



ACTES DU
COLLOQUE



Couverts végétaux : des opportunités à saisir

Rencontres régionales de la recherche,
du développement et de la formation
Mercredi 12 décembre 2018 de 9h à 16h30,
Lycée agricole de l'Oisellerie (16)



Couverts végétaux : des opportunités à saisir

Sommaire

Éditorial	3
Programme	5

POSITIONNEMENT DES ENJEUX

Opportunités et services offerts par les couverts végétaux Sébastien Minette	7
--	---

DES COUVERTS POUR MAITRISER LES BIOAGRESSEURS ET REDUIRE L'USAGE DE PRODUITS PHYTOSANITAIRES

Potentiels de régulation biotique par allélopathie et biofumigation et dis-services produits par les cultures intermédiaires multiservices de crucifères Antoine Couëdel, Lionel Alletto, John Kirkegaard, Eric Justes	9
---	---

Régulation des plantes adventices par la compétition : effet des couverts et de leur conduite sur la gestion des adventices Stéphane Cordeau et Guillaume Adeux	13
--	----

Régulation des plantes adventices par effet d'« allélopathie » Aurélie Gfeller et Judith Wirth	18
--	----

BRÈVES

MERCI Méthode d'évaluation des restitutions par les cultures intermédiaires Sébastien Minette	21
--	----

UNE VALORISATION ÉCONOMIQUE DES COUVERTS VÉGÉTAUX

Trois cultures en deux ans, quelles pistes et quelles limites ? Sébastien Minette	23
Valorisation des couverts par le pâturage : exemple des ovins Laurence Sagot	33
Cultures intermédiaires à valorisation énergétique Sylvain Marsac, Manuel Heredia	36
Couverts végétaux : quelle contribution au stockage de carbone et au bilan gaz à effet de serre ? Bruno Mary	40

COUVERTS VÉGÉTAUX ET FERTILITÉ DES SOLS

Gestion intégrée de la fertilité des sols en viticulture Les couverts végétaux Lorelei Boechat-Cazenave	44
--	----

Éditorial

La seconde édition des Rencontres régionales de la recherche du développement et de la formation en Nouvelle-Aquitaine (3RDF) se propose de traiter des bénéfices apportés par les couverts végétaux. Organisée par la Chambre régionale d'agriculture Nouvelle-Aquitaine, l'Inra et l'Acta avec le concours actif du Campus agricole de Charente, elle se tient sous l'égide du Réseau régional d'innovation en agriculture de Nouvelle-Aquitaine*.

Cette édition 2018 associe très étroitement l'établissement d'enseignement agricole de l'Oisellerie qui nous accueille. Une intervention est réservée aux étudiants en introduction du colloque afin de présenter les résultats d'une enquête ayant recueilli plus de 800 réponses d'agriculteurs et de techniciens de Nouvelle-Aquitaine.

Cette rencontre professionnelle fait écho aux États généraux de l'innovation (EGI) qui se sont tenus dans le cadre du Salon de l'agriculture Nouvelle-Aquitaine en mai 2018 et ont traité de la même thématique.

Les couverts végétaux font l'objet de nombreuses attentions et ont été mis en avant dès les années 80 pour leur capacité à piéger l'azote et limiter les fuites de nitrates vers les eaux souterraines. Ressentie très souvent par les agriculteurs comme une contrainte réglementaire, cette pratique devient une véritable « source de bénéfices ».

Ces couverts végétaux concernent désormais toutes les filières : grandes cultures, maraîchage, cultures pérennes et chacun commence à en mesurer les avantages au-delà du simple piégeage des nitrates. Ils s'inscrivent dans des pratiques plus globales telles que l'« agriculture de conservation » et sont parfois médiatisés au travers de reportages, articles et ouvrages sur la permaculture.

Nous avons donc souhaité apporter un éclairage sur l'usage de ces cultures qui couvrent temporairement les sols et que l'on nomme maintenant Cultures intermédiaires multi services (CIMS). L'intérêt de ces différents services sera abordé par le biais d'exposés de chercheurs et de professionnels.

Le sujet est très vaste et pourrait donner lieu à plusieurs colloques, aussi avons-nous choisi plusieurs angles singuliers pour traiter de quelques questions en couplant le plus possible des approches scientifiques et des réalisations de terrain.

Après un positionnement général des enjeux et une présentation des perceptions des couverts par les professionnels, nous traiterons successivement de l'intérêt des couverts pour maîtriser les bio agresseurs et limiter l'usage de produits phytosanitaires puis des valorisations économiques possibles de ces couverts : production de biomasse pour l'alimentation animale et humaine et production d'énergie. Enfin nous aborderons leur intérêt pour maintenir et accroître la fertilité des sols.

Cette journée s'inscrit dans une dynamique de communication et de transfert d'innovation portée par le Réseau régional innovation en agriculture (RRI) et nous espérons que cette seconde édition 2018 générera des projets et partenariats nouveaux en Nouvelle-Aquitaine et contribuera au développement d'une agriculture multiperformante. Cette rencontre doit en effet contribuer aux débats, échanges et actions sur les territoires. Nous envisageons de pérenniser de tels rendez-vous dans l'espace régional en innovant dans les moyens de communication qui rendront ces échanges ouverts à un plus grand nombre. Dans cette perspective, le partenariat avec la Région Nouvelle-Aquitaine via le dispositif Agro Smart Campus est à l'évidence un atout important.

Le Comité d'organisation

*Le RRI rassemble la Chambre régionale et le réseau des Chambres d'agriculture de Nouvelle-Aquitaine, les organismes de recherche et d'enseignement supérieur (Inra, Irstea, Bordeaux Sciences Agro), les instituts techniques représentés par l'Acta, le pôle de compétitivité Agri Sud-Ouest Innovation, un établissement de R&D au service de coopératives (Ovalie Innovation), des structures de soutien et de valorisation de l'innovation telles qu'Agrinove et l'ADI-NA, l'État au travers de la DRAAF et le Conseil régional Nouvelle-Aquitaine.

Il a pour ambition d'orienter et prioriser les thématiques d'innovation et d'optimiser et mobiliser des moyens. Il se fixe aussi comme objectif de favoriser, aux travers de rencontres et échanges sur la région, un « écosystème » propice à l'innovation. Ces rencontres constituent donc un temps fort de ce réseau.

Programme

9h

Accueil des participants

9h30

Introduction

Philippe TAILLECOURS, directeur du Campus Agricole de la Charente

Jean-Marc CHABOSSEAU, président du centre Inra Nouvelle-Aquitaine-Poitiers

Dominique GRACIET, président de la Chambre régionale d'agriculture Nouvelle-Aquitaine

10h

Positionnement des enjeux

■ **Opportunités et services offerts par les couverts végétaux**

Sébastien MINETTE, Chambre régionale d'agriculture Nouvelle-Aquitaine

■ **Enquête sur la vision actuelle des couverts végétaux par les agriculteurs et leurs techniciens**

Étudiants du Lycée de l'Oisellerie

Discussion débat

10h50

Des couverts pour maîtriser les bioagresseurs et réduire l'usage de produits phytosanitaires

■ **Maîtrise des ravageurs par la Biofumigation : quelles opportunités ?**

Lionel ALLETTO, Chambre régionale d'agriculture Occitanie

Antoine COUEDEL, Inra Occitanie-Toulouse

■ **Régulation des plantes adventices par la compétition**

Effet des couverts et de leur conduite sur la gestion des adventices

Stéphane CORDEAU, Inra Bourgogne-Franche-Comté

■ **Régulation des plantes adventices par effet d'« allélopathie »**

Judith WIRTH, Agroscope Suisse

Discussion débat

12h30

Séance brèves 3 minutes pour convaincre

12h45

Buffet

14h

Une valorisation économique des couverts végétaux

■ **3 cultures en 2 ans quelles pistes et quelles limites ?**

Sébastien MINETTE, Chambre régionale d'agriculture Nouvelle-Aquitaine

Valorisation des couverts par le pâturage : exemple des ovins

Laurence SAGOT, Idele

Cultures intermédiaires à valorisation énergétique (CIVE)

Manuel HEREDIA, Arvalis - Institut du végétal

Débat discussion

15h10

Couverts végétaux et fertilité des sols

■ **Les couverts et la teneur en matière organique / stockage de carbone**

Bruno MARY, Inra Hauts-de-France

Gestion intégrée de la fertilité des sols en viticulture : les couverts hivernaux

Lorelei CAZENAVE, Chambre d'agriculture de Gironde

Témoignage

Alain LACROIX, viticulteur à Mons (17)

Débat discussion

16h10

Regard d'un grand témoin

Christian HUYGHE, Inra

16h30

Conclusion

Daniel PEYRAUBE, Acta

Opportunités et services offerts par les couverts végétaux

Sébastien Minette

Chambre régionale d'agriculture de Nouvelle-Aquitaine
Inra les Verrines, 86600 Lusignan

sebastien.minette@na.chambagri.fr

INTRODUCTION

Utilisés au siècle dernier, abandonnés et remplacés après la seconde guerre mondiale par d'autres techniques (travail mécanique, chimique), les couverts végétaux sont peu à peu ré-introduits dans de nombreuses filières agricoles (grandes cultures, vignes, arboriculture, maraichage...). Certains intérêts, comme l'amélioration de la qualité de l'eau, sont démontrés depuis 25 ans, mais d'autres services sont aujourd'hui à l'étude afin d'évaluer la place des cultures intermédiaires multi-services (CIMS) dans la transition agroécologique, en complément de la diversification des cultures de vente. L'utilisation des CIMS doit permettre d'améliorer la multi-performance des systèmes de culture, malgré une forte réduction de l'usage des intrants de synthèse. Les CIMS peuvent être insérées dans les rotations de façon plus ou moins intégrée qui peut conduire à des modifications mineures, s'apparentant à un ajustement de l'itinéraire technique, ou allant jusqu'à la re-conception du système de culture, en fonction du niveau de transition agroécologique visé. Le mélange d'espèces dans les couverts de CIMS est probablement une des clés pour la réussite de cette re-conception pour leur effet multi-services.

Ainsi, nous devons collectivement (chercheurs, ingénieurs, techniciens et agriculteurs) progresser pour acquérir des connaissances scientifiques mais aussi innover dans les techniques afin de réussir cette transition agroécologique et produire, grâce à l'utilisation des CIMS, des compromis de services performants sans dis-service notables, pour accroître fortement leur adoption en France (Justes *et al.*, 2017).

Mots-clés : couverts végétaux, services, opportunités, technicité

QU'EST-CE QU'UNE PLANTE DE SERVICE ?

Les plantes de services regroupent des espèces végétales cultivées le plus souvent dans la même parcelle agricole que la culture de rente, en pur ou en association spatiale ou temporelle, en interculture ou en couvert pérenne, et susceptibles de rendre différents services à vocation écosystémique. Leur culture ne conduit généralement pas à obtenir un produit agricole directement commercialisable ou auto-consommable (grain, racine, fourrage...), mais d'y contribuer à court, moyen ou long terme en mobilisant des processus biologiques du sol et des plantes (Geves, 2018).

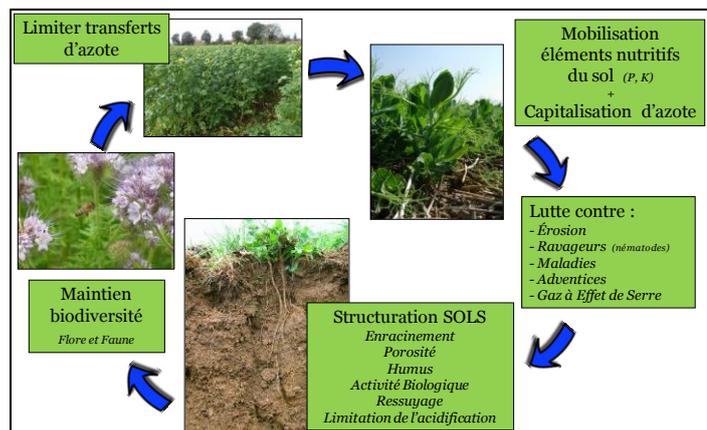


Figure 1 : Principaux services procurés par les couverts végétaux

Le tableau recense, sans forcément être exhaustif, les services potentiels majeurs produits par les couverts végétaux.

Services attendus	Impacts attendus
1. Piéger l'azote présent dans le sol et limiter la quantité potentiellement lixiviable à l'automne	limiter les transferts de nitrates <ul style="list-style-type: none"> ☞ améliorer la qualité de l'eau diminuer les apports d'azote minéral <ul style="list-style-type: none"> ☞ diminuer les charges d'engrais pour les agriculteurs
2. Mettre à disposition des éléments minéraux pour la (les) culture(s) suivante(s)	capitaliser de l'azote atmosphérique et le restituer <ul style="list-style-type: none"> ☞ diminuer les apports d'azote minéral rendre disponible certains éléments « bloqués » dans le sol <ul style="list-style-type: none"> ☞ exemple du phosphore limiter la lixiviation d'éléments minéraux (autres que l'azote) <ul style="list-style-type: none"> ☞ exemple du soufre
3. Limiter le développement des adventices par effet de concurrence ou d'allélopathie	limiter le recours aux herbicides <ul style="list-style-type: none"> ☞ diminuer les charges, les transferts vers le milieu
4. Limiter le développement de certains bioagresseurs des cultures : la biofumigation	limiter le recours aux fongicides, ou insecticides <ul style="list-style-type: none"> ☞ diminuer les charges, les transferts vers le milieu ☞ stabiliser les rendements, améliorer la résilience des systèmes de cultures
5. Protéger le sol en surface	limiter l'impact négatif de fortes pluies sur le sol <ul style="list-style-type: none"> ☞ diminuer la battance, le ruissellement et l'érosion des sols
6. Favoriser la structuration naturelle des sols par l'action des racines	limiter le recours au travail du sol (déchaumages, labour) et favoriser le semis direct <ul style="list-style-type: none"> ☞ diminuer la consommation de fuel, les coûts de mécanisation
7. Améliorer l'activité biologique des sols	favoriser le développement des organismes du sol par les racines des couverts végétaux (champignons, microorganismes) protéger les organismes du sol contre les éléments climatiques agressifs (ex. fortes chaleurs) <ul style="list-style-type: none"> ☞ maintenir/améliorer l'activité biologique des sols cultivés
8. Valoriser les couverts en fourrages	stabiliser/renforcer les ressources fourragères pour les élevages <ul style="list-style-type: none"> ☞ améliorer la robustesse des élevages, diminuer les charges de fourrages stabiliser/renforcer les sources d'approvisionnement des méthaneurs <ul style="list-style-type: none"> ☞ limiter la concurrence avec les cultures à destination humaine ou fourragère
9. Récolter les couverts en « grains » (seconde culture)	améliorer la rentabilité des exploitations/diversifier les productions <ul style="list-style-type: none"> ☞ améliorer la robustesse des exploitations
10. Favoriser la biodiversité fonctionnelle	favoriser les auxiliaires des cultures (refuge) et procurer des ressources alimentaires pour les pollinisateurs à l'entrée de l'hiver <ul style="list-style-type: none"> ☞ favoriser une régulation biologique des ravageurs des cultures ☞ maintenir/augmenter les pollinisateurs
11. Favoriser la biodiversité paysagère	améliorer la biodiversité visuelle et « récréative » des parcelles agricoles
12. Stocker du carbone dans les sols	diminuer les gaz à effet de serre augmenter la teneur en carbone des sols (matière organique) <ul style="list-style-type: none"> ☞ améliorer les propriétés physiques des sols (stabilité, réserve utile, CEC...)

BIBLIOGRAPHIE - SITOGRAPHIE

Justes E., Minette S., Alletto L., Bonnet C., Raffailac D., Véricel G., 2017 - Les CIMS, un pilier de la re-conception des systèmes de culture pour une production agroécologique. CIAG Inra, octobre 2017.

Geves : <https://www.geves.fr/expertises-varietes-semences/plantes-de-services/> [consulté le 31-10-2018].

Potentiels de régulation biotique par allélopathie et biofumigation et dis-services produits par les cultures intermédiaires multiservices de crucifères

Antoine Couëdel¹, Lionel Alletto², John Kirkegaard³, Eric Justes⁴

¹UMR AGIR, Université de Toulouse, INP-EI Purpan, 75 voie du TOEC F-31076 Toulouse

²Chambre Régionale d'Agriculture Occitanie, 31321 Castanet-Tolosan, France

³CSIRO Agriculture and Food, GPO Box 1700, Canberra, ACT, 2601, Australia

⁴CIRAD, UMR SYSTEM, 34980 Montpellier, France.

lionel.alletto@occitanie.chambagri.fr

RÉSUMÉ

Les cultures intermédiaires de crucifères présentent un fort potentiel de gestion des bioagresseurs (champignons, bactéries, nématodes, adventices...) via la production de métabolites secondaires à effet biocide, les glucosinolates. Ces effets allélopathiques peuvent avoir lieu lors de la période de culture mais ils sont accentués lors de la destruction des couverts lorsqu'une grande quantité de glucosinolates est dégradée dans le sol (principe de biofumigation). Au-delà des services de régulation des bioagresseurs, ces molécules peuvent engendrer des effets négatifs sur les champignons et bactéries antagonistes, ce qui correspond à des dis-services qu'il convient de prendre en compte en fonction des problématiques du système de culture considéré. Une forte variabilité d'efficacité des processus allélopathiques est parfois observée entre les études et s'explique par l'influence non négligeable de l'environnement et de la conduite de culture sur la production de glucosinolates et sur leur devenir dans le sol. De plus d'autres facteurs inhérents à l'utilisation de cultures intermédiaires sont impliqués dans la gestion des bioagresseurs comme notamment l'incorporation de matière organique et les effets hôte/non hôte des couverts. Les causes du contrôle des bioagresseurs (allélopathique ou non) restent à déterminer pour de nombreux patho-systèmes dans le but d'adapter en conséquence le choix des espèces de couverts et les pratiques culturales.

