



**NUFFIELD
FRANCE**

*Developing people through agriculture
Developing agriculture through people*

Rapport d'étude Nuffield France

Combiner Agriculture de Conservation et Agriculture Biologique : à la quête du graal !

Maxime Barbier

Janvier 2021

NUFFIELD

NUFFIELD FRANCE (FR)

PARCOURS NUFFIELD

La bourse **Nuffield** permet, avec l'appui de la fondation Nuffield international, d'approfondir un sujet technique. Le boursier est soutenu - financièrement pour visiter des exploitations dans différents pays, rencontrer des agriculteurs étrangers, des responsables agricoles de haut niveau dans le monde entier et se faire aider, pour l'étude qu'il réalise, par les meilleurs spécialistes du domaine choisi. Chaque année, les neuf pays associés au sein de l'association internationale Nuffield (**Angleterre, Irlande, Australie, Nouvelle-Zélande, Zimbabwe, Hollande, France, Canada,**) sélectionnent une soixantaine de boursiers.

Le parcours "Nuffield" constitue une opportunité unique de prendre du recul sur son quotidien pour partir à l'étranger approfondir un sujet d'intérêt. Aucun cursus universitaire ou agricole n'est exigé. La sélection tient compte du niveau d'anglais des candidats (indispensable pour profiter des visites et des conférences), de leurs personnalité, de leur motivation et de la qualité de leur sujet. Ils peuvent ensuite, avec l'aide du réseau des anciens, voyager partout dans le monde afin d'approfondir leurs connaissances avec l'objectif de faire progresser leur secteur d'activité.

Vous devez avoir votre résidence principale en France. Les candidats doivent avoir entre 25 et 45 ans et avoir une expérience professionnelle dans le domaine de la production agricole (exploitation, conseil, transformation, institutions). La bourse Nuffield n'a pas vocation à financer des études portés par des étudiants.

Tous les détails sur le parcours sont disponibles sur le site [Nuffield France](#). Les dossiers de candidatures sont en libre téléchargement sur le site. Les dossiers de candidatures sont à faire parvenir chaque année au mois d'octobre, retrouvez la date exacte sur le site Nuffield France !

Rapport Nuffield France



**NUFFIELD
FRANCE**

*Developing people through agriculture
Developing agriculture through people*

Date de soutenance: 21/11/18

Titre	Combiner agriculture de conservation et agriculture biologique
Boursier	Maxime Barbier
Objectif du voyages	<ul style="list-style-type: none">o Découvrir les multiples facettes de systèmes en Agriculture Biologique de Conservation (ABC) dans le mondeo Déterminer les facteurs clés de réussite de ces systèmes et contribuer au partage de ces connaissanceso Tisser des liens avec des professionnels qui pourront m'accompagner dans l'adaptation de ces pratiques sur mes terres
Pays visités	<ul style="list-style-type: none">o Brésil - Argentine 2017o Europe : France 2018-2019, Allemagne 2018o Etats-Unis 2018
Messages	<ul style="list-style-type: none">o Il y a presque autant de systèmes ABC que d'agriculteurs !o Il n'y a pas de recettes toute faites. Des principes de bases peuvent être utilisés mais à chacun d'adapter ces pratiques selon son contexte pédoclimatique et les ressources techniques, logistiques, humaines, à dispositiono La formation en continue de l'agriculteur à ces pratiques et la participation avec un groupe d'échange local sont des pré-requis très important

RESUME

Combine Conservation agriculture and Organic farming : in search of the Grail of the organic no till!

Conservation agriculture aims to build a living and fertile soil through the use of three major principles : simplified tillage or very simplified tillage (direct sowing), the use of cover crop and a rotation as diverse as possible. Although the latter pillar is very often used in organic farming, the two other are much less common and for good reason: in our climates, controlling weeds without using herbicide and tillage seems very difficult. Thus, today in France, conservation agriculture is essentially reserved for so-called "conventional" agriculture, that is to say that which allows use of synthetic products. The objective of my study is to go and see in the world the agricultural systems that have managed to combine these two types of production mode, to study the reasons for their success and to see what are the possible adaptations in France.

I've been able to visit organic no till fields in United-states, Brazil and Argentina. Given the size of the farms in those three countries, no till technics remains an important solution to make organic farming profitable. Most often in those countries, no-till is used to plant corn in a cover crop of a legume (hairy vetch), or a soybean crop in a cover of rye. The two cover crops are destroyed at the time of sowing by using a roller crimper. Direct sowing of soybeans in a rye canopy is undoubtedly the most mastered route today in direct sowing under plant cover in the organic world. In the United States soybean yields equivalent to traditional organic practices can be obtained (see below).

However, organic no till corn is more difficult. It seems well adapted to the pedoclimatic conditions of Pennsylvania.

In Europe, organic no till is very rare, as the farms being smaller it is necessary to maximize the income per hectare, the tillage is therefore more employed. I had therefore visited farms that were using shallow tillage, especially in France and Germany, with excellent results on soil protection against erosion and production of

organic matter. It is possible to make lively soil and regenerative agriculture even using some tillage in the rotation.

I detail in this report a partial overview of the technical elements to take into account to make organic-no till possible, and I describe also experience of many farmers on this subject.

SOMMAIRE

Table des matières

SOMMAIRE.....	Ø
1 Présentation de l'auteur.....	2
2 Choix du sujet.....	3
3 Présentation de l'étude.....	4
A Définition de l'Agriculture Biologique de Conservation (ABC).....	4
A.1 Agriculture de conservation.....	4
A.2. Agriculture biologique	6
A. 3. Objectif de l'étude : l'ABC.....	7
B. Raison de mes visites : où suis-je partie et pourquoi ?.....	8
4. Expériences de semis direct sous couvert bio sur le continent américain.....	9
A. Etats-Unis.....	9
A. 1 Du côté des instituts de recherche.....	9
A.2. Du côté des agriculteurs.....	25
B. Argentine.....	38
B. 1 . Contexte.....	38
B.2. Expériences de semis direct AB du côté de Buenos aires.....	39
C. Brésil.....	44
C.1 Gebana : le commerce équitable pour développer l'ABC - de nombreux essais en couverts végétaux tropicaux.....	45
C.2 Genesio Filipini : Des doubles couverts pour réussir les semis direct de soja et de maïs.....	47
5. Agriculture biologique de conservation et TCS.....	50
A. Savoir travailler avec des résidus sur le sol.....	50
B. Travail du sol à la fraise : de plus en plus d'adeptes en ABC.....	50
C. Désherbage curatif mécanique adapté aux résidus.....	54
C. 1. Désherbage entre les rangs de la culture.....	54

C.2. Désherbage sur le rang.....	60
C. 3. Désherbage préventif par les plantes : l'occupation du sol par des plantes d'intérêt pour contrôler les adventices.....	62
D.1. Les herbicides naturels : une réglementation bio européenne à faire changer?.....	63
D.2 Les huiles.....	64
D. 3 Les herbicides minéraux.....	66
D.3. Les micro-ondes.....	68
D.4 Le désherbage électrique.....	69
E. Utilisation de l'élevage pour faciliter les systèmes ABC.....	71
F. Biostimulants pour favoriser la santé des cultures.....	75
Conclusion.....	78
Références bibliographiques.....	80

Avis au lecteur

Les opinions exprimées dans ce rapport n'engagent que l'auteur et non nécessairement ceux de Nuffield France, ni de Nuffield International ou encore des sponsors ayant soutenus le financement de cette étude.

Ce rapport n'est en aucun cas un rapport académique, mais se veut un rapport « *d'expériences* » du boursier sur sa thématique.

Les lecteurs sont appelés à faire preuve de discernement dans l'évaluation de la pertinence et de l'exactitude du contenu de cette publication.

Nuffield France et l'auteur ne seront pas responsables des pertes, dommages, coûts ou dépenses encourus du fait de l'utilisation ou de la fiabilité des informations contenues dans cette publication. Les produits peuvent être identifiés par des noms de marque ou des appellations commerciales afin d'aider les lecteurs à identifier des types de produits particuliers, mais il ne s'agit ni d'une approbation ni d'une recommandation d'un produit ou d'un fabricant auquel il est fait référence. D'autres produits peuvent fonctionner aussi bien ou mieux que ceux spécifiquement mentionnés.

Cette publication est sous copyright. Cependant, Nuffield France encourage une large diffusion de ses recherches, à condition que l'organisation et l'auteur soient clairement reconnus. Pour toute question concernant la reproduction ou la reconnaissance, contactez le bureau à l'adresse association@nuffieldfrance.fr.

Coordonnées

Maxime Barbier

Adresse : Mont-héron 72320 Saint Ulphace

Courriel : barbier.maxime@gmail.com

Téléphone : +33 (0)6.68.53.23.27

Facebook : maxime barbier

« La forêt précède les peuples civilisés, les déserts les suivent »
Chateaubriand (1768-1848).

REMERCIEMENTS

Je tiens à exprimer ma gratitude à l'ensemble de l'équipe de Nuffield France, Nuffield International et nos sponsors, qui par leur énergie, leur temps, leur adhésion au réseau, m'ont permis de vivre l'aventure Nuffield.

Je tiens également à remercier le jury 2017 France et UK pour avoir sélectionné Yolène Pagès et Stéphanie Chanfreau qui se sont révélés de supers compagnons Nuffield, et une bénédiction pour le réseau Nuffield France de par le temps et l'énergie qu'elles dépensent pour faire vivre ce réseau.

J'adresse bien sûr mes remerciements à toutes les personnes rencontrées lors de mes voyages mais aussi aux personnes qui m'ont aidé à établir des contacts dans les pays visités. La liste est longue je ne les citerai pas ici mais ils se reconnaîtront.

Merci encore à vous tous!!

1 Présentation de l'auteur



Je suis depuis 2017 chef de culture en maraîchage bio dans le perche sarthois, sur une structure de type microferme (<0,5 ha). Je m'occupe aussi de la partie céréale bio de la ferme céréalière de ma mère (20 ha). Après un master en biologie végétale et un diplôme d'ingénieur des travaux agricoles obtenu à l'ENITA de Clermont-Ferrand (dorénavant VetAgro Sup) fin 2007, j'ai travaillé dans différents secteurs agricoles. Tout d'abord pour la société Isagri en tant qu'ingénieur commercial pendant 3 ans (vente d'outils informatiques pour l'agriculture).

J'ai passé ensuite un an au Vietnam pour une entreprise de commerce équitable en tant que chargé de projet. J'y ai œuvré pour la mise en place de techniques rizicoles « écologiquement intensives » : système de riziculture intensive (SRI) et système intégré riz - canard - azolla.

En 2013, j'ai commencé une carrière de journaliste agricole. Après avoir démarré pour le groupe ATC (Cultivar, TCS) puis en « free-lance » quelques mois, j'ai ensuite travaillé pour Perspectives Agricoles, le magazine d'Arvalis - institut du végétal. Actuellement, en parallèle de mon activité de maraîcher, je suis encore occasionnellement pigiste pour ma revue préféré : TCS.

C'est en effet grâce au magazine TCS que j'ai été piqué par le virus de l'agriculture de conservation.

Convaincu depuis mon adolescence aux vertus de l'agriculture biologique, c'est donc tout naturellement que j'ai voulu étudier les systèmes qui mélangeaient à la fois agriculture de conservation et agriculture biologique.

2 Choix du sujet

Je suis actuellement à l'étude de la conversion d'une partie de l'exploitation familiale céréalière en agriculture biologique. Après les nombreuses visites d'exploitations que j'ai pu effectuer jusqu'ici, je me pose encore cependant des questions eu égard à ce type de mode de production : travail de sol qui peut parfois être intense (plusieurs hersages, binages, etc...), consommation de fuel à l'hectare élevé, sols souvent laissés à nu pendant l'interculture, période généralement réservée aux façons culturales qui visent à réduire la pression des adventices (travail profond pour « extirper » les « mauvaises » herbes, faux semis,...). J'observe le même type de constat en maraîchage biologique, où le sol peut parfois être encore perçu comme simple « support » : passage du cultivar systématique sur chaque parcelle, rotation intense qui empêche l'utilisation des couverts végétaux. L'agriculture de conservation vise la construction d'un sol vivant et fertile via l'utilisation de trois principes majeurs : le travail du sol simplifié (TCS) voire très simplifié (semis direct), l'utilisation de couverts végétaux améliorant la fertilité des sols, une rotation la plus diversifiée possible. Bien que ce dernier pilier soit très souvent utilisé en culture biologique, les deux autres le sont beaucoup moins voire pas du tout et pour cause : sous nos climats, contrôler les adventices sans l'usage d'herbicide et de la charrue semble très difficile. Ainsi, aujourd'hui en France, l'agriculture de conservation est majoritairement réservée à l'agriculture dite « conventionnelle », c'est-à-dire celle qui autorise l'utilisation de produits de synthèse, avec des résultats sur la vie des sols très probants. L'objectif de mon étude est d'aller voir dans le monde les systèmes agricoles qui ont su combiner ces deux types de mode de production, d'étudier les raisons de leur succès et de voir quelles sont les adaptations possibles dans les conditions hexagonales.

3 Présentation de l'étude

A Définition de l'Agriculture Biologique de Conservation (ABC)

A.1 Agriculture de conservation

L'agriculture de conservation des sols (AC) place le sol au cœur du système de production et s'appuie sur 3 piliers complémentaires : la couverture permanente du sol, le non travail du sol, et une diversité de rotation des cultures (figure 1).

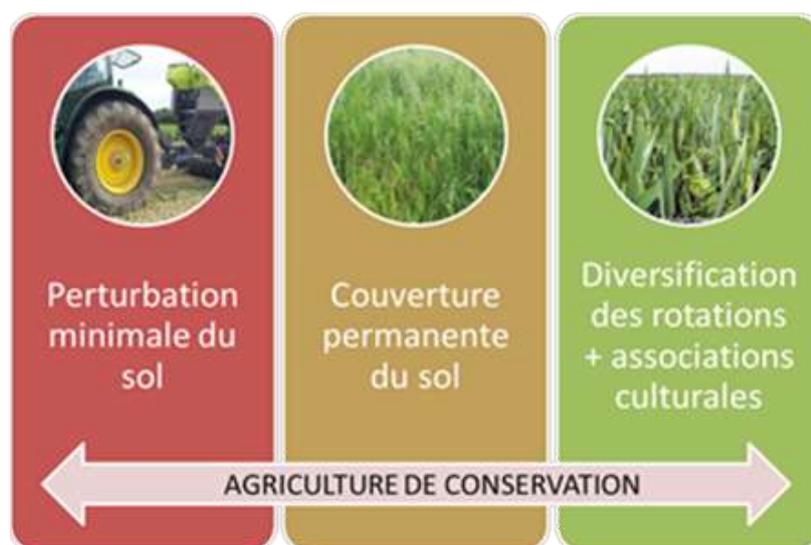


Figure 1 : schéma simplifié des principes de l'agriculture de conservation.

Le fait que le sol soit maintenu toujours couvert implique le maintien des résidus de culture en surface et l'implantation de couverts végétaux durant l'interculture. Le couvert végétal exerce des fonctions multiples parmi lesquelles la structuration du sol grâce au réseau racinaire, le recyclage des éléments minéraux et le développement de la biodiversité aérienne et souterraine en fournissant le gîte et l'alimentation des espèces présentes. L'objectif est de limiter au strict minimum (TCS voire SD) la perturbation de l'activité biologique lors du dépôt de la semence dans le sol, de favoriser la porosité verticale naturelle du sol et d'augmenter le taux de matière organique. Il ne suffit cependant pas de stocker de la matière organique pour augmenter la fertilité des sols : les sols de marais sont très riches en matières organiques immobilisées mais ne sont pas fertiles. Il faut parvenir à développer une structure biologique organisée et performante, capable d'assurer le recyclage de la biomasse produite afin que les cultures suivantes en bénéficient : c'est ce qui est généralement appelé le « volant d'autofertilité ». Ainsi, la fertilité « autonome » du sol est moins l'expression d'un stock important de matières organiques inertes que le résultat de sa circulation dans le réseau trophique

(alimentaire) du sol. Ce sont la rapidité et le volume des échanges de matière organique et minérale entre les êtres vivants (par des relations de prédation mais également de coopération) qui déterminent le niveau de fertilité. La diversité de l'écosystème devient alors une garantie de fourniture de la totalité des éléments au moment opportun. Les éléments fournis par l'écosystème sont plus « efficaces » en termes de nutrition.

Les systèmes « sans travail du sol » ont été définis comme l'ensemble des opérations culturales qui laissent au moins 30 % des résidus de l'ancienne culture à la surface du sol après le semis. Ils correspondent aux techniques sans labour. Différents degrés de travail du sol léger existent (figure 2). Son expression dans sa forme la plus aboutie est le semis direct sous couvert, qui a émergé au Brésil et fait partie des techniques culturales (TCSL) sans labour qui se sont développées aux Etats-Unis dans les années 1930 à la suite d'une catastrophe écologique (le dust bowl).

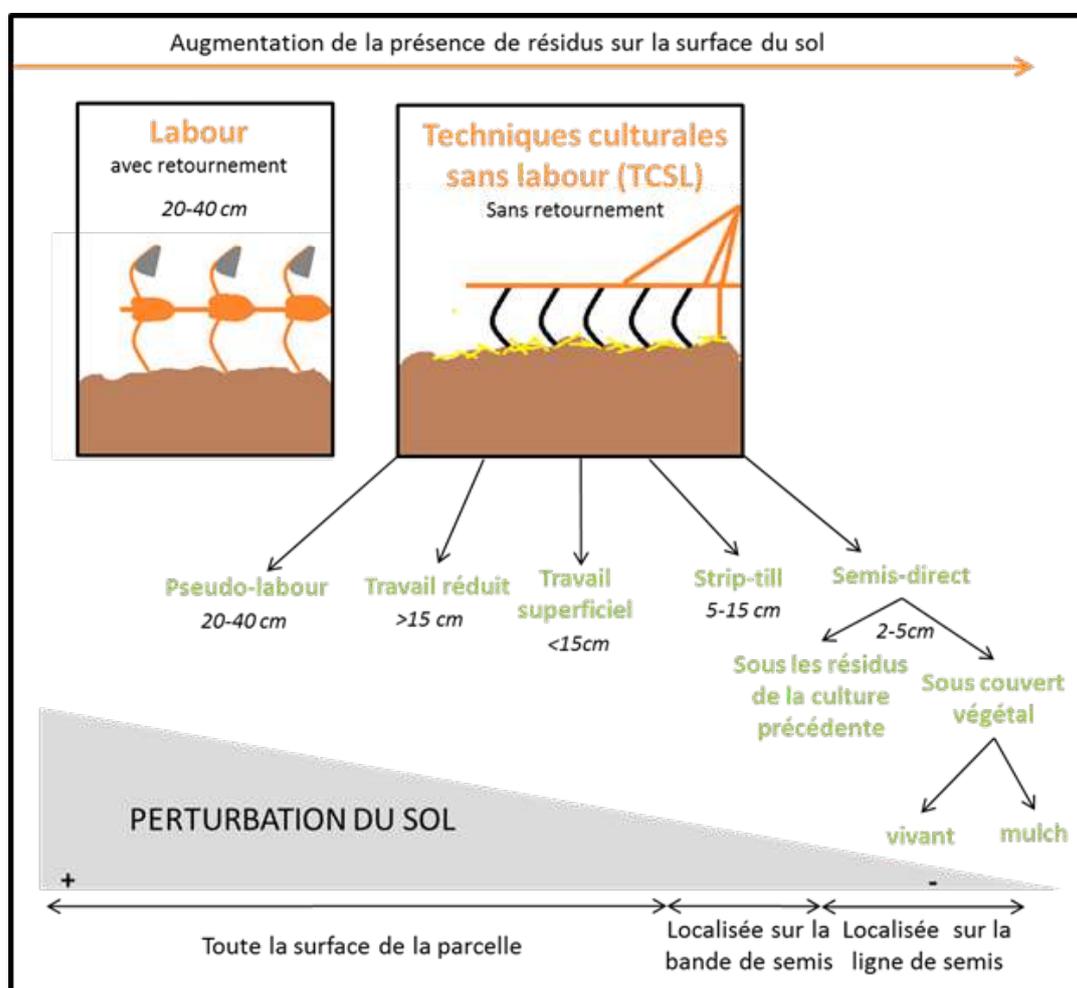


Figure 2 : Représentation schématique des différentes techniques de travail du sol.

