **115**(6): 872-877. doi:10.21273/JASHS.115.6.872.
- Prosdocimi, M., Cerdà, A., et Tarolli, P. 2016. Soil water erosion on Mediterranean vineyards: A review. *Catena.* **141**: 1-21. doi:10.1016/j.catena.2016.02.010.
- Provost, C. et Barriault, É. 2019. Caractéristiques agronomiques des cépages cultivés au Québec et résumé de l'état des connaissances scientifiques sur la protection contre les gels. [En ligne]. Disponible à: [https://www.agrireseau.net/documents/Document\\_102225.pdf](https://www.agrireseau.net/documents/Document_102225.pdf) [7 Mai 2021].
- Rahman, A., James, T., Mellsop, J., et Grbavac, N. 2000. Effect of cultivation methods on weed seed distribution and seedling emergence. *N. Z. Plant Prot.* **53**: 28-33. doi:10.30843/nzpp.2000.53.3644.
- Ranaivoson, L., Naudin, K., Ripoche, A., Affholder, F., Rabeharisoa, L., et Corbeels, M. 2017. Agroecological functions of crop residues under conservation agriculture. A review. *Agron. Sustain. Dev.* **37**(4): 1-17. doi:10.1007/s13593-017-0432-z.
- Reicher, Z.J., Throssell, C.S., et Weisenberger, D.V. 2000. Date of seeding affects establishment of cool-season turfgrasses. *HortScience.* **35**(6): 1166-1169. doi:10.21273/HORTSCI.35.6.1166.

- Reynier, A. 2003. Manuel de viticulture : Guide technique du viticulteur. 9e éd. Tec & Doc, Paris, France. 548 pp.
- Ripoche, A., Metay, A., Celette, F., et Gary, C. 2011. Changing the soil surface management in vineyards: Immediate and delayed effects on the growth and yield of grapevine. *Plant Soil*. **339**(1-2): 259-271. doi:10.1007/s11104-010-0573-1.
- Ritter, J. 2012. L'érosion du sol - causes et effets. [En ligne]. Disponible à: <http://www.omafra.gov.on.ca/french/engineer/facts/12-054.pdf> [7 mai 2021].
- Rodriguez-Lovelle, B., Soyer, J., et Molot, C. 2000. Nitrogen availability in vineyard soils according to soil management practices. Effects on vine. *Acta Hort.* **526**: 277-286. doi:10.17660/ActaHortic.2000.526.29.
- Ruiz-Colmenero, M., Bienes, R., Eldridge, D.J., et Marques, M.J. 2013. Vegetation cover reduces erosion and enhances soil organic carbon in a vineyard in the central Spain. *Catena*. **104**(C): 153-160. doi:10.1016/j.catena.2012.11.007.
- Ruiz-Colmenero, M., Bienes, R., et Marques, M. 2011. Soil and water conservation dilemmas associated with the use of green cover in steep vineyards. *Soil Tillage Res.* **117**: 211-223. doi:10.1016/j.still.2011.10.004.
- Ryan, M.R., Smith, R.G., Mirsky, S.B., Mortensen, D.A., et Seidel, R. 2010. Management filters and species traits: Weed community assembly in long-term organic and conventional systems. *Weed Sci.* **58**(3): 265-277. doi:10.1614/WS-D-09-00054.1
- Saleem, M., Pervaiz, Z.H., Contreras, J., Lindenberger, J.H., Hupp, B.M., Chen, D., Zhang, Q., Wang, C., Iqbal, J., et Twigg, P. 2020. Cover crop diversity improves multiple soil properties via altering root architectural traits. *Rhizosphere*. **16**: doi:10.1016/j.rhisph.2020.100248.
- Sanguankeeo, P.P., et León, R.G. 2011. Weed management practices determine plant and arthropod diversity and seed predation in vineyards. *Weed Res.* **51**(4): 404-412. doi:10.1111/j.1365-3180.2011.00853.x.
- Sanguankeeo, P.P., Leon, R.G., et Malone, J. 2009. Impact of weed management practices on grapevine growth and yield components. *Weed Sci.* **57**(1): 103-107. doi:10.1614/WS-08-100.1.
- SAS Institute Inc. 2021. SAS University Edition. SAS Institute Inc., Cary, NC, USA. [En ligne]. Disponible à: [https://www.sas.com/en\\_ca/software/university-edition.html](https://www.sas.com/en_ca/software/university-edition.html) [14 Octobre 2020].
- Shrestha, A., Kurtural, S.K., Fidelibus, M.W., Dervishian, G., et Konduru, S. 2013. Efficacy and cost of cultivators, steam, or an organic herbicide for weed control in organic vineyards in the San Joaquin Valley of California. *HortTechnology*. **23**(1): 99-108. doi:10.21273/HORTTECH.23.1.99.
- Simard, M.-J., Laforest, M., Nurse, R.E., Page, E.P., Obeid, K., et Miville, D. 2019. Genetic resistance testing unveils single and multiple resistance in horticultural crops. Proc. 73rd Canadian Weed Science Society Annual Meeting, Kelowna, Canada, 18-22 Nov. 2019. pp. 36.