Mots-clés : allélopathie, biofumigation, glucosinolates, engrais vert, brassicacées

1. BIOFUMIGATION ET GLUCOSINOLATES

Les cultures intermédiaires sont un des leviers agronomiques évoqués dans l'optique de développer des stratégies alternatives à l'usage des produits phytosanitaires (Justes *et al.* 2012). En effet, au-delà des services de recyclage des éléments minéraux et de protection du sol, les différentes familles de couverts végétaux peuvent assurer des services de gestion des bioagresseurs des cultures, notamment via la production de métabolites secondaires engendrant des phénomènes d'allélopathie (Farooq *et al.* 2011). L'effet biocide peut avoir lieu lors de la période de culture par la libération en continu des métabolites ou être accentué lors de la destruction des couverts par libération et dégradation d'une grande quantité de composés biocides, c'est le principe de biofumigation (Matthiessen et Kirkegaard, 2006). Les couverts de crucifères sont souvent évoqués dans cette optique du fait de leur production de sucres soufrés, les glucosinolates (GSL), qui une fois dégradés produisent des composés volatils à effet biocide sur une grande diversité d'organismes vivants (Van Dam *et al.*, 2009). Le principe de biofumigation a lui été introduit par Kirkegaard en 1993 et correspond à la suppression des

pathogènes du sol par des composés biocides produits par les plantes principalement sous forme de métabolites secondaires. Les isothiocyanates (ITC) font partie des composés les plus biocides, ils sont fortement volatils et proviennent de la biodégradation de couverts végétaux contenant des glucosinolates (GSL). Les GSL sont des métabolites secondaires glucidiques soufrés principalement produits par les plantes de l'ordre des Capparales dont font partie les crucifères (*Brassicaceae*). À ce jour, 132 glucosinolates provenant de 8 acides aminés ont été identifiés (Agerbirk and Olsen 2012). Lors du processus de biofumigation, les GSL présents dans les vacuoles des cellules végétales rentrent en contact avec l'enzyme myrosinase pour former des composés biocides (figure 1). Parmi ces composés, les ITC ont un effet biocide général plus important que les nitriles ou que les thiocyanates (Van Dam *et al.* 2009). En fonction de la classe de GSL dont proviennent les produits de dégradation, leur degré de toxicité général sera différent. Les ITC aliphatiques sont les plus volatils et sont peu adsorbables par la matière organique du sol, leur potentiel biocide sur les organismes vivants du sol est élevé. Les ITC aromatiques ont une toxicité de contact plus élevée que les ITC aliphatiques mais, du fait de leurs structures, ils sont moins volatils. Les ITC indoles sont instables et se décomposent rapidement formant des ions thiocyanates toxiques (Fahey *et al.* 2001).

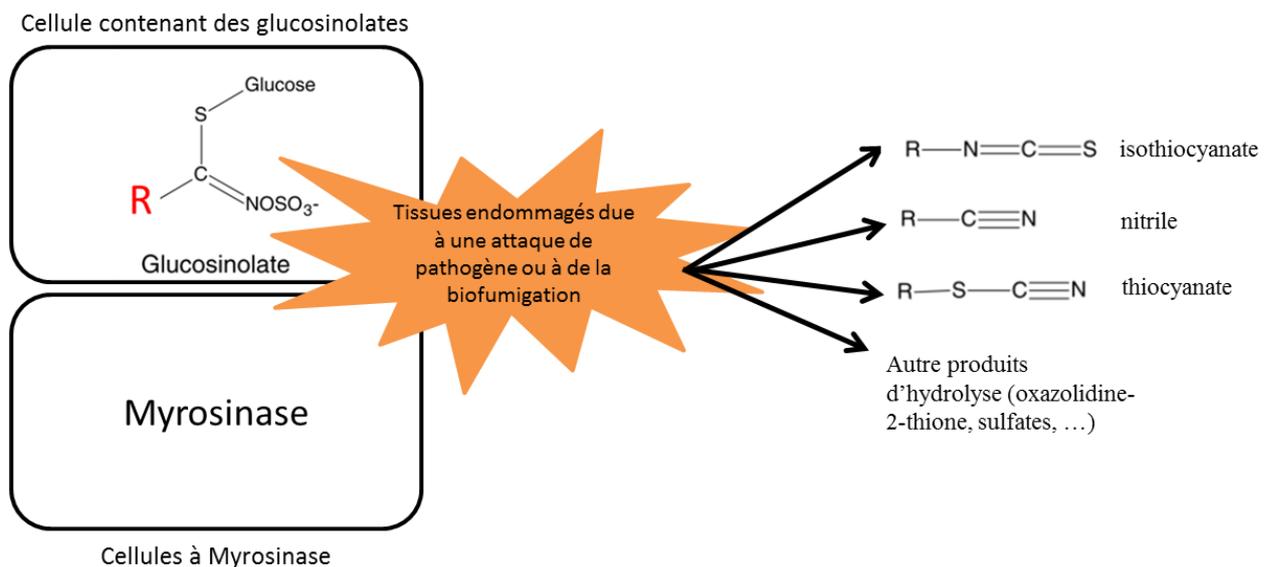


Figure 1 : Hydrolyse et principaux produits de dégradation des glucosinolates de la photo ou du graphique

2. EFFETS DES COUVERTS DE CRUCIFÈRES SUR LES BIOAGRESSEURS ET AUXILIAIRES

Notre étude, basée sur une recherche bibliographique de l'effet des crucifères sur les organismes vivants épigés et souterrains, montre un intérêt important de l'utilisation de crucifères dans le but de contrôler une grande diversité de bioagresseurs (champignons, bactéries, adventices...) et pour favoriser certains antagonistes des cultures (figure 2, Couëdel *et al.* 2017; Couëdel *et al.* submitted).

potentiel de biocontrôle des crucifères pures. Les dispositifs expérimentaux doivent désormais avoir pour objectif d'identifier les causes du contrôle des bioagresseurs (allélopathie ou non) dans le but d'adapter en conséquence le choix des espèces de couverts mais aussi des pratiques culturales.

BIBLIOGRAPHIE

Agerbirk N, Olsen E. (2012) Glucosinolate structures in evolution. *Phytochemistry* 77:16–45. doi: 10.1016/j.phytochem.2012.02.005

Couëdel A, Seassau C, Wirth J, Alletto L (2017) Potentiels de régulation biotique par allélopathie et biofumigation ; services et dis-services produits par les cultures intermédiaires multiservices de crucifères. *Innov Agron* 62:71–85

Couëdel A, Seassau C, Wirth J, Alletto L (submitted) Crucifer – legume cover crop mixtures for biocontrol: a new multi-service paradigm. *Advances in Agronomy*

Fahey JW, Zalcmann AT, Talalay P (2001) The chemical diversity and distribution of glucosinolates and isothiocyanates among plants. *Phytochemistry* 56:5–51. doi: 10.1016/S0031-9422(00)00316-2

Farooq M, Jabran K, Cheema ZA, et al (2011) The role of allelopathy in agricultural pest management. *Pest Manag Sci* 67:493–506. doi: 10.1002/ps.2091

Justes E, Beaudoin N, Bertuzzi P, et al (2012) The use of cover crops to reduce nitrate leaching: Effect on the water and nitrogen balance and other ecosystem services.

Matthiessen J, Kirkegaard J (2006) Biofumigation and Enhanced Biodegradation: Opportunity and Challenge in Soilborne Pest and Disease Management. *CRC Crit Rev Plant Sci* 25:235–265. doi: 10.1080/07352680600611543

Van Dam NM, Tytgat TOG, Kirkegaard J a. (2009) Root and shoot glucosinolates: A comparison of their diversity, function and interactions in natural and managed ecosystems. *Phytochem Rev* 8:171–186. doi: 10.1007/s11101-008-9101-9

Régulation des plantes adventices par la compétition : effet des couverts et de leur conduite sur la gestion des adventices

Stéphane Cordeau et Guillaume Adeux

Agroécologie, AgroSup Dijon, Inra, Université Bourgogne, Université Bourgogne
Franche-Comté, F-21000 Dijon, France

stephane.cordeau@inra.fr

RÉSUMÉ

La régulation biologique des adventices repose majoritairement sur la compétition, même si la prédation et l'allélopathie existent. La compétition chez les plantes est le processus qui conduit à une limitation de croissance (ex. biomasse) ou développement (ex. impossibilité de fleurir ou grainer) d'une plante sous l'effet d'une autre en condition de ressources limitantes (eau, nutriment, lumière). Il existe une grande variété de pratiques agricoles qui permettent de mettre en œuvre la compétition comme outil de régulation des adventices : rotation, choix variétal, couvert d'interculture, couvert permanent, couvert détruit maintenu en mulch mort, semis sous couvert en relai... Or, agissant par compétition pour des ressources limitantes, la réussite de ces couverts dépend du niveau de ressources (principalement eau et azote) et de leur conduite (choix des espèces, densité et date de semis, date et mode de destruction). Il s'agit également de prendre en compte la biologie et l'écologie des espèces adventices présentes pour comprendre comment les réguler au mieux (période d'émergence, nitrophilie, type biologique...). Il est illusoire de penser que les couverts représentent à eux seuls une méthode de substitution au désherbage chimique, mais ils sont un réel levier agro-écologique et biologique à insérer dans une réflexion systémique à l'échelle de la rotation.

Mots-clés : cultures intermédiaires multi-services, mauvaises herbes, système de culture, semis-direct, agroécologie

1. COMPÉTITION AÉRIENNE ET RACINAIRE

1.1 Couvrir le sol pour s'emparer de la lumière

La littérature considère généralement la compétition aérienne comme prépondérante sur la compétition racinaire (Wilson, 1988). La présence de plantes de couvert peut réduire la quantité de lumière disponible pour les adventices, créant un ombrage. La capacité à affecter la croissance des adventices avec lesquelles les couverts sont en compétition (« effet compétitif ») dépend :

- de la dynamique de croissance, notamment en envergure et en hauteur ;
- de la structure, en particulier de l'angle foliaire et de leur port.

La capacité à supporter les effets des adventices avec lesquelles les couverts sont en compétition (« réponse compétitive ») dépend de leur tolérance à l'ombrage, variable selon les espèces.

1.2 Planter des couverts pour préempter l'eau et l'azote

Il existe d'autres études contradictoires indiquant que la compétition pour l'azote est prédominante sur la compétition pour la lumière. La présence de plantes de couvert réduit la disponibilité en eau et en nutriments – dont l'azote – et concurrence ainsi les adventices. La compétition pour les ressources du sol dépend :

- de la dynamique de mise en place de l'architecture racinaire des plantes (volume de sol prospecté), de la densité de racines au sein de ce volume ;
- de la dynamique de la demande en azote et en eau des plantes ;
- des formes d'azote préférentiellement prélevé par les plantes (ammonium, nitrate, azote organique) qui peuvent différer selon les espèces.

2. ARRANGEMENT SPATIAL ET TEMPOREL DANS DES SYSTÈMES DE CULTURE

2.1 Agir à l'échelle annuelle

Les couverts d'interculture réduisent la germination des adventices (Cordeau *et al.*, 2015), et cet effet est d'autant plus important que les semences d'adventices ne sont pas enfouies par un travail du sol comme dans le cas du semis direct. Cordeau *et al.* (2017) démontrent que le non enfouissement des semences (-10,3 %) et la présence du couvert (-9,5 %) réduisent l'émergence des adventices annuelles. Des variations de réponses sont observées entre les adventices. La majorité des études démontre « l'effet supprimeur » des couverts en quantifiant la réduction de biomasse adventice en présence ou non d'un couvert (synthèse des effets faite par Creamer *et al.*, (1996)). La présence d'un couvert de ray-grass diminue le développement et la croissance des adventices (14 espèces testées par Cordeau *et al.*, (2015)), à la fois en termes de nombre de feuilles (-55,4 %), de hauteur (-49,9 %), et de biomasse aérienne totale (-87,2 %). Il n'existe quasiment pas de suivi de la phénologie des adventices dans les couverts. Même si des agriculteurs craignent que les couverts permettent aux adventices de grainer, très peu d'études ont abordé cet aspect. De plus, il n'y a pas d'étude sur le long-terme, à l'échelle de la rotation, qui permette d'affirmer que la présence d'un couvert augmente ou réduit le stock de semences adventices dans le sol.

2.2 Agir à l'échelle de la rotation

Couvrir le sol pour concurrencer les adventices est un levier que l'on doit mobiliser à de nombreuses reprises à l'échelle de la rotation, et par diverses pratiques. La mise en place d'un couvert n'est pas une pratique antagoniste à la réalisation de faux semis ou de travail du sol. On peut réaliser un déchaumage et un faux semis avant de semer le couvert en attendant les premières pluies, ou à l'inverse, semer dans l'humidité résiduelle post-récolte et détruire les couverts tôt pour gérer des adventices ou couverts qui monteraient à graine. Une synthèse d'essai menée en France, faite par Métais *et al.* (2017), montre que l'effet des couverts sur les adventices est bien plus visible sur les systèmes sans travail du sol. Avec les étés secs qu'on observe privant les agriculteurs de quelques orages d'été propices au développement des couverts, un semis sous couvert dans la culture précédente peut être envisagé. Même si le semis à la volée est plus aléatoire qu'un semis en terre, il peut s'avérer efficace certaines années sur des couverts à petites graines. Planter un couvert annuel et le détruire, ou permanent et le maintenir, peut être envisagé mais dépend des types de sol (réserve utile), de la possibilité d'un recours aux herbicides (pour calmer le couvert) et des cultures de la rotation (sensibilité à la compétition par le mulch vivant).

La régulation biologique des adventices n'est efficace que si le système n'est pas réglé mais opportuniste : « Continuez de surprendre vos mauvaises herbes » selon la traduction de « *Keep your weeds guessing* » de Schonbeck et Tillage (2011). C'est ce que fait une rotation bien construite dans laquelle les couverts sont une clé pour réguler les adventices en réduisant le recours au travail du sol.

L'essai système PIC-adventices de l'Inra de Dijon (2000-2017) a permis de comparer le potentiel des couverts d'interculture à des faux semis avant l'implantation d'une culture de printemps/été entre 2006 et 2017. La présence d'un couvert n'augmente pas la densité des adventices avant désherbage dans la culture de printemps suivante (figure 1A), que l'installation soit précédée ou non d'un labour d'automne (figure 1B). Dans le cas où le labour d'automne n'a pas été mis en œuvre et où potentiellement des adventices auraient grainé dans le couvert, la mise en place du couvert n'a pas non plus augmenté la densité adventice dans la culture suivante avant désherbage (figure 1C). Enfin, la présence d'un couvert n'augmente pas la densité adventice à long-terme, notamment dans la culture d'hiver suivante (figure 1D).

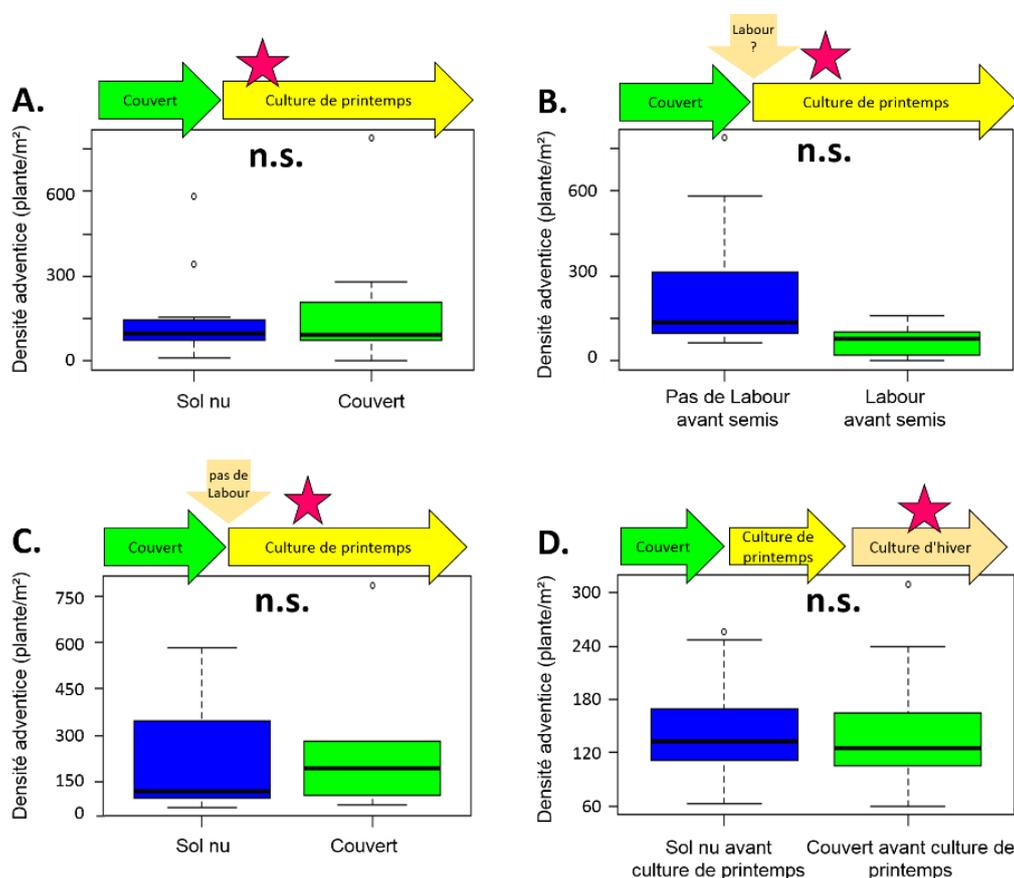


Figure 1 : Effet d'un couvert en comparaison d'un sol nu conduit avec faux semis sur la flore adventice observée dans la culture suivante avant désherbage (A), avec ou sans labour d'automne avant le semis de cette culture d'automne (B), dans la situation sans labour d'automne (C), et dans la culture d'hiver suivante dans la rotation (D). Essai Inra Dijon, domaine d'Époisses.

