

# Alternative aux herbicides: choix et entretien d'espèces pour la couverture du rang de culture

Serena FANTASIA<sup>1</sup>, Nicolas DELABAYS<sup>2</sup>, Thierry HEGER<sup>1</sup>, Vivian ZUFFEREY<sup>3</sup>, Dorothea NOLL<sup>1</sup>, Frédéric LAMY<sup>1</sup> et Matteo MOTA<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Groupe Sol et Environnement, Changins, Haute école de viticulture et œnologie, Nyon, Suisse

<sup>2</sup> Hepia, Haute école du paysage, d'ingénierie et d'architecture de Genève, Jussy, Suisse

<sup>3</sup> Agroscope, Pully, Suisse

Renseignements: Matteo Mota, tél. +41 22 363 40 77, e-mail: matteo.mota@changins.ch, www.changins.ch



De gauche à droite: vue générale de l'essai; vue d'une parcelle élémentaire subdivisée en trois régimes de fauche; détail d'un couvert de *Bromus tectorum*, *Medicago lupulina* et *Arenaria serpyllifolia*.

## Introduction

La gestion de la flore adventice est considérée comme l'une des plus importantes problématiques agricoles. Les plantes adventices peuvent en effet considérablement compromettre la quantité et la qualité de la récolte du fait de la compétition qu'elles induisent vis-à-vis de la culture. Actuellement, le recours au désherbage chimique domine, en raison de son moindre coût et de son efficacité en terrain difficile. Des herbicides sont en effet utilisés sous le rang dans la majorité des cultures pérennes (viticulture, arboriculture, pépinières), et parfois même sur leur surface entière.

Cette utilisation d'herbicides génère toutefois de nombreux problèmes: apparition de résistances (Delabays et al. 2004), impacts sur la santé humaine

(Gill et al. 2018), appauvrissement de la biodiversité (Geiger et al. 2010) et réduction des services écosystémiques (Klein 2010). Il en résulte un intérêt grandissant des agriculteurs pour les méthodes sans herbicide et l'agriculture biologique (Willer 2020), une pression des consommateurs pour l'interdiction des herbicides ainsi qu'une régulation de plus en plus stricte (PAN 2019). La principale alternative aux herbicides sous le rang des cultures pérennes est le désherbage mécanique (Chicouene 2007). Cependant, ces deux techniques ne sont pas exemptes d'inconvénients: dégâts à la culture, diminution du stock de carbone organique du sol, atteintes à sa structure, intensification de l'érosion et de la compaction (Novara et al. 2019) et réduction de la biodiversité floristique (Mota et al. 2016).

L'installation d'un couvert permanent semé représente une alternative prometteuse pouvant offrir de nombreux services écosystémiques, tels que la protection du sol, l'amélioration de sa portance, de sa structure et de son activité biologique, ainsi que la réduction du lessivage des éléments nutritifs et des produits phytosanitaires (Garcia *et al.* 2018). Toutefois, cette méthode peut présenter des inconvénients similaires à ceux que l'on reproche, dans certaines situations, à la flore spontanée: concurrence directe pour les ressources (Célette et Gary 2013) et génération d'un microclimat plus propice au développement de maladies et au gel printanier. De plus, les coûts directs de l'entretien, généralement effectué par la fauche, s'avèrent souvent plus élevés que ceux du désherbage chimique (Burgat et Mota 2019). Finalement, la pérennité d'un couvert permanent semé et de ses avantages est souvent difficile à assurer (Delabays 2000).

Le défi consiste ainsi à semer un couvert qui maximise les avantages de la flore spontanée tout en limitant ses inconvénients, puis à gérer ce couvert pour qu'il évolue en pérennisant ses services.

Le projet NoGlyphos vise cet objectif: permettre, par un choix ciblé des espèces et des écotypes semés, le développement d'un couvert de faible hauteur et peu concurrentiel envers la culture maïs, parallèlement, à même de maîtriser le développement des adventices indésirables par allélopathie (capacité des plantes à interférer entre elles au travers de médiateurs chimiques). Conjointement à la sélection d'espèces répondant à ces objectifs, différentes gestions du couvert (période de semis, intensité et date de la fauche) ont été testées et leurs impacts sur la levée/pérennité des espèces semées et sur les services rendus ont été étudiés.

## Matériel et méthodes

### Site, protocole et design expérimental

L'essai a été installé en septembre 2018 sur une parcelle située à Changins, Nyon (VD) (46°24'N, 06°14'E, 440m). La parcelle d'essai, d'une surface d'environ 2000m<sup>2</sup>, a pour antécédent plusieurs décennies de culture de vigne, suivies de six années de prairie extensive. Avant l'expérience, la prairie était riche en plantes vivaces. Le sol est un Calcosol caillouteux issu de moraine de fond caractérisé par une texture limono-argileuse et par une réserve utile en eau modérée d'environ 100mm. Le terrain a une pente moyenne de 7% avec une exposition sud-est. Le climat d'octobre 2018 à septembre 2019 a été globalement plus chaud (+1,5°C) et sec (-127mm) que les normales saisonnières de Changins (fig. 1).

**Résumé** Les zones difficilement mécanisables (rang de culture, parcelles en pente ou non accessibles) constituent un défi technique pour les alternatives aux herbicides. Une solution consisterait à semer des couverts végétaux peu concurrentiels et de faible hauteur, mais à même de maîtriser le développement des adventices indésirables par allélopathie (capacité des plantes à interférer entre elles au travers de médiateurs chimiques).

En vue du développement d'un tel couvert, trois intensités de fauche différentes ont été comparées sur des espèces semées pures et en mélange, en automne et au printemps, avec des témoins de flore spontanée et de désherbages chimique et mécanique. Après une première année d'essai, on constate que les semis d'automne ont offert un plus grand nombre de services écosystémiques durant la saison végétative que les semis printaniers: meilleure installation du semis et protection du sol, blocage des adventices indésirables, proportion de mulch plus élevée. De plus, la gestion de la fauche a été déterminante pour l'évolution des différents couverts végétaux l'année suivante: la pérennité du brome des toits (*Bromus tectorum*) et de la luzerne lupuline (*Medicago lupulina*) a pu être assurée avec le bon nombre de fauches. L'absence totale de fauche s'est globalement révélée inadaptée.

La parcelle a été désherbée en août 2018 avec du glyphosate à 1,5%, puis labourée et hersée.

L'expérience est constituée de quatorze couverts végétaux permanents et de deux autres modes d'entretien de référence: le désherbage chimique et le désherbage mécanique (fig. 2).