La restitution de tous les résidus de récolte à la surface du sol constitue un point fondamental. Cette pratique agronomique permet de protéger le sol du soleil, du

vent et de la pluie. Les premières améliorations apparaissent à partir de 30 % de taux de couverture. Les résidus de récolte, en complément des couverts végétaux, vont assurer la couverture permanente du sol et permettre l'alimentation en continu de l'activité biologique si les habitats sont préservés (absence de destruction par le travail du sol). La diversité et la rotation des cultures la plus diversifiée possible s'inscrit dans cette démarche. Elle permet de nourrir une plus grande diversité de micro-organismes du sol, une meilleure gestion des adventices et de réduire la pression des maladies présentes sur les cultures. Les conditions de recréation des équilibres biologiques pour développer des écosystèmes agricoles performants sont réunies.

Bénéfices	Limites
- Sol vivant : meilleur fertilité, cultures plus saines, moins de maladie (réduction fongicides, insecticides, engrais)	- Usage encore significatif de produits phytosanitaire (notamment engrais azoté et herbicide)
- Moins d'heure de travail, moins d'usure de matériel	- Semoir spécifique lourd et coûteux
- Baisse des émissions de gaz à effet de serre	- Grande technicité et besoin de plus de réactivité
- Besoin de moins de main-d'œuvre à l'hectare	- Besoin de moins de main-d'œuvre à l'hectare
- Meilleur rentabilité	

Tableau 1 : Liste non-exhaustive et simplifiée des principaux avantages et limites de l'agriculture de conservation comparée à une agriculture conventionnelle dite « classique » (labour, sol nu sans résidus, rotation peu diversifiée, etc...)

A.2. Agriculture biologique

L'agriculture biologique est une méthode de production agricole qui exclut le recours à la plupart des produits chimiques de synthèse : pesticides de synthèse, engrais azotés. La fertilisation du sol et la protection des plantes doivent donc être assurées par d'autres méthodes. La rotation des cultures la plus diversifiée est déjà un levier très important utilisé pour répondre à cet enjeu avec l'introduction de légumineuses dans les rotations, voire de jachère. Des pesticides sont quand même utilisés pour gérer les organismes nuisibles mais ils sont non issu de l'industrie de synthèse : cuivre, soufre, phosphate ferrique, produits de biocontrôle...

Le gros challenge de ce type d'agriculture, outre la question de la fertilité, est la gestion des adventices, maîtrisé en premier lieu par la rotation la plus diversifiée possible (alternance de culture de printemps, d'hiver, d'été...) mais aussi par le travail du sol. Le labour est encore majoritairement utilisé car très efficace, surtout dans les systèmes céréaliers sans élevage et donc sans prairies,

notamment sur certaines graminées. De nombreux passages, faisant appel à des outils divers : herse étrille, bineuse, roto-étrille, houe rotative, sont souvent nécessaires et implique érosion du sol, consommation de gazoil, heures de travail... Ce type d'outil nécessite en général un sol qui ne soit pas recouvert de résidus au sol, donc nu, tout du moins, entre les lignes de cultures. Malgré les bénéfices apportés par le semis direct au niveau de la fertilité des sols, la gestion des adventices reste donc un problème majeur qui conduit souvent à l'application de produits herbicides en agriculture conventionnelle. Le semis direct sous un couvert végétal (SDSC) en bio pourrait constituer une solution pour gérer les adventices. Cette stratégie consiste à associer la technique du semis direct (SD) avec un couvert végétal. Celui-ci sera laissé vivant ou détruit avant le semis de la culture sans travail du sol. Cette technique permettrait de réduire le nombre de désherbage mécanique minimisant ainsi les phénomènes d'érosion, de ruissellement, etc.

Bénéfices	Limites
- Pas de résidus de produits de synthèse qui se retrouve au robinet (car non reconnu par la vie des sols)	- Usage encore d'intrants, dont certains nocifs pour l'environnement (Cuivre, Soufre)
- Des produits normalement plus sains	- Sol très travaillé pour contrôle des adventices : érosion des sols! → Empêche d'atteindre le volant d'autofertilité
- Baisse des émissions de gaz à effet de serre	- Grande technicité et besoin de plus de réactivité
- Economique + si bonne maîtrise technique et bons débouchés	- Beaucoup d'heure de travail par ha, plus d'usure de matériel, moins de rendement : entre 10 et 60 % en moyenne

Tableau 2 : Liste non exhaustive et simplifiée des principaux avantages et limites de l'agriculture biologique comparée à une agriculture dite conventionnelle. (en rouge : limite majeure)

A. 3. Objectif de l'étude : l'ABC

L'objectif de mon étude est d'aller voir dans le monde les systèmes agricoles qui ont su combiner ces deux types de mode de production, d'étudier les raisons de leur succès et de voir quelles sont les adaptations possibles dans les conditions

hexagonales. La combinaison de ces deux modes de production doit permettre d'enlever tous leurs inconvénients et de ne garder que leurs points bénéfiques. Le mix des deux doit nous permettre de valoriser au maximum les services écosystémiques pour produire « plus » avec « moins ». Réussir à faire du semis direct en agriculture biologique correspond en quelque sorte à une quête du « Graal », une étape de plus vers la construction de systèmes agricoles plus productifs et plus économes en intrants. C'est au cœur des enjeux actuels d'une agriculture durable, dans un contexte de réduction des ressources non renouvelables : pétrole, phosphore, etc... et de hausse des émissions des taux de CO2 issu de l'activité humaine. En stockant le carbone de l'air dans le sol, en adoptant les pratiques adéquates, l'agriculteur doit être un acteur majeur pour faire partie de la solution de cette problématique mondiale.

Nous allons dans ce rapport nous attacher à regarder l'adaptation des deux premiers piliers de l'AC en AB, à savoir la réduction du travail du sol et la couverture permanente des sols.

En effet, le 3e pilier, la rotation des cultures est déjà un levier très utilisé en AB. Les deux autres le sont beaucoup moins voire pas du tout et pour cause : sous nos climats, contrôler les adventices sans l'usage d'herbicide et de la charrue semble très difficile. Ainsi, aujourd'hui en France, l'agriculture de conservation est essentiellement réservée à l'agriculture dite « conventionnelle », c'est-à-dire celle qui autorise l'utilisation de produits de synthèse, avec des résultats sur la vie des sols très probants. Pourtant, les choses bougent rapidement, c'est ce que nous allons voir dans ce rapport. L'ABC existe déjà, même si elle rencontre encore de nombreux verrous techniques.

B. Raison de mes visites : où suis-je partie et pourquoi ?

Comme dit précédemment, différents degrés de travail du sol léger existent (figure 2) en agriculture de conservation. Son expression dans sa forme la plus aboutie est le semis direct sous couvert, qui a émergé au Brésil et fait partie des techniques culturales (TCSL) sans labour qui se sont développées aux Etats-Unis dans les années 1930. C'est donc tout naturellement que je me suis rendu dans ces deux pays pour y rencontrer des personnes pratiquant l'ABC. L'Argentine étant aussi un grand pays d'agriculture de conservation et voisin du Brésil, je m'y suis rendu pour aller y rencontrer un groupe ABC très dynamique. Vu la taille des exploitations dans ces trois pays, le semis direct sous couvert reste la seule solution où presque pour rendre les systèmes AB viables.

En Europe, les systèmes en semis direct sous couvert en AB sont très rares, les exploitations étant plus petites il faut maximiser le revenu par hectare, le travail du sol est donc plus employé pour assurer les rendements.

Pour cette raison, j'ai donc été visité des exploitations plutôt en TCSL, notamment en France et en Allemagne.

4. Expériences de semis direct sous couvert bio sur le continent américain

A. Etats-Unis

A. I Du côté des instituts de recherche

- Le rodale institute -
Pennsylvanie

Les techniques d'AC en AB ont donc été largement vulgarisées dans le monde par le travail du Rodale institute aux Etats-unis, en Pennsylvanie. Je me suis donc rendu aux Etats-unis à la rencontre de Jeff Moyer, qui a été le directeur de l'institut pendant 28 ans, et chef de file des recherches en ABC.



Jeff Moyer lors de ma visite au Rodale institute en octobre 2018

Le Rodale Institute est un organisme américain à but non lucratif qui soutient la recherche en agriculture biologique. L'Institut a été fondé en 1947. Dans son livre intitulé « organic no till » publié en 2011, Jeff Moyer détail les expérimentations ainsi que des clés pour introduire le semis direct en AB dans les conditions d'Amérique du Nord.

Dans les successions culturales mises en places par l'institut, le semis direct est utilisé pour implanter du maïs dans un couvert végétal de vesce velue, ou une

culture de soja dans un couvert de seigle. Les deux couverts sont détruits au moment du semis par l'utilisation d'un rouleau « cranteur » (roller crimper).

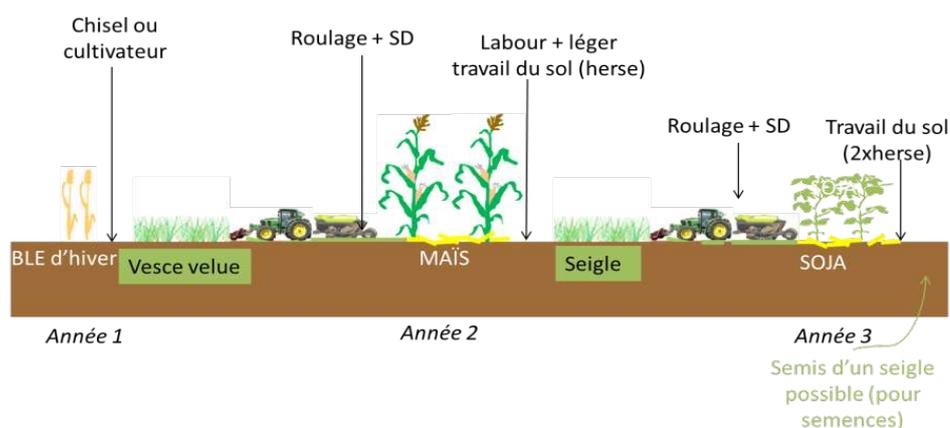


Figure 3 : Rotation culturale sur 3 ans construite par le Rodale Institute en Pennsylvanie (Etats-Unis). Après maïs, il n'est pas toujours besoin de travailler le sol si la culture est propre, rendant possible la mise en place de deux cultures de suite sans aucun travail de sol.

Il faut noter que dans ce système, un travail du sol, qui peut aller jusqu'à 20 cm (travail type chisel ou labour) est quand même toujours présent pour assurer l'implantation optimum du couvert végétal. Sa bonne mise en place est en effet fondamental : il doit être implanté tôt (si possible en septembre pour un semis de la culture suivante en mai-juin de l'année suivante), afin d'allonger la période de croissance du couvert et avoir une implantation rapide et homogène. L'objectif est en effet la production d'un maximum de matière sèche pour couvrir rapidement la surface du sol. Une biomasse de plus de 9 000 kg MS/ha est recommandée. Le seigle est un bon candidat pour se faire, puisqu'il présente aussi un effet allélopathique intéressant pour le contrôle des adventices. D'autres espèces comme l'avoine, le sorgho, ou l'orge présenteraient aussi un tel pouvoir. Lors de notre rencontre, Jeff me confiait que l'orge serait un candidat intéressant pour ce type d'itinéraire, car sa floraison est plus précoce que le seigle. Il faudrait aller rechercher du côté des variétés anciennes, plus buissonnantes et faisant plus de biomasses que les variétés actuelles.

Afin d'augmenter le pouvoir concurrentiel du couvert végétal en optimisant sa biomasse, la densité du semis peut être augmentée. Aux Etats-Unis, une bonne maîtrise des adventices par le couvert a été obtenue avec des densités de semis allant jusqu'à 200 kg/ha de seigle. Le semis direct de soja dans un couvert de seigle est aujourd'hui sans aucun doute l'itinéraire le plus maîtrisé aujourd'hui en

semis direct sous couvert végétal dans le monde en AB. Aux Etats-Unis des rendements de soja équivalents à des pratiques traditionnelles en AB peuvent être obtenus (voir ci-après).

Le semis direct de maïs dans le couvert de vesce velue rencontre néanmoins plus de difficultés. Il semble bien adapté aux conditions pédoclimatiques de Pennsylvanie. La période de floraison et de destruction optimale au rouleau fut plus tardive de la vesce ainsi que le ralentissement au départ du maïs rendant l'itinéraire plus aléatoire dans les autres états que j'ai pu visité (Wisconsin, Iowa) dans ce pays, mais aussi en Europe (voir ci-après). Il faut noter que l'institut a entrepris des essais de destruction au brûleur thermique afin de pouvoir détruire plus tôt la vesce, qui s'annonce prometteur, même si le salissement a été supérieur dans la culture de maïs dans les premiers essais. Une technique encore à peaufiner.

La présence de graines dormantes (environ 10 %), peut faire devenir la vesce velue comme une redoutable adventice pour les cultures suivantes, puisque son cycle correspond à celui du blé notamment. Jeff me parlait d'agriculteurs qui essayaient différentes techniques (scarification des graines, traitement au froid), pour réduire la proportion de ces graines dormantes.

Le rodale Institute a travaillé avec un semencier américain pour créer une variété qui arrive à floraison 15 jours plus tôt, la "purple bounty", très adapté aux conditions de Pennsylvanie. Jeff Moyer insiste sur la nécessité et le rôle important qu'à l'agriculteur pour initier et mettre en place des partenariats avec les semenciers pour créer des variétés adaptés à ce type de techniques.

J'ai bien aimé son discours pragmatique, qui ne diabolise pas non plus le travail du sol. *"Le travail du sol n'est pas l'ennemi, c'est la manière et le moment où l'on l'utilise qui peuvent être préjudiciable. Le travail du sol est un outil. Je le compare souvent à un marteau, qui peut servir à la fois à construire n'importe quel objet, mais aussi à le détruire en quelques secondes. Il est possible d'augmenter la fertilité des sols et les taux de matière organique avec un travail du sol une fois de temps en temps. Le plus important est de toujours avoir des racines vivantes 12 mois de l'année pour nourrir la vie du sol. Évidemment, le jour où nous travaillons le sol c'est un mauvais jour pour la vie du sol, mais nous ne détruisons pas tout. Les pesticides et les engrais de synthèses détruisent aussi la vie du sol, il n'y a pas d'outil parfait. Mais si à côté, nous fournissons de*

la nourriture à cette vie via les couverts végétaux, via la restitution d'apports organiques comme du compost, une année sur 5 par exemple, pour imiter le retour des feuilles au sol dans une forêt, et si nous arrivons à laisser tranquille tout ce petit monde pendant 1, 2 à 3 ans, le bilan reste très positif. Réintroduire de l'élevage est encore un plus. Nous faisons peut être un pas en arrière le jour où nous travaillons nos sols, mais à côté de ça, nous faisons 4 pas en avant avec le reste de nos pratiques", me disait Jeff lors de notre entretien.

Il m'a notamment parlé d'études réalisées au sein de l'institut démontrant que les systèmes en ABC, même avec un travail du sol occasionnel, séquestraient plus de carbone que certains systèmes en semis direct conventionnel, notamment ceux qui n'utilisent que peu de couverts végétaux. Ce travail fait écho à d'autres études de par le monde (Cooper and al, mémoire de Joséphine Peigner, méta-analyses d'Arvalis... voir en annexe bibliographie) qui montrent que le travail du sol n'est pas le facteur qui influe le plus sur le stockage du carbone dans le sol. C'est la quantité des restitutions organiques qui est le paramètre le plus important pour augmenter les taux de matière organique des sols, par la conservation des pailles, l'apport de matière organique exogène, l'utilisation des couverts végétaux, etc...

Selon lui, il est aussi très intéressant que la matière organique soit mélangé au sol sur 20 cm et non pas disposé à la surface uniquement, afin de le rendre plus stable. *"Il y a de nombreuses formes de carbone. Vous êtes fait de carbone mais un meuble de salle à manger est aussi fait de carbone. Il n'y a pourtant qu'une seule lettre C dans le tableau périodique des éléments. Il y a de nombreux isotopes du carbone : le C¹⁴, C¹², C¹³, C²⁰. Le C¹¹ n'a qu'une vie de quelques millisecondes alors que le C¹² peut durer plusieurs milliers d'année. L'important est de stocker du carbone dans le sol qui soit suffisamment stable pour ne pas "brûler" le jour où vous travaillez le sol. Lorsqu'il est mélangé dans le sol à une certaine profondeur, il est en effet digéré par des microorganismes qui l'organise de manière plus stable, il peut être aussi enkysté par des champignons, il s'agit alors de carbone très dur. Lorsqu'il est laissé en surface, il est plus sujet à être volatilisé dans l'air le jour où un travail du sol est entrepris, ou même dans la ligne de semis ou dans les bandes travaillées d'un strip-till par exemple. C'est comme allumer une allumette sur une feuille de papier, elle va prendre feu immédiatement. Stocker en profondeur, le carbone est plus comparable à un meuble en bois massif, il est beaucoup plus difficile de le brûler",* précisait Jeff.

Enfin, il faut noter que l'élevage est de plus en plus introduit dans le système du Rodale, puisque désormais l'institut fait tourner un troupeau de bovin sur la moitié des terres. *“L'élevage rend les choses beaucoup plus faciles. L'introduction de plantes vivaces avec leurs racines très structurantes, et la déjection de micro-organismes bénéfiques par les animaux rend les sols plus fertiles plus vite. Beaucoup d'agriculteurs me disent que leur terre sont trop “bonnes” pour accueillir de la prairie, que ce n'est pas intéressant économiquement. Après 3 ans de prairie pourtant les cultures sont bien plus propres et plus productives, ce qui permet de rattraper le manque à gagner. Il est possible d'avoir les bénéfices de l'élevage sans être éleveur, car de plus en plus d'agriculteurs accueillent des animaux d'éleveurs voisins qui recherchent du fourrage. Ils se mettent d'accord sur des montants autour de 1,5 à 1,75 dollars par animal et par jour de pâturage. C'est un moyen de mieux valoriser ces surfaces et tout le monde est gagnant.”*, concluait Jeff.

• Erin Silva – Université du Wisconsin : des itinéraires en SDCV bien rodés

J'ai continué mon chemin dans le Wisconsin et y ai rencontré Erin Sylva et son équipe, en particulier Léa Vereecke, assistante de recherche française de Erin, qui m'a bien aidé à planifier mon séjour dans ce secteur.

Silva, professeur à l'université du Wisconsin, réalise depuis de nombreuses années des essais en SDCV dans des systèmes bio. Les parcelles d'essai que j'ai pu visiter sur sa station de recherche étaient riches d'informations et permettent d'appréhender certains points à prendre en compte en semis direct sous couvert bio. Certaines parcelles que j'ai vu de soja dans du seigle roulé étaient très propre et prometteuses. Il faut signaler que les terres limoneuses sont riches en matière organique (3,5 à 4 %). Le sol répond donc bien à la mise en place de couvert végétaux ligneux comme du seigle.



Léa Vereecke (gauche) et Erin Sylva (droite) lors de ma visite dans le Wisconsin.

Le labour n'est jamais utilisé dans leur itinéraire, seul un travail superficiel (outil à dents ou à disque de 10 à 20 cm de profondeur) est effectué pour mettre en place les couverts. Le seigle arrive assez tôt à floraison (début juin) pour pouvoir y planter le soja dans de bonnes conditions. Cette date est plus tardive que la date « normale » d'implantation de soja bio dans la région.. Le maïs est récolté très tôt pour ensilage pour permettre d'implanter le seigle avant le 5 octobre ce qui est une très forte contrainte dans ce système.

