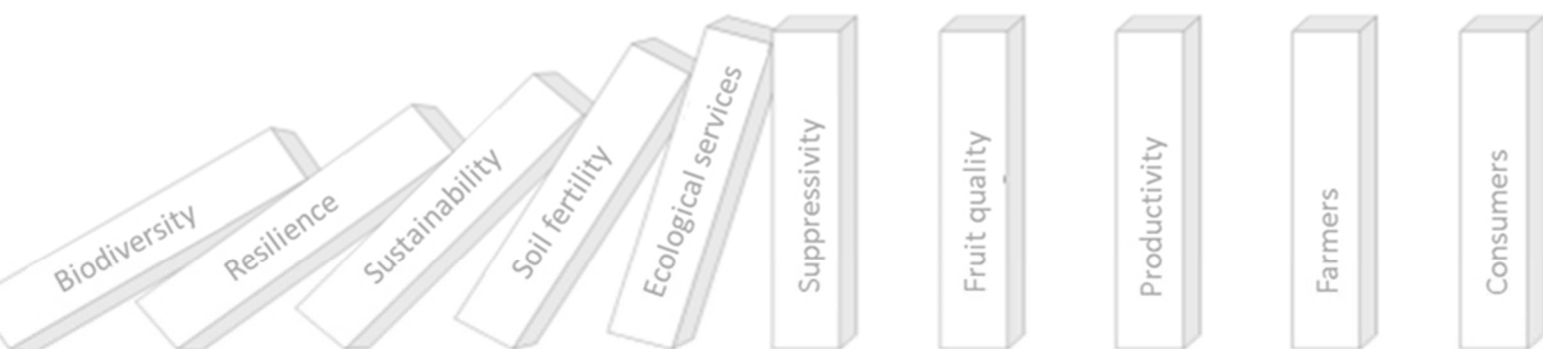




DELIVERABLE N. 2.15

DYNAMIC SOD MULCHING AND USE OF RECYCLED AMENDMENTS TO INCREASE BIODIVERSITY, RESILIENCE AND SUSTAINABILITY OF INTENSIVE ORGANIC FRUIT ORCHARDS AND VINEYARDS

Effective Options on Integrated Soil Management





TEAM/CREDITS:



Università Politecnica delle Marche
Pzza Roma 22, 60121 Ancona, Italy



Fruit Growing Institute
Ostromila 12 str. 4004, Plovdiv, Bulgaria



Laimburg Research Centre
Laimburg 6 I-39051 Vadena (BZ), Italy



Research Institute of Horticulture
(Instytut Ogrodnictwa)
Al. 3 Maja 2/3 96-100 Skierniewice, Poland



**CTIFL French technical Interprofessional Centre
for Fruits and Vegetable**
97, boulevard Pereire, 75017 Paris, France



FiBL - Research Institute of Organic Agriculture
Ackerstrasse 113, 5070 Frick, Switzerland



University Hohenheim
Schloss Hohenheim 1, 70599 Stuttgart, Germany



En quoi consistait le projet DOMINO ?

Le projet DOMINO¹ se propose de démontrer qu'une gestion innovante des vergers peut améliorer la fertilité des sols, la biodiversité et la durabilité économique des vergers biologiques intensifs.

Les systèmes de production fruitière biologique intensive se caractérisent par une "conventionnalisation" des méthodes de gestion qui réduisent fréquemment la biodiversité et dépendent largement des intrants externes pour maintenir la fertilité des sols et assurer la protection des plantes. Il y a donc un réel besoin d'introduire de nouvelles stratégies utilisant des plantes de couverture multifonctionnelles, qui peuvent également améliorer le rendement économique des vergers.

Les recherches menées dans le cadre de DOMINO visent à améliorer la durabilité à long terme et l'empreinte écologique de la production fruitière biologique intensive. Elle s'est concentrée sur l'interaction des arbres fruitiers avec différentes espèces herbacées, la matière organique et le microbiome, et visait à rompre le paradigme de la monoculture dans la culture fruitière biologique, en améliorant les services écosystémiques.

Dans ce qui suit, trois des innovations testées dans le cadre de DOMINO pour améliorer la fertilité des sols, la biodiversité et la durabilité économique des vergers biologiques intensifs sont présentées :

- 1) L'utilisation d'espèces de couverture végétale dans les rangées d'arbres pour lutter contre les mauvaises herbes, ce qui fournit également des services écosystémiques supplémentaires.
- 2) L'utilisation d'espèces de légumineuses dans l'interrang et la rangée d'arbres pour améliorer la fertilité du sol.
- 3) L'utilisation d'engrais alternatifs basés sur des matières organiques disponibles au niveau régional ou sur des légumineuses sous différentes formes d'apport, pour améliorer les bilans nutritifs et les services écosystémiques.