Les couverts végétaux ont été semés ou initiés, en ce qui concerne les couverts de flore spontanée, le 28 septembre 2018 (semis d'automne) pour certains et le 7 mai 2019 (semis de printemps) pour d'autres. Ils sont constitués de semis monospécifiques de onze écotypes de cinq espèces<sup>1</sup> (*Bromus tectorum*<sup>\*</sup>, *Medicago lupulina*<sup>\*\*</sup>, *Origanum vulgare*<sup>\*\*</sup>, *Clinopodium vulgare*<sup>\*\*</sup>, *Prunella vulgaris*<sup>\*\*</sup>), d'un mélange Mix1<sup>\*</sup> de ces cinq espèces à

<sup>1</sup> \* Installation en automne 2018;

\*\* Installation au printemps 2019.

proportions égales et de deux couverts de flores spontanées qui se sont développés à partir de la même préparation du sol réalisée pour chacune des périodes de semis. Tous les semis ont été réalisés à la volée, puis légèrement tassés à l'aide d'un rouleau à semis manuel. Dans le but d'obtenir un taux de germination de 600 plantes par mètre carré, environ 1200 graines par mètre carré ont été semées, partant de l'hypothèse prudente d'un taux de germination de 50%.

Chacun de ces seize traitements a été installé sur une parcelle élémentaire de 12 m<sup>2</sup> (6x2m). Ces traitements ont été répartis dans un essai en blocs randomisés à quatre répétitions, ce qui représente un total de 64 parcelles élémentaires. De plus, celles contenant les 14 couverts végétaux ont été subdivisées en trois sous-parcelles de 4 m<sup>2</sup> (2x2m) dans lesquelles trois variantes d'intensité de fauche ont été étudiées: sans aucune fauche (MI0), une seule fauche le 7 septembre 2019 (MI1) et trois fauches successives (mai, juillet, août) (MI2) pour les traitements initiés en automne et deux fauches successives (juillet, août) pour ceux installés en mai. Au total, l'expérimentation comporte ainsi 44 procédés différents, répétés quatre fois.

La fauche a été effectuée avec une tondeuse réglée à 5 cm du sol. Concernant les traitements de désherbage, le désherbage mécanique a été réalisé à trois reprises (mai, juillet et septembre) à l'aide d'un motoculteur travaillant à environ 20 cm de profondeur. Le désherbage chimique a, quant à lui, été réalisé à deux reprises (en avril et en juillet) avec du glyphosate à 1,5%.

### Récolte des données et analyses

Des relevés floristiques ont été réalisés pour chaque répétition des traitements et ses différentes variantes

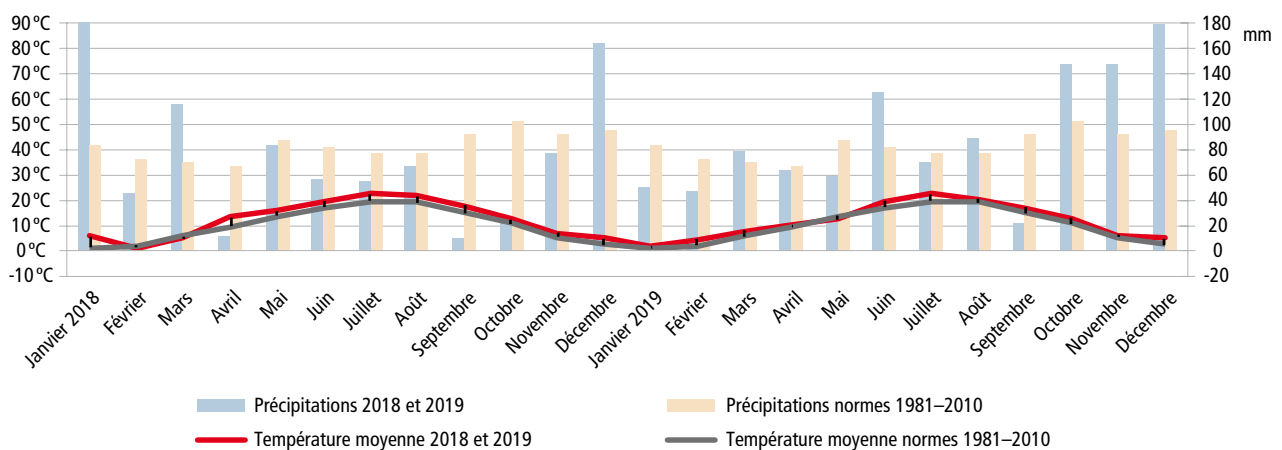
de fauche lors de six séries successives (mars, juin, juillet, août et novembre 2019 et mars 2020), selon un protocole inspiré de Delabays *et al.* (*in prep.*). Au total, 712 relevés ont été réalisés. Ils répertorient des informations sur l'occupation du sol (pourcentage de végétation, mulch – plantes séchées –, mousse et sol nu), la liste des espèces et leurs pourcentages de couverture respectifs, ainsi que le nombre de plantes issues du semis par mètre carré. Les traits fonctionnels des espèces ont été obtenus à partir de la base de données de Landolt *et al.* (2010). Les données ont été traitées à l'aide du logiciel RStudio ([www.r-project.org](http://www.r-project.org)).

## Résultats et discussion

### Composition botanique des couvertures du sol

L'état des couverts est illustré avec les résultats issus des relevés du mois d'août (fig. 3 et 4), afin que la comparaison entre semis d'automne et de printemps soit plus aisée. L'ensemble des résultats représente des moyennes ou médianes d'au minimum quatre répétitions, voire, quand cela est précisé, celles de différents traitements.

Les désherbages chimique et mécanique possèdent les valeurs moyennes de couverture par les plantes vivantes les plus faibles, avec 17% et 41% (valeurs-*p* < 0,01) (fig. 3). Le désherbage mécanique montre les valeurs les plus élevées de sol nu, avec 49% (valeurs-*p* < 0,01), tandis que la variante chimique est dominée par le mulch, en raison du défanage réalisé à l'herbicide deux semaines avant les relevés. Cette variante possède également la surface moyenne de mousse la plus élevée avec 9% (valeurs-*p* < 0,01). Le sol non perturbé permet des remontées d'eau par capillarité, ce qui favorise



**Figure 1** | Diagramme climatique des années 2018 et 2019 (bleu et rouge) et des normes saisonnières de 1981 à 2010 (orange et gris). Le semis d'automne a été réalisé en pleine période de sécheresse en septembre 2018. Le climat lors du semis de printemps (mai 2019) était relativement proche de la norme.

la présence de mousses, plantes dénuées de système racinaire. Une perte potentielle d'eau par évaporation du sol non couvert n'est pas exclue dans ce cas. Toutes ces observations sont en accord avec les travaux de Hebing (2019) et confirment que ces deux modes d'entretien, désherbage chimique et mécanique, sont défavorables à la protection du sol (risques d'érosion, de tassement et d'appauvrissement en matière organique).