La vesce velue arrive au stade floraison optimale autour du 20 juin, ce qui est trop tard. La variété précoce Purple Bounty arrive au stade floraison fin mai, mais elle n'est pas assez résistante au climat hivernal continental froid et sec du Wisconsin (température moyenne négative de décembre à février (les étés y sont chauds et humides). Ici, l'itinéraire maïs en SDCV est encore en phase de rodage, et il est encore trop hâtif de faire des recommandations pour l'itinéraire technique de cette culture dans le Wisconsin. En remplacement de la vesce, des essais ont été effectués avec du pois d'hiver (variétés lynx et austrian) qui permettaient une bonne couverture du sol et une destruction facile au rouleau. Le pois est aussi plus précoce que la vesce à floraison, autorisant un semis de maïs dans de bonnes conditions. L'inconvénient est que le pois peut geler du fait des hivers rigoureux du Wisconsin. Il est ainsi testé en mélange avec du seigle qui doit l'aider à passer l'hiver et lui servir de protection contre les basses températures. Malheureusement le pois n'est pas assez résistant au gel et les résultats ont montré qu'il n'était pas assez efficace sur la gestion des adventices (C/N trop bas = décomposition trop rapide du mulch).

Des essais ont aussi été réalisés de maïs dans du seigle maïs avec des résultats mitigés. L'équipe d'Erin ne le recommande pas d'autant plus qu'ils ont des ravageurs en commun (army worm), et la compétition sur l'azote peut être rude. Des essais ont aussi été réalisés dans un couvert de trèfle violet en passant le strip-till. Des résultats là aussi mitigés mais ce couvert possède un beau potentiel. De plus, il peut s'implanter avec une céréale (blé) au préalable ce qui est très pratique.

Dans les essais de soja en SDCV que j'ai visités, de nombreux paramètres ont été testés. Notamment différents types de graminées. Les résultats ont démontré que le seigle était le plus efficace en termes de gestion du salissement, devant le triticales (floraison plus tardive d'une semaine que le seigle) puis le blé (plus tardif d'une semaine au triticales). Un inconvénient de cette technique que j'ai pu voir dans de nombreuses parcelles concerne les repousses de seigle pendant le cycle de culture du soja. *« Dans de rare cas, le seigle est mal terminé et il se redresse. Plus souvent, le stress infligé au seigle pendant le semis du soja et le roulage stimule la croissances de nouvelles talles. On ne sait pas encore si ces talles produites très tardivement produisent des semences viables. Après roulage, le seigle continue sa maturation. De ce fait, il peut produire des semences viables qui parfois germent en fin d'été (surtout pour le triticales) ou germent après récolte et labour de la parcelle ce qui contamine la parcelle pour l'année suivante – gros soucis si le seigle est suivi par du blé. Pour limiter ce phénomène, il semblerait qu'attendre un peu plus longtemps pour rouler pourrait être avantageux – un peu après la floraison, quand le seigle est au stade « jeune grain laiteux » - car le seigle est alors plus facilement terminé et continue à maturer moins longtemps après roulage. C'est une tendance à confirmer.»* précise Léa Vereecke. L'essai ici portait sur deux facteurs principaux: date de semis et type de couvert végétal. Une date de semis précoce était testée dans le couvert au stade juste avant épiaison, sans rouler, puis roulage environ deux semaines plus tard à la floraison. Et une date de semis plus "tardive", dans le couvert roulé à floraison (variétés de couverts testés : seigle Spooner et Aroostook, triticales NE426GT, Blé Emerson).

Les résultats ont montré que les parcelles plantées tôt étaient plus enherbées que celles plantées tard. Les parcelles avec du seigle avaient l'enherbement le plus faible, plus particulièrement sur le rang. Le triticales avait le plus d'adventices.

Dans les parcelles implantées tôt, deux écartements ont été testés : 18 cm (au semoir à céréale) et 75 cm (au semoir de précision). Les sojas implantées au semoir à céréale étaient plus trapus, plus buissonnant, du fait d'une répartition du semoir moins précise, les plants pouvaient être plus distants sur le rang. Les sojas semés au semoir de précision n'avaient qu'une seule tige.

« Nos recommandations sont de semer 7 millions de graines / ha avant le 5 octobre. Les variétés doivent être adaptées à la région mais les résultats n'indiquent pas d'utiliser une variété plutôt qu'une autre. Le roulage semble être plus efficace à la fin de la floraison - stade grain laiteux jeune. » commente Léa Vereecke.

Il faut noter que le semis et le roulage sont presque toujours réalisés en même temps, avec le roller crimper devant le tracteur et le semoir derrière. Il faut signaler que certains semoirs (équipé de la technologie "zone roller ZRX" un produit de chez "Dawn equipment company") sont équipés de rouleaux entre les éléments semeurs, ce qui permet de s'affranchir de l'attelage du rouleau sur le relevage avant. L'intérêt de ces rouleaux est qu'ils sont équipés de vérins hydrauliques ce qui permet d'appliquer plus de pression par cm². De plus, ils s'adaptent mieux à la topographie du terrain rendant le roulage plus efficace.

La technique d'implantation des couverts végétaux intercalaires est aussi testée au sein de l'institut. Dans ce but, un semoir spécifique a été réalisé avec trois éléments semeurs pour pouvoir planter trois lignes de couvert entre les 75 cm d'écartement des rangs du maïs. Le stade optimal pour cette technique est le stade V 4 ou V 5. Le ray grass annuel, le trèfle rouge et le radis ont été testés. Les deux années d'essai se sont soldées par un faible niveau de développement du couvert du fait des mauvaises conditions météorologiques : trop pluvieuses la première année qui a retardé le semis, bon établissement du couvert la seconde année mais très peu de précipitations et peu de lumière en août. Le couvert avait presque totalement disparu à la récolte du maïs.

C'est aussi l'expérience rencontrée au Rodale Institute où Jeff Moyer m'avait confié rencontrer pas mal de déconvenues avec cette technique. D'où l'importance encore une fois de travailler sur la sélection de variétés de couvert adapté à ce type de pratique, notamment sur le critère "tolérance à l'ombre".

Nul doute que l'on réussira à limiter le côté aléatoire de cette technique avec une génétique adaptée.



Semoir spécifique utilisé par l'équipe d'Erin Silva avec trois éléments semeurs pour pouvoir planter trois lignes de couvert végétaux entre les rangs de maïs (écartement 75 cm).

• Joel Gruver – Université de l'Illinois : l'intégration poussée des couverts

Dans cette même thématique des couverts associés aux cultures et des soja en SDCV, j'ai aussi rencontré Joel Gruver, directeur de recherche en agriculture biologique à l'université de l'Illinois, dans la ville de Macomb. Joel est un enseignant chercheur passionné et passionnant, qui n'a pas hésité à me faire

intervenir auprès de ses étudiants pour parler de l'agriculture de notre pays, ce fut une expérience très enrichissante.



Joel Gruver face à ce magnifique couvert végétal composé de chia -sésame - Okra (gombo) - tournesol -sarrasin- cowpea - cosmos : un régal pour le sol et la biodiversité !

Joel réalise au sein du centre de recherche de l'université des essais en agriculture biologique de conservation depuis 2007. Les sols sont des chernosols de nature limoneuse et argilo-limoneuse, mal drainés, mais sont très riches en matière organiques (5,5 % de MO). Un seul labour a été réalisé en 12 ans. Le travail du sol dans la rotation se résume à du travail superficiel (principalement à une profondeur de 2 à 5 cm avec un outil type déchaumeur à dent, ou 5 à 10 cm avec un rotavator Howard et parfois 15 à 20 cm avec un outil à dent type chisel).

Les principales cultures produites à la ferme expérimentale de l'université sont le maïs, le soja et les céréales d'hiver (avoine et pois ces dernières années, blé d'hiver dans le passé). En plus petites quantités, maïs pop-corn et foin de graminées vivaces sont produits chaque année, ainsi qu'occasionnellement tournesol et citrouille.

Après la récolte des céréales mi-juillet à fin juillet, divers mélanges de couverts de saison chaude gélifs sont plantés (ex: chanvre, tournesol, sésame, chia, niébé, sarrasin, soja, radis, colza, avoine, pois ...). Le colza est la seule culture de couverture de cette liste qui a le potentiel de survivre à l'hiver. La culture suivante est soit du maïs, soit du soja sans labour.

Un travail du sol à 5-10 cm est réalisé au rotavator (fraise à axe horizontal) après une culture ou le couvert végétale d'été pour y implanter le seigle qui servira à implanter le soja en direct une fois roulée au stade floraison.

Depuis 2009, il réalise des essais de semis direct de soja dans du seigle ou du triticale roulé après le stade floraison. Le roulage est réalisé de quelques jours à plus d'une semaine après l'implantation de la culture.

Le soja est implanté sans travail du sol soit avec un semoir à céréale JD 750 avec un écartement de 18 cm entre rangs, soit au semoir monograine JD 1760 avec un écartement de 75 cm.

Les rendements de soja SDCV ont été égaux ou supérieurs aux rendements de soja conventionnels la plupart des années, généralement supérieurs à 40 qx/ha. Les rendements n'ont pas dépassés 25 qx/ha seulement deux années, les deux fois avec une sécheresse extrême. Les saisons où il fait plus sec que la normale au printemps et en été, permettre aux cultures de couverture céréalière comme le seigle et le triticale de fleurir assèche le profil du sol au printemps, ce qui rend la culture de soja plus vulnérable à la sécheresse estivale.

Les précipitations printanières et estivales sont normalement suffisantes en Illinois pour alimenter à la fois un couvert de céréale et le soja semé directement avec une humidité adéquate, mais 1 à 2 ans sur 10 ont été trop secs.

Les températures estivales sont nettement plus chaudes dans l'ouest de l'Illinois que dans le Wisconsin et similaires à une grande partie de la Pennsylvanie, mais les sols de l'ouest de l'Illinois ont tendance à avoir une plus grande capacité de rétention d'eau, montrant bien que chaque technique doit être adaptée à son contexte pédoclimatique et qu'il n'y a pas de recettes toutes faites.

Pour s'adapter à ces conditions, Joel teste l'implantation de couverts associés gélifs et non gélifs : 2 rangées de triticale sont ainsi alternées avec deux rangées d'un mélange avoine-radis (17 cm d'inter-rang). L'idée est d'implanter par la suite le soja dans les rangées d'avoine - radis qui auront été détruites par le gel et qui n'auront pas pomper l'eau au printemps sur la futur ligne de semis. Si l'humidité du sol est adéquate, le soja sera semé au milieu des rangs de triticale pour maximiser la suppression des mauvaises herbes. Si l'humidité du sol est limitée, les graines de soja seront plantées entre les rangées d'avoine / radis

détruites par le gel. En 2019 cependant, le soja n'a jamais pu être planté car les inondations du printemps ont détruit environ 30% du triticales. La biomasse de triticales restée debout a été récoltée dans une partie témoin non inondée du champ qui contenait des parcelles contenant du triticales à 100 % (toutes les rangées de triticales) et des parcelles avec des rangées doubles de triticales alternant avec des rangées jumelles d'avoine et de radis détruites par l'hiver. La biomasse de triticales à deux rangées était d'environ 80% plus élevée par rang que la biomasse totale de triticales. Ce rendement plus élevé par rangée était insuffisant pour compenser entièrement le fait qu'il y avait deux fois moins de rangées de triticales, mais il aurait pu fournir un meilleur contrôle des mauvaises herbes si le soja avait été planté entre les rangées jumelles de triticales. Expérience très intéressante à suivre.

A noter ici aussi dans ces essais de semis direct de soja dans une céréale roulée à floraison que j'ai pu voir en 2018, des repousses de seigle ou de triticales étaient visibles entre les rangs de soja pendant l'été. *“Lors de la saison 2018 nous avons observé une quantité exceptionnelle de triticales (et une quantité beaucoup plus faible de seigle) qui a germé tard dans la saison. La principale raison de la différence de repousse de triticales par rapport au seigle est que le triticales a été beaucoup moins efficacement terminé par le rouleau que le seigle du fait d'une floraison plus tardive, conduisant à une plus grande production de semences de triticales viables qui sont restées en grande partie dormantes en juin et juillet, puis ont commencé à germer après les pluies en août. D'après notre expérience, la céréale précédant le soja en SDCV produit toujours des graines qui restent viables. La quantité qui germe pendant l'été est cependant largement contrôlée par les précipitations estivales. Pendant les étés humides, les graines germent au milieu de l'été mais meurent ensuite principalement sous la canopée dense du soja. Pendant les années sèches, le grain germe plus tard dans l'été et beaucoup plus de plantes vivantes sont présentes lors de la récolte de soja.”*, explique Joel.

Pour le maïs, aucun candidat n'a été trouvé pour remplacer la vesce velue en SDCV.

Le maïs en semis direct n'a été essayé qu'une seule fois. Deux mélanges de couverts ont été plantés en février 2017 pour cela. Il n'est normalement pas possible de faire des travaux sur le terrain aussi tôt en sortie d'hiver, mais le

temps était inhabituellement chaud et sec en février 2017. L'espèce dominante dans un mélange était la vesce grimpanche (65 kg/ha). L'espèce dominante dans l'autre mélange était le pois jaune Admiral (140 kg/ha). Les deux légumineuses dominantes ont été complétées par le mélange suivant : avoine (35 kg/ha), trèfle balansa (2,2 kg/ha), phacélie (1 kg/ha) et caméline (0,8 kg/ha). La moitié de chaque mélange a été détruite par un travail du sol peu profond. Les couverts ont été laissés intacts dans l'autre moitié. Le maïs a été planté avec un semoir JD 1760 la première semaine de juin. La plupart des couverts ont été aplatis en roulant deux fois. Il faisait sec pendant environ 4 semaines après la plantation et la croissance précoce du maïs dans les parcelles sans labour était très lente et ralentie. Lorsqu'il a commencé à pleuvoir en juillet, le maïs des parcelles travaillées étaient deux fois plus développées que le maïs en SD. Avec une humidité adéquate et une application de nitrate chilien (25 kg/ha de N appliqué), le maïs en SD a commencé à pousser rapidement et a fini par pousser presque aussi haut que le maïs dans les parcelles travaillées. La suppression des mauvaises herbes dans les parcelles en SD était cependant insuffisante et une faucheuse poussée a été utilisée pour éliminer les mauvaises herbes entre les rangs. Les rendements des parcelles en SD étaient inférieurs de 20 qx/ha aux rendements des parcelles conventionnelles.

« Il n'est normalement pas possible d'obtenir autant de production de biomasse à partir de couverts plantés au printemps qu'en 2017. Les couverts plantés à l'automne conviennent mieux à une production élevée de biomasse au printemps, mais la liste des légumineuses annuelles d'hiver qui peuvent hiverner de manière fiable dans l'ouest de l'Illinois est courte. La vesce velue est la légumineuse annuelle la plus résistante à l'hiver et la principale espèce utilisée dans la recherche biologique sans labour à d'autres endroits, mais nous ne voulons pas l'utiliser en raison de la proportion de graines dormantes qui peuvent envahir les céréales suivantes. C'est pour cette raison que nous étudions des espèces comme le trèfle Balansa, le trèfle incarnat et les pois d'hiver qui sont moins résistantes à l'hiver cependant. La survie hivernale peut être améliorée par des dates de plantation plus précoces et des cultures associées. » précise Joel.

Le maïs en strip-till a été essayé à plusieurs reprises avec un succès mitigé. Un travail ciblé du sol limité au rang où les cultures seront plantées favorise la germination des mauvaises herbes du rang qui sont difficiles à contrôler et ont

un effet négatif important sur les rendements des cultures. La forme de strip-till qui s'est montrée la plus prometteuse est le tranchage du sommet d'une crête formée par la culture de la saison précédente. Ce processus favorise moins de germination des mauvaises herbes. « *Le bio-strip-till, c'est à dire planter des cultures estivales sur les rangs où des couverts ont été plantés précédemment à l'automne puis détruits par les conditions hivernales est également prometteur.* », rajoute Joel.

A noter que la culture associée de trèfle rouge moyen (ou d'autres trèfles pérennes ou bisannuels) avec des céréales comme le blé d'hiver ou l'avoine de printemps est une pratique traditionnelle aux États-Unis. La graine de trèfle est soit épanchée à la fin de l'hiver dans les céréales d'hiver établies à l'automne (cette pratique est appelée semis sur gel), soit établie de manière synchrone avec les céréales de printemps. Le trèfle fournit normalement peu de concurrence pour la céréale et interfère rarement avec la récolte du grain de céréale. Le trèfle pousse vigoureusement après la récolte du grain de céréale et hiverne de manière fiable. Le travail du sol est utilisé pour éliminer le trèfle, parfois à la fin de l'automne, mais plus souvent l'année suivante au début de mai, quelques semaines avant le semis du maïs.

Dans cette même optique, Joel teste depuis 3 ans la culture associée de maïs avec différents couverts végétaux, notamment une légumineuse : le cowpea ou niébé, *Fabaceae* originaire d'Afrique tropicale. Deux largeurs d'interrangs ont été testées, de 75 cm (largeur normale) et de 150 cm. Dans les deux cas, le nombre de pieds de maïs à l'hectare sont assez similaires : respectivement 75000 pieds/ha .

Deux largeurs d'inter-rang ont été testées en 2018, 75 cm (largeur normale) et 150 cm. Dans les deux cas, des nombres similaires de plants de maïs ont été plantés (70 à 75 000) par hectare. Une ou deux rangées de niébé ont été plantées au milieu de l'inter-rang lorsque le maïs mesurait environ 1 m de haut. Un mélange de petites graines (trèfle rouge, incarnat et mélilot, colza, radis) a été semé en même temps. Ces dernières ne se sont pas établies et n'ont pas bien poussé à cause des pluies limitées, de l'ombre du maïs et des dégâts d'insectes.

Les résultats de l'essai de culture intercalaire de maïs et de niébé 2018 sont prometteurs. Le maïs avec un espacement des rangs de 75 cm a produit plus de

grains (~ 25%) que le maïs avec un espacement des rangs de 150 cm, mais le niébé en culture intercalaire dans les entre rangs plus larges a produit 5-10 fois plus de biomasse. La culture associée du maïs et du niébé n'a pas entraîné de baisse du rendement du maïs.

Dans les parcelles avec un espacement des rangs de maïs de 75 cm, le maïs associé au niébé avait des rendements en grains 4% plus élevés que le maïs sans niébé. *«Cet essai montre que la culture associée du maïs et du niébé peut en fait augmenter les rendements du maïs, même dans des conditions sèches, ce qui était le cas en 2018, mais il est difficile de comprendre pourquoi. La biomasse du niébé dans les entre-rangs de 75 cm était faible (par rapport aux rangées de 150 cm) et il est peu probable que le niébé fixe beaucoup d'azote à l'ombre dense du maïs »*, déclare Joel.



Très belle production de matière sèche de ce couvert intercalaire de niébé entre les rangs de maïs semé avec un inter-rang de 150 cm. Après 3 ans d'essais, les résultats sont très prometteurs « La culture associée du maïs et du niébé peut augmenter les rendements du maïs, même dans des conditions sèches », estime Joel.

Joel fait preuve de grande créativité concernant les choix de couverts végétaux pour ses essais. Lors de ma visite, j'ai pu voir un superbe mélange de chia - sésame - Okra - tournesol -sarrasin- cowpea - cosmos très développé autour de parcelles de maïs. Production de biomasse et abris pour la diversité étaient au rendez vous dans ce magnifique couvert.