Les activités ont été menées dans cinq États de l'Union européenne (Italie, Allemagne, Pologne, France et Bulgarie) et en Suisse, sur plusieurs grands bassins de production fruitière.

¹ <http://www.domino-coreorganic.eu/>



INNOVATION 1

ESPECES COUVRE-SOLS CULTIVEES SUR LES RANGS POUR LE CONTROLE DES ADVENTICES

IDENTIFICATION DE LA PROBLEMATIQUE

Gestion des mauvaises herbes sur le rang d'arbres, sans utiliser d'herbicides et en réduisant le travail du sol. Les herbicides, même naturels, réduisent la biodiversité. Malgré un premier effet positif du désherbage mécanique par travail du sol, qui est d'accélérer la minéralisation de la matière organique du sol, cette pratique est néfaste pour la fertilité physique, chimique et biologique du sol.

Concept

Une stratégie alternative pour gérer l'espace entre les arbres fruitiers, tout en augmentant la biodiversité des vergers, est de maintenir un couvert végétal permanent. Les critères suivants doivent être pris en compte lors du choix d'une espèce végétale utilisée comme couvre-sol :

- L'espèce est adaptée aux conditions environnementales locales et capable de former un peuplement végétal stable (qualité d'implantation et durabilité),
- L'espèce est capable de supplanter les adventices par un recouvrement rapide et dense, voire des propriétés allélopathiques, mais exerce une faible concurrence vis-à-vis de la culture principale (arbres fruitiers) : espèces produisant peu de biomasse, avec un faible développement en hauteur, sans racine pivotante ou une profondeur d'enracinement maximale de 20-25 cm, voire des espèces tapissantes
- La gestion de l'espèce couvre-sol est compatible avec la culture des arbres fruitiers
- L'espèce peut fournir des services agroécologiques complémentaires (amélioration du sol, fourniture d'azote, régulation des ravageurs, pollinisation, propriétés pesticides, etc.)
- L'espèce peut apporter une source de revenu supplémentaire (plantes médicinales ou aromatiques, légumes, petits fruits, etc.).

Dans le cadre du projet DOMINO, plus de 40 espèces locales sauvages et cultivées ont été testées comme paillis vivants. La plupart des espèces ont été testées sous forme de peuplements purs afin de faciliter l'évaluation.



(Depuis le haut et de gauche à droite) : *Hieracium aurantiacum* (Epervière orangée), *Potentilla reptans* (Potentille Rampante, ou Main-de-Mars), *Galium album* (Gaillet blanc ou Caillet-blanc), *Alchemilla vulgaris* (Alchémille commune, ou Pied-de-Lion), *Tropaeolum majus* (Grande Capucine), *Mentha x piperita* (Menthe Poivrée), et *Cucurbita pepo* (Citrouille).



Informations pratiques sur les espèces couvre-sols d'intérêt identifiées dans le projet

Espèce	Bénéfices	Couverture	Recommandations d'implantation et d'entretien
<i>Achillea millefolium</i> (Achillée millefeuille)	Local	+(++)	Couverture insuffisante la première année, mais bonne couverture et concurrence des mauvaises herbes à partir de la deuxième année.
<i>Alchemilla vulgaris</i> (Alchémille commune)	Plante officinale	+ + +	N'a pas été capable de couvrir entièrement le sol la première année : désherbage manuel complémentaire ou une plantation à plus haute densité sont nécessaires. À partir de la deuxième année, la couverture du sol s'est avérée suffisante pour concurrencer les mauvaises herbes, et une première récolte des fleurs et feuilles a pu être réalisée (intérêt en herboristerie).
<i>Cucurbita pepo</i> (Citrouille)	Fruit comestible Phytore-médiation	+	Couvre bien le sol si planté tôt en saison. Espèce annuelle, qui demande donc un travail du sol chaque année avant implantation. Propriétés avérées pour la phytoremédiation des sols (élimination des polluants organiques, comme les résidus de pesticides et notamment le DDT).
<i>Fragaria vesca</i> (Fraise des bois)	Local Fruit comestible	+(++)	La plantation à partir de variétés ou écotypes locaux fonctionne très bien, mais certaines variétés commerciales ont aussi montré une bonne capacité à s'établir, à la densité initiale de 6-8 plants/arbre. Compétitivité faible vis-à-vis des adventices, notamment en 1 ^{ère} année : un désherbage complémentaire est nécessaire. Capable d'une très bonne couverture du sol en 2 ^{ème} année, avec une forte réduction des adventices. Préfère les sols frais et acides ; non adapté aux zones chaudes et peu arrosées.
<i>Galium album</i> (Gaillet blanc)	Local	+ + +	Très bonnes capacités d'installation, si transplantation de variétés ou écotypes locaux. Se régénère bien après le passage de brosses à fils à l'automne.
<i>Melissa officinalis</i> (Mélisse officinale)	Plante aromatique	+ +	Bonne couverture du sol ; régulation des adventices dès la 2 ^{ème} année. Forte production de biomasse (1m haut). Il peut être nécessaire de contrôler son développement en fin d'année ou à l'automne par une coupe. Débouchés herboristerie, huiles essentielles
<i>Mentha spicata</i> (Menthe verte) <i>Mentha x piperita</i> (M. poivrée)	Plante aromatique	+ +	Bonne couverture du sol ; régulation des adventices dès la 2 ^{ème} année. Forte production de biomasse (1m haut). Il peut être nécessaire de contrôler son développement en fin d'année ou à l'automne par une coupe. Effet positif avéré sur la faune auxiliaire (notamment acariens prédateurs). Débouchés herboristerie, huiles essentielles