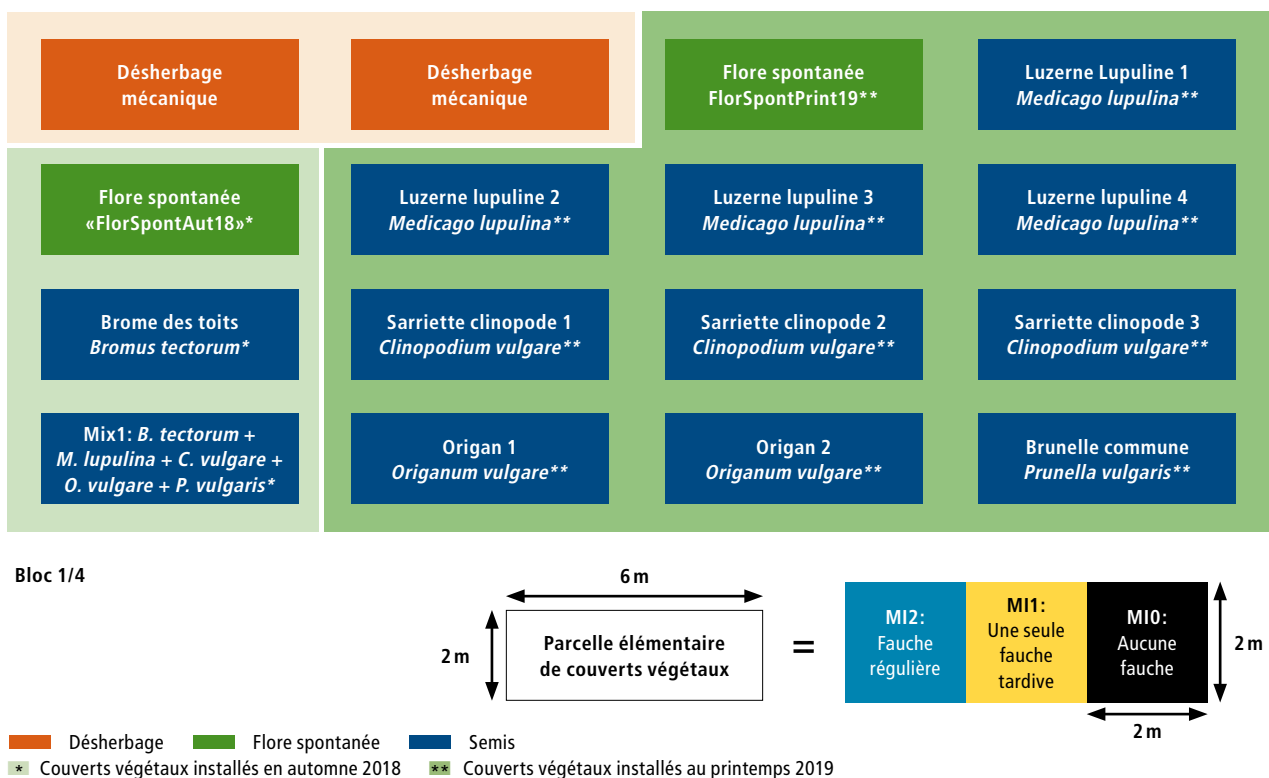
Les couverts issus de semis d'automne (\*) produisent plus de mulch que ceux du printemps (\*\*) (36% en moyenne, contre 11%) et entraînent une diminution des plantes vivantes l'été suivant (61%, contre 83%). Ainsi, la concurrence serait dans ce cas moins élevée pour la culture, durant son cycle végétatif, tout en protégeant le sol. Cette différence de comportement entre périodes de semis peut s'expliquer par le fait que la communauté végétale a atteint un niveau de maturité plus élevé lorsque le couvert est semé en automne. En effet, la plupart des plantes composant ces couverts ont dépassé le stade de la maturation des graines dès le début de l'été et certaines espèces ont déjà séché. Les deux variantes de flore spontanée (FlorSpont) permettent la comparaison la plus fiable, car elles diffèrent uniquement par la période de travail du sol pré-

paratoire. Le fait que le semis de printemps ait été relativement tardif a peut-être renforcé ce phénomène.

Globalement, les couverts végétaux semés et spontanés ont mieux protégé le sol que les désherbages, non seulement parce que la part de sol nu est moins importante et que la production de végétation a augmenté mais aussi parce que ces traitements n'impliquent pas de remise à nu du sol chaque année.

### Biodiversité

La figure 4 illustre les différences de richesse spécifique (nombre d'espèces) entre les traitements (surfaces de 4 m<sup>2</sup>) lors des relevés du mois d'août. C'est en effet principalement en été que les services écosystémiques liés à la biodiversité floristique sont les plus élevés. La richesse floristique était plus élevée dans les couverts spontanés et semés (médiane de 9,5 à 12 espèces présentes sur 4 m<sup>2</sup>) que dans les parcelles désherbées chimiquement (médiane de 5,5 espèces, valeur-p < 0,01) et mécaniquement (médiane de 8,5 espèces, valeur-p < 0,01). Les désherbages chimique et mécanique sont connus pour ne pas encourager la biodiversité, car ils favorisent un nombre restreint d'espèces adaptées à ces perturbations.



**Figure 2 |** Schéma d'un des quatre blocs de répétition des seize traitements. Chaque traitement est installé sur une parcelle élémentaire de 2 x 6 m. Ces traitements sont des désherbages et des couverts végétaux. Les couverts végétaux sont constitués de flore spontanée ou de semis et ont été installés en automne 2018 pour les uns, et au printemps 2019 pour d'autres. Tous les couverts sont subdivisés en trois sous-parcelles variant par l'intensité de fauche.

La plus haute richesse spécifique (douze espèces, valeur- $p < 0,05$ ) s'observe dans la variante Mix1 (mélange de cinq espèces). On constate également qu'un semis ne comprenant qu'une seule espèce ne constitue pas forcément un frein à la biodiversité, comme, par exemple, *B. tectorum*. Le fait que les semis utilisés ici favorisent la biodiversité est contraire à de nombreuses observations réalisées au sein de la profession. Cela pourrait s'expliquer par l'absence de plantes de prairies grasses au fort pouvoir concurrentiel dans les semis de cette étude. Delabays *et al.* (2016) relevaient déjà que la présence courante du *ray-grass* anglais (*Lolium perenne*) dans les semis constituait un frein à la biodiversité, tandis que *B. tectorum* semblait avoir une influence positive.

### Contrôle des adventices indésirables

Les couverts initiés en automne (\*) ont plus fortement limité le développement des adventices «indésirables»<sup>2</sup> durant l'été suivant (16% de surface occupée par celles-ci) que les couverts de printemps (\*\*) (54% de la surface) (fig. 5). Ce phénomène s'explique certainement par l'opportunité de ces plantes, souvent rudérales, qui profitent des zones de sol nu pour se développer. Il y a en effet une bonne corrélation entre la surface de sol nu et l'incidence des adventices «indésirables». Si cette tendance est perceptible sur la figure 3 (3% de sol nu pour les couverts de printemps et 1% pour ceux d'automne), les données des relevés antérieurs le montrent encore plus clairement: en juillet, 10% de sol nu pour les couverts de printemps et 6% pour ceux d'automne; en juin, respectivement 38% et 17%.