3. FUTURS CHALLENGES POUR LA RECHERCHE ET LE DÉVELOPPEMENT

2.1 Valoriser la diversité spécifique et variétale

Très souvent on envisage les couverts comme des mélanges d'espèces. Or il existe une très grande diversité variétale trop peu exploitée dans les espèces de couverts. De nombreuses études doivent être menées pour identifier les traits/caractéristiques des espèces nécessaires pour maximiser la régulation biologique des adventices, sur leur capacité à préempter les ressources, à tolérer l'ombrage d'autres espèces (pour pousser en mélange), à tolérer ou non le froid (pour passer ou non l'hiver) et à croître avec peu d'azote et peu d'eau (ce qui est le cas en interculture). Néanmoins, cela nécessite de repenser la manière dont on sélectionne ces variétés de couverts, au regard de leurs usages. Une variété de couvert ne peut pas être étudiée semée en pur alors qu'elle est utilisée en mélange avec d'autres. Cela nécessite donc que la recherche se penche sur les processus de compétition intra- et inter-spécifiques et variétales sur le cas des couverts.

2.2 Identifier les besoins des agriculteurs et se projeter dans des scénarios futurs

Les agriculteurs ont testé des couverts depuis des décennies. Récemment dans une étude avec des collègues américains, nous avons pu identifier que des enquêtes auprès des agriculteurs permettent de faire ressortir des opportunités et contraintes d'utiliser des couverts et surtout des challenges pour la sélection variétale de couverts plus adaptés aux besoins des agriculteurs (Wayman *et al.*, 2017). L'une des barrières à l'adoption des couverts est le manque de connaissances régionalisées sur les couverts et adaptées aux situations de production. Enfin, les agriculteurs mobilisent les couverts pour divers objectifs, cette multiplicité de services écosystémiques étant rarement évaluée conjointement.

REMERCIEMENTS

Les auteurs remercient l'ensemble du personnel de l'Unité expérimentale UE Domaine d'Époisses pour la conduite de l'essai. Ce travail est soutenu financièrement par la Région Bourgogne par le projet FABER Couv'Herbi, les projets Casdar VANCOUVER et RAID, et le projet ANR COSAC (ANR-14-CE18-0007).

BIBLIOGRAPHIE

Cordeau, S., Guillemin, J.-P., Reibel, C., Chauvel, B., 2015. Weed species differ in their ability to emerge in no-till systems that include cover crops. *Ann Appl Biol* 166, 444-455.

Cordeau, S., Reibel, C., Strbik, F., Matejicek, A., Dugue, F., Lizon Au Ciré, D., Guillemin, J.-P., 2017. Capacité des adventices à germer en surface dans diverses conditions. Séminaire de Restitution à mi-parcours du Projet de Recherche ANR CoSAC. Paris, pp. 11-16.

Creamer, N.G., Bennett, M.A., Stinner, B.R., Cardina, J., Regnier, E.E., 1996. Mechanisms of Weed Suppression in Cover Crop-based Production Systems. *HortScience* 31, 410-413.

Métais P., Vuillemin F. and Cordeau S. 2017. Étude de l'effet du travail du sol et des couverts sur les adventices dans des contextes de production variés. Séminaire de restitution à mi-parcours du projet de recherche ANR CoSAC. Paris, pp. 53-55.

Schonbeck M. and Tillage B. 2011. Principles of sustainable weed management in organic cropping systems. Workshop for Farmers and Agricultural Professionals on Sustainable Weed Management, 3rd ed.; Clemson University: Clemson, SC, USA

Wayman, S., Kissing Kucek, L., Mirsky, S.B., Ackroyd, V., Cordeau, S., Ryan, M.R., 2017. Organic and conventional farmers differ in their perspectives on cover crop use and breeding. *Renew Agric Food Syst* 32, 376-385.

Wilson, J.B., 1988. Shoot competition and root competition. *J. Appl. Ecol.* 25, 279-296.

Régulation des plantes adventices par effet d'« allélopathie »

Auréli Gfeller et Judith Wirth

Agroscope, Systèmes de production plantes, Malherbologie grandes cultures
et viticulture, Nyon, Suisse

judith.wirth@agroscope.admin.ch

RÉSUMÉ

Les cultures intermédiaires (CI) allélopathiques soulèvent un grand intérêt chez les agriculteurs en tant que technique de désherbage écologique. L'impact de l'allélopathie par les cultures intermédiaires au champ est méconnu. Toutefois, nos résultats suggèrent que l'allélopathie est un facteur à considérer.

Mots-clés : cultures intermédiaires, suppression des adventices, allélopathie, sarrasin

1. L'ALLÉLOPATHIE, C'EST QUOI ?

L'allélopathie est définie comme tout effet direct ou indirect, positif ou négatif, d'une plante sur une autre, par le biais de composés biochimiques (allélochimiques) libérés dans l'environnement (Rice, 1984). Un des exemples classiques, qui d'ailleurs avait déjà été observé par Pline l'ancien au premier siècle avant J.C., est l'action inhibitrice qu'exerce le noyer sur différentes plantes herbacées ou ligneuses. Lorsque les feuilles et tiges de noyer sont lessivées par la pluie, la juglone, un allélochimique très toxique, est libérée et inhibe la germination des graines avoisinantes.

2. DU CHAMP AU LABO : EFFICACITÉ DES COUVERTS ET CONDITIONS D'EXPRESSION DE L'ALLÉLOPATHIE

Le but de nos recherches est de comprendre pourquoi certaines CI vivantes contrôlent bien les adventices et si l'allélopathie joue un rôle important au champ, c'est-à-dire si la suppression des adventices est liée à la libération d'allélochimiques dans le sol. Pour cela nous avons mis au point un système permettant de séparer les différents facteurs de concurrence, notamment l'ombrage, des éventuels phénomènes allélopathiques dans des essais au champs et en chambre de culture. Dans nos recherches nous avons choisi comme adventice modèle, l'amarante réfléchie (*Amaranthus retroflexus*), une adventice typique des cultures d'été et comme CI modèle principalement le sarrasin (*Fagopyrum esculentum*), mais également l'avoine rude (*Avena strigosa*).

2.1 Essais au champ

La forte suppression des adventices observée en présence de certaines CI peut être due à la compétition pour les ressources et/ou à l'allélopathie. Le développement d'une biomasse aérienne importante et l'ombrage ainsi créé sont souvent associés au contrôle des adventices par les CI au champ (Brust *et al.*, 2014 ; Finney *et al.*, 2016 ; Wittwer *et al.*, 2017). Cependant pour certaines CI d'autres éléments peuvent intervenir et nous avons étudié les facteurs responsables de la suppression de l'amarante réfléchie par différentes CI. Lors d'un essai au champ sur deux ans, réalisé avec deux régimes lumineux, la biomasse de l'amarante était semblable entre les deux

conditions, suggérant que la lumière interceptée par le couvert végétal n'est pas le mécanisme principal de répression de la croissance de l'amarante. En dessous de 3t/ha de biomasse de couvert, la suppression de la croissance de l'amarante était corrélée négativement avec la biomasse du couvert ($R^2=0.41$) et cette corrélation était influencée par l'espèce du couvert. Les *brassicaceae* et l'avoine rude ne suivaient pas cette relation et contrôlaient efficacement l'amarante aussi avec une biomasse faible (Gfeller *et al.*, 2018b).

Ces résultats indiquent que :

- l'ombrage et la biomasse des CI ne sont pas les seuls facteurs qui expliquent la suppression des adventices au champ ;
- d'autres facteurs, comme les allélochimiques, sont responsables de la suppression de l'amarante.

2.2 Essais en chambre de culture

Dans des conditions naturelles, il est impossible de garantir un apport en eau et en éléments nutritifs suffisant et régulier. Nous avons donc mené des expériences en pot dans des conditions contrôlées en chambre de culture où l'importance des interactions racinaires entre les adventices et les CI a été testée. Le sarrasin, l'avoine rude et le radis chinois (*Raphanus sativus* var. longipinnatus) ralentissent la croissance des différentes adventices testées sans que les racines du sarrasin et de l'adventice ne se touchent et en minimisant les effets résultant de la compétition (Gfeller *et al.*, 2018a ; Gfeller *et al.*, 2018b).

Ces résultats indiquent que :

- des composés allélopathiques sont probablement impliqués dans les effets observés.

2.3 Séparation des allélochimiques et test d'activité

Pour tester cette hypothèse, les exsudats racinaires ont été isolés à partir d'une culture de sarrasin (SA), d'amarante (A) et d'une culture mixte de sarrasin et amarante (SA-A). Les exsudats racinaires provenant des racines de sarrasin de la culture mixte (SA-A) inhibaient la croissance racinaire de l'amarante de 49 %. Une analyse métabolique des exsudats racinaires a montré que les exsudats de sarrasin différaient lorsque le sarrasin poussait seul ou en présence de l'amarante (Gfeller *et al.*, 2018a).

Ces résultats indiquent que :

- il y a une reconnaissance hétérospécifique entre les deux espèces, c'est-à-dire le sarrasin modifie son exudation racinaire en présence de l'amarante.

Nous sommes convaincus que les composés impliqués spécifiquement dans la reconnaissance et la réponse d'une plante en présence d'adventice pourraient contribuer au développement de nouvelles stratégies de lutte contre les adventices.

BIBLIOGRAPHIE

Brust, J., Claupein, W., and Gerhards, R. (2014). Growth and weed suppression ability of common and new cover crops in Germany. *Crop Protection* 63, 1-8.

Finney, D.M., White, C.M., and Kaye, J.P. (2016). Biomass production and carbon/nitrogen ratio influence ecosystem services from cover crop mixtures. *Agronomy Journal* 108, 39-52.

Gfeller, A., Glauser, G., Etter, C., Signarbieux, C., and Wirth, J. (2018a). Fagopyrum esculentum Alters Its Root Exudation after Amaranthus retroflexus Recognition and Suppresses Weed Growth. *Frontiers in Plant Science* 9.

Gfeller, A., Herrera, J.M., Tschuy, F., and Wirth, J. (2018b). Explanations for Amaranthus retroflexus growth suppression by cover crops. *Crop Protection* 104, 11-20.

Gfeller, A., and Wirth, J. (2017). Les Cultures intermédiaires allélopathiques: un moyen de lutte contre les adventices? *Innovations Agronomiques* 62, 33-41.

Rice, E.L. (1984). *Allelopathy*. Academic Press.

Wittwer, R.A., Dorn, B., Jossi, W., and Van Der Heijden, M.G.A. (2017). Cover crops support ecological intensification of arable cropping systems. *Scientific Reports* 7.

MERCI

Méthode d'évaluation des restitutions par les cultures intermédiaires

Sébastien Minette

Chambre régionale d'agriculture de Nouvelle-Aquitaine
Inra les Verrines, 86600 Lusignan

sebastien.minette@na.chambagri.fr

Mots-clés : méthode, cultures intermédiaires, restitutions, fertilisation

PRÉSENTATION DE LA MÉTHODE

À travers ses travaux (2001 – 2010) sur l'intérêt des couverts végétaux pour limiter les risques de lixiviation du nitrate à l'automne et les potentielles restitutions d'azote à la culture suivante, la Chambre régionale d'agriculture Nouvelle-Aquitaine a contribué à l'acceptation et la reconnaissance des intérêts des cultures intermédiaires.

☞ <http://www.nouvelle-aquitaine.chambres-agriculture.fr>

Elle a formalisé et développé la méthode MERCI qui permet, par une mesure simple et rapide au champ, d'estimer (figure 1) :

- 1- la biomasse produite par les cultures intermédiaires (tonne de matière sèche/hectare),
- 2- la quantité d'azote (N), de phosphore (P) et potasse (K) accumulée dans la plante (kg/ha)
- 3- les restitutions de l'azote, phosphore et potasse à la culture suivante.

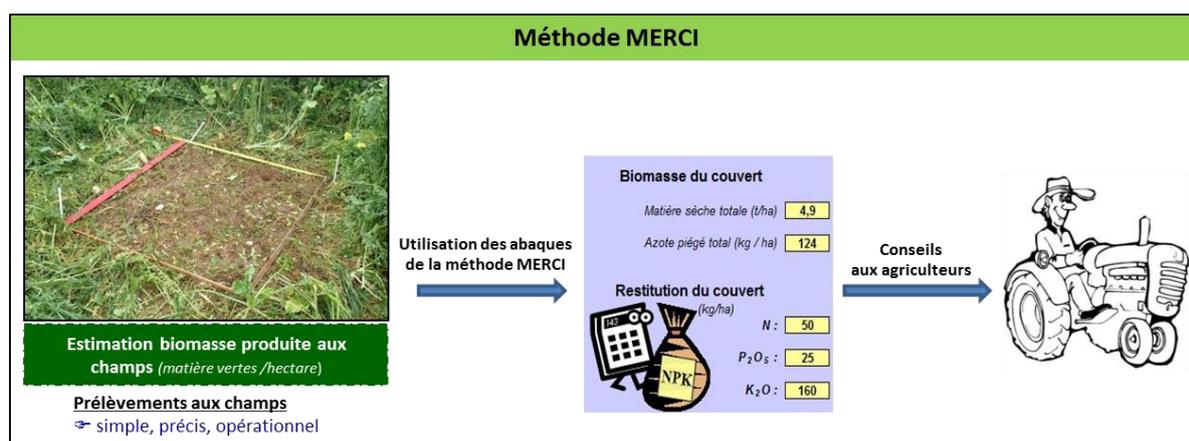
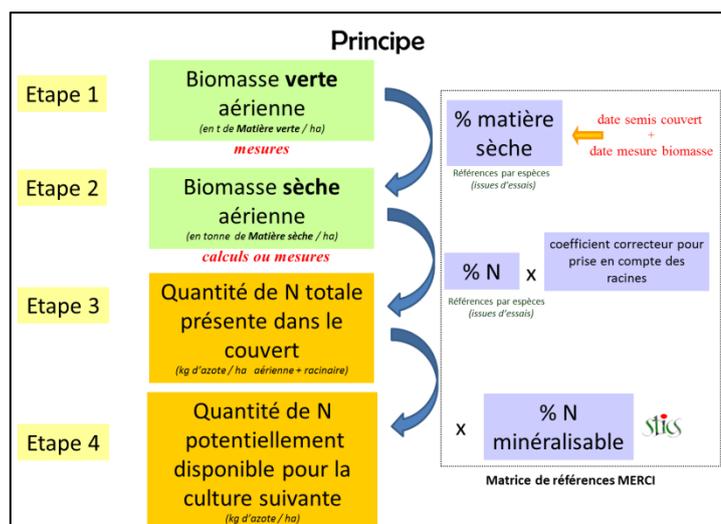


Figure 1 : Méthode MERCI

La méthode repose sur la combinaison entre des références issues de travaux au champ et d'analyses (% matière sèche, teneurs en azote, phosphore, potassium) et de la simulation avec le modèle STICS développé par l'Inra (figure 2).

Figure 2 : Principe de la méthode MERCI



Cette version 2010 est aujourd'hui largement utilisée en France. Afin d'intégrer les références acquises depuis 2010 et de proposer de nouvelles fonctionnalités aux utilisateurs, une nouvelle version est en cours d'élaboration en partenariat avec Arvalis-Institut du végétal, l'UMR AGIR Inra Auzeville et Bordeaux Sciences Agro. Cette nouvelle version sera disponible au 2^e semestre 2020.

Pour être disponible au plus grand nombre, elle sera développée à travers une application internet et devrait apporter les fonctionnalités suivantes :

- augmentation des références disponibles sur les cultures intermédiaires
- intégration du piégeage et de la restitution du soufre, magnésium... par les couverts
- estimations des valeurs fourragères (UFL, MAT, PDIN...) ou méthanogènes
- impact d'une exportation sur les restitutions à la culture suivante
- impact des pratiques de semis direct (non enfouissement des résidus) sur le devenir des résidus de cultures intermédiaires et la fertilisation de la culture suivante
- prise en compte plus précise et « dynamique » des restitutions en N, P, K.