Espèce	Bénéfices	Couverture	Recommandations d'implantation et d'entretien
<i>Potentilla reptans</i> (Potentille rampante)	Local	+ + +	La transplantation à partir de variétés ou écotypes locaux fonctionne très bien. Couverture rapide et persistante, avec un recouvrement total du sol de mai à septembre, et satisfaisant le reste de l'année. La coupe ou la tonte des plantes doivent être évitées (favorisent les adventices au détriment du couvre-sol).
<i>Tagetes sp.</i> (Œillet d'Inde)	Régulation ravageurs	++	S'établit difficilement en présence d'adventices plus compétitives, et doit donc être plantée à forte densité. Peut aussi être associée à d'autres espèces, comme par exemple <i>Pulmonaria sp.</i> , qui a une capacité de couverture rapide mais une faible biomasse. Propriétés répulsives vis à vis des nématodes pathogènes.
<i>Trifolium repens</i> (Trèfle blanc)	Source d'azote	++	Demande des conditions pluvieuses après semis, ou un complément d'arrosage par l'irrigation. Sensible aux attaques de limaces. Excellente qualité de couverture si semé dans les conditions adéquates et dans un environnement adapté. Le trèfle nain est une alternative intéressante, capable aussi d'une bonne couverture et d'empêcher la levée des adventices. Mais nécessitera d'être re-semé après quelques années.

L'implantation des plantes vivaces sous forme de plants élevés en mottes s'est avérée beaucoup plus efficace que sous forme de semis. Les densités utilisées pour une implantation en bande le long des rangs de plantation ont été de 6-8 plants/m². Une implantation des plantes vivaces limitée à la zone entourant les troncs d'arbres ou les ceps, donc à moindre densité à l'hectare, a donné de bons résultats sur l'un des sites du projet, où elle était combinée à du travail superficiel du sol le long des rangs, pour aider les couvre-sols à s'étendre.

Galium odoratum (Gaillet odorant), *Hierochloë australis* (Herbe à bison), *Melissa officinalis* (Mélisse officinale), *Taraxacum officinale* (Pissenlit), *Tropaeolum majus* (Grande capucine) et *Veronica officinalis* (Véronique officinale) n'ont pas pu s'établir.

Hieracium aurantiacum (Epervière orangée), *Hieracium lactucella* (Epervière petite laitue), *Hieracium pilosella* (Epervière piloselle) produisent des fleurs qui sont visitées par les pollinisateurs, et sont capables dans la nature de former des tapis très ras si elles se trouvent dans des conditions qui leur conviennent. Implantées à l'automne en tant que couvre-sols à partir de plantes en mottes, et aidées en première année par du désherbage manuel, elles ont réussi à s'implanter sur l'un des sites du projet, avec une couverture rapide pendant le 1^{er} hiver et jusqu'à fin juin, avant de s'envahir de mauvaises herbes. Si les plantes réapparaissent en 2^{ème} année avec un meilleur recouvrement, elles ne persistent pas en 3^{ème} année.

Une très bonne couverture du sol au détriment des adventices a été observée sur l'un des sites avec *Viola odorata* (Violette odorante), l'année même de son implantation, probablement en raison de propriétés allélopathiques ; mais ce couvre-sol n'a pas persisté en 2^{ème} année.

Trifolium resupinatum (Trèfle de Perse), espèce annuelle qui était censée pouvoir produire des graines fertiles et se re-semer, a totalement disparu à la fin du cycle annuel et n'est pas réapparu en 2^{nde} année.