La proportion de plantes indésirables a par ailleurs une incidence sur la hauteur maximale mesurée de la végétation. Les couverts d'automne (Mix1, *B. tectorum*

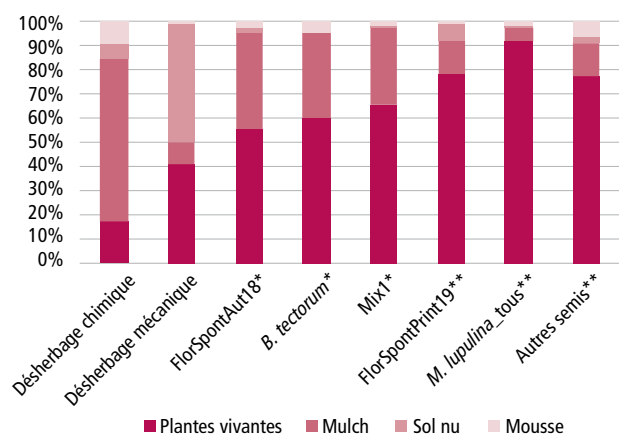


Figure 3 | Moyenne des couvertures du sol en août 2019 par traitement.

et FloSpontAut18) ont en effet mieux limité la hauteur maximale de végétation (août 2019: 45 cm) que les semis de printemps (août 2019: 62 cm). Ces éléments tendent à indiquer qu'un semis automnal est plus adapté qu'un semis printanier, qui contrôle moins bien les adventices à fort développement estival, potentiellement synonymes de concurrence, de microclimat plus humide pour la culture et de gêne physique pour les travaux manuels.

Les observations de la deuxième saison (2020) révèlent un autre facteur de mauvaise maîtrise de certaines plantes indésirables sous le rang: l'absence de fauche. En effet, les variantes sans fauche (M10) montrent une meilleure reprise de plantes géophytes<sup>3</sup> l'année suivante, telles que le liseron des champs (*Convovulus arvensis*), le chiendent rampant (*Elymus repens*), le chardon (*Cirsium arvense*) et l'épilobe (*Epilobium* sp.). Profitant probablement de l'absence de fauche, ces géophytes accumulent des réserves souterraines en fin de saison et se trouvent alors avantagées par rapport aux autres plantes la saison suivante.

### Installation des semis

Concernant les semis d'automne, *B. tectorum* a montré une levée relativement importante durant l'automne et l'hiver (440 plantules par mètre carré en moyenne comptées en mars 2019) (fig. 6), malgré la sécheresse (37 mm de pluie entre septembre et octobre, addition-

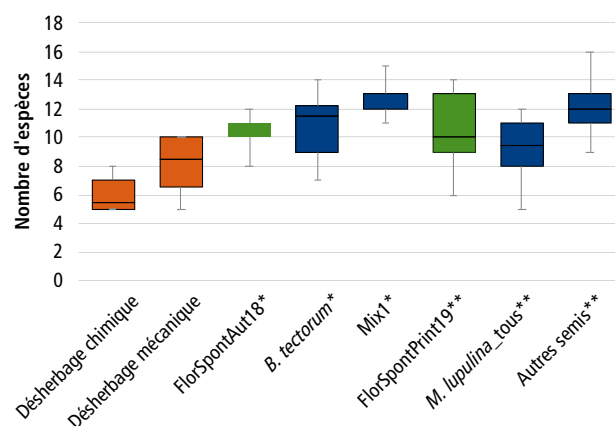


Figure 4 | Richesse spécifique moyenne (nombre d'espèces différentes) par traitement (moyenne des surfaces de 4 m<sup>2</sup>) lors des relevés botaniques du mois d'août 2019.

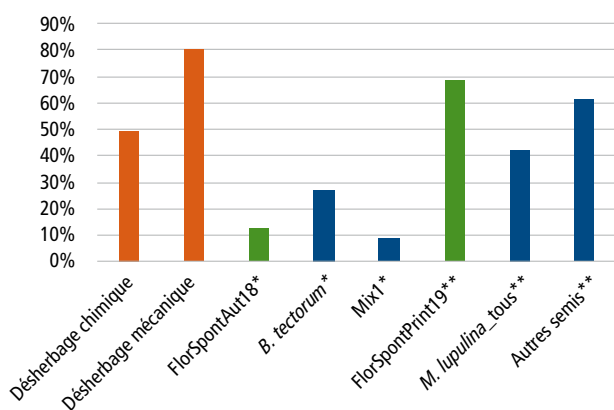
\* Installation en automne 2018; \*\* Installation au printemps 2019.

<sup>2</sup> Critère utilisé: important développement de la plante en période estivale (hauteur et vigueur élevées, considérées comme des indicateurs d'un fort pouvoir de concurrence ainsi que d'un potentiel de gêne physique important).

<sup>3</sup> Une plante géophyte est, dans la classification de Raunkier, un type de plante vivace possédant des organes (bulbe, rhizome, tubercule) lui permettant de passer la mauvaise saison enfouie dans le sol.

nés de 45 mm d'irrigation, alors que la norme des précipitations pour ces deux mois est de 194 mm (fig. 1)). Dans le Mix1, *B. tectorum* a constitué l'essentiel de la levée en automne et *M. lupulina* a efficacement pris le relais au printemps, accompagnée de manière marginale par les trois autres plantes du semis, *P. vulgaris*, *C. vulgare* et *O. vulgare*. A l'exception de *B. tectorum*, les autres semis n'ont quasiment pas levé en automne et ceux-ci étaient presque entièrement recouverts d'adventices printanières en mars (principalement par des véroniques et des lamiers), laissant présager une levée très difficile. Par conséquent, les variétés notées avec deux astérisques (\*\*) ont été ressemées au printemps. Les raisons supposées de cet échec sont: la réalisation trop tardive du semis, le cycle naturel de ces plantes, qui possèdent un faible développement hivernal, et la sécheresse particulière de l'automne 2018.

Concernant les semis printaniers, on constate que l'espèce *M. lupulina*, tous écotypes confondus, présente une levée nettement meilleure l'année du semis (valeur moyenne de couverture de 44% en août 2019, valeur-p < 0,01) que les trois autres espèces semées, *P. vulgaris*, *C. vulgare* et *O. vulgare* (couverture de 4,4% des plantes). On remarque que ces dernières s'installent plus lentement la première année, mais tendent à doubler la deuxième année (couverture de 8,5% des plantes en l'absence de fauche en avril 2020). Ces tendances correspondent parfaitement à leurs stratégies, selon Grime<sup>4</sup>. Ainsi, *M. lupulina* (rrs) et *B. tectorum* (rrr) ont une implantation rapide et efficace en terrain nu, alors



**Figure 5 |** Pourcentage du recouvrement total des plantes adventices «indésirables» (vs autres plantes) des relevés floristiques réalisés entre juin et août (trois séries de relevés) selon la période et la composition des semis.