En couvert opportuniste, Joel a testé aussi le “penny cress” (cresson) (*Thlaspi arvense*), une adventice sauvage qui a la particularité d’être très agressive sur les autres adventices, et arrive à fleuraison tôt au printemps (fin mars - avril) et produit souvent des graines matures à la mi-mai. C’est une plante annuelle d’hiver qui a la particularité de pouvoir être une culture pour faire de l’huile, mais qui pourrait aussi être utilisé comme couvert. Des sélectionneurs aux États-Unis (y compris l’Université de l’Illinois) et en Europe développent actuellement du cresson comme culture. *« Le cresson crée une concurrence précoce pour les céréales d’hiver, mais n’interfère pas avec la récolte car il mûrit beaucoup plus tôt. La concurrence du cresson dans les céréales peut conduire à certaines réductions de rendement, mais sa croissance compétitive peut également réduire la croissance d’autres mauvaises herbes, à la fois dans les cultures céréalières mais aussi pour les cultures de couverture précédant le soja en SDCV. Il reste à bien évaluer le rapport perte / gain de rendement sur le désherbage qu’une telle plante de couverture pourrait apporter dans nos systèmes »*, précise Joel. Un bel exemple d’adaptation de la flore locale au service des techniques culturales modernes.

A.2. Du côté des agriculteurs

- **Scott Shriver – Illinois :**
100 ha de soja en SDCV bio

Scott Shriver est agriculteur céréalier à Jefferson dans l’état de l’Illinois sur une ferme de 800 ha. Il cultive près de 300 ha en soja, qu’il intègre dans une rotation avec 300 ha maïs et 200 ha de céréales. Sur ces 300 ha de soja, 100 ha sont cultivés en semis direct dans un couvert de seigle roulé au stade floraison. *« Cela fait 3 ans que nous faisons des essais de soja en semis direct et nous avons eu des résultats variables. Quand nous avons été capable d’implanter correctement la graine sans travailler le sol, et lorsque les conditions d’humidité étaient bonnes, nous avons eu les mêmes rendements qu’en soja implanté en travail du sol. Il faut en effet faire attention au seigle qui semble assécher le profil cultural, ce qui peut être néfaste pour le soja. Nous avons pourtant un*

climat tempéré avec 900 mm de pluie annuel qui peut convenir pour ce type de pratique. Cependant, il semble que le timing de ces précipitations est un point fondamental dans la réussite de ces nouveaux systèmes », témoigne Scott.

Scott est convaincu des bénéfices de cette technique, c'est pourquoi il pratique de nombreux essais avec un groupe d'agriculteur local très dynamique appelé "practical farmers of Iowa". Il fait varier de nombreux paramètres pour adapter au mieux cette technique aux conditions pédoclimatiques locales.

Scott a fait notamment divers essais de date de roulage par rapport au semis de la culture. Comme de nombreux agriculteurs, il sème la culture avant le roulage, ce qui facilite le semis puisque cela évite d'avoir un épais tapis de mulch plaqué au sol qui nécessite beaucoup de poids sur l'élément semeur pour trancher ce matelas. De plus, son rouleau étant de grande largeur, 12 m, un passage spécifique pour cette opération est nécessaire.

Dans les essais, le seigle était semé le 20 octobre à 190 kg /ha au semoir à céréale après la récolte du maïs, après un travail du sol superficiel (outil à disque), avec la variété Aroostook, une variété aussi utilisée dans les essais d'Erin Sylva. Le semis du soja était réalisé au 19 mai à deux écartements différents (17 cm et 75 cm). *« Les rendements étaient meilleurs avec l'inter-rang de 17 cm, car la levée de la culture était plus homogène du fait d'une plus forte densité à l'ha, et le contrôle des mauvaises herbes meilleur du fait de cette canopée plus dense »*, précise Scott.



Scott devant son roller crimper (rouleau faca) de 12 m.

J'ai ainsi découvert que l'on pouvait rouler le couvert alors même que la culture était déjà levée (jusqu'à 23 jours après le semis dans ses essais!). Attention cependant à ce qu'elle ne soit pas trop levée (pas plus de 10 cm de haut selon Scott) car sur certaines de ses photos, Scott me montrait la tige du soja qui était tordue par le passage du rouleau, mais cela n'a pas empêché la culture de se développer. Dans le résultat de ses essais, les meilleurs rendements ont quand même été obtenus lorsque les roulages étaient réalisés à une date proche du semis, puisque il a récolté 6 qx/ha de plus entre le soja semé et roulé le même jour et celui roulé 13 jours après le semis.

Le contrôle des adventices était aussi meilleur avec la modalité roulée le même jour.

Dans ses essais, il a aussi comparé l'effet de l'écartement des rangs de soja. Il observe que les rendements et le contrôle des adventices étaient meilleurs avec le soja semé avec un semoir à céréale à 17 cm d'écartement que celui semé au semoir pneumatique monograine à 75 cm.



Magnifiques cultures de soja en SDCV dans du seigle roulé chez Scott. A gauche, semis au semoir à céréale (17 cm d'inter-rang), à droite, implantation au semoir monograine (75 cm d'inter-rang). Les résultats sont meilleurs avec l'écartement de 17 cm.

En terme de désherbage, Scott utilise les outils classiques : herse étrille, houe rotative, bineuse. Sa bineuse est équipée de chasse-débris qui lui permettent de l'utiliser sur un sol recouvert de débris végétaux (voir chapitre 5).

Il utilise aussi le désherbage thermique, qui est un autre outil de désherbage utilisable sur un sol recouvert de débris, à condition qu'ils soient encore vert car gare aux incendies si les résidus sont trop secs. Il utilise son brûleur uniquement sur la culture du maïs lorsque celui-ci arrive au genou, qui consomme à peu près 50 l de gaz/ha, soit un coût de 60 euros/ha. Le désherbage thermique peut permettre de sauver une culture lorsque les conditions de désherbage mécanique sont mauvaises (humide).

Enfin, lorsque j'ai visité ses parcelles en octobre, j'ai aussi remarqué que les soja en SDCV étaient recouvert de seigle qui a regermé. Selon Scott, les semences proviennent du seigle qui a été roulé au printemps et qui ont germé du fait du binage inter-rang.

Scott n'a toujours pas trouvé d'itinéraires adaptés pour le semis direct de maïs, et les rares essais qui ont été réalisés dans son secteur n'ont pas été concluants. En terme de fertilisation, Scott épand du fumier de poule avant maïs qui fournit l'azote nécessaire à cette culture, et le P et le K nécessaire au soja qui suit.

• Mark Doudlah – Wisconsin : soja, maïs, haricot... en SDCV.

J'ai été aussi rencontré Mark Doudlah à Evansville dans le Wisconsin. Mark Doudlah tient une ferme de 1800 ha entièrement bio avec sa femme et ses deux enfants. Une exploitation très diversifiée car près d'une vingtaine de culture sont produites, ainsi que de l'élevage (poules, porc, vaches).

Mark est très impliqué dans le développement de l'agriculture biologique et des techniques d'agriculture de conservation. C'est au décès de son père en 2008 d'un cancer que Mark a commencé la conversion de la ferme familiale, convaincu des effets bénéfiques de l'agriculture biologique sur la santé. Mark me parlait notamment d'analyses scientifiques américaines sur les résidus de

produits phytosanitaires dans la nourriture et les humains assez édifiants, notamment de glyphosate dans de nombreux aliments. Il y aurait aussi en moyenne des quantités de 77 ppm de glyphosate dans chaque américain, 90 ppm d'aspirine, etc... Bref, si vous allez aux Etats-Unis, ne mangez pas de flocons d'avoines non bio (l'avoine est défoliée avec du glyphosate 15 jours avant la récolte!).



Mark devant son couvert "green tillage" : sorgho, avoine et radis daikon tous les 37,5 cm (dans les futures lignes de semis du maïs) qui gèleront l'hiver et laisseront des résidus et un sol très bien structuré. "Le radis daykon agit comme une véritable source de nourriture pour les premiers stades du développement du maïs" explique Mark.

Mark travaille beaucoup en partenariat avec l'équipe d'Erin Silva, ainsi que le Rodale Institute.

La ferme se situe sur des terres qui contiennent entre 1,9 et 3,5 % de matière organique. Grâce à ses pratiques génératives et notamment l'utilisation intensive de couverts végétaux, Mark pense augmenter les taux de MO de ses sols de 1,4 % tous les 10 ans.

Il faut noter que Mark a converti sa ferme petit à petit grâce à une rotation "de transition", dans laquelle il cultive et fait son stock de ses futures semences de couverts végétaux dans ses parcelles en conversion. "Avec 1 ha de couvert on a assez de semences pour convertir 15 ha de terre l'année d'après. Avec ces 15 ha, on peut convertir ensuite 400 ha en année 3", précise Mark.

La première année (C 1), il cultive ainsi des pois fourragers, puis en C 2 le mélange seigle (variété arunstock) et vesce velue (variété purple bounty). En 3e année, les graines de vesce germent à nouveau, la légumineuse se développe et en fonction de l'état de son développement, il peut semer son maïs sans aucun apport d'azote. Dans ce cas, il détruit la vesce avec un déchaumeur à disque (type Lemken) sur 10 cm.

Il ne la détruit pas par roulage pour assurer sa destruction car son stade de destruction optimum (première gousse) arrive de manière trop tardive dans les conditions du Wisconsin. Le maïs est ensuite semé avec un écartement de 37,5 cm, afin de fermer la canopée au plus vite, en itinéraire classique avec désherbage par binage et herse étrille.

Dans cette rotation de transition, la vesce velue n'est pas toujours le précédent du maïs. Il se peut que cette culture soit précédée en C 2 d'un blé d'hiver. Dans ce cas, pour apporter de l'azote au système, il sème en avion dans le blé au début du printemps à la volée un mélange de plantes gélives : du trèfle rouge (incarnat), avoine, ainsi que la vesce velue.

Quelque soit le précédent du maïs, il épand un amendement de fond à base de calcaire, de compost (5 t), de gypse et de fumier pour que l'azote capté par la légumineuse ne soit pas lessivé par les conditions hivernales. Selon Mark, les excellents rendements qu'il obtient (130 qx/ha) en maïs bio lui permettent de compenser le manque à gagner des deux premières années de conversion.

Pour remplacer la vesce velue en couvert précédent le maïs, Mark teste aussi un mélange de couvert végétaux assez judicieux en "green tillage", à savoir : un semis de sorgho, avoine et radis daikon tous les 37,5 cm dans les futures lignes de semis du maïs qui gèlera l'hiver et laissera des résidus et un sol très bien structuré : c'est l'effet green tillage. *"Le radis daykon agit comme une véritable source de nourriture pour les premiers stades du développement du maïs"* explique Mark. Et en inter-ligne de ce mélange, deux rangées de pois d'hiver "lynx" qui seront roulées au rouleau face pour couvrir l'inter-rang. Le maïs étant roulé au stade V 2 à V 3.

Comme rouleau face, Mark utilise un rouleau à lame horizontale. Son semoir en 39 rangs est équipé de disques gaufrés pour ouvrir le couvert.



Semis et roulage simultané chez Mark. Son semoir en 39 rangs est équipé de disques gaufrés pour ouvrir le couvert juste avant son roulage.

Il cultive aussi son soja et ses haricots en SDCV dans un couvert de seigle roulé au printemps. Un itinéraire technique très similaire à Scott Shiver. Ici aussi, le roulage est réalisé soit juste après le semis, soit plusieurs jours après, le seigle arrivant à maturité de roulage début juin, alors que la date optimum de semis étant mi-mai. Mark considère qu'il est possible de rouler du soja jusqu'à 20 cm de hauteur.

Dans le meilleur des cas, la culture est propre et il n'y a aucun désherbage mécanique à réaliser dans la culture de soja. Mais dans le cas où le couvert de seigle n'est pas indemne d'adventices, il préfère le détruire avec un travail du sol à disque. Il sème ensuite son soja en culture associée avec du seigle à 200 kg/ha qui va servir de plante de couverture entre les rangs et sur le rang du soja. En effet, semé mi-mai, comme le seigle n'a pas vernalisé, la céréale ne monte pas en fleur, et reste au ras du sol, à une hauteur maximum de 20 cm. *"Le soja étant semé à une profondeur supérieure au soja, il ne subit pas les effets allélopathiques du seigle"*, précise Mark.

Il sème ses haricots de la même manière, avec des résultats inférieurs cependant. *"Le soja est plus robuste que les haricots, qui sont plus sensibles à la compaction. Les rendements en soja sont satisfaisants en SDCV alors qu'en haricot ils peuvent être réduits de moitié avec cet itinéraire, ce qui n'est pas le cas avec le soja"*.

- **Steve Groff - Des cocktails de couvert végétaux à toutes les sauces**

Lors de mon séjour en Pennsylvanie, un petit arrêt chez Steve Groff était indispensable tant il fait partie des pionniers de l'agriculture de conservation aux USA et est bien connu de nos réseaux AC en France. Il n'est pas en agriculture biologique mais sa connaissance et le travail qu'il réalise sur les couverts végétaux et le semis direct sont d'une grande inspiration.



Steve et son visiteur français enthousiaste face à ce beau couvert d'hiver et des sols d'une souplesse et d'une vie incroyable.

Installé à Holtwood dans l'État de Pennsylvanie, il conduit avec son épouse une exploitation de 104 hectares, spécialisée en maraîchage et céréales. L'exploitation produit divers légumes pour le marché du frais : 1,5 ha de tomates sous serre (une vingtaine de variétés), 12 ha de potirons (pour Halloween) et 15 ha de courges d'hiver .

Les sols, de type limoneux-argileux, sont assez bien drainés et très caillouteux. La majorité des terres sont sujettes à l'érosion, certaines pentes affichant une inclinaison de 17 %. La couverture des sols avec des racines vivantes est la

priorité, c'est une raison pour laquelle il ne passe pas en système AB. Pour lui, sa contrainte majeure est l'érosion, et il ne doit jamais travailler le sol, or aujourd'hui aucun systèmes en AB ne travaille jamais le sol.

C'est pourquoi il commence à s'intéresser à la technique de broyage inter-rang. Il essaye une tondeuse inter rang dans le but de cultiver ses cultures sans aucun herbicide et sans travail de sol (voir chapitre 5).

Il fut un des premiers à maîtriser la culture de courge dans un couvert de graminé roulé au stade floraison. Il utilise désormais principalement le triticales dans ce but du fait de sa maturation plus tardive. Bien que la destruction au rouleau est efficace, il termine dans 95 % des cas ses couverts avec un herbicide après le passage du rouleau.

Il utilise un rouleau très agressif et assez lourd : 1,1 tonne de 3 m. Selon lui, il vaut mieux partir sur un poids minimum de 300 kg par m pour détruire les couverts. Il préfère rouler puis semer, car selon Steve, il y a un temps pour tout : un pour rouler et un pour semer, ce qui permet de sécuriser le roulage.

Ses associations et stratégies d'implantation de couverts végétaux sont nombreuses. En voici une liste non-exhaustive :

- après blé, semis le jour de la moisson d'un mélange de sorgho multi-coupe, millet, crotalaire, cowpea, pois fourrager, sarrasin, lin, fèverole, avoine, pois chiche, dans lequel il intègre le colza. L'idée ici est de récolter le colza l'année d'après. Steve s'est inspiré de ses voyages en France au sein des réseaux AC, c'est de là qu'il a ramené l'idée d'intégrer le colza. Il fait une récolte de foin de ce mélange et laisse repartir ensuite le développement du couvert.

- Dans la même stratégie, il fait des essais de culture associé maïs-colza, dans le but de récolter la graine l'année d'après. Il a essayé le colza en association avec de la vesce velue, dans un interrang de maïs de 38 cm, mais le résultat était mitigé.

- un mélange d'été avec des jolies fleurs : okra (qui a un système racinaire très agressif), tournesol, cow pea, mung beans, sarrasion, trèfle, radis, millet perlé.

- Il est à l'origine de la création d'une variété de vesce velue très résistante au froid, la variété winterking, qu'il peut mélanger avec le triticales avant les potirons. Dans ce cas, il ajoute au mélange de la fèverole et du pois chiche. Il

adore le pois chiche car c'est une légumineuse atypique qui apporte de la diversité dans le cocktail d'espèces de couvert à disposition.

- Il cultive avec ses blés d'hiver un mélange de pois chiche, féverole et radis chinois. Il me parlait notamment d'études américaines indiquant l'effet très positif du radis chinois sur les rendements de blé, un effet toujours positif sur le rendement. L'explication est que radis aide le blé dans l'assimilation des différents éléments minéraux de par son activité biologique et la structure du sol qu'il laisse.

- Il a aussi d'excellents résultats avec son mélange radis chinois- trèfle incarnat - ray grass annuel qu'il vend en fourrage.



Couvert d'été à forte biomasse chez Steve à base de millet, de crotalaire et de sorgho multi-coupe.

Il faut préciser que Steve se trouve dans un endroit avec beaucoup d'éleveurs, notamment de la communauté Amish, ce qui lui permet de bien valoriser le fourrage. Dans certains cas, il a une meilleure rentabilité avec la vente de foin et de paille qu'avec la vente de grains.

Avec ses pratiques, il augmente les taux de MO de ses sols de 0,1 % par an, ce qui fait qu'après 30 ans de carrière, ses sols sont désormais entre 5 et 6 % de MO. Il espère atteindre 7 % d'ici la fin de sa carrière.

J'ai été très impressionné de la structure très souple de ses sols lorsque j'ai arpenté ses parcelles, un vrai matelas, sans aucun doute les sols cultivés les plus vivants que je n'ai jamais vu!

- Will Glazik- semis direct de blé dans soja et de maïs dans trèfle incarnat

Ancien conseiller agricole, Will Glazik est un jeune agriculteur (29 ans) qui exploite 404 hectares en agriculture biologique. Il est très dynamique au sein du réseau ABC de son secteur et c'est donc tout naturellement que j'ai été le visiter.

Sur sa ferme, il y produit du blé, du soja, du tournesol, du sorgho, de l'avoine, du seigle et du maïs. Les sols sont riches, argilo-limoneux et à 4% de M.O (anciennes terres noires issues de prairies natives/savanes de chênes) et la pluviométrie non limitante, aux alentours de 1000 mm/an.



*Will dans son couvert de trèfle rouge (du manitoba) dans lequel il a essayé d'implanter du maïs en semis direct depuis 2 ans. Trop compétitif, il envisage de remplacer ce trèfle par *Desmanthus illinoensis*.*

Comme ses acolytes, il maîtrise très bien la technique de soja semé dans le seigle roulé au rouleau faca type "rodale" « rolo crimper ». Ici, le couvert de seigle obtient de belles biomasses (7-10T MS/ha) et est roulé à 100% de la floraison du seigle. L'espacement entre rang du semis est de 76cm. Le semis est réalisé juste après le roulage (double opération). Le soja reste très propre durant tout le cycle. *« Avec 10 de t de MS de seigle roulé, il n'y a aucun problème d'adventices dans et rentre les rangs. Je sème mon soja très dense, environ 550 000 grains par ha, ce qui fait qu'il y a peu d'ombres entre les rangs de soja pour les adventices »* témoigne Will, qui utilise comme semoir soit un JD 750 soit un White 6100.

Cependant en semant large il se garde la possibilité d'intervenir avec sa bineuse inter-rang adapté aux résidus (voir chapitre 5). Il n'a pas eu besoin de le faire dans les sojas semés en direct dans du seigle pour l'instant.

Il sème ensuite du blé à 120kg/ha juste après la moisson du soja en octobre. En fonction de la propreté de la parcelle, il peut soit semer en direct dans les résidus du soja et du seigle, soit passé un coup d'outil à disque. Le blé est semé avec du radis chinois (à 3 kg/ha) comme chez Steve Groff qui sera détruit par le gel de l'hiver. Il sème à la volée du trèfle incarnat en mars comme couvert relais après le blé. Il le broie ensuite une fois en août pour contrôler les adventices d'été. Il n'a pas de problèmes d'adventices en général sur le cycle du blé qui n'est pas désherbé mécaniquement.