Sur le principe de la version 1 (2010), la méthode combinera des références issues de travaux au champ et de la simulation avec le modèle STICS développé par l'Inra.

Ces nouvelles références seront acquises en réalisant une synthèse nationale des références disponibles dans les organismes agricoles (Chambres d'agriculture, Instituts, Inra, Geves...) et alimenteront la base de données de la méthode.

Les simulations seront réalisées sur une quinzaine de contextes pédoclimatiques de France métropolitaine. Elles permettront de prendre en compte les modes d'exploitation récents des cultures intermédiaires : destruction tardive (mars-avril), exportations éventuelles, mulchage – semis direct...

Le développement de MERCI contribue à démontrer l'intérêt agronomique, économique et environnemental des cultures intermédiaires sur le recyclage et la mise à disposition des éléments minéraux.

Trois cultures en deux ans, quelles pistes et quelles limites ?

Sébastien Minette

Chambre régionale d'agriculture de Nouvelle-Aquitaine

Inra les Verrines, 86600 Lusignan

sebastien.minette@na.chambagri.fr

RÉSUMÉ

Le contexte agricole actuel nécessite un compromis entre compétitivité et durabilité. Certains agriculteurs profitent de la période d'intercultures pour implanter une culture dérobée, destinée à être récoltée en « graines ». L'exemple principal est le sarrasin mais des essais sont également recensés en tournesol, soja, millet, pois... La Chambre régionale d'agriculture de Nouvelle-Aquitaine a évalué la faisabilité de cette pratique pour juger de ses intérêts économiques, environnementaux et agronomiques. Des enquêtes auprès d'agriculteurs du nord de la Nouvelle-Aquitaine, ont permis d'élaborer des cas-types, couramment pratiqués et de réaliser une évaluation multicritère. Le principal facteur limitant étant la disponibilité en eau à cette période (juillet-septembre), un travail important a été conduit sur l'estimation d'une probabilité de réussite de cette double culture. En croisant les expériences de terrain des agriculteurs avec les données météorologiques (pluies, températures) les plus proches possibles, des « arbres explicatifs » ont pu être construits et ont ensuite permis d'estimer, pour différentes stations climatiques, des niveaux de réussite de cette culture. L'enjeu principal était de savoir dans quelle mesure les agriculteurs ont intérêt à intégrer une culture dérobée en récolte graines dans leur système de culture, d'un point de vue agronomique, économique et environnemental.

Mots-clés : dérobée, sarrasin, évaluation, niveau de réussite, opportunité

1. CONTEXTE DE L'ÉTUDE

1.1 Les cultures dérobées en France et dans le monde

Les cultures dérobées sont une solution possible pour diversifier les productions et ainsi accroître la résilience des exploitations. La notion de culture dérobée est ancienne et permettait au départ d'avoir une récolte complémentaire de fourrages avant l'hiver : avoine, seigle, vesce, trèfle... (Favre d'Evires, 1833). Depuis, les dérobées se sont développées et peuvent être valorisées par les élevages avec le pâturage, l'ensilage ou le fourrage vert (Morand *et al.*, 2013), ou par une utilisation énergétique avec la méthanisation (Brochier *et al.*, 2011).

Dans certaines régions du monde, deux cultures sont cultivées en une année pour être récoltées en graines, que ce soit par double culture ou par culture relai. Dans ce dernier cas, une culture est implantée avant la fin du cycle de la culture précédente : c'est le « relay-cropping ». Par exemple aux États-Unis, on peut faire deux récoltes de sorgho (Chapman, 1952), du sarrasin en culture dérobée (Meyers, Meinke, 1994) ou une double culture blé d'hiver-soja (Schnitkey, 2018).

En Chine, le relay-cropping est très pratiqué avec un coton implanté dans un blé d'hiver (Zhang *et al.*, 2008). Dans les plaines du nord, les agriculteurs implantent un blé d'hiver puis un maïs (Zhao *et al.*, 2015). Au Brésil, la double culture d'un soja puis d'un maïs ou d'un coton est très répandue mais ce système dépend beaucoup des conditions climatiques (Pires *et al.*, 2016).

En France, les cultures dérobées sont également étudiées depuis plusieurs années. À partir des années 2010 en Poitou-Charentes, des agriculteurs ont testé sarrasin, millet, soja, maïs, tournesol, moha (Callewaert, 2016). En Champagne-Ardenne, pois, sarrasin, orge de printemps, soja et tournesol ont été envisagés. Un seuil de rentabilité de 4 q/ha pour un prix de 400 €/t est signalé. Au sud de la France, la rentabilité du soja et du tournesol en dérobées a été étudiée mais les surfaces sont faibles (Terres Inovia, 2012). En 2017 à Surgères (17), Deschamps *et al.* ont montré qu'un soja en culture dérobée (31 q/ha) pouvait augmenter la production totale par hectare et par an, et produire autant qu'un soja en culture principale (38 q/ha). D'après ces études, la réussite semble conditionnée par un semis précoce (avant juillet) et la rentabilité dépend du prix de vente.

Certains semenciers ont commencé à sélectionner des variétés à cycle très court pouvant être implantées tardivement, voire en dérobée : des tournesols et maïs très précoces (Pioneer, 2008) ou des sojas très précoces (Sem-Partners, communication personnelle).

1.2 Contexte climatique

Notre étude a été conduite sur l'ex-Poitou-Charentes, au nord de la Nouvelle-Aquitaine. Pour représenter au mieux le territoire, nous avons utilisé les données météorologiques de villes aux climats les plus divers possibles en zones de grandes cultures : Thouars, Poitiers, Lusignan, Niort, Saintes et Angoulême (Callewaert, 2016).

Villes	Températures moyennes annuelles en °C (1961-1990)	Précipitations moyennes du 21 juin au 20 octobre en mm (1990-2017)
Thouars	11-11,5	197
Poitiers	11	208
Lusignan	11	233
Angoulême	11,5-12	258
Saintes	12	241
Niort		239

Figure 1 : Températures et précipitations annuelles des stations étudiées (Source : IAAT, 2000)

1.3 Identification des espèces candidates : bibliographie

Toutes les cultures ne peuvent pas être envisagées en seconde récolte. À partir de la bibliographie, des critères d'exclusion de certaines espèces ont été définis.

CRITÈRES D'EXCLUSION DES ESPÈCES	
Critères physiologiques	Absence de besoins de vernalisation (besoin en froid) Durée de cycle de la culture dérobée assez court = « moins de 120 jours » Besoins en eau limités : disponibilité moyenne autour de 200 à 250 mm (répartition ?) Besoins en température limités : cumul des T°C sur le cycle ?
Critères économiques	Existence d'une filière de valorisation (alimentation, semences de couvert...) Possibilités d'approvisionnement en semences (ex : difficulté quinoa) Les cultures nécessitant un contrat avec un industriel peuvent être un frein.

Des informations ont été recherchées sur les cultures potentiellement candidates, en particulier les données physiologiques (besoins en somme de T°C, en eau) et agronomiques (densité de semis...).

1.4 Analyse et synthèse des expériences des agriculteurs

Des enquêtes auprès de 40 agriculteurs ont permis de collecter des références techniques (111 expériences entre 2010 et 2017). Elles ont été utilisées pour construire des arbres de décision (estimation des niveaux de réussite) et des cas-types (analyse multi-critère).

Neuf cultures ont été répertoriées ; le sarrasin représente 61 % des espèces choisies par les agriculteurs. Les autres cultures (millet, soja, tournesol, maïs, moha, sorgho et pois de printemps), minoritaires, n'ont pas été étudiées par la suite en raison du faible nombre d'expériences recensées. L'analyse des informations qualitatives des 68 expériences recueillies en sarrasin a permis de caractériser les pratiques les plus courantes et de construire des cas-types.

CATEGORIE	PROPORTIONS	EXPLICATIONS
Travail du sol	non 74 % oui 26 %	Majorité : semis direct (semoirs disques ou dents mais favoriser le contact terre-graine) Semis au plus près de la récolte Levée toujours rapide mais attention au risque d'assèchement du sol si déchaumage Quelques expériences de semis à la volée (résultats aléatoires)
Origine des semences	ferme 79 % certifiées 21 %	Achat de semences certifiées seulement la première année, puis semences de ferme Profondeur 2 à 3 cm pour profiter de la fraîcheur (Variété « La Harpe » la plus répandue) Densité 30-40 kg/ha, pour compromis entre gestion des adventices et rendement
Utilisation d'herbicide	non 66 % oui 34 %	Essentiellement contre les repousses de céréales (parfois de pois) et les graminées d'été IFT ~0,4: application de glyphosate avant semis ou herbicide homologué en post-semis
Fertilisation	non 84 % oui 16 %	Uniquement derrière céréales, 20 à 50 unités d'azote

1.5 Étude climatique : construction d'un arbre de décision

Pour construire un arbre de décision de la réussite de la culture, deux critères ont été choisis en fonction des informations recueillies dans la bibliographie et des expériences des agriculteurs : la température et les besoins en eau.

> La température

Pour terminer son cycle, une plante a besoin d'un cumul de degrés jours (DJ) minimal. S'il n'est pas atteint, la culture sera un échec. Cette valeur ainsi que la température de base permettent d'estimer la durée du cycle et les stades de développement. Afin de considérer l'impact des fortes températures – celles-ci pouvant limiter le rendement à partir d'un certain seuil – deux approches ont été testées : calculer le nombre de jours où la température maximale dépasse un seuil, et calculer la moyenne des températures maximales, pour une période définie.

> Les besoins en eau

L'eau est le facteur clé de la réussite des cultures dérobées. Cependant, les besoins en eau, exprimés en mm, n'ont pas ou très peu été étudiés pour les cultures dérobées. Une relation entre

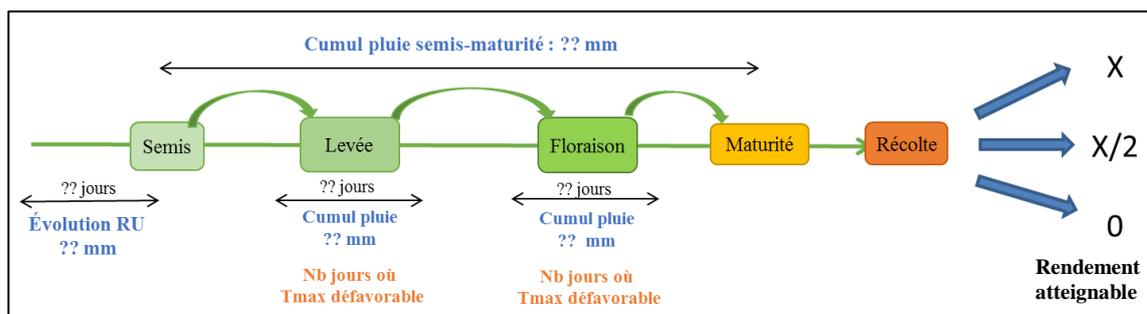
le rendement atteint, la pluviométrie et les températures a donc été recherchée en utilisant les données des expériences recensées.

> Construction de l'arbre de décision

Chacune des expériences des agriculteurs a été associée aux données météorologiques de la station la plus proche. À partir des données bibliographiques, nous avons recalculé les « périodes sensibles » et défini des corrélations avec les températures et les précipitations (figure 2). L'arbre de décision devait donner une estimation rapide du rendement :

- **X** : rendement pouvant être obtenu dans des conditions pédoclimatiques optimales
- **X/2** : rendement obtenu avec des conditions limitantes : « demi réussite »
- **0** : rendement considéré comme un échec

Le choix d'une de ces trois voies est défini en fonction des règles de décisions attribuées à chaque indicateur retenu. Ces règles sont des valeurs seuils qui conditionnent la réussite ou l'échec de la culture. Des valeurs de rendements seuils ont été allouées pour chacune des voies par rapport aux rendements réels des agriculteurs. Les expériences avaient donc leur voie d'attribuée, et les règles devaient faire en sorte d'y parvenir. Celles-ci ont été décidées par tâtonnement en identifiant des tendances, afin que l'arbre fonctionne pour un maximum d'expériences. À chaque changement de l'une d'elles, l'arbre devait être à nouveau testé pour toutes les expériences.



CRITÈRES	INDICATEURS
Besoins en eau (mm)	Évolution de la RU avant le semis Cumul des précipitations sur 21 jours autour de chaque stade sensible Cumul des précipitations du semis à la maturité
Température (°C)	Date d'atteinte de la somme nécessaire de DJ pour un stade Nombre de jours où la température maximale dépasse une température seuil durant une période donnée Moyenne des températures maximales

Figure 2 : Liste des indicateurs étudiés pour chaque critère

> Calcul de la fréquence potentielle de réussite

Après construction, l'arbre de décision a été appliqué aux six stations climatiques retenues sur les années 1990 à 2017. Ces calculs ont permis de déduire des fréquences de réussite de chacune des trois voies de l'arbre. Ce coefficient est ensuite utilisé lors de l'évaluation économique des cas-types (marge brute, semi-nette).

2 RÉSULTATS

2.1 Arbre de décision et estimation de fréquence de réussite

Les nombreuses expériences sur le sarrasin ont permis d'élaborer un arbre de décision en deux étapes. Un rendement supérieur à 10 q/ha a été considéré comme une réussite (X), situé entre 5 et 10 comme une « demi réussite » (X/2), et inférieur à 5 q/ha comme un échec (0). Les irrigations éventuelles ont été ajoutées aux cumuls de pluviométrie.

Après les calculs des différents stades à partir des sommes de températures, nous avons remarqué que les dates de « floraison et maturité » théoriques étaient souvent beaucoup plus précoces que les dates rapportées par les agriculteurs. Nous supposons qu'un manque d'eau après le semis occasionne un ralentissement du développement du sarrasin. Pour pallier ce ralentissement, nous avons choisi de modifier et décaler les dates de levée du sarrasin en fonction de la pluviométrie avant et après la date de semis réelle. Des règles de décisions ont été créées pour cela (figure 3).

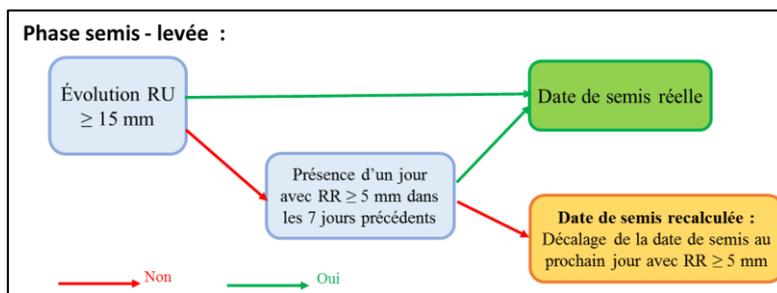


Figure 3 : Arbre de décision du décalage ou non de la date de semis du sarrasin en dérobée

Dans la seconde étape (figure 4), nous avons considéré que si le sarrasin atteignait le stade de floraison après le 1^{er} septembre, la culture serait un échec car la maturité serait atteinte trop tard.