\*Installation en automne 2018; \*\*installation au printemps 2019.

<sup>4</sup> Dans ce modèle, les plantes sont classées selon leur adaptation aux contraintes environnementales définissant trois stratégies majeures: les compétitives (c), les rudérales, qui sont adaptées aux perturbations (r), et les tolérantes au stress (s).

que *C. vulgare* (ccs), *O. vulgare* (crs) et *P. vulgaris* (crs) montrent une implantation plus lente dans un couvert de préférence déjà développé. Cela laisse supposer que ces trois dernières espèces sont inadaptées pour un semis en espèces seules. Toutefois, elles peuvent constituer d'intéressantes plantes relais si elles sont semées en mélange en automne avec des annuelles hivernales, étant donné leur capacité à lever au printemps sous le mulch de *B. tectorum* (contrairement à bien des adventices rudérales nécessitant une bonne exposition à la lumière pour germer).

### Entretien spécifique des semis

Sur la figure 6, on observe le cycle annuel du brome des toits, tel que décrit par Delabays *et al.* (2006): le brome des toits a germé et couvert le sol pendant l'hiver, a fleuri précocement au printemps suivant, puis a séché en formant une couche de mulch, permettant ainsi une limitation de la concurrence. Concernant la reprise de cette plante au début de la deuxième année, l'intensité et le calendrier de la fauche ont été d'importants facteurs de réussite ou d'échec: on constate que *B. tectorum* est nettement favorisé par une seule fauche tardive, réalisée début septembre 2019 (en moyenne 1350 plantules par mètre carré comptées en novembre, valeur-p < 0,01) (MI1, ligne jaune) et au contraire défavorisé par l'absence de fauche (0 plantule par mètre carré) (MI0, ligne noire) ou l'excès de fauche (65 plantules par mètre carré) (MI2, ligne bleue). Les mêmes tendances ont été observées en novembre dans le mélange Mix1, dans lequel la densité du brome était le quart de celle du semis pur susmentionné: en moyenne, 721 plantules par mètre carré pour MI1 (valeur-p < 0,01), 164 pour MI0 et 191 pour MI2.

Ces résultats apportent d'importants éléments de réponse aux observations de Delabays *et al.* (2000), qui mettaient en évidence le fait que le brome ne parvenait pas à garantir une bonne levée la deuxième année après le semis (en ce qui concerne les essais réalisés dans le canton de Vaud), mais qui suggéraient déjà qu'un entretien approprié était crucial pour la pérennité de ce couvert. C'est, à notre connaissance, la première fois qu'une telle augmentation du nombre de *B. tectorum* levés d'une année à l'autre est observée ailleurs qu'en Valais et sans réaliser un nouveau semis. Plusieurs éléments peuvent expliquer ces différences: premièrement, il est important de s'assurer que les graines soient mûres avant la réalisation de la première fauche, sans quoi le ressemis spontané de cette espèce annuelle est compromis. Deuxièmement, il est nécessaire qu'une part importante de lumière atteigne le sol pour assurer la levée de cette plante rudérale. ➤

Dans nos essais, cela a apparemment été le cas avec une fauche tardive en cette première année de semis. L'utilisation d'une brosse rotative ou d'un autre outil permettant la formation de petites zones de sol dégagé pourrait certainement également convenir. Au contraire, la réalisation de trois fauches a augmenté la densité du couvert végétal au ras du sol, tandis que l'absence de fauche a favorisé la formation d'une épaisse couche de mulch: dans les deux cas, l'ombrage a probablement limité la levée de ce brome. Enfin, le sol particulièrement «sèchard» de la parcelle d'essai correspond relativement bien à l'habitat naturel de cette plante plus fréquente en Valais.

Selon l'écotype utilisé, *M. lupulina* a été plutôt favorisée, une année après le semis, par une seule fauche tardive ou par plusieurs fauches, mais dans aucun cas par l'absence de fauche (fig. 7 et 8). Il est intéressant de noter qu'au sein d'une même espèce deux écotypes peuvent avoir des comportements très différents. Une certaine prudence est donc de mise quand il s'agit de déduire des généralités au sujet d'une espèce, comme l'indique également Quarta (2018).

### Complémentarité des espèces

Le traitement Mix1 a offert les meilleurs services par rapport aux semis monospécifiques (protection du sol, potentiel de faible concurrence (fig. 3), biodiversité (fig. 4), contrôle des adventices indésirables (fig. 5), limi-

tation de la hauteur maximale). La continuité de ces services est probablement due à la complémentarité des espèces du mélange: une annuelle hivernale rudérale qui lève rapidement, une plante printanière rudérale qui assure un premier relais, puis trois espèces à implantation plus lente, pour une succession sur plusieurs saisons. Ces avantages pourraient également s'expliquer, au moins partiellement, par la capacité de ces plantes à contrôler les adventices indésirables grâce à leurs propriétés allélopathiques. L'existence de ces propriétés a ainsi récemment été confirmée chez les espèces sélectionnées dans cet essai (Delabays et al. 2019).

L'intégration d'autres espèces devra être étudiée, notamment celle de la sabline à feuilles de serpolet (*Arenaria serpyllifolia*), dont le comportement au sein de la flore spontanée s'est révélé prometteur (bonne couverture du sol, port rampant, vigueur limitée), ainsi que la sélection des écotypes et leurs proportions dans les mélanges semés. De plus, sachant que la zone à laquelle de tels semis sont destinés est sensible (concurrence élevée possible, entretien difficile et donc coûteux), il pourrait être pertinent, si le coût du semis n'est pas trop limitant, de surdoser sa densité pour maximiser son installation, lorsque le stock de graines et de propagules végétatives du sol est riche en adventices problématiques.

Cet essai a été réalisé pour des raisons pratiques en l'absence de culture pérenne. Il sera ensuite nécessaire