Le maïs ensuite a longtemps été semé après ce couvert de trèfle incarnat broyé en août et détruit au printemps avec un travail à disque sur 15 cm. Ce couvert était performant par rapport à sa facilité d'implantation et aux quantités d'azote restitués (180 kg/ha, qu'il complétait avec 60 U d'azote de fientes de volailles une semaine avant le semis, seul apport azote extérieur dans toute sa rotation). Il rajoute aussi de la chaux et du soufre (100 kg/ha). Ensuite l'itinéraire était classique : herse étrille, binage...

Mais depuis 2018, Will essaye le semis direct de maïs avec une sorte de trèfle qui vient du Canada (du nord de l'Alberta), un trèfle rouge qui arrive à floraison au mois de mai, et qui a la particularité d'être détruit facilement par un seul broyage. J'ai pu voir une parcelle très prometteuse de ce trèfle quand je m'y suis rendu en octobre 2018. L'objectif y était de semer du maïs une fois le broyage du maïs, mais le résultat n'a pas été celui escompté. Sur deux années d'essais, le trèfle a trop desséché l'horizon de surface et fait de la compétition au maïs. Il

essayera ce trèfle plutôt avec du tournesol, plus armée à la compétition hydrique. Il envisage pour le maïs de remplacer le trèfle rouge par une vivace native de la famille des Mimosaceae, *Desmanthus illinoensis* dont le cycle est plus synchronisé vis à vis de la production de maïs.

Après la moisson du maïs il sème une avoine en février dans le sol gelé avec son JD 750 qui arrive à implanter la graine dans le sol gelé.

Comme beaucoup de ses collègues, il n'utilise pas la vesce velue du fait des graines dormantes (10 %).

Il pratique aussi la technique des couverts associés dans le maïs avec un semis entre rangs d'un mélange sarrasin-trèfle incarnat, ce qui permet une couverture complète du sol.



Semis intercalaire de navet entre les rangs de maïs chez Will Glazik.

B. Argentine

B. 1 . Contexte

Pour bien comprendre le contexte argentin, je me suis rendu au siège de l'association argentine des producteurs de semis direct (Aapresid) à Rosario. Cette organisation non gouvernementale rassemble près de 2500 agriculteurs à travers le pays, dont la moyenne des fermes est de 500 ha, toutes en semis direct. Près d'une trentaine de salariés animent 38 groupes régionaux sur cette thématique. En effet, l'Argentine est un grand pays de semis direct, puisque selon l'Aapresid, sur les 33 millions d'hectares cultivés, près de 90 % sont conduits en semis direct. Au niveau mondial, l'adoption de ces techniques est plutôt autour de 10 % des territoires dans le monde (60 % aux). Des pratiques de non travail du sol bien adaptées à la taille des fermes argentines. Cependant, l'agriculture argentine rencontre quelques problèmes structurels, notamment une taxation forte du maïs à l'export, et le fait que beaucoup de fermes se trouvent loin des ports, ce qui rend la culture du maïs moins rentable. Le soja, moins taxé, est préféré dans les soles des fermes argentines, la plupart OGM, ce qui fait que beaucoup d'exploitations ne font que du soja (70 % de la sole argentine) en monoculture ou presque (quelquefois alterné avec du blé). Peu de carbone sont ainsi restitués aux sols, et comme l'adoption des couverts végétaux est encore peu établie, les producteurs commencent à rencontrer de plus en plus de problèmes agronomiques : perte de productivité, augmentation des charges, et surtout une explosion des résistances des adventices aux herbicides, avec un taux d'apparition de 4 résistances par an (source Aapresid)! Le travail du sol est ainsi en train de revenir dans les exploitations argentines.

Flesler, est conseillé en agriculture biologique depuis plus de 30 ans, et très impliqué dans le développement de l'ABC en argentine.

J'ai ainsi été visité deux fermes qu'il suit : Kumagro et la ferme Baradero.

- **Kumagro : des rendements en maïs en SDCV plus stables qu'en travail du sol.**

Je me suis rendu à Carmen de Areco, rencontrer Juan Cattrachia, responsable technique de cette exploitation de 500 ha, dont la propriété est partagée par 6 agriculteurs.

La ferme produit principalement du maïs, du soja (60 % de sa sole), du blé, du colza, de l'orge et du maïs pop-corn sur des sols limoneux assez riche (entre 3,5 et 5,5% de MO). La rotation contient 2 années de céréales, un soja, un maïs, suivis par 3 années de jachère à base de luzerne et de graminée.

Le soja, semé à un écartement très serré (17 cm, 500 000 plants/ha) peut être précédé d'un couvert végétal de seigle pure. Dans ce cas il est implanté en semis direct après deux roulages au rouleau faca. L'objectif ici est d'atteindre 6 t de MS/ha car faute de pluie, des biomasses de 9t /ha ne peuvent être atteintes. S'il n'y a pas de couvert, il est implanté de manière traditionnelle avec un travail du sol et désherbage mécanique.

Le maïs lui est implanté à un écartement de 75 cm soit de manière traditionnelle avec du travail du sol, soit en semis direct dans un couvert de seigle - vesce velue (700 ha en 2018) roulé au stade 80 % floraison. Dans ce cas, la date d'implantation est plus tardive ce qui pénalise un peu le rendement (8-9 t/ha contre 9-10 t/ha en travail du sol, en comparaison, en conventionnel, il est de 12t/ha), mais Juan me faisait remarquer que ce rendement, bien que moindre est par contre moins sujet aux variations en SDCV. La grande difficulté reste l'implantation dans ce couvert très épais plaqué au sol. Pour cela, ils utilisent un semoir de 9 m qui pèse près de 2 t. *“Le semoir double disque ferme bien le rang, contrairement au semoir simple disque. L'objectif est d'ouvrir au minimum le*

rang pour éviter de faire lever des adventices sur la ligne de semis. Le plus dur c'est d'ouvrir le mulch, plus que le sol, qui est assez léger et facile à travailler", précise Juan. Le problème de conserver des graines dormantes de vesce velue ne semblent pas poser de problème ici.



Couvert de seigle-vesce velue chez kumagro, qui va précéder l'implantation de maïs en semis direct.

En terme de fertilisation, seul le phosphore est autorisé en agriculture biologique en Argentine. Il en applique 150 kg/ha tous les ans sur toutes les terres. Beaucoup de terre sont louées en argentine, tout comme le matériel agricole, ce qui ne pousse pas à apporter des amendements de fonds pour améliorer les sols sur du long terme.

Le climat étant tempéré dans cette région de l'Argentine (1200 mm d'eau / an assez bien répartie sauf en janvier et août, les deux mois sec), il n'y a pas beaucoup de maladies fongiques ni de problèmes de ravageurs. En cas d'attaques d'insectes ils peuvent utiliser de la roche de silicium (silicate de sodium obtenue en fondant du sable, remède utilisé il y a déjà plus de 200 ans en Allemagne selon Hector!).

Un gros problème en argentine reste les invasions d'oiseaux, les fameux "palomas", l'équivalent de nos pigeons, qui détruisent tournesol, sorgho, et blé.

Ils utilisent de l'huile d'ail à 4-5 l /ha, avec un effet efficace en cas d'infestation mesurée.

Une gestion hollistique des adventices

J'ai beaucoup aimé l'approche d'Hector concernant la gestion des adventices dans leur système bio. Il y a trois adventices majeurs dans leur système: Coniza sumatrensis (vergerette de Sumatra), amarante et chenopode. Hector essaie de comprendre avant tout les raisons d'apparitions de ces adventices. Ils travaillent beaucoup sur les équilibres minéraux des sols pour résoudre ces problèmes et font à ce titre de nombreuses analyses de sol. *"Il y a quelques spots d'amarantes par ci par là, nous ne sommes pas plus inquiets que cela qu'elles fassent des graines car il y a déjà des milliers de graines au m² avant même qu'elles ne fleurissent. De plus ces graines ne sont pas très résistantes. Ce qui est important c'est de savoir les raisons de la levée de dormance de ces graines? Prenons l'exemple de l'amarante, une hypothèse serait que c'est un déséquilibre en calcium qui favoriserait leur levée, et bien travaillons plutôt sur cet aspect plutôt que sur la manière de les détruire. Et puis si j'ai une parcelle envahie d'amarante, sans doute que ce sol est fait pour cette culture. Il serait peut être intéressant de la produire en culture principale, sachant que l'amarante est une culture très importante au Pérou par exemple, où elle constitue une bonne source de protéine de haute qualité. En mélange avec du maïs, le duo constitue d'ailleurs un repas très équilibré qui amène quasiment tous les acides aminés dont l'organisme a besoin. C'était le menu régulier des incas. Il existe une vingtaine de type d'amarante. Il faudrait sélectionner les bonnes variétés. Il reste cependant à résoudre le problème de nettoyage car c'est une graine difficile à trier."* expliquait Hector.

• Ferme Baradero : de nombreux essais en SDCV opportunistes

René Ducret gère cette ferme de 1200 ha, propriété d'une famille japonaise. Les sols y sont assez hétérogènes (des secteurs jusqu'à 40 % d'argile). Il y cultive une grande variété de cultures notamment du colza pour exporter de l'huile, mais aussi des semences de brocoli, radis daykon, du blé, des haricots mungo, soja, sarrasin, lin, millet, tournesol et du maïs. Au niveau rendement, les ordres de grandeur sont plutôt de 7-8 t/ha pour le maïs ;, 3 t/ha pour le soja ; ; 25 qx /ha pour le sarrasin et 20 qx /ha pour le colza.

René utilise beaucoup le concept de cultures opportunistes, sa succession culturale s'adaptant au marché, mais aussi aux fenêtres météo disponibles. La rotation est ainsi construite en trois parties : 1/3 de cultures de ventes "longues" (soja-maïs), 1/3 de couverts (avoine, blé, seigle, vesce velue), et 1/3 de parcelles où la double culture est réalisée.

Parmi ces doubles cultures, nous pouvons citer : sarrasin ou millet après tournesol, maïs ou soja en dérobé derrière colza d'hiver, soja après blé d'hiver, haricot mungo après brocoli ou colza.

C'est ici que les techniques de SDCV prennent tout leur sens, car elles permettent de gagner un temps précieux et de conserver l'humidité résiduelle en sortie d'été où les pluies peuvent manquer.

Après colza, si celui-ci est propre, il lui arrive d'y implanter donc une culture (haricot ou maïs en double culture) en semis direct après deux passages de rouleau faca. En cas de salissement trop important, il repasse en itinéraire classique avec un travail du sol au disque sur 10 cm. Le rouleau faca permet une destruction rapide puisqu'à 13 km/ha, avec un rouleau de 5 m, il peut détruire jusqu'à 70 ha/ jour de colza, et semer directement après.

Lors de ma visite, j'ai pu voir une parcelle assez propre de haricot mungo dans un couvert de blé couché au stade floraison.

Petite astuce de René : pour défolier le haricot, il utilise du bicarbonate de sodium dilué à 20 %, ce qui lui permet d'éviter d'andainer. A une dilution de 1 %, ce produit a une action fongicide.

René est très satisfait de ses itinéraires en ABC car depuis qu'il utilise les couverts végétaux et certains itinéraires en SDCV, il a noté une baisse importante de la pression d'adventices (de 80 %). Il peut ne pas travailler du tout le sol pendant 2 à 3 ans.

En terme de fertilisation, René amène aussi principalement du phosphore à 100 kg/ha.

Hector a été une grande source d'inspiration pour moi en me parlant beaucoup des techniques de désherbage alternatives : micro-ondes, électricité, herbicides minéraux et organiques (huile de tournesol ou de soja avec l'effet de la lécithine comme désherbant).



Parcelle bio de en SDCV de haricot mungo dans un couvert de blé couché au stade floraison chez René Ducret.

C. Brésil

C.1 Gebana : le commerce équitable pour développer l'ABC - de nombreux essais en couverts végétaux tropicaux

J'ai profité du GFP Nuffield (grande rencontre mondiale de tous les boursiers Nuffield) qui se déroulait au Brésil en février 2017 pour aller voir quelques contacts et fermes en ABC au Brésil. En 2006, le ministère de l'agriculture déclarait que environ 800 000 ha sont cultivés en agriculture biologique, soit 1,8 % du total des exploitations.

A côté de grandes fermes conventionnelle (de plusieurs centaines ou milliers d'hectares qui cultivent du soja et du maïs OGM) se côtoient encore des petites fermes familiales de quelques hectares travaillant encore en partie à la main. La moyenne des fermes en agriculture biologique est plutôt de 4-5 ha.

J'ai été à la rencontre de Marcio Chaliol, agronome au sein de la branche brésilienne de la société de commerce équitable suisse Gebana. Marcio est passionné d'ABC et réalise depuis plusieurs années des recherches sur cette thématique.

L'entreprise suisse favorise le développement des petites fermes (pas plus de 60 ha). Le soja est la culture phare de ce commerce équitable. La société la transforme en huile, lécithine et tourteau, qui sont exportés à 70 % à travers le monde.

Marcio réalise de nombreux essais de couverts végétaux avant soja et maïs, afin d'adapter la technique du semis direct en AB aux conditions brésiliennes.

Parmi les couverts, nous pouvons citer le traditionnel seigle avant soja, mais aussi de l'avoine blanche, le cintio (ressemble à de l'avoine) et du radis fourrager. Ils ont implanté cette année du maïs en semis direct dans des couverts de lab lab et de crotalaire avec un certains succès.



Couvert de lab-lab qui va être détruit au rouleau faca avant semis direct de maïs dans les essais de Marcio Chaliol (à gauche) de Gebana.

Les techniciens ont aussi eu d'excellents résultats avec le lupin jaune (associé avec du seigle) avant maïs, mais ont eu plus de difficultés avec le Mucuna, une légumineuse qui ressemble à du lab lab. C'est une des légumineuses qui produit le plus d'azote mais qui peut être très agressive et difficile à détruire. Elle présente aussi une proportion non-négligeable de graines dormantes.

Il faut préciser que les conditions tropicales ici : très pluvieux (1200 à 2000 mm / an assez bien réparti et chaud (10 à 30 °C) peut rendre délicat la technique de destruction des couverts au rouleau faca. Attention en effet à la compaction des sols en conditions trop humides! L'efficacité de la destruction au rouleau est aussi moindre en condition humide, et comme il pleut quasiment tous les jours...

La technique des couverts végétaux associés au maïs est aussi très utilisée au Brésil, notamment dans le maïs. J'ai pu rencontrer des chercheurs qui travaillent sur ce sujet, parmi les plantes associées testées nous pouvons citer :

- o Maïs – crotalaire : cette légumineuse est la meilleure plante pour contrôler les nématodes du maïs. Les agriculteurs la font pâturer par les vaches après la récolte. Elle peut être implantée après soja et avant blé ou avoine. Elle est semée 30 jours avant récolte du maïs à la volée.
- o Maïs – phozelos (sorte d'haricot) : l'effet azote est recherché avec cette légumineuse ainsi que la gestion des adventices. Ils la broient ensuite

pour effet engrais vert. Mélange expérimental pour l'instant. Alterné avec les rangs de maïs tous les 35 cm (maïs tous les 50 ou 70 cm)

- o Maïs - Brachyare : association la plus répandue utilisée par les fermiers sur des millions d'hectares. Elles sont semées dans le même rang. Apparemment pas trop de concurrence avec le maïs. C'est une graminée, contrôlée par les herbicides en conventionnel pour gérer son développement. Près de 25 jours après récolte, ils la font pâturer par les vaches. Mélange peu essayé en agriculture biologique du fait du manque d'outil pour la contrôler. Des essais sont en cours sur des semis à la volée dans le soja à la perte des feuilles.
- o Maïs-Gandu : aussi pour être pâturé par les vaches. Implanté 21 jours après le semis du maïs. Apporte azote et bonne structure. Le gandu a été testé par Gebana dans les essais de destruction au rouleau faca mais elle semble difficile à détruire via cette technique.

Marcio travaille aussi beaucoup sur la gestion des adventices en systèmes ABC. Il a été l'un des premiers à tester en conditions réelles la désherbeuse électrique de chez Zasso (voir chapitre 5 sur le désherbage alternatif), outil intéressant dans le cadre d'un désherbage sur sol recouvert de débris végétaux.

En terme de binage, la société s'est équipée de cinq bineuse ChopStar hybrid de la marque autrichienne Einboeck. C'est une bineuse équipée de chasse débris avec des éléments disques plats disposées horizontalement entre les rangs et qui permet de passer sous les débris végétaux. La bineuse est équipée de caméra ce qui permet de ne pas abîmer la culture sur le rang.

Il faut noter ici la démarche d'une société privée dans la recherche et le développement de l'ABC. L'entreprise peut ainsi financer une partie des semences des couverts que les agriculteurs utilisent pour partager le risque de l'expérimentation, elle peut aussi prêter du matériel.

C.2 Genesio Filipini : Des doubles couverts pour réussir les semis direct de soja et de maïs

Je me suis rendu avec Marcio à la rencontre de Genesio Filipini, exploitant de 153 ha en bio à côté de Capanema. Genesio est un passionné des couverts végétaux et fait beaucoup d'expérimentations en ce sens. Sa rotation est constituée d'une succession maïs-soja-avoine blanche. Cette dernière peut être soit récoltée en culture soit roulée avant récolte pour l'implantation du maïs.

Au préalable du semis de ses cultures d'été, il sème un premier couvert végétal à l'automne, le nabo, une sorte de radis fourrager. La crucifère pousse vite et permet de recycler de manière rapide la fertilité résiduelle après la récolte. Il enchaîne ensuite avec un couvert d'avoine blanche qui va bénéficier de ce recyclage d'élément pour fournir un mulch carboné pour le futur maïs ou soja.

Le nabo est implanté le jour de la récolte du soja ou du maïs (ou 3 semaines après si le semis le même jour n'a pas pu être réalisé) et est détruit au rouleau faca. Cette espèce n'est pas détruite de manière optimale avec le rouleau mais même s'il y a des repousses dans l'avoine, Genesio n'est pas inquiet car le nabo finit par être détruit par la chaleur. Il fertilise ensuite le couvert d'avoine avec du phosphate naturel seulement (phosphore de potassium).

L'avoine est soit récoltée, soit détruite à un stade tardif (après floraison) avec un système de tronc d'arbre installé devant le tracteur. Cela permet à Genesio de semer en même temps avec son semoir attelé derrière le tracteur en un seul passage. C'est le poids du semoir qui finit de détruire le couvert roulé.

Si le couvert est détruit à un stade plus jeune (avant floraison), il utilise un rouleau faca classique (à barre horizontale) mais cela nécessite un passage dédié.



Roulage du couvert d'avoine blanche à floraison chez Genesio Filipini avec rouleau faca maison (arbre), et semis en direct de soja.

Il implante soja et maïs à 45 cm d'inter-rang pour contrôler les mauvaises herbes. Avec cette technique le contrôle des adventices est très efficace entre les rangs. Sur le rang, par contre, il peut y avoir un enherbement notamment sur le soja qui se développe lentement. Il y a moins de problème avec le maïs qui couvre rapidement le rang.

Sur soja, il peut ainsi faire appel à du désherbage manuel, qui prend entre 3 et 5 personnes /jour/ha : 300 riels/ha (70 riels (25 euros)/personne), soit 100 euros /ha. L'opération est réalisée quand les feuilles jaunissent avant que la lumière ne rentre.

Le désherbage manuel est encore pratique courante au Brésil dans les petites exploitations de quelques hectares.

Les rendements de Genesio sont de 2,5 - 3 t/ha (3-4t /ha en conventionnel) en soja et de 8 t/ha en maïs (11t/ha en conventionnel).

La parcelle de soja que j'ai vu était magnifique, pas une adventice à l'horizon et un beau matelas d'avoine qui couvre le sol. Du beau travail!



Magnifique soja bio en SDCV chez Genesio Filipini dans un couvert d'avoine blanche.

5. Agriculture biologique de conservation et TCS

A. Savoir travailler avec des résidus sur le sol

Nous venons de voir jusqu'à maintenant des exemples de semis direct en agriculture biologique. Dans les itinéraires détaillés, des séquences de 2 à 3 années étaient possibles en non travail du sol total.