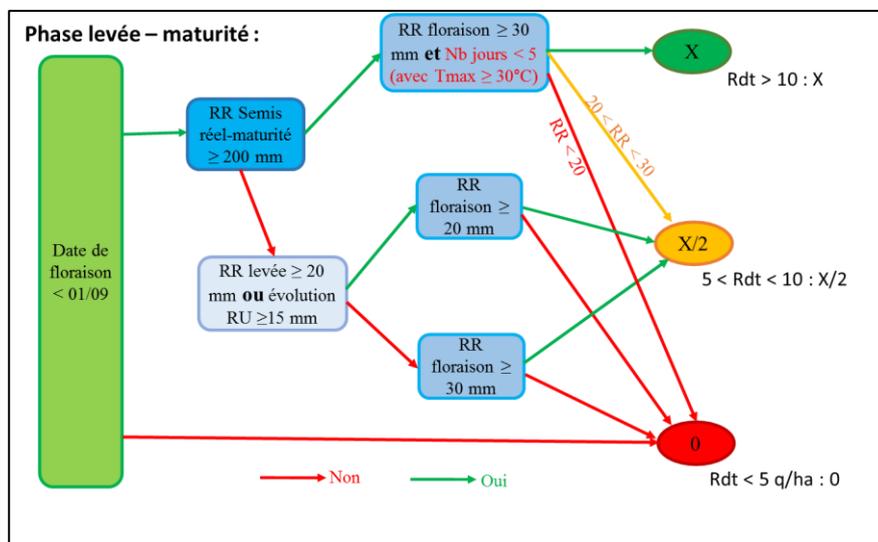


Figure 4 : Arbre de décision du décalage ou non de la date de semis du sarrasin en dérobée

Cet arbre permet de représenter 64 % des expériences recensées auprès des agriculteurs. Appliqué aux six stations climatiques, il permet d'établir les fréquences de réussite ci-dessous (figure 5) :

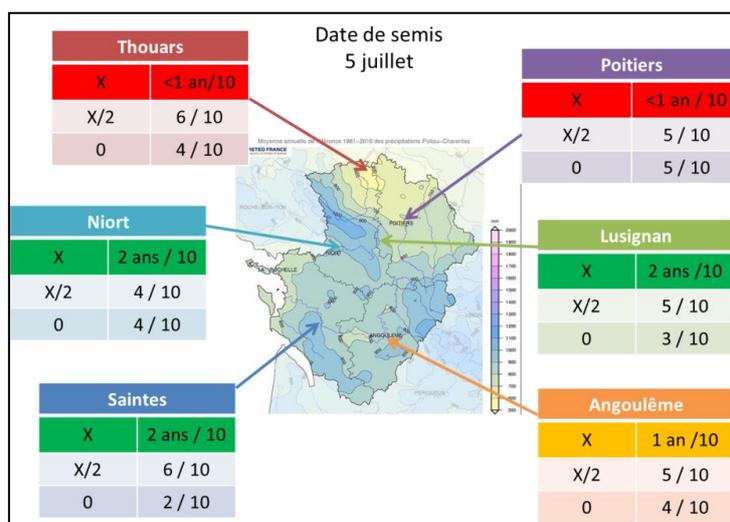


Figure 5 : Fréquence de réussite potentielle déterminée sur la période 1990-2017 pour six stations climatiques et une date de semis au 5 juillet

La date de semis a été fixée au 5 juillet (moyenne des expériences recensées). Les fréquences potentielles de réussite sont très variables selon les stations (figure 5). Les régions les plus défavorables sont celles de Thouars et Poitiers où un rendement supérieur à 10 qx/ha (X) sera difficilement atteignable sans irrigation. Lusignan, Niort et Saintes semblent les plus favorables à la réussite du sarrasin avec de bons rendements une année sur cinq et des rendements moyens une année sur deux. À Poitiers et Lusignan, l'effet de la variation de la date de semis sur la fréquence de réussite a été étudié (figure 6). L'arbre de décision a été appliqué pour des dates de semis comprises entre le 21 juin et le 11 juillet. Les fréquences de réussite n'évoluent pas pour Poitiers. Pour Lusignan, l'avancement de la date de semis permet d'augmenter la proportion de « X/2 » mais au dépend principalement des valeurs « X ».

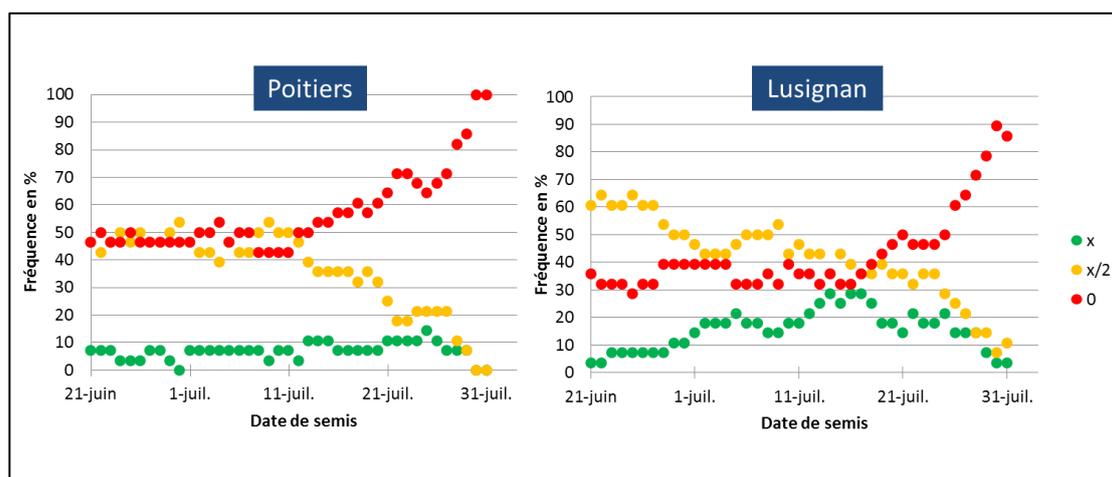


Figure 6 : Évolution de la fréquence de réussite en fonction de la date de semis pour Poitiers et Lusignan (données climatiques, 1990-2017)

En revanche, une date de semis tardive, après le 12 juillet, augmente le risque d'échec de la dérobée, en retardant considérablement l'atteinte du stade « floraison » et la règle de décision qui donne « 0 – échec » si la date de floraison est postérieure au 1^{er} septembre.

2.2 Élaboration des cas-types

D'après les expériences répertoriées, les trois précédents du sarrasin sont : l'orge d'hiver (31 %, OH), le blé tendre (25 %, Blé) et le pois d'hiver (19 %, PH). Il a été choisi de retenir 7 cas-types discriminés par la culture précédente, l'utilisation ou non d'herbicide et le travail du sol (NT = semis direct, T = travaillé).

Figure 7 :
*Cas-types
issus de l'analyse
des expériences
répertoriées
en Nouvelle-
Aquitaine*

	Blé-NT-TCS	OH-NT-TCS	PH-NT-SD	Blé-NT-SD	OH-T-SD	Blé-T-SD	Optimum
	Absence d'herbicide				Herbicide		
	Travail du sol		Semis direct		Semis direct		
Précédents	Blé	Orge d'hiver	Pois d'hiver	Blé	Orge d'hiver	Blé	Orge d'hiver / Pois d'hiver
Sol	Argilo-calcaire						
Travail du sol (TCS)	Déchaumeur disques/dents		Aucun				
Date de semis	14-juil	01-juil	01-juil	14-juil	01-juil	14-juil	01-juil
Matériel de semis	Combiné de semis		Semoir de semis direct à disques ou socs				
Variété	La Harpe						
Densité de semis	35 kg/ha		40 kg/ha				
Profondeur de semis	2 - 3 cm						
Inter-rangs	10 - 25 cm						
Désherbage	Aucun				Herbicide Fusilade Max® à 1 l/ha en post-semis		
Fertilisation	Aucune						50 kg/ha N derrière Orge
Irrigation	Aucune						50 mm
Date de récolte	Autour du 25/10						
Matériel de récolte	Moissonneuse-Batteuse classique, coupe à céréales						
Humidité	20 à 25 %						
Culture suivante	Blé tendre, orge d'hiver ou culture de printemps						
% d'expériences représentées (enquêtes 2018)	10 %	9 %	12 %	16 %	10 %	10 %	3 %

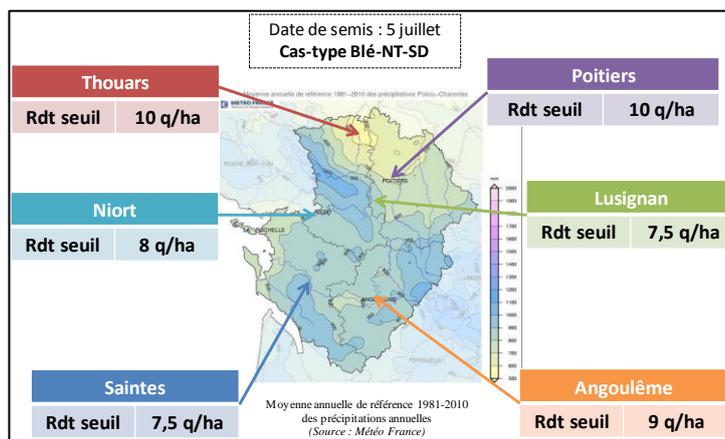
Le travail du sol est le plus souvent absent avec une utilisation d'herbicide et n'est pas non plus utilisé pour un précédent pois. Par ailleurs, derrière le pois, le sarrasin n'est que rarement désherbé et cela n'est pas forcément justifié comme les repousses sont moins présentes qu'après les céréales. Le précédent pois sera donc sans herbicide et en SD (PH-NT-SD). Pour les sarrasins après orge, il est préférable de travailler le sol (OH-NT-TCS) ou de désherber (OH-T-SD) car les repousses peuvent être très préjudiciables au rendement. C'est aussi le cas pour le blé (Blé-NT-TCS et Blé-T-SD) mais le nombre d'expériences en précédent blé sans herbicide ni travail du sol étant conséquent, cette situation (Blé-NT-SD) a été conservée dans les cas-types. Enfin, un cas type « Optimum » a été construit pour les agriculteurs souhaitant maximiser le rendement avec un investissement plus conséquent, avec de l'irrigation et de la fertilisation. Ces cas-types permettent de représenter 70 % des expériences répertoriées.

2.3 Rentabilité économique du sarrasin en 2^{de} culture

Pour que la culture du sarrasin soit rentable sur le long terme, les années de récolte doivent compenser les années d'échec. Les fréquences potentielles de réussite ont permis de calculer un « rendement seuil pluriannuel » (RSP) à atteindre pour compenser les charges engagées (semences, intrants éventuels, mécanisation) ; s'il est atteint, l'agriculteur compensera seulement les frais engagés mais ne dégagera aucun bénéfice vis-à-vis du temps consacré à cette culture.

Avec un prix de vente de 350 €/tonne (prix en 2017), la figure 8 fournit les RSP pour les six stations.

Figure 8 :
Rendement seuil pluriannuel (q/ha),
pour un prix de commercialisation
à 350 €/tonne, cas-type
« précédent blé tendre – aucun herbicide
– semis direct, », semences de ferme



Le prix de vente du sarrasin fluctuant annuellement, la figure 9 présente ce rendement seuil pluriannuel à atteindre pour Lusignan, Thouars et le cas type « précédent blé tendre – aucun herbicide – semis direct ».

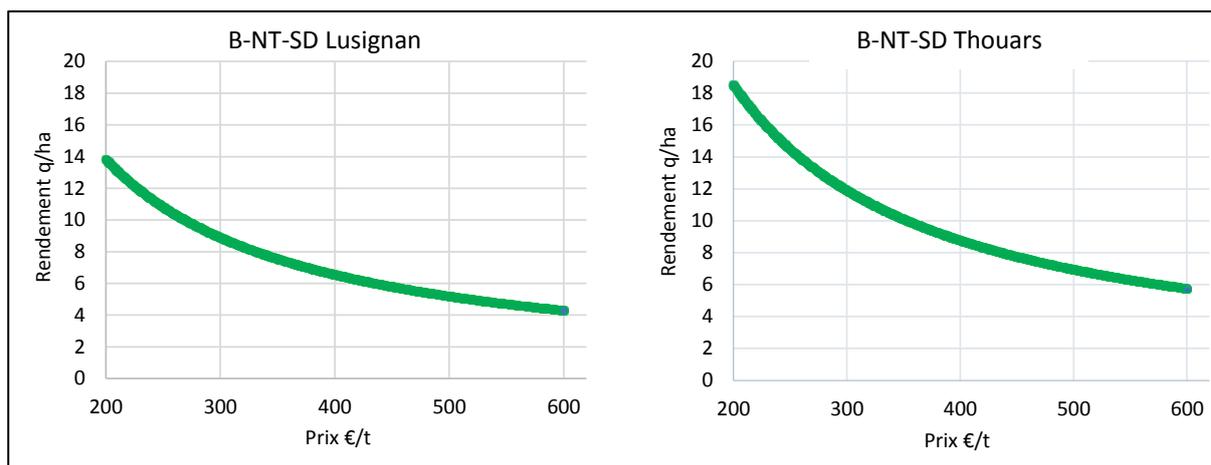


Figure 9 : Rendement seuil pluriannuel (q/ha), cas-type « précédent blé tendre – aucun herbicide – semis direct, ». Stations de Lusignan et Thouars, semences de ferme

Dans le cas-type présenté, il est nécessaire de récolter 7,5 q/ha à Lusignan et 10 qx/ha à Thouars, les années où la récolte est possible, pour compenser les charges engagées sur plusieurs années.

Globalement, à Lusignan, la culture du sarrasin en dérobée est au minimum à l'équilibre, dans toutes les situations tant que le prix de vente reste supérieur à 300 €/t. À Thouars, en revanche, étant donnée la difficulté pour atteindre 10 q/ha, la culture ne sera rentable que si le prix du sarrasin atteint au moins 500 €/tonne.

CONCLUSIONS

Cette étude montre que la rentabilité du sarrasin dépend du prix de vente, des conditions climatiques et de la production de semences de ferme. Les fréquences de réussite obtenues pour les six stations sont en accord : les régions les moins favorables (Thouars, Poitiers et Angoulême) sont bien dans les régions à plus faible pluviométrie. De plus, l'estimation de la réussite par l'arbre de décisions pour les années 2015, 2016 et 2017, correspond à ce qui a été effectivement observé lors des enquêtes auprès des agriculteurs.

Les cultures dérobées sont une des solutions mobilisées par les agriculteurs pour répondre à un contexte économique difficile en cherchant une marge supplémentaire, tout en répondant aux exigences environnementales de couverture des sols à l'automne.

Cependant, d'un point de vue économique, les régions les plus favorables au sarrasin sont Lusignan, Niort et Saintes. Avec des prix de vente plus élevés de l'ordre de 350-400 €/t, le sarrasin est donc une bonne solution pour compléter les marges des cultures principales. Elles sont à relativiser par rapport au temps de travail qui n'est pas très conséquent mais peut se situer en même temps que d'autres travaux ou des périodes de vacances. À Thouars et Poitiers, la très faible fréquence de réussite et le plus faible potentiel de rendement, montrent à l'inverse que cultiver du sarrasin risque fortement de ne pas être rentable de manière pluriannuelle. Il serait certainement plus intéressant pour les agriculteurs d'implanter des couverts végétaux « engrais verts » (restitués au sol) permettant de réduire les charges sur les cultures suivantes.

Pour une vision sur le long terme, ces espèces pourraient être intéressantes si les prédictions de réchauffement climatique se confirment. À Lusignan, les simulations annoncent une augmentation de 1,4°C de la température moyenne annuelle entre 1970-1999 et 2020-2049. La pluviométrie annuelle observerait une diminution de 146 mm. Les cultures principales verront certainement leur date de récolte avancée (9 jours pour le blé tendre à Lusignan) et les besoins en degrés-jours des cultures dérobées seront atteints plus facilement (Brisson et Levrault, 2010). Cela ouvrira peut-être la porte à des cultures non envisageables à l'heure actuelle.

POUR PLUS D'INFORMATIONS

Ferrand, N., 2018. Étude prospective de la faisabilité technique et de l'intérêt économique, agronomique et environnemental de cultiver trois cultures en deux ans dans le contexte pédoclimatique de Nouvelle-Aquitaine. Mémoire d'Ingénieur de fin d'études, AgroCampus Ouest, 82p.

BIBLIOGRAPHIE - SITOGRAFIE

Brisson, N., Levrault, F., 2010. Changement climatique, agriculture et forêt en France : simulations d'impacts sur les principales espèces. Le Livre Vert du projet Climator (2007-2010). Angers : Ademe. ISBN 978-2-35838-128-4.

Brochier, M., Savouré, ML., Guy, P., 2011. [Bien choisir sa culture dérobée](#). In : Agro-Transfert [en ligne]. juin 2011. [Consulté le 5 mai 2018].

Callewaert, H., 2016. Faisabilité technique et intérêt économique, agronomique et environnemental de cultiver 3 cultures graines en 2 ans. Mémoire d'Ingénieur de fin d'études en Agriculture Parcours Agronomie et Territoire. Beauvais : Institut Polytechnique LaSalle Beauvais. 2016. 96p.

Chapman, I., 1952. [Double Cropping Sorghum](#). In: *Progressive Agriculture in Arizona*[en ligne]. 1952. Vol. 4, n° 2, p. 9. [Consulté le 30 mai 2018].

Favre D'Evires, J.C., 1833. [Mémoires de la Société Royale d'Agriculture, histoire naturelle et arts utiles de Lyon 1833-1834](#)[en ligne]. Lyon : Imprimerie de J.M. Barret. [Consulté le 18/02/2016].

Deschamps, T., Baron., B., Brun, D., 2017. - Relay-cropping et double culture - Premiers résultats en Poitou-Charentes. Synthèse d'essais, 7 pages.

IAAT, 2000. [Températures et précipitations moyennes annuelles](#) (1961-1990). In: Centre de ressources régional en information territoriale.[en ligne]

Meyers, R., et Meinke, J., 1994. [Buckwheat: A Multi-Purpose, Short-Season Alternative](#). In: MOspace Institutional Repository[en ligne]. avril 1994. [Consulté le 23 mai 2018]

Morand, N., Chabalière, C., Tendille, R., 2013. [Guide cultures dérobées fourragères](#). In: Association Française pour la Production Fourragère[en ligne]. janvier 2013. [Consulté le 10 mai 2018].

Pioneer, 2008. Alterna® [Voyons plus loin](#). In: France Pioneer [en ligne]. juin 2008. [Consulté le 15 avril 2018].

Pires, G., Abrahão, Gabriel M., Brumatti, L.M., 2016. Increased climate risk in Brazilian double cropping agriculture systems: Implications for land use in Northern Brazil. In: *Agricultural and Forest Meteorology*. novembre 2016. Vol. 228 229, p. 286 298. DOI 10.1016/j.agrformet.2016.07.005.

Schnitkey, G., 2018. [Revenue and Costs for Corn, Soybeans, Wheat, and Double-Crop Soybeans, Actual for 2011 through 2016, Projected 2017 and 2018](#). In: farmdoc University of Illinois [en ligne]. février 2018. [Consulté le 28 mai 2018].