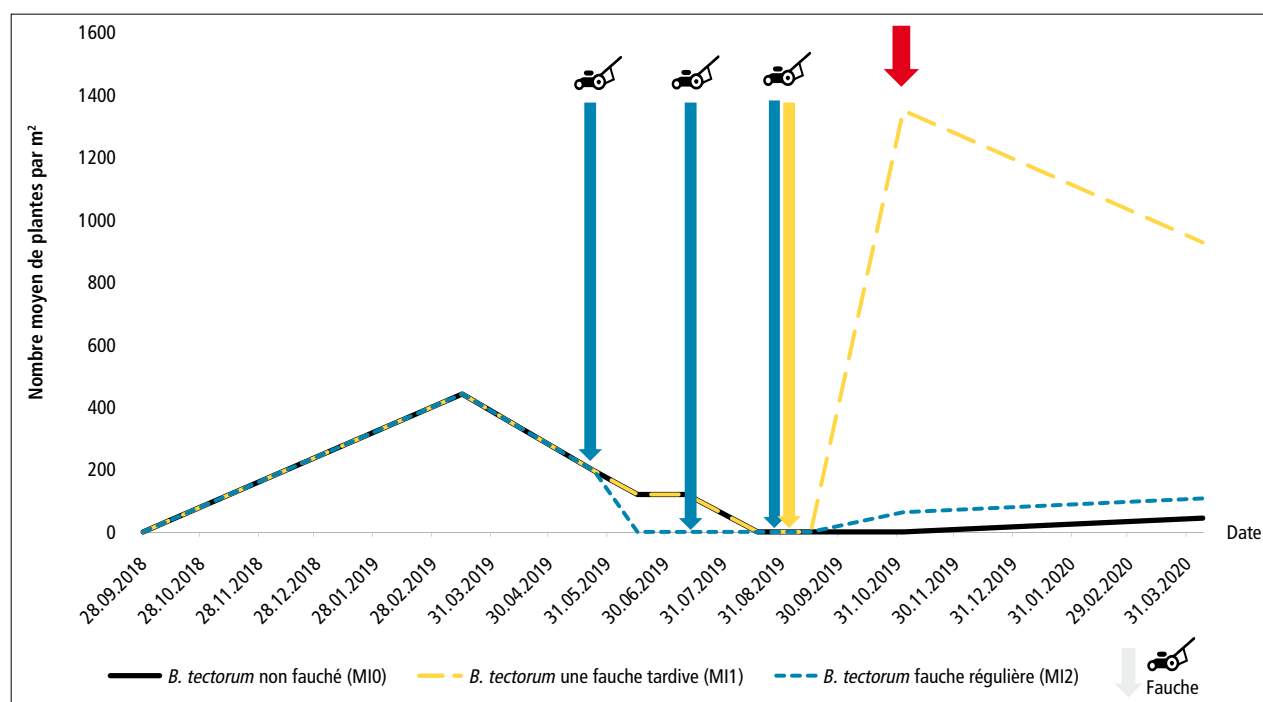
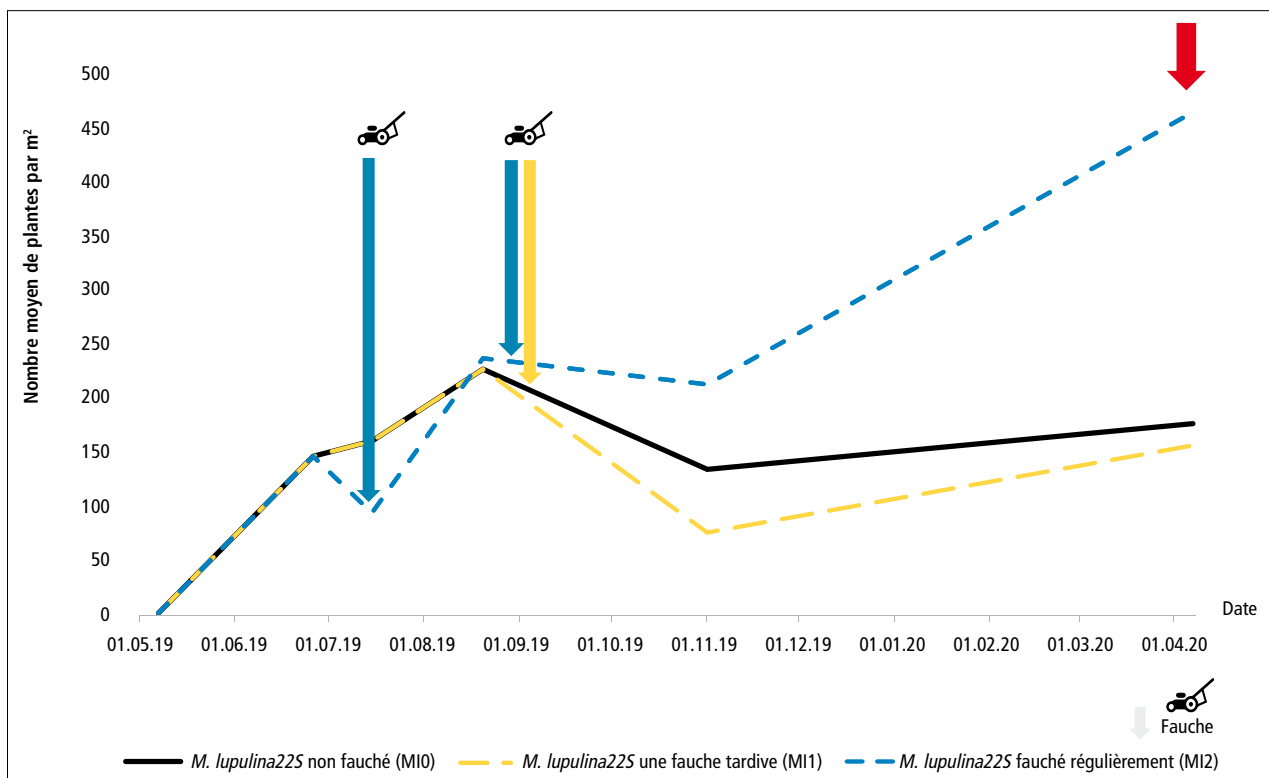
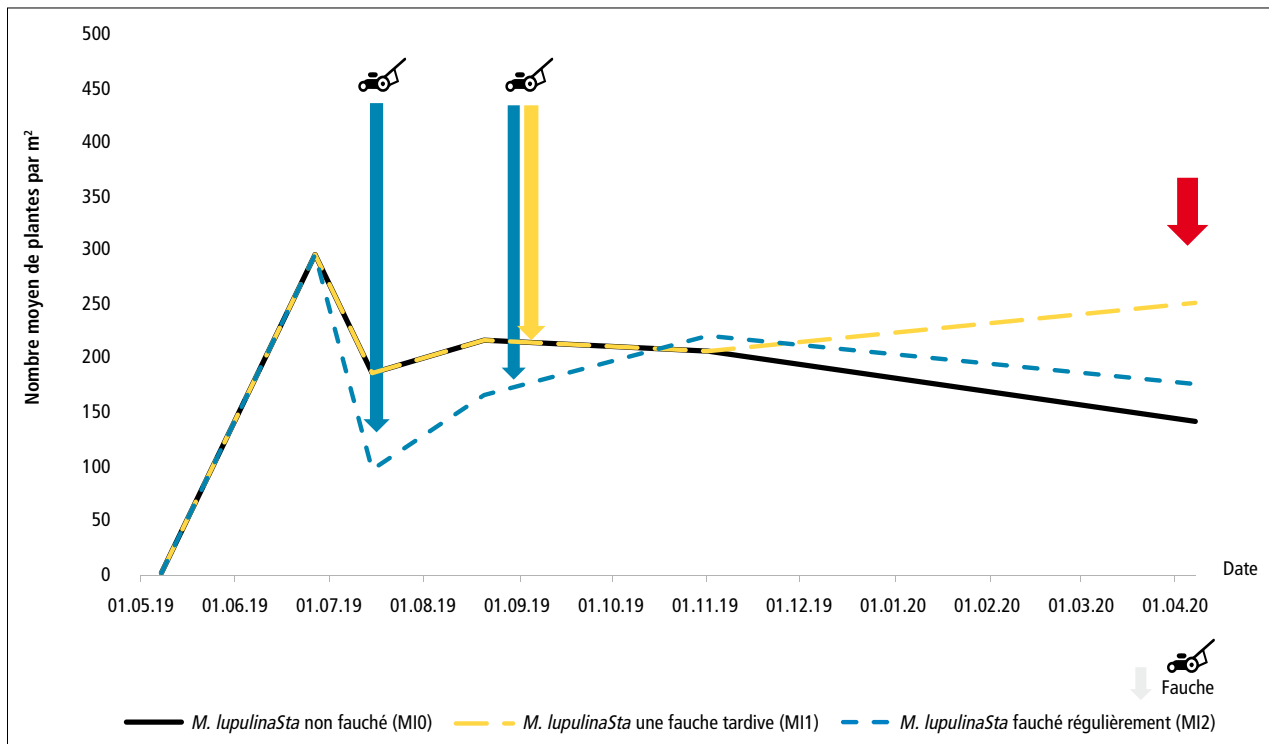