Enseignements de ce travail

Les fleurs des espèces couvre-sols fournissent des sources de nectar supplémentaires aux pollinisateurs, tout en améliorant l'aspect esthétique des vergers. De plus, certaines espèces fournissent des habitats aux antagonistes des ravageurs.

Certains paillis vivants peuvent également représenter une source de revenu additionnel pour l'exploitant, par exemple par une valorisation sous forme de plantes ou fruits comestibles, ou de plantes aromatiques. Toutefois, les mesures phytosanitaires appliquées à la culture principale (arbres fruitiers ou vigne) doivent alors être adaptées afin d'éviter les résidus de pesticides sur les produits issus du couvre-sol.

Malgré l'installation des paillis vivants le long des rangs, aucun symptôme de stress hydrique n'a été observé sur les arbres fruitiers dans les différentes conditions testées.

La densité racinaire des pommiers, associés à certaines espèces herbacées comme la menthe (*Mentha x piperita*) ou l'alchémille (*Alchemilla vulgaris*) s'est avérée plus importante en comparaison de pommiers gérés par du travail superficiel du sol sur la ligne d'arbres.

Aucun impact significatif des couvre-sols sur la quantité d'oligo- ou macro-éléments mesurés par analyse foliaire des arbres n'a été constaté ; toutefois, un impact sur le rendement en fruits a pu être observé sur certains sites.

Les résultats obtenus à travers le projet DOMINO soulignent le potentiel des paillis vivants dans une large gamme de conditions de culture. Mais la performance des espèces de couvre-sols est toujours spécifique au site. Par conséquent, le défi consiste à identifier l'espèce qui sera suffisamment vigoureuse pour concurrencer les mauvaises herbes dans un agroenvironnement spécifique, comprenant le sol, le climat, la pression des mauvaises herbes et le type de gestion du verger.



RECOMMANDATIONS POUR LES PRODUCTEURS

- ❖ Tester in situ, c'est à dire le long des rangs d'arbres du verger, l'adaptation des espèces choisies, en commençant par des surfaces limitées.
- ❖ Les espèces de paillis vivants qui réussiront à se développer le long des rangs d'arbres pourront alors servir de source de plantules pour une extension de la méthode à des surfaces plus importantes du verger.
- ❖ Une installation des couvre-sols à l'automne plutôt qu'au printemps est recommandée, en raison du risque d'invasion par des adventices estivales, notamment graminées (*Echinochloa crus-galli*, *Setaria sp.*, *Digitaria sp.*, etc.).
- ❖ L'utilisation de mesures complémentaires de désherbage peut grandement aider les couvre-sols à s'installer et à développer suffisamment de biomasse pour empêcher la levée des adventices. Ces méthodes de désherbage peuvent être manuelles ou mécanisées, par exemple en utilisant une lame intercep qui viendra sectionner les racines pivotantes des adventices (testé sur vigne dans le projet).
- ❖ L'utilisation d'espèces, variétés, et écotypes locaux fournit un avantage significatif en termes d'adaptation, résilience et capacité de couverture du sol. Toutefois, dans le cas de plantes achetées en pépinières, le fait qu'une espèce soit connue pour se développer à l'état naturel dans la zone géographique de l'exploitation, n'est pas une condition suffisante pour garantir sa qualité d'installation dans les conditions des lignes de plantation du verger ou du vignoble.
- ❖ L'utilisation de couvre-sols doit être envisagée avec prudence dans les zones de forte pression en rongeurs (campagnols, mulots, etc.).
- ❖ Selon leur biomasse, certaines espèces couvre-sol peuvent gêner l'application des fertilisants. Dans ce cas, des stratégies de gestion des paillis vivants peuvent être imaginées pour faciliter l'épandage des engrais et amendements (tonte ou fauche raisonnée).
- ❖ L'utilisation de couvre-sols dans une optique de régulation des adventices implique un investissement de départ qui peut être conséquent, en raison du coût de la main d'œuvre pour leur installation le long des rangs d'arbres. Ce coût peut exploser selon le prix des plants, et si des mesures complémentaires de désherbage doivent être apportées pour faciliter leur installation.



INNOVATION 2

GESTION DES RANGS ET INTERRANGS PAR L'UTILISATION DE CULTURES DE LEGUMINEUSES

IDENTIFICATION DE LA PROBLEMATIQUE

Remplacer les pratiques de fertilisation des vergers et vignobles organiques basées sur l'utilisation d'engrais du commerce, par une source naturelle de nutriments pour la culture, sous forme d'engrais verts de légumineuses cultivés à même la parcelle.