Terres Inovia, 2012. [Soja du semis à la récolte](#). In: TerresInovia [en ligne]. 2012. [Consulté le 18 mai 2018].

Waligora, C., 2017. La double culture - Remplacer les couverts tout en divisant les charges de structure. TCS n°92, mars/avril/mai 2017.

Zhang, L., Spiertz, J., Zhang, S., Li, B., Werf, W., 2008. Nitrogen economy in relay intercropping systems of wheat and cotton. In: *Plant and Soil*. 1 février 2008. Vol. 303, n° 1 2, p. 55 68. DOI 10.1007/s11104-007-9442-y.

Zhao, Z., Qin, X., Wang, E., 2015. Modelling to increase the eco-efficiency of a wheat–maize double cropping system. In: *Agriculture, Ecosystems & Environment*. décembre 2015. Vol. 210, p. 36 46. DOI 10.1016/j.agee.2015.05.005.

Valorisation des couverts par le pâturage : exemple des ovins

Laurence Sagot

Institut de l'Élevage

Laurence.sagot@idele.fr

RÉSUMÉ

Les couverts végétaux répondent à une exigence réglementaire et constituent une ressource alimentaire pâturable par les ovins. Leur rendement reste toutefois soumis aux conditions climatiques estivales, essentiellement la pluviométrie. Sous réserve de semer des espèces adaptées au pâturage des ovins, la valeur alimentaire des couverts végétaux couvre les besoins des animaux, sans apport de concentré ni de fourrage. En automne, les brebis qui pâturent les couverts sont paisibles et en bonne santé si la ressource est suffisante. Le pâturage des brebis qui allaitent puis la finition de leurs agneaux sont également possibles avec ce type de fourrage. Les carcasses produites sans concentré ni fourrage conservés sont d'excellente qualité mais les agneaux sont commercialisés un mois plus tard que ceux élevés et finis en bergerie.

Mots-clés : valeur alimentaire, rendement, bien-être animal

1. LES DÉROBÉES : UNE QUESTION D'OPPORTUNITÉ

1.1 Des rendements liés à la pluviométrie estivale

Le rendement des couverts végétaux est soumis aux conditions climatiques estivales, essentiellement la pluviométrie. En 2018 par exemple, la majeure partie des cultures intermédiaires n'ont pas levé. A contrario, en 2011, les rendements ont été exceptionnels. En conséquence, des ajustements de la conduite de l'alimentation du troupeau sont nécessaires chaque automne en fonction du rendement du couvert végétal, en particulier sur le choix de la catégorie d'animaux qui les valorise. D'autre part, le mode d'alimentation et plus globalement le système de production ne peut pas exclusivement reposer sur cette ressource.

1.2 Une valeur alimentaire sûre et équilibrée

Le couvert peut être pâturé un mois et demi à deux mois après le semis. Les brebis pâturent jour et nuit sans transition alimentaire particulière. La mise à disposition de foin ou de paille est inutile et n'est pas souhaitable pour éviter les effets du piétinement par les animaux et de salissement du sol. Quelle que soit la catégorie d'animaux, il est inutile d'ajouter du concentré à la ration. Les couverts végétaux présentent en effet une excellente valeur alimentaire au cours de l'automne et du début d'hiver qui suit leur implantation. Avec environ 0,9 UFL et 90 g de PDI par kg de matière sèche, cette dernière est équivalente à celle de repousses d'herbe d'automne.

2. UNE AUBAINE POUR LES BREBIS

Sous réserve de semer des espèces adaptées au pâturage des brebis, la valeur alimentaire des couverts végétaux couvre les besoins des animaux, sans apport de concentré ni de fourrage.

2.1 Des espèces adaptées au pâturage

La composition du couvert est choisie à la fois en fonction de l'assolement et de l'objectif de pâturage par les brebis. Le choix des espèces possibles est large et il suffit de semer des plantes appétentes, sans risque pour les animaux et sans contrainte en matière de travail. Pour ces raisons, la moutarde, riche en glucosinolates, est à éviter. Dans la gamme des trèfles, les trèfles incarnat et d'Alexandrie seront préférés aux trèfles blancs et violet car ils ne sont pas météorisants. Dans les zones céréalières, les éleveurs ont recours à des mélanges de plusieurs espèces : avoine brésilienne, vesce, pois fourrager, radis structurator, colza fourrager, féverole...

2.2 Des brebis qui se portent bien

En automne, les brebis qui pâturent les couverts sont paisibles et en bonne santé, sous réserve bien sûr qu'elles disposent d'une ressource alimentaire suffisante. En effet, les différentes mesures et notations liées au bien-être animal et à la santé enregistrées au cours des études sur le sujet n'ont pas mis en évidence de problème de santé majeur qui serait lié au pâturage des couverts végétaux. Ainsi, la proportion de brebis présentant des boiteries sévères reste inférieure à 1 %. De 1 à 4 % des animaux se déplacent toutefois de façon légèrement saccadée, symptôme d'une boiterie légère. D'autre part, les brebis sont propres. Aucune souillure n'a été enregistrée au niveau des flancs dans cette étude et au plus 2 % des femelles affichent une diarrhée susceptible de pénaliser leur bien-être. De plus, quelles que soient les conditions météorologiques, la laine joue son rôle de protection : toutes les toisons sont sèches côté peau même en périodes d'intempéries.

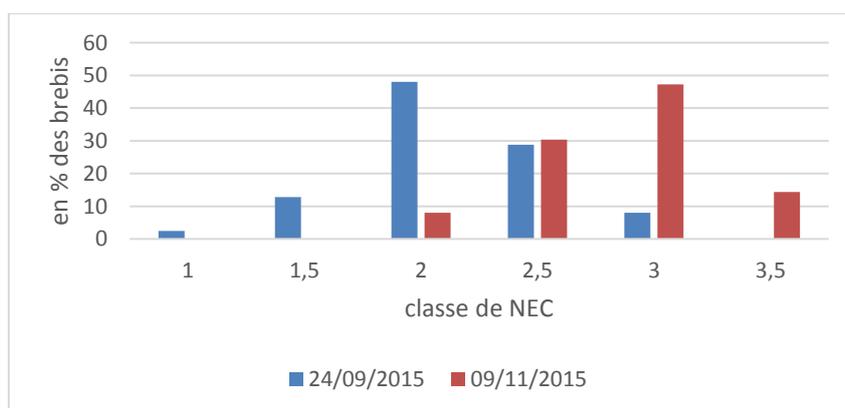


Figure 2 : répartition des brebis par classe de note d'état corporel en début et fin de séquence de pâturage sur les couverts végétaux (notation de 0 à 5, de très maigre à très grasse)

Source : CIIRPO 2016 – EPLEFPA de Montargis (45)

3. DES AGNEAUX FINIS SANS CONCENTRÉ EN HIVER

Le pâturage des brebis qui allaitent puis la finition de leurs agneaux sont possibles sur les couverts végétaux. Cette pratique nécessite toutefois des surfaces importantes.

3.1 Une économie de 70 à 80 kg de concentré par agneau

Finir des agneaux jeunes – c’est-à-dire nés en août ou septembre – sur des couverts végétaux en automne et début d’hiver sans utiliser de concentré, permet d’économiser de 70 à 80 kg d’aliment concentré par agneau. Quelle que soit sa composition (mélange de graminées et de légumineuses, brassicacées seules ou bien en mélange), la dérobée présente une valeur alimentaire suffisante deux mois après sa levée pour des agneaux élevés à l’herbe et sevrés après 100 jours.

3.2 Des carcasses bien finies et des gras blancs

Les carcasses des agneaux sur couverts végétaux ne présentent pas de problème de finition. D’autre part, les gras de couverture ne montrent pas de défaut majeur, contrairement à l’a priori. Sur les mâles, particulièrement sensibles à la coloration des gras, les agneaux finis sur dérobées présentent même des gras plus blancs que leurs homologues élevés et finis en bergerie.

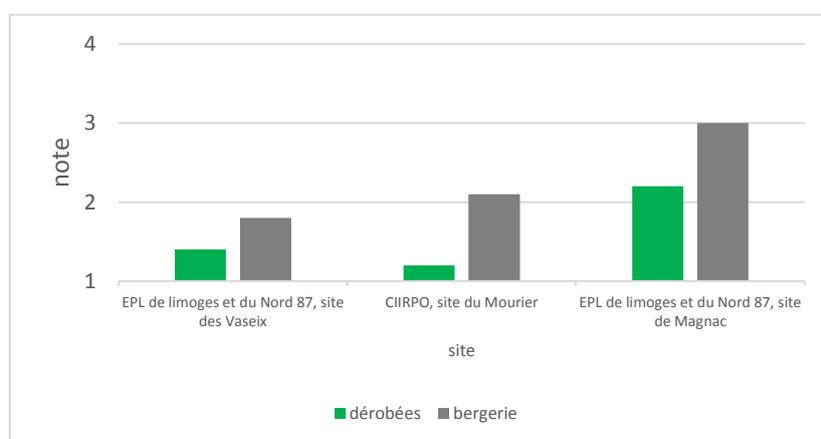


Figure 2 : couleur du gras des agneaux mâles (notation de 1 à 4, du meilleur au moins bon)

Source : CIIRPO 2016

3.3 Un allongement de la période de finition de 35 jours

Toutefois, les agneaux finis sur couverts végétaux affichent des croissances inférieures de 25 % à ceux alimentés en bergerie. En conséquence, 35 jours supplémentaires sont nécessaires pour les finir pour un même poids de carcasse. Une éventuelle baisse du prix de vente des agneaux reste donc à intégrer à ce type de conduite si les cours sont à la baisse en période de vente des agneaux. Enfin, compte tenu de l’allongement de la durée de finition par rapport à une conduite en bergerie, une partie des agneaux est hors cahier des charges pour certains signes officiels de qualité.

BIBLIOGRAPHIE

Sagot L., (2017). Fiche technique : *Cet automne, mes brebis pâturent les couverts végétaux* sur www.idele.fr

Cultures intermédiaires à valorisation énergétique

Sylvain Marsac, Manuel Heredia

Arvalis-Institut du végétal

s.marsac@arvalis.fr, m.heredia@arvalis.fr

RÉSUMÉ

Les couverts d'intercultures remplissent de nombreuses fonctions agronomiques et environnementales : apports de matière organique, lutte contre le lessivage et l'érosion. Si la réglementation tend à les généraliser, l'ajout d'une fonction économique (revenus) et environnementale (diminution des émissions de GES) aux couverts d'interculture est certainement un facteur de développement. Les CIVE – Cultures intermédiaires à valorisation énergétique – incarnent cette opportunité. Leur intérêt est de limiter la concurrence d'usage des sols due aux cultures énergétiques avec la production de trois cultures en deux ans dont deux cultures dédiées aux usages alimentaires. Un retour d'expériences sur la production de CIVE est exposé à partir des résultats du projet OPTICIVE et des plateformes SYPPRE® en Béarn et SYPPRE® Lauragais. Les éléments de conception des itinéraires techniques et les intérêts agronomiques des CIVE sont détaillés. Les premiers résultats concernant la valorisation économique des CIVE en méthanisation montrent à la fois un intérêt potentiel notable et un risque lié à la variabilité interannuelle de ces productions.

Mots-clés : cultures intermédiaires à valorisation énergétique (CIVE), bioéconomie, économie circulaire, itinéraire technique des CIVE, méthanisation, matière organique

1. CONTEXTE ET DÉVELOPPEMENT DES CIVE

La loi relative à la transition énergétique sur la croissance verte (2015) a clarifié l'utilisation de la biomasse en méthanisation. Les cultures énergétiques dédiées, cultures principales au titre de la PAC, sont admises à hauteur de 15 % du poids brut de la ration des méthaniseurs tandis que les CIVE ne voient pas de limitation. En région, des Schémas régionaux de la biomasse sont en cours de déclinaison. Ils fixent des orientations et planifient des actions régionales concernant les filières de production et de valorisation de la biomasse susceptible d'avoir un usage énergétique. Les CIVE y ont une place importante. Dans ce contexte favorable au déploiement des filières de méthanisation, le projet OPTICIVE (Marsac *et al*, 2018) soutenu par l'Ademe a permis d'étudier les techniques de production des CIVE dans des séquences de trois cultures en deux ans et de produire une première évaluation économique de leur valorisation en méthanisation. En parallèle, le projet SYPPRE® conduit par cinq instituts techniques agricoles apporte des éclairages en région à travers les plateformes expérimentales de systèmes multiperformants dans le Béarn et le Lauragais.

2. PRODUCTION DE CIVE : ITINÉRAIRES TECHNIQUES ET INTÉRÊTS AGRONOMIQUES

2.1 Quelle CIVE dans la rotation ?

Les CIVE sont des cultures à part entière positionnées entre deux cultures principales. La définition du calendrier des cultures principales est donnée par la PAC et ceci conditionne la place restante pour la CIVE. Ainsi, deux types de CIVE sont envisageables : les CIVE d'hiver et les CIVE d'été.

Les CIVE d'hiver sont semées de la fin de l'été au début de l'automne et sont récoltées au printemps avant une culture alimentaire d'été. Ce positionnement peut impacter la culture principale qui suit en entamant les réserves d'eau du sol. Les retours d'expériences montrent l'intérêt des graminées ou les associations graminées-légumineuses. Pour des graminées seules (avoine, triticale, orge, seigle), le choix variétal doit privilégier la précocité à l'épiaison, la productivité en biomasse, la tolérance aux ravageurs les plus présents et aux maladies ou viroses les plus fréquentes (JNO), voire le caractère non gélif selon les conditions locales. Les associations graminées-légumineuses permettent d'apporter de l'azote mais pénalisent légèrement la productivité en biomasse. Ainsi, un maximum de 20 % de légumineuses semble opportun.

Les CIVE d'été sont positionnées après une culture principale d'hiver (blé, orge, colza, pois), semées en début d'été et récoltées en début d'automne. Ces CIVE sont très dépendantes de l'alimentation hydrique estivale avec une productivité limitée en cas de manque d'eau, mais provoquent peu de concurrence sur l'eau pour les cultures suivantes. Les espèces à privilégier doivent être productives sur un cycle court (90 jours) et être choisies en fonction des risques ravageurs et des problématiques locales de désherbage. Les maïs, le sorgho et le tournesol sont généralement de bons choix. Des semis précoces fin juin, début juillet sont indispensables.

2.2 Itinéraire technique et positionnement de la CIVE

- **Un itinéraire technique adapté et simplifié**

L'introduction d'une CIVE dans une rotation implique une couverture des sols quasi-permanente et des enchaînements très rapides entre récolte et semis. De plus, le coût de production de la CIVE doit être le plus faible possible tout en assurant un niveau de rendement suffisant. Dans ces conditions, les clés de la réussite sont basées sur une réduction de l'itinéraire technique au strict minimum (implantation, fertilisation, récolte) et sur la mise en place d'opérations techniques simplifiées ou combinées lorsque c'est possible (semis direct ou strip-till...).

- **Pour la CIVE d'été, la date de semis est déterminante**

Pour la CIVE d'été, l'implantation est déterminante. Plus la CIVE est implantée tôt, plus la productivité sera forte. Dans certaines rotations, une précocification de la culture précédente est un levier majeur. L'écartement entre rangs doit être réduit (40 cm ou inférieur pour sorgho et moha) pour une couverture rapide de l'inter-rang. Le calendrier de culture à viser dans le Sud-Ouest donne un semis entre le 15/06 et le 10/07 pour une récolte entre le 15/09 et le 1/11.

- **Pour la CIVE d'hiver, 20 à 40 % du rendement se fait les 15 derniers jours**

Pour la CIVE d'hiver, l'enjeu principal est de la récolter le plus tard possible en tenant compte de la date d'implantation visée pour la culture suivante. En effet, plusieurs essais ont montré que pour une récolte échelonnée du 20/03 au 20/04, la production est doublée ou triplée et que 20 à 40 % de la production de biomasse se fait dans les 15 derniers jours. La production de la CIVE est aussi améliorée grâce à une implantation précoce. Le calendrier de culture à viser dans le Sud-Ouest donne un semis entre le 20/09 et le 10/10 pour une récolte entre le 15/04 et le 30/04.

- **Une fertilisation azotée réduite mais nécessaire**

Une CIVE est une culture à part entière avec un objectif minimal de production. Les essais menés dans le cadre d'OPTICIVE ont montré que quelle que soit la CIVE, une fertilisation azotée est nécessaire pour atteindre des rendements satisfaisants, tout en restant bien inférieure à celle des cultures principales. Selon les situations, entre 60 et 100 unités d'azote peuvent être apportées au semis sur CIVE d'été ou en sortie d'hiver sur CIVE d'hiver. Les digestats issus de méthanisation sont bien adaptés pour l'apport azoté mais doivent être enfouis à l'application pour les CIVE d'été afin de limiter la volatilisation de l'azote.

2.3 Atouts agronomiques des CIVE

L'introduction de CIVE implique dans la plupart des cas une intensification écologique des rotations avec à la clé une couverture des sols maximisée et quasi-permanente. Sur ce point, une meilleure maîtrise des techniques d'implantation des CIVE sous couvert permettrait d'intensifier la couverture et la productivité.