Figure 6 | Dynamique de l'installation du brome des toits (*B. tectorum*) et de son ressemis au deuxième automne, selon l'intensité des fauches. La flèche rouge indique la date du relevé réalisé environ un an après le semis.



Figures 7 et 8 | Dynamique de l'installation de deux écotypes de luzerne lupuline (*M. lupulina*) et leur ressemis au deuxième printemps, selon l'intensité des fauches. La flèche rouge indique la date du relevé réalisé environ un an après le semis.



de tester les semis sélectionnés en situation réelle, dans différents contextes pédoclimatiques et avec la culture comme indicateur. Il sera important de suivre l'évolution de ces semis sur plusieurs d'années afin de vérifier que l'investissement nécessaire pour l'installation et la gestion de ces couverts se justifie bien, condition sine qua non pour la réussite de cette entreprise.

Sélectionner des espèces pour le semis d'un couvert adapté aux objectifs agronomiques d'un producteur et à une situation pédoclimatique donnée est une première étape. Optimiser la gestion de ce couvert afin d'assurer sa pérennité et son adaptation à la situation constitue une deuxième étape tout aussi importante.

## Conclusions

- Les couverts végétaux semés ou spontanés ont mieux protégé le sol et ont fourni une meilleure biodiversité floristique que les désherbages chimique et mécanique.
- Les semis réalisés en automne ont offert de meilleurs services écosystémiques que les semis de printemps: limitation des adventices «indésirables», installation idéale de certains semis, protection du sol, concurrence potentielle plus faible.
- Un mélange d'espèces complémentaires a offert les meilleurs services par rapport aux semis monospécifiques. *B. tectorum* et *M. lupulina* semblent être des plantes particulièrement efficaces pour les premières phases d'installation d'un couvert.
- L'intensité et le calendrier de la fauche ont été d'importants facteurs de réussite ou d'échec: *B. tectorum* semble grandement favorisé par l'exécution d'une seule fauche tardive (début septembre) et au contraire défavorisé par l'absence ou l'excès de fauche; selon l'écotype utilisé, *M. lupulina* a été plutôt favorisé par une seule fauche tardive ou par plusieurs fauches, mais dans aucun cas par l'absence de fauche.
- Les tendances peuvent s'avérer différentes – voire opposées – au sein d'une même espèce quand on compare le comportement d'écotypes différents.
- L'absence totale de fauche semble favoriser la reprise des plantes géophytes indésirables l'année suivante. ■

## Remerciements

Ce projet a été financé dans le cadre du programme «Healthfood» de la Haute école spécialisée de Suisse occidentale (HES-SO). Nous remercions les fournisseurs de semences Otto Hauenstein Semences et Eric Schweizer pour avoir gracieusement mis des semences à notre disposition, Agroscope pour la mise à disposition de la parcelle, René Reymond et Sofia Dos Santos pour leur aide dans la mise en place et l'entretien de cet essai et Bertrand Fournier pour son aide avec les analyses statistiques.