Mais comme nous l'avons vu dans le chapitre 1, différents degrés de travail du sol existent. Le plus important étant de pouvoir garder le plus possible des résidus sur le sol. En effet, à partir de 30 % de surface de sol recouverte par des résidus végétaux, un effet positif s'observe sur la protection du sol face à l'érosion et sur la vie du sol.

Je ne vais pas détailler tous les systèmes de travail du sol superficiel, il en existe une grande diversité.

Je vais dans ce chapitre, passer en revue différents aspects techniques liés aux contraintes de l'ABC : préparation du sol, désherbage en ABC (mécanique mais aussi alternatif).

En effet, le désherbage est la première difficulté en agriculture biologique et particulièrement en système ABC, où la présence de résidus sur le sol empêche de passer certains outils où en réduit l'efficacité. C'est le cas particulier de la herse étrille, un des outils les plus utilisés en agriculture biologique, qui a besoin d'un sol nu pour pouvoir être efficace. Nous allons étudier les façons alternatives de désherber compatibles avec la présence de résidus sur le sol.

B. Travail du sol à la fraise : de plus en plus d'adeptes en ABC

Afin d'éviter l'usage du labour, de nombreux itinéraires en techniques culturales simplifiées (TCS) existent : outil à dent, à disque, scalpeur... Mais je dois dire que je vois de plus en plus d'agriculteurs dans le monde de l'ABC utiliser un outil rotatif, la fraise. A première vue, cet outil n'est pas le meilleur ami de la vie du sol, mais bien utilisé, à savoir, à faible profondeur, son impact global reste satisfaisant.

La profondeur de travail du sol est en effet le premier critère à prendre en compte. De l'avis de certains spécialistes, au-delà de 5 cm de profondeur, la vie du sol met beaucoup de temps à se régénérer (plusieurs mois à plusieurs années). Entre 0 et 5 cm, elle se régénère rapidement (quelques semaines à quelques mois). Ensuite, comme disait Jeff Moyer, le moment de l'année où est pratiqué le travail du sol est le deuxième paramètre à appréhender. Un travail sur sol en été par temps sec aura beaucoup moins d'impact par exemple qu'un travail au printemps sur sol humide.



Fraise utilisée depuis de nombreuses années chez un des pionniers de l'AB aux États-Unis, Jack Erisman. « Les lames ont une forme en C et non T. Cette forme donne un côté plus polyvalent à l'outil notamment en conditions sèches et en sol compacté. C'est par contre moins efficace pour détruire des plantes vivaces comme de la luzerne », me confiait-il lors de notre rencontre.

Le principe du travail du sol est de détruire les adventices et de mélanger les éventuelles racines, chaumes du précédent sur les premiers cm du sol afin de préparer le lit de semences. Associé avec l'utilisation de couverts végétaux et à un ensemble d'autres pratiques, le travail du sol peut même participer à la construction de sol.

C'est ce que j'ai vu en Allemagne chez Friedrich Wenz, un des plus vieux "ABCistes" en Europe (avec son père Manfred), qui a élaboré un système de régénération des sols où la fraise, associé à l'usage de couverts végétaux intensifs, de ferments et de pulvérisations foliaires, joue un rôle important. C'est pourtant un ancien adepte du semis direct sous couvert en système AB. Mais après plusieurs années de pratique, il considère que son système actuel permet d'augmenter les taux de matière organique plus rapidement et d'avoir moins de problèmes d'adventices.

Il utilise donc pour détruire ses couverts végétaux (au stade floraison) une fraise spécialement conçu à cet effet, qui broie le couvert, scalpe le sol à faible profondeur (4-5 cm), et mélange les résidus du couvert avec le sol.

C'est ce qu'il appelle le compostage de surface. Pendant qu'il exécute cette opération, il applique des ferments injectés au niveau des couteaux qui aide la matière organique fraîche à se décomposer et aux processus d'humification d'être stimulés. L'outil découpe le réseau dense de racines et réalise un mélange « résidus de couvert-sol » qui assure une décomposition rapide de cette matière fraîche. *« Il est important que cette matière soit mélangée à la surface du sol pour obtenir une forte concentration en sucres et en nutriments sur les premiers cm. Il faut en effet que les processus de fermentation aérobies aient assez d'énergie pour démarrer rapidement. Il faut prendre en garde de ne pas mélanger la couche du sol plus en profondeur pour ne pas minéraliser les éléments situés en dessous »*, décrit Friedrich. I

Il souligne la nécessité de rouler à allure rapide afin de ne pas arracher les racines. La fréquence de rotation doit être d'au moins 300 tr/min pour avoir une force de frappe suffisante et obtenir une coupe de qualité. La machine possède quatre roues de jauge qui permet de faire un bon réglage de la profondeur et aussi d'éviter un éventuel lissage du sol. Elle doit être tirée et non portée, ce qui limite la vibration et sa résonance sur le sol. Les volets doivent rester bien ouverts pour permettre au mélange plante / sol de retomber de manière libre sur le sol, et aussi de ne pas provoquer de bourrage du fait de la présence des quatre roues. Les couteaux ont une orientation de 87-90 ° afin de découper au maximum les racines « à plat » et obtenir une coupe complète.

Il faut faire en sorte qu'il n'y ait pas d'espace entre les couteaux pour que l'ensemble du sol soit travaillé et éviter ainsi l'effet « crête d'iroquois ». Leur épaisseur doit être inférieur à 8 mm, car au deçà, la puissance requise est supérieure, l'usure plus importante, les découpes moins nettes, et la pression du sol en dessous trop importante, avec risque de lisage et création de semelle. Il déconseille d'ailleurs l'usage de rouleaux pour ne pas rappuyer ce mélange « sol-résidus végétaux » derrière afin que celui-ci reste « souple et aéré ». C'est de cette façon que les processus de fermentation peuvent se mettre en route de manière optimale. *« Il est aussi possible d'utiliser d'autres types de matériel comme des rotors à dent, des outils à patte d'oies, ou des bêches roulantes. Après un broyage préalable, ces outils travaillent aussi en surface et font le*

même type de mélange. Leur inconvénient est souvent qu'ils ne coupent pas à 100 % le tissu racinaire. Il faut donc réaliser plusieurs passages », rajoute l'agronome.

Il faut noter que certains semoirs utilisaient ce principe de fraise, comme le très connu système Horsch sèm exact, encore utilisé aujourd'hui pour réaliser des semis en travail simplifié. Ce type d'outils permet l'installation de la semence de la culture avec la présence de résidus sur le sol.



Mulching de surface utilisée par Friedrich Wenz. Couplée à l'usage de ferment, cette technique augmenterait les taux de MO plus rapidement.

C. Désherbage curatif mécanique adapté aux résidus

Une fois la culture implantée, place au contrôle des adventices. Dans les systèmes ABC avec des résidus sur le sol, j'ai pu voir de nombreux outils adaptés à la présence de résidus sur le sol.

C. 1. Désherbage entre les rangs de la culture

- Une innovation française : le rouleau faca inter-rang

C'est une des visites qui m'a le plus inspiré, chez Philippe Nouvellon, agriculteur bio dans le Tarn. Philippe imagine et développe depuis quelques années des outils sur sa ferme pour pouvoir réussir le graal, ne plus avoir à travailler le sol. Il a notamment participé avec Denis Vicentini de la société "roll n sem" au développement d'un rouleau faca inter-rang dénommé « Orbis ». L'outil est constitué de disques qui font dix millimètres d'épaisseur et sont assemblés deux par deux sur chaque support. Ils sont inclinés d'une trentaine de degrés ce qui assure, avec la répétition entre l'élément avant et arrière, un ripage sur la totalité du végétal pour une agressivité maximale. *"L'outil est très efficace car son effet se rapproche du brûlage. On peut arriver à bout de ray grass ou de rumex. Il faut cependant une certaine longueur minimum de tige, car il ne fonctionne pas sur des plantes au stade jeune comme au stade rosette"*, témoigne Philippe Nouvellon.

Il s'agit d'un outil modulable puisqu'il peut travailler aussi bien en plein que dans les interrangs. Pour cela, il suffit de condamner ou d'enlever les éléments en fonction de l'écartement des cultures. Il peut travailler sur des cultures à écartements variables pouvant aller de 30 cm à 80 cm. Les rangées peuvent s'ajuster avec des tirants pour s'approcher au plus près de la culture. Le constructeur prévoit à l'avenir de remplacer ces tirants mécaniques par des vérins hydrauliques pour plus de simplicité de réglage.



La « désherbeuse » à disque Orbis permet un désherbage entre les rangs sans travail du sol grâce à un effet de lacération du végétal par le passage de doubles disques.

• Les bineuses chasse-débris

Aux États-Unis, beaucoup d'agriculteurs que j'ai rencontrés qui essayaient les techniques de semis sous couvert étaient équipés de bineuses inter-rangs équipées de chasse débris, comme au Rodale institute mais aussi chez Scott Shriver, Will Glazik et Joel Gruver. Ces bineuses permettent de passer aisément dans un couvert roulé.

Le constructeur autrichien Einbock a aussi sorti sa bineuse ChopStar hybrid adapté à ce type d'usage, comme nous l'avons vu chez Marcio Chaliol au Brésil.

Mais gros inconvénient de ce type d'outil : une fois la bineuse passée à travers les pailles du couvert, le sol revoit le jour et les adventices lèvent, il faut donc passer plusieurs fois et l'on revient dans un système de désherbage "classique", où le sol est en partie remis à nu.

Néanmoins ces bineuses constituent un des rares outils de désherbage de rattrapage dans les systèmes de semis direct sous couvert ou de TCS en bio et permettent la présence de paille qui protège le sol.



Bineuse ChopStar hybrid de chez Einbock, utilisé au Brésil par Marcio Chaliol.



Bineuse avec chasse débris au Rodale Institute



Bineuse avec chasse débris chez Will Glazik



Bineuse avec chasse débris chez Joel Gruver

- **Le broyage inter-rang de couverts végétaux pérennes.**

C'est une autre technique encore en cours de recherche et développement mais qui commence à avoir de plus en plus d'échos, et des premiers résultats prometteurs. J'ai pu voir aux États-Unis Steve Groff et Dan DeSutter essayer la technique en condition réelle. Steve test un broyeur inter-rangs avec des systèmes de vérins hydrauliques. Il planifie de l'essayer sur ses cultures avec un inter-rang de 154 cm : maïs, chanvre. Dan DeSutter a déjà obtenu des résultats incroyables de maïs sous luzerne biné et non biné (voir ci-après), mais planifie de tester ce système de broyeur.

En France, un essai très intéressant a été réalisé par Régis Hélias, ingénieur chez Arvalis, sur une plateforme de 50 ares à Lisle sur-Tarn (81) où une monoculture de blé tendre a été implantée en inter-rang d'une luzerne sur 3 années. La première année (campagne 2015-2016), la luzerne a été semée à 20 kg/ha sur des rangs espacés de 30 cm, sous un tournesol implanté quant à lui avec un écartement de 60 cm. À l'automne de la première année, du blé est semé avec un inter-rang de 30 cm entre les rangs de luzerne. Le choix de cet inter-rang tient

compte de résultats d'expérimentations antérieures d'Arvalis, qui montrent que l'on peut écartier les rangs du blé jusqu'à 30/35 cm sans perte de rendement tant que le potentiel ne dépasse pas 60 q/ha; au-delà, la perte de rendement est trop importante. Différentes modalités de broyage ont été effectuées entre les rangs.

Ce premier essai a permis d'édicter une règle simple de gestion du couvert sous le blé : à partir du stade « épi 1 cm » du blé, dès que la luzerne arrive à la même hauteur que le blé, il faut la broyer.

Les résultats de rendement obtenus sont prometteurs, alors que l'essai était implanté sur une parcelle au potentiel de rendement assez faible. En deuxième année (moisson 2018), le blé tendre sur luzerne était au même niveau, mais avec davantage de protéines (+1,1 point), que le rendement moyen de l'essai de variétés de blé tendre en pure en micro-parcelles d'une parcelle voisine, sur précédent trèfle violet avec en plus 80 kg d'azote organique/ha. En troisième année (moisson 2019), le blé tendre a produit des résultats remarquables, et le blé dur a produit des résultats quasiment inespérés en agriculture biologique en l'absence de fertilisation organique. **Le bilan de ce premier essai est au final que les rendements s'améliorent avec le temps!** Tout ça, avec une très bonne gestion des adventices. Même s'il reste de nombreux paramètres à appréhender, cet essai est un motif d'espoir pour la réussite de l'ABC : autonomie en azote, bon contrôle des adventices, non travail du sol en bio.



Tondeuse inter-rang ecomulch utilisé dans les essais d'Arvalis



Tondeuse inter-rang ecomulch utilisé chez Steve Groff



Tondeuse inter-rang utilisé chez Dan Desutter

C.2. Désherbage sur le rang

Les techniques détaillées ci-dessus assurent un excellent contrôle des adventices entre les rangs de la culture. Mais le désherbage sur le rang est aujourd'hui LE gros challenge en système ABC. C'est ce que j'ai pu voir chez

Philippe Nouvellon qui dans ses essais de semis direct sous couvert de maïs dans des couverts de seigle étaient confrontés à un enherbement sur le rang du semis, alors qu'en inter-rang, l'utilisation du rouleau faca permettait un bon contrôle.

Avec des collègues de son groupe de travail AB "agro d'oc", ils ont ensemble imaginé des systèmes de désherbage sur le rang, notamment :

- houe rotative qui travaille uniquement sur le rang travaillé au préalable par un strip-till. Il faut noter que la houe rotative supporte la présence de résidus de paille sur le sol contrairement à la herse étrille, même si elle perd en efficacité avec la présence de résidus.



Houe rotative pour travailler uniquement sur le rang

- Etrille rotative : cet outil permet un désherbage très efficace sur le rang. Les agriculteurs ont adapté ce même type de système uniquement sur le rang travaillé au préalable par un strip till.



Etrille rotative pour travailler uniquement sur le rang

Ce sont les deux seuls outils de désherbage mécanique sur le rang que j'ai vu lors de mon périple.

Un autre outil de désherbage sur le rang est le désherbage thermique. Scott Shriver utilise des brûleurs à gaz pour désherber son maïs. C'est un autre outil de désherbage utilisable sur un sol recouvert de débris, à condition qu'ils soient encore vert car gare aux incendies si les résidus sont trop secs. Il utilise son brûleur principalement sur la culture du maïs lorsque celui-ci arrive au genou, qui consomme à peu près 50 l de gaz/ha, soit un coût de 60 euros/ha. Le désherbage thermique peut permettre de sauver une culture lorsque les conditions de désherbage mécanique sont mauvaises (humide).

C. 3. Désherbage préventif par les plantes : l'occupation du sol par des plantes d'intérêt pour contrôler les adventices.

Dans la boîte à outil du désherbage bio, il y a bien évidemment la rotation comme levier numéro un pour aider au contrôle des adventices. S'en suit toutes les techniques de désherbage mécanique curatif, mais aussi le semis direct sous couvert, l'alternance avec des couverts végétaux pérennes...

Mais une autre voie prometteuse en ABC, encore peu explorée car risquée, et déjà entrevue précédemment dans le chapitre sur l'implantation de couverts végétaux pérennes inter-rangs, est celui de l'implantation de couverts végétaux en associations en plein avec la culture en place. Des espèces qui contrairement

aux adventices sont des espèces choisies, par leur côté non-concurrentiel à la culture voire bénéfique à son développement, mais concurrentiel pour le développement des indésirables.

Je me rappelle d'un certain Claude Bourguignon qui disait qu'un mélange de 8 espèces de couverts végétaux permettait de couvrir le sol à 80 %, mais qu'un mélange de 12 espèces permettait de couvrir à 100 %.

Les possibilités sont nombreuses mais on peut très bien imaginer des espèces de couverts pérennes (luzerne, trèfle, lotier), associées avec des couverts gélifs (radis chinois, moutarde, féverole de printemps), semés fin d'été avec une culture d'automne (blé), qui aideront au contrôle des adventices pour le démarrage de la culture, puis lui laisseront la place en sortie d'hiver car détruite naturellement (fin de cycle ou gel ou maladie).

Voici un exemple chez un producteur breton (Laurent Marhic) qui a eu un excellent résultat sur colza (précédent orge). La brassicacée a été semée le 20 septembre mélangée au semis à 80 kg/ha de féverole, 5 kg de trèfle blanc nain, 5 kg de trèfle d'Alexandrie et 10 kg de sarrasin. Il faut noter que l'ensemble des graines a été enrobé avec un ensemble de biostimulants (trichoderma, algues poudre et silice). Un exemple concret de compétition positive.



Colza en bio très propre grâce à l'utilisation de couverts végétaux gélifs et pérennes en association avec le colza chez un producteur breton.

D. Désherbage curatif alternatif :

D.1. Les herbicides naturels : une réglementation bio européenne à faire changer?

Les herbicides naturels ou bio-herbicides pourraient faire partie de la boîte à outil de désherbage dans les systèmes ABC, puisqu'ils sont une solution qui permet de désherber et de ne pas toucher le sol. Ils sont obtenus à partir de molécules actives naturelles trouvées dans des organismes vivants : bactéries, champignons, plantes... C'est lors de mon voyage sur le continent américain que j'ai pris conscience de l'existence et de l'utilisation de ces produits dans des systèmes bio à plus grande échelle. En effet, en Europe, le cahier des charges interdit tout usage d'herbicide, qu'il soit naturel ou non, je n'ai donc vu aucune expérience sur le terrain.

Pourtant, à y bien réfléchir, ils pourraient permettre de fournir un outil de plus aux agriculteurs bio, pour réduire le travail du sol, à condition évidemment d'évaluer leur innocuité, et aussi leur impact sur la vie du sol.

Ils pourraient notamment apporter une solution de plus pour le désherbage sur le rang de la culture, car certains sont sélectifs. Bien que les solutions que j'ai vu étaient plutôt coûteuses, un usage sur le rang uniquement permettrait de réduire considérablement la facture et de les rendre viable économiquement.

Voici une petite liste non-exhaustives des solutions que j'ai vu sur le terrain.

D.2 Les huiles

Un rapide aperçu des solutions disponibles amène naturellement au seul produit de ce type qui a obtenu une AMM sur grandes cultures en Europe, il est donc autorisé en système de grande culture. Il s'agit du Belouka. Commercialisé par la société Jade, ce produit non sélectif est constitué d'acides pélargoniques (acide nonanoïque), un acide gras obtenu après extraction sur de l'huile de colza. Ces molécules agissent par contact en déshydratant les tissus cellulaires de la plante, entraînant son dessèchement. Son action n'est donc pas systémique. En 2018, il est homologué sur vignes, fruitiers, et pour la dessiccation de pommes de terre. Comme tous les produits de ce type, il est conseillé de les appliquer au

printemps ou en été, sur de jeunes herbes indésirables en pleine croissance (idéalement lorsque les plantes font moins de 13 cm de hauteur).

Une autre solution du même type est l'extrait d'huile de pin. Commercialisé en Nouvelle-Zélande et en Australie depuis plusieurs années, il est remis à jour au Québec sous une nouvelle formulation par la société AEF Global. Le produit obtient des résultats qui montent jusqu'à 100 % de destruction sur certaines dicotylédones comme le chénopode, l'amaranthe ou l'ambroisie, mais aussi sur certaines graminées annuelles (sétaire). Il est utilisé avec une dilution de 10 % (sur plante au stade cotylédon) à 20 % (sur plante de plus de 5 feuilles) sans ajout d'adjuvant. Ici encore le problème reste le coût. *« Il est encore inconcevable de pouvoir l'utiliser en plein car le coût monterait autour de 600 €. Ce type de produit peut cependant trouver sa place dans le cadre d'une agriculture biologique avec un jet dirigé sur le rang de maïs couplé à un binage inter-rang. La céréale résiste en effet au traitement à partir du stade 5 feuilles »*, précise Claude Dubois, directeur de la société.