Les CIVE d'hiver portent les mêmes intérêts écologiques et agronomiques qu'une CIPAN (Culture intermédiaire piège à nitrates). Les apports en matière organique par les CIVE sont parfois questionnés. Les essais menés dans OPTICIVE ont montré que les chaumes de CIVE laissés à la récolte (~15 cm) représentent environ 2 tMS/ha de biomasse fraîche tandis que l'appareil racinaire bien développé apporte environ 2 tMS/ha supplémentaires. Une CIPAN présente en moyenne des apports équivalents en biomasse aérienne et inférieurs en biomasse racinaire en raison de son cycle plus court.

Lorsque les CIVE sont utilisées en méthanisation, les digestats sortant des méthaniseurs ont conservé tous les éléments minéraux des CIVE et environ la moitié de leur carbone. Le retour au sol de ces digestats sur les parcelles ayant produit les CIVE assure alors une bonne compensation des exports. Les recommandations et conseils agronomiques liés à la production de CIVE devront donc impérativement tenir compte du cycle complet de la matière et distinguer les parcelles avec ou sans retour au sol des digestats.

3. VALORISER LES CIVE EN MÉTHANISATION : UNE OPORTUNITÉ DE L'ÉCONOMIE CIRCULAIRE

Les projections de développement de la filière méthanisation à l'échelle nationale (Ademe *et al*, 2018 ; Bardinal, 2014) misent sur une place importante des CIVE dans l'approvisionnement des méthaniseurs. La valorisation économique des CIVE est aujourd'hui essentiellement basée sur la méthanisation. C'est un mode de valorisation éprouvé qui présente les vertus d'une économie circulaire durable dans les territoires. Le caractère localisé des projets de méthanisation agricoles

qui concentrent à la fois les ressources (effluents, résidus agricoles et CIVE), la production et la vente de biométhane font que des schémas économiques et physiques circulaires devront naturellement se mettre en place : production de CIVE dans un rayon limité, gestion des effluents locaux, production locale de biométhane, retour au sol des digestats dans un rayon limité. C'est une véritable opportunité de fonctionnement économique circulaire et local.

Le projet OPTICIVE a permis d'étudier différentes filières de méthanisation à base de CIVE dans le contexte du Béarn en variant les modes de valorisation du biométhane (cogénération, injection) et la taille des unités de méthanisation. Les premiers résultats situent une rentabilité des CIVE à partir d'un rendement de récolte de 5 à 6 tMS/ha. Les différents essais de productivité des CIVE montrent que ces rendements se situent dans la moyenne sans être atteints chaque année. Pris sous un autre angle, le projet SYPPRE® en Béarn montre que la rotation maïs-CIVE-maïs présente une alternative économique intéressante au maïs avec mulching sous l'hypothèse d'un prix de vente de la CIVE de 100 €/tMS.

4. CONCLUSION ET PERSPECTIVE

À ce jour, le projet OPTICIVE et les plateformes SYPPRE® ont permis de bien identifier les éléments techniques pour raisonner l'introduction des CIVE dans les rotations et évaluer les potentiels de production dans le Sud-Ouest. Sur les plans agronomique et technique, le besoin d'approfondir les expérimentations sur les CIVE concerne à la fois la prise en compte des différents contextes pédoclimatiques en élargissant les essais à d'autres régions, et la recherche d'efficacité dans les techniques d'implantation et de fertilisation combinées aux espèces voire aux variétés. La gestion du risque lié à la variabilité des rendements des CIVE (études pluriannuelles, outils de gestion du risque, accompagnement technique spécifique) constitue aussi une piste notable.

Les premières évaluations économiques montrent un intérêt des CIVE pour la mise en place de filières de méthanisation dans les territoires, basées sur des principes d'économie circulaire. Différentes pistes d'exploration concernent les modes de calcul des coûts de production des CIVE (modes d'allocations en coûts complets, approches économiques) et les situations de productions des CIVE (taille et structure des filières, situations de production des CIVE...). Bioraffinerie et valorisations en cascade de ces ressources CIVE (extraction de molécules à haute valeur ajoutée, puis méthanisation du résidu en fin de chaîne et retours au sol) permettraient d'améliorer leur rentabilité et de renforcer le développement de la bioéconomie.

BIBLIOGRAPHIE

Ademe, GrDF, GRTGaz (2018). [Mix de gaz 100 % renouvelable en 2050 ?](#). Collection Horizons, 283 p,

Bardinal M. (2014). La biomasse dans le mix énergétique- Vision énergétique 2030-2050 de l'Ademe. Séminaire ANCRE-ALLENVI Place de la biomasse dans la transition énergétique.

Marsac S., Espagnol G., Heredia M., Delaye N., Labalette F., Lecomte V., Bazet M. (2018). Optimisation de la production de CIVE dans des séquences de 3 cultures en 2 ans pour la méthanisation à la ferme. Journées Recherche innovation Biogaz méthanisation. Rennes. 2 et 3 Octobre 2018.

[Projet SYPPRE®](#)

Couverts végétaux : quelle contribution au stockage de carbone et au bilan gaz à effet de serre ?

Bruno Mary

Unité Agro-Impact, Laon-Mons
bruno.mary@inra.fr

RÉSUMÉ

L'agriculture peut contribuer à la réduction des émissions de gaz à effet de serre (GES), en diminuant les émissions directes de dioxyde de carbone (CO₂), de protoxyde d'azote (N₂O) et les émissions indirectes de composés azotés (nitrate et ammoniac). Parmi les pratiques alternatives possibles, les couverts végétaux constituent la pratique la plus prometteuse pour stocker du carbone dans le sol et réduire le bilan GES. Les références les plus nombreuses ont été obtenues sur les cultures intermédiaires (CI). Les CI, mises en place entre deux cultures principales sur une durée assez brève, fournissent des services écosystémiques très favorables vis-à-vis du lessivage de nitrate, du stockage de carbone, de la fourniture d'azote et de la production végétale. Le potentiel de réduction des GES par des couverts végétaux semi-permanents, implantés sur une longue durée, est plus grand encore mais la conduite de ces couverts demande à être optimisée pour ne pas accroître les émissions de N₂O.

Mots-clés : couverts, cultures intermédiaires, stockage de carbone, bilan GES

1. LES CULTURES INTERMÉDIAIRES

1.1 Fourniture d'azote et lessivage de nitrate

Historiquement, l'objectif premier des CI a été de constituer un "engrais vert", c'est-à-dire d'accroître la libération de nutriments pour la plante, notamment l'azote minéral. Le second objectif attribué aux CI, à partir des années 1990, a été de réduire les fuites de nitrate vers les aquifères. De nombreuses études (e.g. Constantin *et al.*, 2011, 2012) ont montré que ces deux objectifs sont atteints, à la fois sur le court et le long terme (non discuté ici).

1.2 Stockage de carbone dans le sol

L'apport répété de matière organique issu des couverts intermédiaires entraîne une "séquestration" de carbone dans le sol, c'est à dire un supplément de carbone par rapport à la pratique conventionnelle (sans CI). Cet effet a été étudié soit en conditions de champ dans des essais de longue durée, soit lors d'incubations au laboratoire où l'on mesure les émissions de CO₂ issu des résidus de CI en décomposition. Les résidus de CI proviennent généralement de plantes jeunes, riches en composés solubles et relativement riches en N. Ces résidus se décomposent plus vite que les résidus de plantes mûres (type paille de céréales). On a donc considéré jusqu'à très récemment que les résidus de CI, et plus généralement les résidus à faible C/N, contribuaient beaucoup moins à la formation de C stable ("humus") dans le sol. En fait, ce postulat a été invalidé par les résultats obtenus à la fois au laboratoire et au champ.

1.2.1 Études d'incubation au laboratoire

Jensen *et al.* (2005), comparant la minéralisation de 76 résidus végétaux incubés au laboratoire, confirment que les résidus de CI se décomposent d'abord plus rapidement que les autres mais que la vitesse de minéralisation se ralentit plus vite ensuite, et que leur taux de minéralisation final n'est pas forcément plus élevé. Ce taux est principalement corrélé (négativement) à la teneur en cellulose du résidu. Les teneurs en cellulose des CI étant peu différentes de celles des résidus végétaux mûrs, il n'est pas surprenant que leur taux de minéralisation soit peu différent.

L'étude de Justes *et al.* (2009) considère un ensemble de 68 résidus végétaux, dont 25 résidus de CI et 43 résidus de plantes à maturité. Le taux maximal (asymptotique) de minéralisation du carbone, estimé par ajustement des cinétiques d'incubation, n'est pas différent entre les deux types de résidus. Il est en revanche plus faible pour les racines qui ont un taux de stabilisation du C plus élevé que les parties aériennes. Ces études montrent, contrairement au postulat initial, que **la contribution des résidus de CI à la séquestration de carbone dans le sol est très significative**. Deux raisons principales expliquent ce résultat :

- la proportion de carbone issu des parties aériennes des résidus de CI qui se stabilise dans le sol est comparable à celle de résidus de végétaux mûrs ;
- l'apport relatif de biomasse racinaire par rapport à la biomasse aérienne est plus important pour les couverts jeunes (McDaniel *et al.*, 2014), et son taux d'humification est plus élevé (Balesdent et Balabane, 1996 ; Kätterer *et al.*, 2011).

1.2.2 Expérimentations au champ

L'expertise collective Inra "cultures intermédiaires" (Justes *et al.*, 2013) a permis de faire une synthèse bibliographique de l'effet des CI sur le stockage de carbone. Nous avons analysé 25 essais de longue durée comparant des systèmes de culture avec ou sans CI, avec deux critères : 1) la quantité moyenne de C séquestrée annuellement, qui correspond à la différence de stocks de carbone entre un traitement avec CI et un traitement sans CI, divisé par le nombre d'années de l'essai ; 2) le "facteur de conversion" qui est le ratio entre la quantité de C séquestrée et l'apport annuel de carbone par les CI (majoritairement sous forme de résidus aériens). Les résultats montrent que les CI conduisent presque toujours à un stockage additionnel de carbone par rapport à une situation classique de "sol nu", aussi bien en climat tempéré que tropical (tableau 1). Sur une durée moyenne de 15 ans d'expérimentation, la présence répétée des CI (pas forcément chaque année), conduit à un stockage de $292 \pm 156 \text{ kg C} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{an}^{-1}$ en climat tempéré. Ce stockage s'avère être très efficace puisque le facteur de conversion est très élevé : $33 \pm 10 \%$, valeur similaire ou même supérieure à celle qui peut être calculée avec des résidus de type paille de céréales.

Tableau 1 : Taux de séquestration du carbone issu des CI et facteur de conversion associé.

Référence	Nombre de sites	Climat	Durée ans	C séquestré			
				kg C/ha/an		kg C /kg C apporté	
				moyenne	e-type	moyenne	e-type
Justes et al (2013)	7	Tropical	12	506	431	17%	10%
	16	Tempéré	15	292	156	33%	10%
	25	Tous	14	376	308	25%	12%
Poeplau & Don (2015)	37	Tous	12	320	80		

Une deuxième synthèse a été faite par Poeplau et Don (2015) par le biais d'une méta-analyse. Ces auteurs ont sélectionné 37 sites dont seulement 7 d'entre eux sont communs avec l'étude

précédente. Ils confirment que les CI conduisent à une séquestration de carbone et que les quantités de C séquestré sont corrélées à la durée de présence des CI. L'intensité de séquestration est de $320 \pm 80 \text{ kg C.ha}^{-1}.\text{an}^{-1}$ (moyenne sur 12 ans). En s'appuyant sur une autre méta-analyse, McDaniel *et al.* (2014) montrent que les CI légumineuses permettent d'augmenter les stocks de C dans les sols, en moyenne de 8,5 % sur une durée de 18 ans. Pour un stock moyen de 50 t C.ha^{-1} , ceci représente une vitesse de stockage de $236 \text{ kg C.ha}^{-1}.\text{an}^{-1}$. On peut donc dégager les conclusions suivantes de ces synthèses :

- l'intensité de séquestration permise par les CI est forte : entre 236 et 376 $\text{kg C.ha}^{-1}.\text{an}^{-1}$. C'est une valeur supérieure (5 à 7 pour mille) à l'objectif "4 pour mille" ;
- la séquestration est beaucoup plus liée à la biomasse de CI produite qu'à leur nature, à l'exception toutefois des légumineuses qui pourraient favoriser le stockage ;
- la séquestration liée aux CI est au moins aussi élevée que celle liée aux résidus des cultures principales, sans doute en raison de leur forte proportion de résidus racinaires ;
- le facteur de conversion est plus élevé en climat tempéré. La plus forte stabilisation résulte d'un taux de minéralisation plus faible en climat tempéré.

1.3 Émissions de N₂O

Les études qui ont quantifié l'impact des CI sur les émissions de N₂O sont moins nombreuses et très récentes. La variabilité spatiale et temporelle des émissions est une limite forte à la précision des mesures. Malgré leur variabilité, les résultats sont convergents pour affirmer que **l'effet des CI sur les émissions de N₂O est faible ou nul**. En moyenne sur tous les essais, le supplément d'émission est de $0,05 \pm 0,74 \text{ kg N-N}_2\text{O.ha}^{-1}.\text{an}^{-1}$ dans l'année qui suit l'implantation de la CI. Ce supplément représente l'équivalent de $6 \text{ kg CO}_2\text{-eq.ha}^{-1}.\text{an}^{-1}$, donc très inférieur à la séquestration de carbone dans le sol. Selon la norme IPCC, la contribution directe des résidus de culture aux émissions est de 1,0 %, et la contribution indirecte de 0,22 %. Cette estimation semble excessive pour les CI, puisqu'elle conduirait à estimer les émissions à $0,50 \text{ kg N-N}_2\text{O.ha}^{-1}.\text{an}^{-1}$ pour un prélèvement moyen de 50 kg N.ha^{-1} (qui semble pouvoir être une valeur moyenne). Il y a sans doute lieu de revoir la norme IPCC pour les CI.

1.4 Bilan GES

Les trois principaux gaz à effet de serre émis par l'agriculture sont le CO₂, le CH₄ et le N₂O. Si l'on excepte les milieux très réducteurs (rizières), les sols agricoles n'émettent quasiment pas de méthane. D'autre part, dans les sols cultivés où il n'y pas d'accumulation de biomasse à long terme, les émissions de CO₂ sont quasi égales aux variations de stock de carbone du sol. Par conséquent le bilan GES (négatif si c'est un flux vers la parcelle) est la somme des émissions de N₂O (positif) et du stockage de C du sol (négatif). Les données précédentes permettent de dresser le bilan GES de l'implantation des CI (tableau 2). L'implantation de CI a pour effet d'améliorer nettement le bilan GES, en moyenne de $1123 \text{ kg CO}_2 \text{ eq.ha}^{-1}.\text{an}^{-1}$.

	Emission N ₂ O		Stockage C		Machinisme	Total
	kg N/ha/an	kg CO ₂ eq/ha/an	kg C/ha/an	kg CO ₂ eq/ha/an	kg CO ₂ eq/ha/an	kg CO ₂ eq/ha/an
moyenne	0.05	23	-320	-1173	27	-1123
écart-type	0.74	344	-80	-293		261

Cependant, **l'effet à long terme des CI sur le bilan GES sera moins intéressant**. Compte tenu du caractère asymptotique du stockage de carbone, la vitesse de stockage diminue au cours du temps et le

bilan GES est de moins en moins amélioré par les CI. Inversement, les CI répétées conduisent à augmenter le stock d'azote organique du sol ainsi que la minéralisation annuelle d'azote (Constantin *et al.*, 2011, 2012). En conséquence, il est souhaitable de réduire la fertilisation azotée, dont la production et l'apport sur la culture sont fortement émettrices de gaz à effet de serre, ce qui améliorera ainsi le bilan GES. Ces effets antagonistes doivent être mieux précisés afin d'établir un bilan GES à long terme.

2. LES COUVERTS SEMI-PERMANENTS

Les références concernant le bilan GES de couverts permanents ou semis-permanents, tels que ceux pratiqués dans "l'agriculture de conservation" (AC), sont peu nombreuses. Compte tenu de la longue durée de ces couverts (plusieurs années), on peut s'attendre à ce qu'ils favorisent fortement le stockage de carbone. C'est ce qui a été observé dans l'essai Inra de La Cage (Versailles) : au bout de 16 ans de pratique AC, le stock de C du sol a augmenté d'environ 10 t C ha⁻¹, soit un rythme annuel moyen de 15 ‰ (Autret *et al.*, 2016). Un tel stockage a été possible grâce au couvert de légumineuse (luzerne). Le bilan GES de ce système est bien meilleur que celui des systèmes conventionnel et intégré auxquels il est comparé. Cependant, il est moins bon que ne le laisse supposer le stockage de carbone, car les émissions de N₂O sont fortement stimulées dans ce système (Autret *et al.*, xxx).

BIBLIOGRAPHIE

Autret B, Mary B, Chenu C, Balabane M, Girardin C, Bertrand M, Grandeau G, Beaudoin N (2016). Alternative arable cropping systems: A key to increase soil organic carbon storage? Results from a 16 year field experiment. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 232: 150–164.