- Six, J., Elliott, E., et Paustian, K. 1999. Aggregate and soil organic matter dynamics under conventional and no-tillage systems. *Soil Sci. Soc. Am. J.* **63**(5): 1350-1358. doi:10.2136/sssaj1999.6351350x.
- Six, J., Elliott, E.T., Paustian, K., et Doran, J.W. 1998. Aggregation and soil organic matter accumulation in cultivated and native grassland soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.* **62**(5): 1367-1377. doi:10.2136/sssaj1998.03615995006200050032x.
- Smith, R.G., Bettiga, L., Cahn, M., Baumgartner, K., Jackson, L., et Bensen, T. 2008. Vineyard floor management affects soil, plant nutrition, and grape yield and quality. *Calif. Agri.* **62**(4): 184-190. doi:10.3733/ca.v062n04p184.
- Smith, R.G. 2006. Timing of tillage is an important filter on the assembly of weed communities. *Weed Sci.* **54**(4): 705-712.
- Soil Classification Working Group. 1998. *The Canadian System of Soil Classification*. Third edition. NRC Research Press, Ottawa, ON, Canada. 187 pp.
- Steenwerth, K.L., Calderón-Orellana, A., Hanifin, R.C., Storm, C., et McElrone, A.J. 2016. Effects of various vineyard floor management techniques on weed community shifts and grapevine water relations. *Am. J. Enol. Vitic.* **67**(2): 153-162. doi:10.5344/ajev.2015.15050.
- Steinmaus, S., Elmore, C.L., Smith, R.J., Donaldson, D., Weber, E.A., Roncoroni, J.A., et Miller, P.R.M. 2008. Mulched cover crops as an alternative to conventional weed management systems in vineyards. *Weed Res.* **48**(3): 273-281. doi:10.1111/j.1365-3180.2008.00626.x.
- Stocking, M.A. 1994. Assessing vegetative cover and management effects. 2nd ed. Page 211-234 dans R. Lal, eds. *Soil erosion research methods*. St. Lucie Press, Delray Beach, FL, USA.
- Sweet, R.M. et Schreiner, R. 2010. Alleyway cover crops have little influence on Pinot Noir grapevines (*Vitis vinifera* L.) in two western Oregon vineyards. *Am. J. Enol. Vitic.* **61**(2): 240-252.
- Teasdale, J.R. et Mohler, C.L. 1993. Light transmittance, soil temperature, and soil moisture under residue of hairy vetch and rye. *Agron. J.* **85**(3): 673-680. doi:10.2134/agronj1993.00021962008500030029x.
- Tesic, D., Keller, M., et Hutton, R. 2007. Influence of vineyard floor management practices on grapevine vegetative growth, yield, and fruit composition. *Am. J. Enol. Vitic.* **58**(1): 1-11.
- Thivierge, M.N., Angers, D.A., Chantigny, M.H., Seguin, P., et Vanasse, A. 2016. Root traits and carbon input in field-grown sweet pearl millet, sweet sorghum, and grain corn. *Agron. J.* **108**(1): 459-471. doi:10.2134/agronj2015.0291.
- Tuesca, D., Puricelli, E. et Papa, J.C. 2001. A long-term study of weed flora shifts in different tillage systems. *Weed Res.* **41**(4): 369-382. doi:10.1046/j.1365-3180.2001.00245.x.
- Turcotte, C., Bernier, D., Brisson, D., Barriault, E.V., Dubé, G., Laplante, G., Turcotte, I., Péloquin, J.-F., Bergeron, K., Zerouala, L., Bergeron, L., Côté, M., Roy, M., Carisse, O., et Néron, R. 2010. *Vigne - guide de protection 2010*. [En ligne]. Disponible à : <https://www.craaq.qc.ca/data/DOCUMENTS/EVE013.pdf> [7 Mai 2021].

- Turner, F.A., Jordan, K.S., et Acker, R.C.V. 2012. Review: The recruitment biology and ecology of large and small crabgrass in turfgrass: Implications for management in the context of a cosmetic pesticide ban. *Can. J. Plant Sci.* **92**(5): 829-845. doi:10.1139/CJPS2011-258.
- Twoorkoski, T.J. et Glenn, D.M. 2012. Weed suppression by grasses for orchard floor management. *Weed Technol.* **26**(3): 559-565. doi:10.1614/WT-D-11-00044.1.
- Van Huyssteen, L., Van Zyl, J., et Koen, A. 1984. The effect of cover crop management on soil conditions and weed control in a colombar vineyard in oudtshoorn. *S. Afr. J. Enol. Vitic.* **5**(1): 7-17.
- Vasileiadis, V., Froud-Williams, R., et Eleftherohorinos, I. 2007. Vertical distribution, size and composition of the weed seedbank under various tillage and herbicide treatments in a sequence of industrial crops. *Weed Res.* **47**(3): 222-230. doi:10.1111/j.1365-3180.2007.00564.x.
- Villa, P. 2005. *La culture de la vigne*. De Vecchi, Paris, France. 156 pp.
- Wardle, D.A., Nicholson, K.S., and Rahman, A. 1992. Influence of pasture grass and legume swards on seedling emergence and growth of *Carduus nutans* L. and *Cirsium vulgare* L. *Weed Res.* **32**(2): 119-128. doi:10.1111/j.1365-3180.1992.tb01869.x.
- Whitelaw-Weckert, M., Rahman, L., Hutton, R., et Coombes, N. 2007. Permanent swards increase soil microbial counts in two Australian vineyards. *Appl. Soil Ecol.* **36**(2-3): 224-232. doi:10.1016/j.apsoil.2007.03.003.