## Bibliographie

- Burgat C. & Mota M., 2019. Alternatives au désherbage chimique du cavallion: impacts sur les communautés végétales dans une vigne de la Côte. *Objectif 90*, 7–9.
- Celette F. & Gary C., 2013. Dynamics of water and nitrogen stress along the grapevine cycle as affected by cover cropping. *Eur. J. Agron.* **45**, 142–152.
- Chicouene D., 2007. Mechanical destruction of weeds. A review. *Agron. Sustain. Dev.* **27**, 19–27.
- Delabays N., Grogg A. F., Mota M. & Piantini U., 2019. Selection of plant species for permanent ground cover in vineyards: Looking for an agronomic and environmental optimum. *BIO Web of Conferences* **15**, 01007. <https://doi.org/10.1051/bioconf/20191501007>
- Delabays N., Mermillod G. & Bohren C., 2004. Mauvaises herbes résistantes aux herbicides en Suisse: passé, présent... futur? *Revue suisse Agriculture* **36** (4), 149–154.
- Delabays N., Mota M. & Pétremand G., in prep. Proposition d'un protocole pour l'analyse floristique des couvertures végétales en viticulture et arboriculture. *Revue suisse Viticulture, Arboriculture, Horticulture*.
- Delabays N., Pétremand G. & Fleury D., 2016. Comparaison de six mélanges pour l'enherbement viticole dans l'Arc lémanique. *Revue suisse Viticulture, Arboriculture, Horticulture* **48** (5), 322–329.
- Delabays N., Spring J.-L. & Mermillod G., 2006. Essai d'enherbement de la vigne avec des espèces peu concurrentielles: aspects botaniques et malherbologiques. *Revue suisse Viticulture, Arboriculture, Horticulture* **38** (6), 343–354.
- Delabays N., Spring J.-L., Ancay A., Mosimann E. & Schmid A., 2000. Sélection d'espèces pour l'enherbement des cultures spéciales. *Revue suisse Viticulture, Arboriculture, Horticulture* **32**, 95–104.
- Garcia L., Celette F., Gary C., Ripoche A., Valdés-Gómez H. & Metay A., 2018. Management of service crops for the provision of ecosystem services in vineyards: a review. *Agriculture Ecosystems & Environment* **251**, 158–170.
- Geiger F., Bengtsson J., Berendse F., Weisser W.W., Emmerson M., Morales M.B., Ceryngier P., Liira J., Tschardt T., Winqvist C., Eggers S., Bommarco R., Pärt T., Bretagnolle V., Plantegenest M., Clement L.W., Dennis C., Palmer C., Oñate J.J., Guerrero I., Hawro V., Aavik T., Thies C., Flohre A., Hänke S., Fischer C., Goedhart P.W. & Inchausti P., 2010. Persistent negative effects of pesticides on biodiversity and biological control potential on European farmland. *Basic Applied Ecol* **11**, 97–105.
- Gill J. P. K., Sethi N., Mohan A., Datta S. & Girdhar M., 2018. Glyphosate toxicity for animals. *Environmental Chemistry Letters* **16**, 401–426.
- Hebing H., 2019. Impacts de différentes techniques alternatives aux herbicides sous le rang de vigne sur la flore et les services écosystémiques. Thèse de bachelor n° 469, Haute école de viticulture et œnologie de Changins.
- Klein M., 2010. Scientific opinion on the development of specific protection goal options for environmental risk assessment of pesticides, in particular in relation to the revision of the guidance documents on aquatic and terrestrial ecotoxicology (Sanco/3268/2001 And Sanco/10329/2002). *Efsa Journal* **8**, 1821.
- Landolt E., Bäumler B., Ehrhardt A., Hegg O., Klötzli F., Lämmli W., Nobis M., Rudmann-Maurer K., Schweingruber F. H., Theurillat J.-P., Urmi E., Vust M. & Wohlgemuth T., 2010. Flora indicativa: Okologische Zeigerwerte und biologische Kennzeichen zur Flora der Schweiz und der Alpen. Haupt, Bern.
- Mota M., Neyroud M. & Wentzel M., 2016. Effet du mode d'entretien sur la flore adventice. *Objectif 85*, 7–9.
- Novara A., Stallone G., Cerdà A. & Gristina L., 2019. The effect of shallow tillage on soil erosion in a semi-arid vineyard. *Agronomy* **9**, 257.
- PAN International, 2019. International consolidated list of banned pesticides (4ed). Adresse: <http://pan-international.org/pan-international-consolidated-list-of-banned-pesticides/> [15 juin 2020]
- Quarta I., 2018. Création d'un mélange optimal de couverture en cultures spéciales pérennes: suivi de parcelles expérimentales pilotes et établissement d'une collection de *Medicago lupulina*. Thèse de bachelor, Haute école du paysage, d'ingénierie et d'architecture de Genève.
- Willer H., Schlatter B., Trávníček J., Kemper L. & Lernoud J. (Eds), 2020. The world of organic agriculture. Statistics and emerging trends 2020. Research Institute of Organic Agriculture (FiBL), Frick, And Ifoam, Organics International, Bonn.

**Summary****Alternative to herbicides in viticulture and arboriculture: choice of species for cover crops and management strategies.**

Areas where mechanization is difficult (under the row, on steep slopes and in inaccessible plots) represent a technical challenge for alternatives to herbicide use. To circumvent these difficulties, cover crops might represent a good option if the plants do not compete with vines and trees, stay short, and inhibit the development of unwanted weeds through allelopathy (the ability of plants to interfere with each other through chemical mediators).

With the aim of developing such a cover, different plant species sown in spring and autumn were tested under different mowing intensities, and compared with spontaneous flora and mechanical and chemical weeding.

Our results showed that after one year, the autumn-sown cover crops offered a greater number of ecosystem services than the spring-sown cover crops (better seedling development, soil protection and control of unwanted weeds). Moreover, this work revealed that the management strategy of the mowing is crucial for the development of the cover crops. For instance, the downy brome (*Bromus tectorum*) as well as the black medick (*Medicago lupulina*) required a specific mowing frequency for an appropriate establishment in the plots. Overall, the absence of mowing did not promote a suitable development of the cover crops.

**Key words:** cover crop management, mowing intensity, ecosystem services, perennial culture row, viticulture, weed management.

**Zusammenfassung****Alternative zu Herbiziden im Wein- und Obstbau: Auswahl und Unterhalt der Pflanzenarten für den Unterstockbereich.**

Schwer mechanisierbare Flächen (Pflanzreihen, Steillagen oder unzugängliche Parzellen) stellen eine besondere technische Herausforderung für Alternativen zu Herbiziden dar. Eine Lösung könnte die Aussaat von wenig kompetitiven Bodenbedeckern mit niedrigem Wuchs und allelopathischen Eigenschaften sein (gegenseitige Beeinflussung von Pflanzen durch chemische Mediatoren).

Um eine solche Bodenbedeckung zu finden, wurden verschiedene Mono- und Mischeinsaaten, sowie drei unterschiedliche Mähintensitäten und zwei unterschiedliche Saattermine, Frühjahr und Herbst, verglichen. Zum Vergleich wurden Parzellen mit spontaner Flora, chemischer oder mechanischer Unkrautvernichtung beachtet.

Nach dem ersten Versuchsjahr zeigt sich während der Vegetationsphase die Herbstsaat gegenüber der Frühlingsaussaat überlegen im Hinblick auf zahlreiche Ökosystem-Services: die Saat etablierte sich besser und schützte somit den Boden effizienter, Unkräuter wurden verdrängt und das Mulchvolumen war grösser. Entscheidend für die Etablierung der Pflanzen, war die optimale Mähstrategie, die Perennität der Dach-Trespe (*Bromus tectorum*) und des Hopfenklees (*Medicago lupulina*) konnte dadurch gesichert werden. Das schlechteste Ergebnis wurde ohne Mähen erzielt.

**Riassunto****Alternativa agli erbicidi in viticoltura e arboricoltura: scelta e gestione di specie per l'inerbimento del sottofilare.**

Le zone difficilmente meccanizzabili (sottofilare, parcelle in pendenza o non accessibili) costituiscono una sfida tecnica per le alternative agli erbicidi. Una soluzione consisterebbe nel seminare delle colture di copertura, poco concorrenziali e di altezza ridotta, ma in grado di controllare lo sviluppo di erbe infestanti indesiderate per allelopatia (la capacità delle piante di interferire tra loro attraverso mediatori chimici). Per sviluppare tale copertura, tre diverse intensità di sfalcio sono state messe a confronto su delle specie seminate in purezza e in un mix, in autunno e in primavera, con testimoni di flora spontanea e diserbo chimico e meccanico. Dopo un primo anno di sperimentazione è emerso che le semine autunnali offrono, rispetto alle semine primaverili, un numero maggiore di servizi ecosistemici durante la stagione vegetativa: migliore installazione della semina, protezione del suolo, controllo delle infestanti e maggiori proporzioni di pacchame. Inoltre, la gestione dello sfalcio è stata determinante per lo sviluppo dei vari manti nell'anno successivo: la perennità del forasacco dei tetti (*Bromus tectorum*) e dell'erba medica lupulina (*Medicago lupulina*) è stata assicurata grazie al giusto numero di falciature. La totale assenza di falciatura si è dimostrata inadatta.