Concept

Les légumineuses ont une capacité naturelle à pourvoir de l'azote, sans qu'un apport externe préalable ne soit nécessaire. Par un choix judicieux d'espèces et une gestion adéquate, la culture de légumineuses pourrait servir de source interne de nutriments (azote, mais aussi autres macro- ou oligo-éléments, par une remobilisation des ressources du sol), tout en augmentant la biodiversité dans la parcelle et en accroissant la fertilité du sol sur ses diverses composantes (physiques, chimiques, macro- et microbiologiques).

Plusieurs cultures de légumineuses ont été testées dans le projet, utilisées seules ou en mélange, sur les interrangs ou les rangs du verger, et dans plusieurs zones géographiques européennes.

Les aspects suivants ont été évalués :

- Impact sur la biodiversité en lien avec la santé du sol
- Effet sur la biodiversité en termes d'entomofaune
- Impact sur les bilans nutritifs

Engrais verts de légumineuses évalués pour le rang ou l'interrang du verger

Espèces	Information
<i>Trifolium repens</i> (Trèfle blanc)	<p>Densité de semis : 2 g/m²</p> <p>Installation : requiert des conditions humides sur la phase de germination et de levée (période pluvieuse ou complément par irrigation). Le développement peut être lent au départ, mais bonne résistance au piétinement par les machines. Peut être associé au semis d'une autres espèce à développement plus rapide, pour éviter la compétition avec les adventices pendant la phase d'installation (par exemple : <i>Festuca ovina</i>).</p> <p>Trèfle nain : Trèfle blanc avec des feuilles de taille plus petite que les variétés classiques et une biomasse plus faible. Avec sa taille réduite, il exerce moins de compétition avec les arbres vis-à-vis des nutriments et de l'eau du sol.</p> <p>Apport potentiel en nutriments ⁽¹⁾ (avec 3 coupes de mai à juillet) :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Trèfle blanc : 63 kg N, 11 kg P et 83 kg K par ha de verger • Trèfle blanc nain : 54kg N, 9 kg P, 73 kg K par ha de verger



Espèces	Information
"MULTIFLORE LD" (mélange BARENBRUG) (Trèfle blanc nain, trèfle blanc intermédiaire, minette, lotier corniculé, trèfle incarnat)	Densité de semis : 2 g/m ² Apport potentiel en nutriments ⁽¹⁾ (1 mois après la coupe) : 5 kg N/ha Intérêt : engrais vert pérenne, annoncé comme pouvant se perpétuer sur 5 années. Testé en verger, il évolue en 3 ^{ème} année vers une composition monospécifique, avec essentiellement du trèfle blanc.
"GS PROTEO" (mélange BARENBRUG) (<i>Avena sativa</i> , <i>Vicia sativa</i> , <i>Trifolium alexandrinum</i>)	Densité de semis : 8 g/m ² Apport potentiel d'azote ⁽¹⁾ (1 mois après la coupe) : 13 kg N/ha Très bon développement avec une forte biomasse si semé à l'automne ; restitution d'azote en juin.
Mélange Pois fourrager, Lupin, Vesce <i>Pisum sativum</i> : 45 % <i>Lupinus angustifolius</i> : 35 % <i>Vicia sativa</i> : 20 %	Densité de semis : 15 g/m ² Apport potentiel d'azote ⁽¹⁾ (1 mois après la coupe) : 48 kg N/ha Très bon développement avec une forte biomasse si semé à l'automne ; restitution d'azote en juin.
Mélange Avoine, Féverole <i>Avena sativa</i> : 33 % <i>Vicia faba</i> : 20 %	Densité de semis : 18 g/m ² Apport potentiel d'azote ⁽¹⁾ (1 mois après la coupe) : 41 kg N/ha Très bon développement avec une forte biomasse si semé à l'automne ; restitution d'azote en juin.
<i>Festuca ovina</i> (Fétuque ovine) + <i>Trifolium repens</i> (Trèfle blanc)	Bonne solution pour le verger car ce mélange s'établit facilement. La fétuque se développe d'abord puis est suivie par le trèfle. Une coupe à la mi-juin apporte un mulch organique pour le sol et des nutriments pour les arbres.
<i>Pisum sativum</i> (Pois fourrager)	Densité de semis : 10 g/m ² Peut être semé à l'automne pour une fourniture d'azote en avril, ou en mars pour une restitution en juin. Bon comportement en implantation sur le rang d'arbres Apport potentiel d'azote ⁽¹⁾ : 70 à 200 kg N/ha

(1) Tel qu'évalué par analyse des reliquats azotés sur 30 cm de sol, en comparaison d'un sol nu sans aucun apport de mulch ou fertilisant.