Autret B, Beaudoin N., Rakotovololona L., Bertrand M, Grandeau G, Gréhan E., Mary B. (xxx). Can alternative cropping systems mitigate nitrogen losses and improve GHG balance? Results from a 19-yr experiment in Northern France. *Accepté à Geoderma*.

Balesdent J., Balabane M., 1996. Major contribution of roots to soil carbon storage inferred from maize cultivated soils. *Soil Biology & Biochemistry* 28, 1261-1263.

Constantin J., Beaudoin N., Laurent F., Cohan J.P., Duyme F., Mary B., 2011. Cumulative effects of catch crops on nitrogen uptake, leaching and net mineralization. *Plant and Soil* 341, 137–154.

Constantin J., Beaudoin N., Launay M., Duval J., Mary B., 2012. Long-term nitrogen dynamics in various catch crop scenarios: test and simulations with STICS model in a temperate climate. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 147, 36–46.

Jensen L.S., Salo T., Palmason F., et al., 2005. Influence of biochemical quality on C and N mineralisation from a broad variety of plant materials in soil. *Plant and Soil* 273, 307–326.

Justes E., Mary B., Nicolardot B., 2009. Quantifying and modelling C and N mineralization kinetics of catch crop residues in soil: parameterization of the residue decomposition module of STICS model for mature and non mature residues. *Plant and Soil* 325, 171-185.

Kätterer T., Bolinder M.A., Andrén O., Kirchmann H., Menichetti L., 2011. Roots contribute more to refractory soil organic matter than above-ground crop residues, as revealed by a long-term field experiment. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 141, 184–192.

Mary B., 2013. Effet des cultures intermédiaires sur la séquestration du carbone et le bilan gaz à effet de serre. In: Réduire les fuites de nitrate au moyen de cultures intermédiaires, chapitre 5, 177-192. <https://www6.paris.inra.fr/depe/Projets/Cultures-Intermediaires>.

McDaniel M., Tiemann L., Grandy A.S., 2014. Does agricultural crop diversity enhance soil microbial biomass and organic matter dynamics? A meta-analysis. *Ecological Applications* 24, 560–570. doi:10.1890/13-0616.1

Poeplau C., Don A., 2015. Carbon sequestration in agricultural soils via cultivation of cover crops – A meta-analysis. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 200, 33–41.

Gestion intégrée de la fertilité des sols en viticulture

Les couverts végétaux

Lorelei Boechat-Cazenave

Chambre d'agriculture de la Gironde

l.cazenave@gironde.chambagri.fr

RÉSUMÉ

En viticulture la gestion des couverts herbacés sur les parcelles est une problématique récurrente car ils peuvent entrer en concurrence avec la vigne pour les ressources hydro-azotées pendant la saison végétative. Les objectifs de production, le type de sol, le climat conditionnent la prise de décision du viticulteur pour l'entretien de ses sols et de ses enherbements. Cette démarche doit permettre de tirer le meilleur de la vigne c'est-à-dire le parfait équilibre entre quantité et qualité de la vendange.

Mais comment parvenir à ce juste milieu, quels sont les leviers en termes de gestion des sols qui permettent de garantir des rendements, une vendange de qualité tout en respectant l'environnement ? Qui plus est comment stabiliser le système dans un contexte climatique changeant ?

Mots-clés : vigne, sol, enherbement, couverts végétaux, engrais verts, projet Vertigo

Les pratiques agricoles mises en œuvre depuis la révolution verte ont fortement contribué à la dégradation des sols, à la perte de biodiversité et à la pollution des eaux (Stoate *et al.* 2009 ; Millennium Ecosystem Assessment, 2005 ; Tilma, *et al.*, 2002).

Les herbicides et leurs produits dérivés constituent l'une des principales sources de pollution des eaux souterraines et superficielles (IFEN, 2007). La problématique des herbicides apparaît aujourd'hui comme un enjeu majeur pour les viticulteurs, confrontés à des contraintes techniques, réglementaires et environnementales toujours plus nombreuses : phénomènes de résistances (ray-grass), diminution drastique des molécules actives autorisées (glyphosate dans le collimateur), plan Ecophyto 2025, démarches de certification environnementale, conversion à la viticulture biologique...

Dans le vignoble bordelais, les herbicides sont encore utilisés sur près de 80 % des parcelles viticoles, le plus souvent pour maîtriser les adventices sous les rangs (Agreste, 2012).

Le recours aux herbicides dans les inter-rangs est désormais une pratique minoritaire. Elle est localement mise en œuvre, notamment dans les vignobles à forte densité de plantation, soit en association avec un enherbement temporaire ou un travail du sol, mais parfois encore dans des stratégies de désherbage en plein (5 % environ des parcelles en Gironde). En plus de leurs impacts très négatifs sur l'environnement, ces pratiques renvoient une très mauvaise image pour les consommateurs.

Pour les viticulteurs qui n'utilisent plus d'herbicides dans les inter-rangs, deux alternatives existent : l'enherbement ou le travail du sol.

L'enherbement inter-rangs est une pratique qui s'est largement développée ces dernières années dans le Bordelais, où elle concerne désormais près de 80 % des parcelles. Ce succès s'explique par le fait que cette pratique a souvent permis de maîtriser la vigueur et les rendements des vignes, par effet de concurrence pour l'eau et l'azote (Chantelot *et al.*, 2004) et ainsi d'améliorer la qualité de la récolte (Pellegrino *et al.*, 2005, Van Leeuwen et Seguin, 1994). La réduction de la vigueur entraîne en outre une diminution des travaux sur le végétal (épamprage, ébourgeonnage, rognage...) et une amélioration du microclimat au niveau des grappes et du feuillage, favorable à une moindre sensibilité de la plante aux attaques cryptogamiques (Pieri *et al.*, 2001b). Enfin, l'amélioration de la portance liée à l'enherbement facilite les interventions mécanisées, notamment pour les traitements phytosanitaires ou les vendanges.

D'une manière générale, la pratique de l'enherbement modifie également les propriétés physico-chimiques et biologiques des sols : augmentation de l'activité biologique et de la teneur en matières organiques (Masson et Bertoni, 1996), amélioration de la porosité et de la stabilité structurale. Ces effets se traduisent par de nombreux bénéfices environnementaux. L'augmentation de l'infiltration aux dépens du ruissellement (Andrieux, 2006) entraîne une diminution du risque d'érosion (Gagliano *et al.*, 2008), une réduction du transfert des pesticides et des herbicides vers les eaux superficielles (Louchard *et al.*, 2001) et une amélioration de la recharge en eau des sols. L'amélioration de la stabilité structurale réduit également la sensibilité des sols à la battance et au tassement. Au final, ces modifications structurales peuvent également avoir des répercussions agronomiques positives et, dans certains cas, améliorer la disponibilité des ressources hydriques et minérales pour la vigne : capacité plus grande du sol à retenir l'eau (Tournebize, 2001) et les éléments minéraux et cycle des nutriments du sol plus efficace (Reedeler *et al.*, 2006).

Le principal frein à une pratique plus généralisée de l'enherbement réside dans la crainte d'une concurrence hydro-azotée excessive, en particulier sur des sols peu fertiles, à faible réserve utile, et pour les vignobles à forte densité de plantation. Des rendements fortement réduits (Celette, 2007) et/ou des moûts carencés en azote assimilable (Ferrari, 2002 ; Serrano *et al.*, 2002) sont les principales dérives redoutées par les viticulteurs.

L'enherbement inter-rangs est donc très souvent associé à un travail du sol un inter-rang sur deux, de manière à limiter les risques de concurrence. Mais le recours régulier au travail du sol inter-rangs occasionne de nombreuses problématiques : minéralisation de la matière organique et libération de carbone, diminution de l'activité biologique (vers de terre), augmentation des risques de dégradation des sols (érosion, compaction, lessivage...), sélection d'espèces concurrentielles, consommation de carburant associée aux nombreuses interventions...

Dans ce contexte, le projet VERTIGO a donc pour ambition d'acquérir des références pour limiter le travail du sol inter-rangs, au profit des couverts végétaux, afin de maximiser les services écosystémiques rendus. Les travaux menés permettent d'acquérir des connaissances pour gérer les couverts végétaux inter-rangs, naturels et semés, de manière à maîtriser la concurrence induite en fonction des contextes pédo-climatiques et des objectifs de production.

La gestion des couverts végétaux semés (engrais verts) occupe une place centrale dans ce projet, compte-tenu des très nombreux services écosystémiques associés et des risques limités de concurrence (période de repos végétatif de la vigne). Le projet doit permettre à terme de guider les viticulteurs pour adapter les espèces, les matériels et les itinéraires techniques à leurs problématiques agronomiques et à leurs systèmes de production, et raisonner les périodes d'intervention en fonction des conditions climatiques.

1. METTRE EN PLACE DES COUVERTS HIVERNAUX SUR MON EXPLOITATION VITICOLE

1.1 Choix des semences

Pour optimiser les bénéfices des engrais verts, il est conseillé de mettre en place des mélanges (2 à 3 espèces de familles différentes). Les essais menés par la Chambre d'agriculture de la Gironde ont permis de sélectionner 3 grandes familles dont les principales caractéristiques sont les suivantes :

- Les graminées : avoine, orge, triticale.... Ces espèces fournissent une biomasse importante, humifère et permettent une bonne structuration du sol en surface par le système racinaire fasciculé.
- Les légumineuses : vesce, féverole, pois.... Ces espèces captent l'azote atmosphérique puis le restituent au sol. Ces espèces sont privilégiées lorsque rendement et vigueur sont inférieurs aux objectifs de production de l'exploitant, ou sur des problématiques de déficit en azote assimilable dans les moûts, notamment pour les blancs.
- Les crucifères : radis, moutarde... Ces espèces mobilisent le soufre présent dans les sols pour le mettre à disposition en surface, créant un léger effet acidifiant. Elles sont souvent associées au mélange graminée/légumineuse sur les sols basiques (calcaires), afin d'améliorer l'assimilation des éléments nutritifs par la vigne.

Les espèces sélectionnées doivent être adaptées aux types de sols. Des espèces telles que l'avoine ou encore la féverole et la vesce sont assez généralistes mais ce n'est pas le cas pour toutes.

1.2 Implantation des couverts

A – Raisonner les doses de semis

Lors de la première implantation d'engrais verts il est préférable de sur-doser par rapport aux doses de semis indiquées (+30 %). Le choix des doses est fonction du poids des graines. Ainsi pour des grosses graines de type féverole, les densités de semis devront être très importantes pour avoir un recouvrement suffisamment important.

Ci-dessous les doses conseillées en mélange :

- Graminées type avoine 50 à 60 kg/ha ou orge 80 à 100 kg/ha
- Légumineuses à graines de petite taille type pois / vesce : 30 à 40 kg/ha
- Légumineuses à grosses graines type féverole/lupin : 100 à 120 kg/ha
- Crucifères type moutarde/radis : 15 à 20 kg/ha

Le semis est réalisé avant ou après vendanges sur un sol bien ressuyé juste avant un épisode pluvieux.

B – Préparer le lit de semences

Cette étape est indispensable lorsque l'on souhaite implanter des couverts végétaux avec des semoirs dits à la volée ou bien lors des premières années de culture d'engrais verts.

La préparation du lit de semences consiste en un ensemble d'opérations de travail du sol superficiel (5 à 10 cm) réalisées à l'aide d'outils à dents, à disques ou d'outils rotatifs (rotavator ou herse rotative).

Il est conseillé d'implanter l'engrais vert sur un sol déjà travaillé au moins une fois dans l'année dans l'inter-rang en début de saison.

C – Les différentes méthodes de semis

Plusieurs techniques de semis existent : à la volée (nécessitant la préparation d'un lit de semences) ou direct. Le principe du semis à la volée est simple. La semence est répandue au sol soit par gravité soit grâce à un système pneumatique. La distribution est assurée par un système à débit constant ou proportionnel à l'avancement.

Le semoir doit permettre d'implanter des associations de semences composées de graines de taille différentes, soit en disposant de l'élément distributeur adapté ou d'une double trémie.

En fonction de la largeur du semis, il est nécessaire de disposer d'un système de ventilation. L'entraînement du distributeur est généralement électrique. Il est ainsi possible d'envisager une modulation de la densité de semis intra parcellaire.

Le rouleau doit assurer un rappui correct. Le rouleau type "cultipacker" est polyvalent mais peut atteindre ses limites sur des sols humides ou battants. Le rouleau type "crosskill" est une alternative intéressante.

2. LA DESTRUCTION DE L'ENGRAIS VERT AU PRINTEMPS

La destruction du couvert doit se faire le plus tard possible afin de maximiser la biomasse produite. Pour ce faire il est conseillé d'attendre la fin de floraison des espèces composant le mélange et d'aller jusqu'à l'épiaison pour les graminées.

De façon générale, les facteurs limitants que l'on retrouve le plus fréquemment sont le passage des outils pour les traitements phytosanitaires, le risque de gelées de printemps, le salissement via la grenaison du couvert (ex : moutarde)

Pour les méthodes de destruction, la meilleure solution est le broyeur à marteaux passé à vitesse rapide afin d'obtenir des agrégats de taille moyenne qui permettent d'obtenir un mulch qui tient dans le temps. Le girobroyeur permet également de détruire le couvert mais le broyat très fin qu'il produit ne permet pas d'effet mulch. Enfin il est aussi possible de passer un rouleau hacheur (type Rolofaca) pour coucher tout en coupant les engrais verts. Il nécessite cependant une intervention tardive sur un couvert bien développé et ayant commencé à se lignifier. Idéal sur un couvert pur de féverole.

3. EN ROUTE VERS UNE VITICULTURE DURABLE

La pratique des engrais verts permet d'améliorer, de préserver la qualité des sols, la biodiversité tout en limitant la concurrence entre vigne et couvert herbacé. C'est aussi de fait un bon moyen de limiter le recours aux herbicides mais aussi de limiter considérablement les apports d'engrais exogènes souvent onéreux. Cette pratique s'inscrit dans les préoccupations sociétales actuelles et répond aux enjeux de la viticulture de demain qui se veut productive (quantité et qualité) mais aussi performante sur le plan environnemental (arrêt des herbicides, augmentation de la biodiversité). Par ailleurs la pratique des engrais verts est très économique. Du semis à la destruction, il faut compter en moyenne 150€/ha et ajouter entre 0,65 et 3€/kg pour les semences soit environ 70€/ha. Le prix peut varier du simple au double en fonction du réseau d'approvisionnement et la qualité des semences.

Projet mené avec le soutien de FranceAgriMer, de la Région Nouvelle-Aquitaine, du CIVB (Conseil interprofessionnel des vins de Bordeaux), de la Chambre d'agriculture de la Gironde.

BIBLIOGRAPHIE

Andrieux, P. 2006. Effets des pratiques culturales sur le ruissellement et l'érosion. Vigne, Sol et Environnement : une rencontre profession – recherche en Languedoc-Rousillon, Campus SupAgro Montpellier.

Celette, F. 2007. Dynamique des fonctionnements hydrique et azoté au sein d'une vigne enherbée sous le climat méditerranéen. Thèse de doctorat. SupAgro, Montpellier, France. 198 p.

Chantelot, E., Celette, F. et Wery, J. 2004. Concurrence pour les ressources hydriques et azotées entre vigne et enherbement en milieu méditerranéen.

Reedeler, R.-D., Miller, J.-J., Ball Coelho B.-R. et Roy, R.-C. 2006. Impacts of tillage, cover crop, and nitrogen on populations of earthworms, microarthropods, and soil fungi in a cultivated fragile soil. *Applied Soil Ecology*. 33 : 243-257.

Tournebize, J. 2001. Impact de l'enherbement du vignoble alsacien sur le transfert des nitrates. PhD thesis, Université Louis Pasteur, Starsbourg, 306 p.

Van Leeuwen, C. et Seguin, G. 1994. Incidence de l'alimentation en eau de la vigne appréciée par l'état hydrique du feuillage, sur le développement de l'appareil végétatif et la maturation du raisin (*Vitis vinifera* variété Cabernet franc, Saint Emilion, 1990). *Journal International des Sciences de la Vigne et du Vin*. 28 : 81-110, 181-2.

Agreste Aquitaine, 2012. Enquête pratiques culturales viticulture-2012. Analyses et résultats, pp.4

IFEN. 2007. Les pesticides dans les eaux. Données 2005. Les dossiers de l'IFEN n°9. 37 p.

Pellegrino A., Gozé E., Lebon E. and Wery J., 2006. A model-based diagnosis tool to evaluate the water stress experienced by grapevine in field sites. *Europ. J. Agronomy*, 25, 49-59.

Serrano E., 2001. Régime hydrique et minéral de la vigne, éléments de potentialité d'un terroir : Compte rendu. *Vinnopôle ITV*. 6p.

Sous l'égide du Réseau régional recherche innovation en agriculture de Nouvelle-Aquitaine :



Centre Inra Nouvelle-Aquitaine - Poitiers
Le Chêne - RD 150
CS 80006 - 86 600 Lusignan
www.nouvelle-aquitaine-poitiers.inra.fr

Chambre régionale d'agriculture Nouvelle-Aquitaine
CS 45002 - 86 550 Mignaloux-Beauvoir
www.nouvelle-aquitaine.chambres-agriculture.fr

Avec le soutien financier de :