Impact sur dicotylédones avant (gauche) et 5 jours (droite) après un traitement au bio-herbicide à l'huile de pin commercialisé au Québec par la société AEF global.

Dans le marché voisin, aux Etats-unis, c'est un autre bio-herbicide à base d'acide gras qui fait parler de lui sur le marché bio. Commercialisé par la société Westbridge sous le nom de Suppress, il s'agit d'un mélange d'acide caprylique et d'acide caprique, deux acides gras qu'il est possible d'extraire du fromage de

chèvre ! Sur le marché depuis quatre ans, il est utilisé aujourd'hui sur plusieurs milliers d'hectares selon le fabricant. Il présenterait une certaine efficacité sur dicotylédone mais aussi sur graminée, même en conditions froides. Dilué à un taux qui varie de 3 à 9 % (en moyenne 6 % pour un volume de 230 l/ha) en fonction du niveau de développement des plantes, le produit est employé principalement sur fruitiers et vignes, en prenant garde de ne pas toucher le feuillage des cultures, pour un coût de 250 €/ha. A noter que certains céréaliers bio l'utilisent en desséchant pré-récolte, efficace, mais coûteux. Il est aussi utilisé sur soja en désherbage entre-rang, avec des applicateurs dirigés qui protègent la culture.

Il convient de mentionner l'expérimentation de l'huile de soja. Ici, c'est la lécithine contenue dans la légumineuse qui a un effet desséchant. Les lécithines sont des molécules complexes, des phospholipides, constitués en partie d'acides gras. L'huile de tournesol pourrait être aussi utilisée, à condition que les variétés soient riches en lécithine.

Mais la solution systémique « naturelle » va peut-être venir d'une molécule active obtenue à partir d'un microbe au doux nom de *Burkholderia*. Après avoir commercialisé plusieurs bio-herbicides comme le vinaigre et les huiles essentielles (citronnelle, limonène issu de l'huile essentiel d'orange), la société américaine Marrone Bio innovation, spécialiste en la matière depuis 2006, se concentre désormais exclusivement sur les molécules issues de ces microorganismes. *« L'inconvénient avec les huiles ou le vinaigre, c'est qu'il faut les utiliser avec des volumes importants pour avoir un effet brûlant, et plusieurs fois, ce qui augmente le coût du traitement. C'est pourquoi nous avons analysé des milliers d'extraits de microbes qui s'attaquent à des enzymes fondamentales dans le développement cellulaire des plantes. Un candidat très sérieux, qui a la capacité de se déplacer dans les vaisseaux des plantes, a été isolé et s'appelle Spliceostatin C »*, détaille Pam Marrone, le fondateur de l'entreprise. Sa particularité, une action à très faible dose : 0,75 g/ha (contre 270 g/ha pour le glyphosate. Le produit, dénommé MBI 014, a une efficacité très forte lorsqu'il est employé en pré-émergence à la dose recommandée (0,75 g/ha) : 100 % des espèces sont alors détruites. Bientôt le futur glyphosate vert?

- Enfin, un dernier bio-herbicide qui pourrait avoir un intérêt dans nos systèmes de couverts permanents, est le produit Organo-sol. Il est constitué d'un mélange de bactéries lactiques de la famille des Lactobacillus, qui proviennent de la

fermentation des produits laitiers qui produisent de l'acide citrique et lactique. Ce bio-dés herbant assure un contrôle partiel de certaines légumineuses comme le trèfle blanc ou le lotier corniculé. Autorisé par le gouvernement canadien, il n'a été commercialisé que pour l'usage domestique, sous le nom de Bioprotec herbicide, du fait de son coût élevé.

D. 3 Les herbicides minéraux

Ils étaient les premiers herbicides utilisés au début du 20^{ème} siècle, et furent abandonnés par les herbicides de synthèse, car plus efficaces et plus pratiques à utiliser. Il faut cependant préciser que malgré leurs défauts, ils ont un gros avantage : accessibles pour beaucoup d'entre eux directement à l'état naturel, les molécules qui les constituent sont reconnues par les mécanismes de dégradation biologique des sols. Ils se décomposent donc entièrement en éléments chimiques simples. Cela ne signifie pas qu'ils ne sont pas toxiques, notamment à court terme, mais la plupart d'entre eux n'ont aucune toxicité à long terme, par accumulation de métabolites de dégradation de composition inconnue dans le sol.

C'est le cas de l'acide sulfurique, qui est encore largement utilisé à travers le monde mais interdit en Europe. Il fut l'un des premiers, voire peut-être le premier produit dés herbant utilisé sur une échelle importante, pour le dés herbage sélectif des céréales au début du 20^e siècle. Il est aussi employé actuellement comme défanant pour pommes de terre aux Etats-Unis. Naturellement présent dans les régions volcaniques, sa composition simple, H_2SO_4 , fait qu'il est entièrement décomposé dans le sol en particules élémentaires simples : hydrogène, oxygène et soufre. Il s'agit d'un produit sélectif des céréales mais aussi des alliacés. Il pourrait aussi être utilisé sur lin assez développé, tout comme sur jeunes betteraves. Il présente une grande efficacité sur de nombreuses dicotylédones. Une concentration à 5 % suffit pour tuer les crucifères et les jeunes coquelicots. La plupart des dicotylédones annuelles, chénopodes, gaillet, etc...sont détruites par une solution à 10-12 %. Autre intérêt de l'acide, c'est qu'il présente un effet fongicide avéré sur plusieurs maladies : rouilles, piétin-verse, piétin-échaudage. Le mode d'action est encore peu connu. Il résulterait à la fois d'un effet déshydratant mais aussi d'une amélioration de la nutrition, notamment phosphatée, du blé. L'acide

transformerait une partie des phosphates en superphosphates plus assimilables, et améliorerait aussi la disponibilité d'oligoéléments. Il apporte aussi évidemment du soufre. Le produit présente cependant des inconvénients : une certaine dangerosité pour l'utilisateur. Il est aussi très corrosif pour le matériel. Enfin, il présente un effet certain et nocif en fonction de la concentration sur les animaux macroscopiques : crapauds, vers de terre, insectes.

Comme l'acide sulfurique, le sulfate de fer apporte lui aussi du soufre. Sélectif sur céréale, il présente un effet intéressant sur certaines dicotylédones, notamment les crucifères, pour lesquelles 15 à 20 kg de sulfate pour 100 l de bouillie sur jeune plantule suffit (si possible avant l'hiver car au printemps, il y a des risques qu'elles soient trop développées). « *Les sols contiennent déjà beaucoup de fer, ce qu'on ajoute par la pulvérisation représente souvent peu de chose par rapport au stock pré-existant. Le risque de pollution semble donc nul* », indique J. Pousset, spécialiste en la agriculture biologique. Ce n'est pas le cas de son frère : le sulfate de cuivre (pur, pas la bouille bordelaise dans laquelle le sulfate est neutralisé par une base), qui a aussi un effet significatif sur le même type d'adventice et aux mêmes doses. Notons que cet inconvénient peut être un avantage dans le cas de sol carencé en cuivre, mais de manière générale, l'accumulation de cet élément peut devenir toxique au fil des ans.

D.3. Les micro-ondes

Une autre technologie qui a l'avantage de ne pas toucher le sol est le désherbage par micro-ondes. Graham Brodie, de l'université de Melbourne en Australie, a utilisé en 2006 un micro-onde de cuisine d'une puissance de 600 watts pour étudier son potentiel désherbant. « *Les micro-ondes font osciller les molécules d'eau contenues dans la plante de manière très rapide, ce qui provoque un échauffement. Cette eau se transforme en vapeur qui génère une forte pression qui va dégrader la structure cellulaire. C'est d'ailleurs très impressionnant d'entendre la végétation craquer au passage de la machine* », détaille le docteur en sciences. Dès 2008, il développe une version expérimentale d'une puissance de 8 kW. Elle est constituée de quatre générateurs indépendants de 2 kW chacun. Les antennes de sorties font 11 cm de large ce qui permet de diriger le flux entre les rangs d'une culture déjà levée.

« L'outil est utilisé à une vitesse de 1 km/h, ce qui génère une température de 60°C sur le sol, suffisant pour éliminer des adventices à un stade jeune. Avec une puissance de 18 kW, il serait possible de travailler entre 6 et 10 km/h, sachant qu'il existe déjà des générateurs industriels de près de 100 kW », précise le spécialiste. Il a été aussi observé une hausse des rendements après utilisation.

« Les micro-ondes ne pénètrent qu'à 5 cm, mais cela suffit pour tuer une partie des bactéries présentes, comme un travail de sol, mais sans le chamboulement de la structure qui va avec. Cette destruction provoque un effet de minéralisation et donc de relargage de l'azote d'où la hausse de rendement. Les populations de bactéries se régénèrent très vite par la suite et quelques semaines après, elles sont plus nombreuses qu'avant le passage de la machine. Il a été noté que cet effet du traitement du sol sur le rendement persiste même pendant trois saisons », rajoute Graham Brodie.

En plus des adventices, la technologie aide à contrôler certains bioagresseurs, notamment les gastéropodes (limaces, escargots). Le revers de la médaille concerne par contre les vers de terre qui se trouvent en surface. *« A ce stade nous ne sommes pas encore certains de l'effet sur cette macrofaune. Les micro-ondes tuent probablement les vers de terre très proches de la surface, au même titre qu'un travail du sol superficiel. Ceux en profondeur sont par contre protégés car l'effet ne va pas en dessous de 5 cm »*, indique le chercheur, qui précise par ailleurs que l'opérateur est lui à l'abri grâce à un bouclier protecteur.



Déssherbeur à micro-ondes développé par Graham Brodie, de l'université de Melbourne

D.4 Le désherbage électrique

Mais le mode de désherbage alternatif au stade de développement le plus avancé en Europe est sans doute le désherbage électrique. Il a été testé au sein d'instituts de recherches en Suisse et est aujourd'hui en expérimentation chez Arvalis. L'originalité de cette solution est que c'est la seule solution alternative qui présente une action systémique. C'est un peu l'équivalent du glyphosate. Le courant détruit à la fois la partie aérienne mais aussi la biomasse reproductive racinaire, empêchant ainsi la plante de se régénérer. *“Dans les essais, le nombre de repousses d'adventices après 3 ou 6 mois est d'ailleurs comparable à celui des parcelles traitées au glyphosate »*, indique Benjamin Ergas, directeur de la société suisse Zasso Group AG qui commercialise l'outil. Le courant part d'une génératrice, située à l'arrière du tracteur et animé par la prise de force, puis migre ensuite dans une première rangée d'applicateurs situés sur le relevage avant, composés de spatules métalliques de taille et espacement variable (10-20 cm), pour une largeur totale de 1 à 10 m. Ces applicateurs sont interchangeables suivant les cultures. Le courant touche les plantes, transite à travers les tissus avant de remonter dans la deuxième rangée d'applicateurs « terre » qui ferme le circuit. En s'acheminant dans le végétal, l'électricité fait éclater les vaisseaux et endommage les cellules.

L'outil a été testé par Marcio Chaliol et son équipe au Brésil. *« Nous avons essayé le prototype sur des parcelles bio de soja semées en direct dans les chaumes du précédent. La technologie est intéressante en système biologique pour pouvoir évoluer vers des systèmes en semis direct. Nous l'avons passé juste après le semis, car nous avons une fenêtre de 5 jours avant la levée de la culture. L'outil a bien maîtrisé les adventices annuelles, qui mesuraient entre 5 et 25 cm de haut. Le contrôle était moins efficace sur certaines plantes pérennes, surtout celles avec des systèmes racinaires « diffus », où il a fallu deux ou trois passages. Dans nos conditions, il faut aussi faire attention que le sol ne soit pas trop humide pour ne pas trop le tasser du fait du poids de la machine. En terme de consommation de gazoil, nous avons noté des chiffres entre 10 et 12 l/ha »*, témoigne Marcio Chaliol. Depuis, le constructeur a travaillé sur le poids, et les 15 machines commercialisées au Brésil pèsent en moyenne 800 kg (200 kg pour les applicateurs et 600 kg pour la génératrice), pour des

niveaux de consommation identiques. Le constructeur prévoit néanmoins une réduction du poids importante pour les futurs équipements développés pour le segment agricole.

La vitesse de travail actuel de l'Electroherbe est de l'ordre de 3 à 5 km/h, bien qu'il soit possible d'aller jusqu'à 10 km/h. La contrainte reste en effet le temps de contact entre les électrodes et la plante : il doit être entre 0,1 et 1 seconde suivant la hauteur des adventices. Avec une largeur actuelle de 2,5 m à 3 m de large, l'engin a un débit de chantier de 1 ha/h.

En termes de risques pour la faune du sol, des tests sur vers de terre et collemboles sont en cours de finalisation. Pour le moment, le rapport de synthèse n'est pas disponible mais selon le constructeur, l'impact serait limité.



Prototype de désherbage électrique développé par la société Zasso en test avec l'équipe de Marcio Chaliol au Brésil.

E. Utilisation de l'élevage pour faciliter les systèmes ABC

Lors de mes différentes rencontres, j'ai beaucoup entendu parlé d'élevage. De plus en plus d'agriculteurs commencent à ré-introduire des troupeaux voyant l'effet positif de la ré-intégration de l'animal dans leur système : possibilité de ré-introduire de la prairie et donc des plantes pérennes qui produisent beaucoup de racines génératrices d'humus dans les rotations, valorisation d'une culture ratée par une trop forte pression d'adventices, augmentation de la diversité de la microbiologie des sols de par l'ensemencement bactériens des animaux,

réduction de la germination des graines d'adventices. Il semble aujourd'hui que ré-introduire l'élevage facilite considérablement la transition en ABC. Je me rappelle d'ailleurs d'une discussion avec Philippe Nouvellon qui m'a beaucoup marqué. Il me disait que ses meilleures performances en termes de rendement de cultures bio étaient auparavant lorsqu'il avait un élevage. Il avait une rotation prairie-maïs-orge-prairie où il pouvait faire une culture de maïs avec qu'un seul passage de désherbage mécanique (binage) et d'excellents rendements. Il est vrai que l'impact du travail du sol dans des systèmes avec élevage est bien moindre qu'en système céréalier pur.

- **Cas concret : Dan deSutter :
ré-introduction de l'élevage et
intégration intensive des
couverts végétaux pâturés
pour faciliter la transition ABC**

J'ai rencontré des agriculteurs français qui ont remarquablement bien intégré ce principe (Félix Noblia, Pierre Pujos). Je vais parler ici dans le détail de l'expérience d'un producteur américain. Il s'agit de Dan DeSutter, agriculteur dans l'Indiana, qui fait partie de ces producteurs souhaitant être moins dépendant de l'industrie phytopharmaceutique. Voilà pourquoi il a converti en 2017 l'intégralité de ses 1800 ha en agriculture biologique. Des parcelles qui étaient pourtant en semis direct depuis 1990. Dan n'a pourtant pas hésité à franchir le pas du retour au travail du sol occasionnel pour transiter vers un mode de production plus en adéquation avec sa recherche d'autonomie.

Après 18 ans de semis direct dans une rotation maïs, soja et blé, il n'exclut donc plus d'utiliser le travail du sol pour détruire certains couverts permanents et/ou maîtriser le salissement en bio. Selon lui, un léger travail du sol n'est pas compromettant car ses pratiques, notamment l'élevage, répare cette destruction temporaire

Les sols limono-argileux qu'il possède depuis 30 ans ont vu grâce aux pratiques d'agriculture de conservation qu'il mène leur taux de matière organique passé de 1.8 à 4.2%. Il estime ainsi avoir obtenu un gain de 1% de matière organique tous les 10 ans.

Pendant plus de 15 ans il a engraisé des bovins à l'herbe sur prairie permanente, des vaches de race Black Angus. Mais depuis 2017, il conduit les bovins en pâturage tournant sur ses couverts. Il compte désormais un troupeau de 180 vaches qui transitent sur une surface totale de 2000 ha. Avec ce pâturage, il compte augmenter plus rapidement les taux de MO de ses sols, à 0,2 % / an, grâce à la synergie sol-plante-animal. Dan me parlait d'un spécialiste de l'université de Penn state, Alen William, consultant en techniques de pâturage qui aurait obtenu des résultats très surprenants et très rapides sur les hausses de MO grâce au pâturage. Ce spécialiste indique que près des 2/3 des augmentations des taux de MO viennent de la production des exsudats racinaires, d'où l'importance du pâturage qui stimule la production de racines des couverts permanents ou temporaires.

Pour optimiser au mieux cette synergie, il a construit une rotation où les couverts végétaux sont intégrés de manière très poussée. Ceux-ci sont semés entre le 15/08 et le 1/10. Voici le détail de son programme que j'ai trouvé très pertinent :

- Couvert de pâturage d'automne-hiver : féverole, pois d'hiver australien, avoine (hayden), triticale d'hiver, choux fourrager (impact collard) et chou kale fourrager (kaly bayou, ressemble à colza fourrager), navet (purple top turnip), sur 35 ha (coût : 120 dollars/ha).
- Trèfle Balansa Fixation (au 25/08) sur 200 ha, en association avec pois d'hiver et de l'avoine pour le protéger du froid (50 dollars/ha). Ce trèfle a la particularité de produire énormément d'azote (plus de 300 U /ha dans certains essais!). Ce trèfle aurait aussi le potentiel pour remplacer la vesce velue dans les semis direct de maïs, car il arrive à floraison plus tôt, vers mi-mai, et serait facilement destructible par roulage.
- Pâturage de luzerne diversifiée sur 60 ha : ray grass d'hiver annuel (winterhawk), navet (purple top), pois , colza fourrager (trophy) : 50 dollars/ha.

- Couvert “gamma diversification” : seigle (virginia wild), plantain (boston), chicorée (endure), trèfle pérenne (aberlasting), luzerne, lotier corniculé, ray-grass tetramag, colza fourrager (trophy), lin doré, pimprenelle sur 80 ha (130 dollars/ha).
- maïs pérenne – froid tolérant : graminée (kentucky blue grass), ray grass pérene, trèfle pérenne, trèfle blanc (dutch), plantain (Dan, adore le plantain qui est pour lui une plante très structurante, et comme beaucoup de plante qui fleurit jaune, aide à rendre assimilable le soufre). Sur 45 ha (20 dollars/ha)
- radis fourrager – avoine (hayden) sur 180 ha (20 dollars/ha)
- mélange fourrager après maïs : triticales hiver, navet turnip, colza fourrager (trophy), winerhawk ray grass. (65 ha : 60 dollars/ha)
- Vesce velue en pure sur 50 ha (100 dollars/ha).



Couvert d'été multi-espèce (sorgho, millet perlé, sarrasin, trèfle divers, crotalaire, cowpea, okra...) prêt à être pâturé chez Dan Desutter.

Ce qui fait en tout près de 715 ha de couverts sur les 1800 ha que compte la sole de Dan. Ces 715 ha seront tous au moins pâturés une fois, ou ensilés.

L'ensemble de ses légumineuses sont inoculées car selon lui, l'inoculum est très peu cher comparé au bénéfice qu'ils apportent.

En plus de l'intégration de l'élevage, Dan pratique toujours le plus possible le semis direct sous couvert. La réussite du roulage au rouleau crimper du seigle pour implanter un soja depuis 3 ans le conforte dans ses choix, même si les rendements furent très faible (1 t/ha) en 2018 à cause du froid printaniers. Il sème sa graine de soja après 7 cm de profondeur, car selon lui, l'effet allelopathique du seigle se produit jusqu'à 5-7 cm.

Au niveau du maïs, il n'a pas trouvé le couvert parfait pour réaliser le semis direct. Mais il a réalisé des essais bluffant de semis direct de maïs dans de la luzerne vivante, biné 1 rang sur deux. Dan avoue ne pas avoir vu de différence entre les parties binées et celles où la luzerne est restée vivante en terme de rendement. Il faut signaler que la pluviométrie assez régulière dans la région (1000 mm/ha) est assez favorable à ce type de pratiques, bien que le printemps ait été assez sec l'année de l'essai (pas de pluie avant mi-juin, maïs semé 20 mai et bien levé quand même!). Dan a attendu la floraison mi-mai de la luzerne pour y semer le maïs à 7 cm.