Trifolium ambiguum (Trèfle Kura, ou trèfle du Caucase) et *Galega orientalis* (Rue des chèvres) se sont avérées peu adaptées à des conditions trop sèches (en l'absence de pluies ou d'irrigation complémentaire) et ne se sont pas bien établies dans le verger, même semées en mélange avec *Festuca ovina* (Fétuque ovine).



RECOMMANDATIONS POUR LES PRODUCTEURS

- ❖ La capacité des espèces de légumineuses à fournir aux arbres un engrais vert efficace, en implantation sur les rangs ou les interrangs du verger, est étroitement liée à la réussite du semis (densité, conditions pendant la germination et la levée). Les clés du succès reposent sur : a) une période de semis appropriée ; b) une densité de semis élevée, ou un semis en mélange avec une autre espèce capable d'un établissement rapide, pour empêcher l'invasion par les adventices ; c) des conditions d'humidité et de rayonnement solaire suffisantes pendant la phase de germination et de levée, selon les besoins de l'espèce ; d) un équipement de semis adapté ; e) une perturbation minimale du sol depuis le semis jusqu'au plein établissement de la culture (limitation des passages d'engins).
- ❖ Sur l'interrang, l'utilisation de légumineuses pérennes, seules ou en mélange, semble une option préférable au choix d'espèces annuelles, car ceci permet de limiter les opérations de travail du sol et de semis, et de minimiser ainsi les risques de mauvais établissements d'engrais verts utilisés en rotation. Une option alternative est d'implanter l'engrais vert de légumineuses sur le rang d'arbres, ce qui permet de limiter le risque d'écrasements répétés par le passage des engins.
- ❖ Quand l'engrais vert de légumineuses a atteint une biomasse suffisante et un stade approprié, il peut être fauché et mulché sur les rangs d'arbres pour une restitution des éléments nutritifs à la culture, et ceci au plus tard en juillet (selon la zone géographique), sous peine d'arriver trop tard pour satisfaire les besoins en azote des arbres.



A gauche : préparation du lit de semence avant. Au centre : forte pression des adventices sur l'interrang après semis de trèfle blanc en culture pure en conditions trop sèches. A droite : couvert dense et homogène obtenu avec un mélange de trèfle blanc nain et de fétuque ovine (*Festuca ovina*).



INNOVATION 3

NOUVELLES STRATEGIES DE FERTILISATION

IDENTIFICATION DE LA PROBLEMATIQUE

La fertilisation des vergers biologiques est souvent basée sur l'utilisation d'engrais du commerce autorisés en culture biologique. En Europe centrale, ces engrais sont principalement issus de l'élevage conventionnel (par exemple, fumier de bovins, fumier de volailles séché et fourni sous forme granulée, corne broyée) ou de matières organiques recyclées issus du secteur de la transformation de produits agricoles ou de l'agroalimentaire (par exemple, vinasse de betterave ou de levurerie). Ces engrais commencent à être contestés en agriculture biologique, car ils génèrent des flux depuis l'agriculture conventionnelle vers les cultures organiques. Par ailleurs, les engrais d'origine animale sont remis en question de manière plus globale, avec le développement de l'agriculture végétale.

Concept

L'objectif était de tester différents engrais alternatifs (matières organiques recyclées, matériaux à base de trèfle, protéagineux sous forme de biomasse, etc.) pour vérifier leur intérêt en production fruitière biologique en application localisée le long des rangs de plantation. Les engrais ont été testés dans le cadre d'essais en laboratoire, en pots, et en vergers de pommiers. Les essais visaient également à déterminer la dynamique de minéralisation de ces engrais alternatifs et leur impact sur la croissance des pommiers et la teneur en éléments nutritifs des feuilles. En effet, la disponibilité des éléments nutritifs des engrais organiques (et notamment l'azote) ne correspond pas toujours aux besoins temporels de l'arbre.



Gauche : rangs fertilisés avec de la vinasse. Droite : culture de pois d'hiver sur les rangs, avant mulchage en avril.



Pois semés sur le rang (photo prise en mai). La culture de pois a été semée en mars et incorporée au sol en juillet (environ 10 semaines après semis).

Fertilisant testé	Forme	Caractéristiques et recommandations
<p>Digestat liquide de biogaz</p>	<p>Liquide</p>	<p>Test d'incubation : Minéralisation rapide (pic de libération d'azote minéral à partir de 7 jours et jusqu'à 60 jours). Forte libération d'azote minéral en un temps très court.</p> <p>Test en pots : Minéralisation rapide et reliquats d'azote élevés dans le sol 2 semaines après l'apport.</p> <p>Essais en verger : Cet engrais a un profil de minéralisation intéressant pour le pommier, en positionnement en sortie d'hiver. Il a également montré un impact positif sur la diversité des communautés microbiennes du sol et des nématodes.</p> <p>Apports nutritifs : La composition en éléments disponibles pour la culture peut varier en fonction de l'origine des matières organiques et du process de méthanisation utilisé</p> <p>Coût : Faible, mais intéressant uniquement si l'exploitation se situe à proche distance d'un digesteur (en raison des coûts de transport).</p> <p>Application : Facile</p> <p>Précautions : Prendre garde à gérer les risques de présence potentielle de contaminants (métaux lourds, pathogènes, etc.), notamment si l'exploitation doit répondre à des normes environnementales ou de traçabilité (par ex. Global GAP), et ceci même si le digestat de biogaz est commercialisé comme autorisé en agriculture biologique.</p>



Fertilisant testé	Forme	Caractéristiques et recommandations
Granulés de trèfle	Solide	<p><u>Test d'Incubation</u> ⁽¹⁾ : Commence par immobiliser l'azote, puis en libère seulement une faible quantité après plus d'un mois.</p> <p><u>Test en pots</u> ⁽²⁾ : Très peu d'azote minéral libéré 8 semaines après l'apport, petite libération substantielle 10 semaines après l'apport.</p> <p><u>Essais en verger</u> ⁽³⁾ : Faible taux d'azote minéral disponible.</p> <p>Apports nutritifs ⁽⁴⁾ : Riche en P, K, un peu de Mg</p> <p>Coût : Cher</p> <p>Application : S'applique avec le même type d'équipement qu'un engrais granulé classique.</p> <p>Compatible avec l'agriculture végétane.</p>
Compost végétal	Solide	<p><u>Test d'Incubation</u> : Petite libération d'azote minéral.</p> <p><u>Essais en verger</u> : Faible disponibilité en azote en année 1 après épandage.</p> <p>Apports nutritifs : Riche en P, K, Mg, Ca et oligoéléments.</p> <p>Coût : Faible, mais intéressant uniquement si l'exploitation se situe à proche distance d'une plateforme de compostage (en raison des coûts de transport).</p> <p>Application : Facile (à condition d'avoir un épandeur de petite dimension)</p> <p>Précautions : Prendre garde à gérer les risques de présence potentielle de contaminants (plastiques, métaux lourds, semences d'adventices, etc.).</p> <p>Compatible avec l'agriculture végétane.</p>
Ensilage de trèfle	Solide	<p><u>Test d'Incubation</u> : Pas de libération significative d'azote minéral. Augmente légèrement le pH (+ 0.2)</p> <p><u>Essais en verger</u> : Long délai avant disponibilité de l'azote minéral dans le sol. Une application à l'automne est donc recommandée.</p> <p>Apports nutritifs : Riche en P, K, un peu de Mg (équivalent aux granulés de trèfle)</p> <p>Coût : Faible. L'ensilage peut être produit sur l'exploitation si ensileuse disponible, soit en propre, soit en CUMA.</p> <p>Application : Difficile (peu d'exploitations fruitières disposent d'une ensileuse).</p> <p>Compatible avec l'agriculture végétane.</p>



Vinasse	Liquide	<p>Test d'Incubation : Minéralisation rapide (mais plus lente que celle des biodigestats : progression croissante de la libération d'azote minéral avec un maximum à 60 jours). Abaisse légèrement le pH (- 0.2)</p> <p>Test en pots : Minéralisation rapide et pic d'azote mineral après 2 semaines.</p> <p>Essais en verger : Cet engrais a un profil de minéralisation intéressant pour le pommier, en positionnement en sortie d'hiver. Il a également montré un impact positif sur la diversité des communautés microbiennes du sol et des nématodes.</p> <p>Apports nutritifs : Riche en K, Na</p> <p>Coût : Faible.</p> <p>Application : Facile</p> <p>Compatible avec l'agriculture végétane.</p>
Pois fourrager (graines / biomasse)	Solide	<p>Test d'Incubation : Libération modérée d'azote minéral jusqu'à 30 jours, puis augmentation après 60 jours. Abaisse légèrement le pH (- 0.2)</p> <p>Test en pots : Début de libération d'azote observé après 5 semaines après l'apport</p> <p>Essais en verger : La légumineuse est semée à très haute densité sur le rang d'arbre, puis la biomasse produite est coupée précocement (10 à 20 cm de haut) et incorporée au sol. Densité de semis : 250 g/m². Semis à l'automne ou au printemps. Un semis à l'automne permet de détruire la culture plus tôt (un mois avant la floraison du pommier) et de bénéficier d'une plus longue période de minéralisation de la biomasse.</p> <p>Apports nutritifs : Environ 20 kg N/ha. Riche en P</p> <p>Coût : Assez cher (en raison de la densité de semis)</p> <p>Précautions : La réussite de la culture dépend fortement des conditions climatiques locales (époque de semis, résistance au gel hivernal, période d'incorporation au sol).</p> <p>Compatible avec l'agriculture végétane.</p>