Dan est très intéressé par l'idée de conserver un couvert vivant dans le maïs. Bien que son inter-rang soit commun (75 cm), il me parlait d'essais réussis avec de tels écartements avec des associations de ray grass dans l'état de Pennsylvanie et au Québec.

Voilà pourquoi en plus de la luzerne, il essaye aussi le mélange "maïs perenne - froid tolérant" implanté dans un couvert d'été de sorgho, qui est tondu dans le maïs avec une tondeuse inter-rang pour limiter la compétition, bien que ce mélange rasant soit peu compétitif en été. Dans cet essai, le maïs est implanté à 154 cm avec un strip till. Une variété de 90 jours est utilisée.

Les rendements en maïs sont de (11 t/ha, soja 3,6 t/ha).

A noté que Dan ne fait plus d'apport de fertilisant externe, sauf du calcaire à 1 t/ha avant soja pour saturer la CEC à 75 % de Ca. Cette pratique aurait un effet de réduction de la pression des graminées adventices dans le soja.

En termes de matériel, Dan utilise toujours son semoir JD monograine de semis direct à disque simple. Dan est très satisfait de son combiné de semis Horsh Partner 2800 HT - Joker. Il lui permet d'implanter son blé directement après soja en un seul passage grâce à ses disques indépendants permettant une bonne gestion des pailles et la création de terre fine suffisante.

F. Biostimulants pour favoriser la santé des cultures

Pour finir, je me devais de parler d'un sujet qui prend de plus en plus d'importance en agriculture, et particulièrement en système ABC, celui des biostimulants. Ce sont des procédés qui doivent permettre de stimuler la culture pour la rendre plus forte et plus vigoureuse au détriment du développement des adventices et des pathogènes. Ils font donc aussi parti des stratégies de désherbage préventives.

F 1. Enrobage de graines

J'ai rencontré beaucoup d'agriculteurs qui pratiquaient l'enrobage de la semence pour favoriser le départ de la culture et protéger des maladies et autres insectes des semis. De nombreuses recettes sont possibles, je vais en détailler quelques unes :

- Chez Scott Shriver : enrobage à base de mélasse (pour nourrir les micro-organismes du sol) (3 parts), de jus de poisson (pour sa richesse en phosphore)(3 parts), et un mélange de bactéries "SP 1" (1 part) qui améliore la vie du sol autour de la rhizosphère du germe.
- chez Mark Doudlah : idem : mélasse- SP 1 - jus de poisson + mycorhize +bioprotecteur (biorepel Ecotec) + SP 120 (Beauveria bassiana) + nitrate chilien (sodium) sur la ligne de semis.

Trouvé dans mes différentes recherches :

- bactéries bacillus, trichoderma ,azotobacter ,azospirilum, glomus...
- Acide humique, acide fulvique et acides aminées
- Algues diverses : laminarine, ascophyllum, etc....
- thés de compost et autre préparations à base de plantes
- Le bon vieux vinaigre...

F 2. Pulvérisations foliaires

ici aussi, de nombreuses recettes sont disponibles. De nombreux agriculteurs bio utilisent des purins ou autres macérations à base de plantes (ortie, consoude,

mais aussi luzerne ou saule). Je vais détailler ici les pratiques réalisées par Friedrich Wenz qui a particulièrement étudié ce sujet. Il utilise en priorité les thés de compost qu'il produit lui-même (voir recette ci-après), complétés s'il le faut de préparations biodynamiques P 500 (bouses de cornes) et P 501 (silice de corne), achetées dans le commerce. Le thé de compost est utilisé entre 10 et 50 l/ha (en fonction du débit du pulvérisateur) à basse pression sur chaque culture au printemps, en postlevé et dans toute situation de stress. « *La présence d'acides humiques dans le thé de compost fait que les stomates des feuilles s'ouvrent plus. Les composants enzymatiques, hormonaux et minéraux de la substance peuvent ainsi mieux pénétrer et produire un effet immédiat. La photosynthèse est plus efficace* », indique Friedrich. La bouse de corne (P500) est appliquée à basse pression au semis à 100 g/ ha dans 35 l d'eau, uniquement le soir, et le P 501(silice), le matin uniquement, à 4 g / ha dans 35 l d'eau. Le P500 importe « l'impulsion du bovin », c'est-à-dire une partie des microorganismes présents dans la fiente de vache, simulant ainsi en partie un pâturage ou un apport de fumier, pratique quand il n'y a pas d'élevage sur la ferme !

Recette du thé de compost (pulvérisation foliaire en cours de culture) :

L'agriculteur utilise une cuve de 200 l dans laquelle il introduit 1 l de compost bien décomposé qui dégage une odeur « agréable ». Pour être sûr de sa qualité, il sème des graines de cresson dans deux bols, un ouvert et un fermé. Il rajoute 30 g d'une poudre « BioAktiv », composante énergétique qui stabilise le processus de fabrication, 100 g de poudre de basalte riche en nutriment, 200 g d'un produit à base d'orge malté enrichie en mycorhize, et 200 ml de mélasse de canne. Il laisse ensuite infusé pendant 24h, à 25°C. Pendant ce laps de temps, la préparation est dynamisée via des turbines qui travaillent par succion et provoquent un vortex qui va jusqu'en bas de la cuve et qui oxygène le mélange. L'ensemble est filtré, pulvérisé entre 10 à 50 l/ha (dilué en fonction du débit minimum du pulvérisateur). Le mélange est fait avec l'eau du réseau, qui a été laissé à l'air pendant 24 h pour enlever le chlore. Avec 200 l, il est donc possible de traiter 10 ha. Ce produit doit être utilisé dans la journée car il ne peut pas se conserver plus de 24 h. Les coûts dépendent des matériaux utilisés, mais l'agriculteur indique un coût moyen autour de 3 €/ha, pour un temps de travail de 1 à 2 h pour 1000 l.

Conclusion

Cette expérience Nuffield aura été riche d'enseignements. Moi qui ait toujours été un passionné des techniques de semis direct sous couvert, j'ai pu voir des parcelles en agriculture biologique implantées avec ce type de technique de manière très réussie, ce fut très enthousiasmant. J'ai pu aussi constater la difficulté de mises en places de ces itinéraires, et les nombreux échecs que tous ces agriculteurs-chercheurs explorateurs à la quête du graal ont rencontré.

J'ai fait la rencontre de personnes toutes passionnées par ce sujet, qui avaient tous comme point commun d'être très concerné par les problèmes environnementaux.

Mais surtout, je suis devenu plus pragmatique par rapport au travail du sol. Diabolisé par certains, je le vois désormais plus comme un outil qui peut permettre d'augmenter la fertilité des sols s'il est bien utilisé. Le plus important étant de toujours garder un minimum de résidus sur le sol ainsi qu'une vie du sol grouillante pour le protéger des intempéries et ne pas évoluer vers des pratiques érosives, qui ont vus maintes civilisations dans l'histoire humaine disparaître.

J'ai hâte de voir sur le long terme, sur le terrain toutes ces stratégies de régénération des sols comme celle mise au point par Friedrich Wenz, qui semblent très prometteuses.

Ce qui est sûr, c'est que l'ABC aura toujours de nombreux visages, de multiples formes et façons d'exister à travers les territoires en fonction des contextes et aspirations de chacun.

Parmi tous les points détaillés dans ce rapport, aucune technique seule ne sera la solution mais c'est bien la combinaison d'un ensemble de pratiques et la diversité des itinéraires cultureux qui permettront de réussir la transition vers des systèmes ABC résilients.

J'ai aussi de plus en plus de mal à concevoir des systèmes en agriculture biologique sans intégrer dans la rotation des jachères, valorisées ou non par de l'élevage. L'intégration d'animaux semble la manière de régénérer les sols en dépensant le moins d'énergie et en fournissant le moins de travail. C'est en tout

cas la voie que j'ai pris dans mon système de maraîchage bio sur petite surface, où un tout petit troupeau peut faire des merveilles.

En plus du bienfait pour mon sol, c'est aussi très épanouissant de revoir des animaux et donc de la vie dans les champs.

Je suis aussi très impressionné du mouvement global actuel de l'ABC. Lorsque j'ai commencé mon étude en 2017 il s'agissait encore de pratiques presque confidentielles, réalisées par une poignée de pionniers éparpillés.

Dorénavant, c'est presque tous les jours que l'on voit sur les réseaux sociaux des agriculteurs mettre en avant les essais qu'ils font sur cette problématique. La presse et la recherche en parlent aussi de plus en plus.

Avec les moyens de communication actuels, les renseignements et les informations circulent désormais à vitesse haut débit, je suis très optimiste sur le développement généralisé d'une agriculture biologique qui n'érode plus les sols mais qui stocke le carbone et contribue à la production d'aliments de plus en plus sains, dans un environnement pas si lointain.

"Healty soil, healthy food, healthy people", tel est le slogan que j'ai pu entendre au Rodale Institute. Je suis plus que jamais persuadé du bienfait de ces pratiques sur la santé humaine.

Références bibliographiques

- 1 HOLLAND J.M. The environmental consequences of adopting conservation tillage in Europe: reviewing the evidence. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 2004, Vol. 103, pp. 1-25.
- 2 FAO. Economie de l'agriculture de conservation. [en ligne]. Disponible sur : <http://www.fao.org/docrep/005/y2781f/y2781f03.htm> [Consulté le 7 mars 2016].
- 3 HOBBS Peter R., SAYRE Ken, GUPTA Raj. The role of conservation agriculture in sustainable agriculture. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, [en ligne]. 2008, Vol. 363, n° 1491, pp. 543-555. Disponible sur : 10.1098/rstb.2007.2169 [Consulté le 3 août 2016]. ISSN 0962-8436, 1471-2970.
- 4 SOANE B.D., BALL B.C., ARVIDSSON J., BASCH G., MORENO F., ROGER-ESTRADE J. No-till in northern, western and south-western Europe: A review of problems and opportunities for crop production and the environment. *Soil and Tillage Research*, [en ligne]. 2012, Vol. 118, pp. 66-87. Disponible sur : 10.1016/j.still.2011.10.015 [Consulté le 9 mars 2015]. ISSN 01671987.
- 5 DERPSCH Rolf, FRIEDRICH Theodor, KASSAM Amir, LI Hongwen. Current status of adoption of no-till farming in the world and some of its main benefits [en ligne]. *International Journal of Agricultural and Biological Engineering*, 2010, Vol. 3, n° 1, pp. 1–25. Disponible sur : <http://www.ijabe.org/index.php/ijabe/article/viewArticle/223> [Consulté le 15 janvier 2016].
- 6 BASCH Gottlieb, GERAGHTY J., STREIT B., STURNY W.G. No-Tillage-in-Europe-State-of-the-Art. [en ligne]. Disponible sur : <http://geraghtyconsulting.ie/wp-content/uploads/2011/11/No-Tillage-in-Europe-State-of-the-Art.pdf> [Consulté le 10 juillet 2016].
- 7 HOROWITZ John. No-till Farming Is a Growing Practice [en ligne]. . S.l. : DIANE Publishing, 2011, 28 p. . ISBN 9781437942163. Disponible sur : Google Books [Consulté le 14 décembre 2014]. 24
- 8 TRIPLETT G. B., DICK Warren A. No-Tillage Crop Production: A Revolution in Agriculture! *Agronomy Journal*, [en ligne]. 2008, Vol. 100, n° Supplement_3, pp. S-153. Disponible sur : 10.2134/agronj2007.0005c [Consulté le 15 janvier 2016]. ISSN 1435-0645.
- 9 GADERMAIER Florian, BERNER Alfred, FLIEßBACH Andreas, FRIEDEL Jürgen Kurt, MÄDER Paul. Impact of reduced tillage on soil organic carbon and nutrient budgets under organic farming. *Renewable Agriculture and Food Systems*, [en ligne]. 2012, Vol. 27, n° 01, pp. 68-80. Disponible sur : 10.1017/S1742170510000554 [Consulté le 9 mars 2015]. ISSN 1742-1705, 1742-1713.
- 10 MIRSKY Steven B., RYAN Matthew R., CURRAN William S., TEASDALE John R., MAUL Jude, SPARGO John T., MOYER Jeff, GRANTHAM Alison M., WEBER Donald, WAY Thomas R., CAMARGO Gustavo G. Conservation tillage issues: Cover crop-based organic rotational no-till grain production in the mid-Atlantic region, USA. *Renewable Agriculture and Food Systems*. 2012, Vol. 27, n° Special Issue 01, pp. 31–40. DOI: 10.1017/S1742170511000457. ISSN 1742-1713.
- 11 BERNSTEIN Emily R., POSNER Joshua L., STOLTENBERG David E., HEDTCKE Janet L. Organically Managed No-Tillage Rye–Soybean Systems: Agronomic, Economic, and Environmental Assessment. *Agronomy Journal*, [en ligne]. 2011, Vol. 103, n° 4, pp. 1169. Disponible sur : 10.2134/agronj2010.0498 [Consulté le 28 mars 2015]. ISSN 0002-1962.
- 12 MOYER Jeff. Organic no-till farming. *Advancing no-till agriculture. Crops, soil, equipment.* . Acres U.S.A, Austin, Texas : Copyright, 2011, 204 p. . ISBN 978-1-60173-017-6.
- 13 DELATE Kathleen, CWACH Daniel, CHASE Craig. Organic no-tillage system effects on soybean, corn and irrigated tomato production and economic performance in Iowa, USA. *Renewable Agriculture and Food Systems*. 2012, Vol. 27, n° Special Issue 01, pp. 49–59. DOI : 10.1017/S1742170511000524. ISSN 1742-1713.
- 14 HALDE Caroline, GULDEN Robert H., ENTZ Martin H. Selecting Cover Crop Mulches for Organic Rotational No-Till Systems in Manitoba, Canada. *Agronomy Journal*, [en ligne]. 2014, Vol. 106, n° 4, pp. 1193. Disponible sur : 10.2134/agronj13.0402 [Consulté le 15 janvier 2016]. ISSN 0002-1962.
- 15 BILALIS Dimitrios J., KARAMANOS Andreas J. Organic Maize Growth and Mycorrhizal Root Colonization Response to Tillage and Organic Fertilization. *Journal of Sustainable Agriculture*, [en ligne]. 2010, Vol. 34, n° 8, pp. 836-849. Disponible sur : 10.1080/10440046.2010.519197 [Consulté le 14 août 2016]. ISSN 1044-0046.
- 16 SMITH Adam N, REBERG-HORTON S. Chris, PLACE George T, MEIJER Alan D, ARELLANO Consuelo, MUELLER J. Paul. Rolled Rye Mulch for Weed Suppression in Organic No-Tillage Soybeans. *Weed Science*, [en ligne]. 2011b, Vol. 59, n° 2, pp. 224-231. Disponible sur : 10.1614/WS-D-10-00112.1 [Consulté le 15 janvier 2016]. ISSN 0043-1745, 1550-2759.
- 17 MISCHLER Pierre, HOCDE H., TRIOMPHE B., OMON B. Conception de systèmes de culture et de production avec des agriculteurs: partager les connaissances et les compétences pour innover. In :

- Systèmes de culture innovants et durables: Quelles méthodes pour les mettre au point et les évaluer. Educagried. Dijon : inra, 2008, pp. 91–108. ISBN 978-2-84444-685-5.
- 18 LEFEBVRE Maxime, LEBLANC Maryse, GILBERT Pierre-Antoine, ESTEVEZ Bernard, GRENIER Michèle, BELZILE Luc. Semis direct sur paillis de seigle roulé en régie biologique. [en ligne]. Rapport final 08 BIO-24 (IRDA-400063). Québec : Institut de recherche et de développement en agroenvironnement, 2011, 36 p. Disponible sur : [https://www.agrireseau.net/agriculturebiologique/documents/Rapport%20Final_08-BIO-24%20\(IRDA-400063\)%20vf.doc](https://www.agrireseau.net/agriculturebiologique/documents/Rapport%20Final_08-BIO-24%20(IRDA-400063)%20vf.doc) [Consulté le 3 août 2016].
 - 19 WELLS M. Scott, BRINTON Carrie M., REBERG-HORTON S. Chris. Weed suppression and soybean yield in a no-till cover-crop mulched system as influenced by six rye cultivars. *Renewable Agriculture and Food Systems*, [en ligne]. 2015, pp. 1-12. Disponible sur : [10.1017/S1742170515000344](https://doi.org/10.1017/S1742170515000344) [Consulté le 11 août 2016]. ISSN 1742-1705, 1742-1713.
 - 20 RYAN Matthew R. Energy usage, greenhouse gases, and multi-tactical weed management in organic rotational no-till cropping systems. [en ligne]. S.I. : The Pennsylvania State University, 2010, Disponible sur : <https://etda.libraries.psu.edu/paper/11087/6783> [Consulté le 11 mars 2016].
 - 21 REBERG-HORTON S. Chris, GROSSMAN Julie M., KORNECKI Ted S., MEIJER Alan D., PRICE Andrew J., PLACE George T., WEBSTER Theodore M. Utilizing cover crop mulches to reduce tillage in organic systems in the southeastern USA. *Renewable Agriculture and Food Systems*. 2012, Vol. 27, n° Special Issue 01, pp. 41–48. DOI : [10.1017/S1742170511000469](https://doi.org/10.1017/S1742170511000469). ISSN 1742-1713.
 - 22 KORNECKI T.s., PRICE A.j., RAPER R.I., ARRIAGA F.j. New roller crimper concepts for mechanical termination of cover crops in conservation agriculture. *Renewable Agriculture and Food Systems*, [en ligne]. 2009, Vol. 24, n° 3, pp. 165–173. Disponible sur : [10.1017/S1742170509002580](https://doi.org/10.1017/S1742170509002580) [Consulté le 14 août 2016]. ISSN 1742-1713.
 - 23 CURRAN William S., WALLACE J.M., HOOVER R. Lessons learned from the reduced-tillage organic systems experiment. [en ligne]. Pennsylvania State University, 2014. Disponible sur : <http://agsci.psu.edu/organic/research-and-extension/rotational-no-till/old-project/publications/lessons-learned-form-the-reduced-tillage-organic-systems-experiment> [Consulté le 15 janvier 2016].
 - 24 HALDE Caroline, BAMFORD Keith C., ENTZ Martin H. Crop agronomic performance under a six-year continuous organic no-till system and other tilled and conventionally-managed systems in the northern Great Plains of Canada. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, [en ligne]. 2015, Vol. 213, pp. 121-130. Disponible sur : [10.1016/j.agee.2015.07.029](https://doi.org/10.1016/j.agee.2015.07.029) [Consulté le 16 mars 2016]. ISSN 01678809.
 - 25 ANDERSON Randy L. Integrating a complex rotation with no-till improves weed management in organic farming. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, [en ligne]. 2015, Vol. 35, n° 3, pp. 967-974. Disponible sur : [10.1007/s13593-015-0292-3](https://doi.org/10.1007/s13593-015-0292-3) [Consulté le 5 juillet 2016]. ISSN 1774-0746, 1773-0155.
 - 26 SILVA Erin Marie. Screening Five Fall-Sown Cover Crops for Use in Organic No-Till Crop Production in the Upper Midwest. *Agroecology and Sustainable Food Systems*, [en ligne]. 2014, Vol. 38, n° 7, pp. 748-763. Disponible sur : [10.1080/21683565.2014.901275](https://doi.org/10.1080/21683565.2014.901275) [Consulté le 5 juillet 2016]. ISSN 2168-3565.
 - 27 RODALE INSTITUTE. Cover Crops And No-Till Management for Organic Systems. [en ligne]. Disponible sur : http://www.sare.org/content/download/65453/919599/Cover_Crops_And_No-Till_Management_for_Organic_Systems.pdf?inlinedownload=1 [Consulté le 21 mars 2015].