- (1) **Tests d'Incubation** : le fertilisant est mélangé à une petite quantité de sol dans un contenant placé en chambre climatique pendant 60 jours à 10°C.
- (2) **Test en pots** : plants de pommier d'un an élevés en pot ; fertilisation 3 semaines avant floraison (2/3 de l'apport total), puis juste après floraison (1/3).
- (3) **Essais en verger** : en verger de pommier adulte.
- (4) **Apports nutritifs** : tels qu'évalués en tests d'incubation



RECOMMANDATIONS POUR LES PRODUCTEURS

- ❖ Le suivi du statut nutritif du sol par des analyses régulières (richesse en macro-éléments, P, K, Mg, Ca ; reliquats d'azote) est la clé pour élaborer des stratégies de fertilisation raisonnées, et prévenir les déséquilibres nutritifs à long terme.
- ❖ Par leur nature même, les fertilisants organiques naturels ne permettent pas une maîtrise exacte des équilibres en éléments minéraux disponibles pour les plantes, ou de leur vitesse de libération. Il est donc recommandé d'alterner le choix de ces fertilisants sur une base annuelle, ou sur la vie du verger, afin d'atténuer les risques de déséquilibres.
- ❖ Les digestats de biogaz (de préférence d'origine végétale), ainsi que les engrais à base de trèfle (comme l'ensilage et les granulés de trèfle), présentent le meilleur ratio N/K par rapport aux besoins d'entretien du pommier. Selon le statut nutritif du sol établi par analyse, ces engrais peuvent permettre de réduire les déficits en K avec un apport minimal de P, et donc d'atténuer l'accumulation de P, dans les zones sujettes à ce risque.
- ❖ En cas de quantités importantes de P disponibles dans le sol, les engrais verts basés sur un semis dense de légumineuses à grains, de même que le compost ou le fumier de ferme, sont moins adaptés en raison de leurs apports élevés en P, si les quantités à apporter sont calculées sur le niveau d'azote correspondant aux besoins annuels du pommier.
- ❖ Les engrais à base de kératine, comme la corne broyée, restent les seuls engrais azotés apportant de faibles quantités de P et K additionnelles.
- ❖ Pour évaluer la compatibilité d'une stratégie de fertilisation avec les principes de base de l'agriculture biologique, une évaluation approfondie de leur durabilité et de leur performance économique et environnementale au sens large est nécessaire. Ceci peut être réalisé par le biais d'analyses de type ACV (Analyse du Cycle de Vie), SMART (Sustainability Monitoring and Assessment RouTine) ou RISE (Response-Inducing Sustainability Evaluation).

Références

Buchleither, S. (2016). Leguminosendichtsaaat im Baumstreifen als alternative Stickstoff-Düngungsstrategie im Ökologischen Kernobstbau. *Ökoobstbau*, 4, pp. 4-8.

Buchleither, S., Mayr, U., Brandt, M. (2014). Legumes dense sowing with peas as an alternative method for nitrogen fertilization in organic fruit growing. *Proceeding of the 16th ecofruit conference*, Hohenheim.

Mia, M.J.; Furmanczyk, E.M.; Golian, J.; Kwiatkowska, J.; Malusá, E.; Neri, D. Living Mulch with Selected Herbs for Soil Management in Organic Apple Orchards. *Horticulturae* 2021, 7, 59.

<https://doi.org/10.3390/horticulturae7030059>

Möller, K., Schultheiß, U. 2014. Organische Handelsdüngemittel im ökologischen Landbau. Kuratorium für Technik und Bauen in der Landwirtschaft (KTBL), Darmstadt, Germany, p. 392

Neri, D.; Polverigiani, S.; Zucchini, M.; Giorgi, V.; Marchionni, F.; Mia, M.J. Strawberry Living Mulch in an Organic Vineyard. *Agronomy* 2021, 11, 1643. <https://doi.org/10.3390/agronomy11081643>

Projet DOMINO (2021). Final report on combined agronomical alternatives of row management. (D3.9). 42p.