Synthèse bibliographique sur la place des légumineuses dans la rotation de grandes cultures biologiques

Au-delà de l'intérêt nutritionnel des légumineuses pour l'élevage ou l'alimentation humaine, leur intérêt agronomique dans les rotations culturales est bien connu, comme **cultures pures**, dans des **couverts végétaux** en interculture ou **en association avec une ou plusieurs espèces**.

Les agricultures sur tous les continents pratiquent depuis longtemps les cultures associées (la culture d'au moins deux espèces dans une même parcelle, à distinguer des *mélanges variétaux* dans lesquels interviennent plusieurs variétés d'une même espèce). Les associations sont aussi un état de fait dans la nature (diversité floristique d'une prairie naturelle par exemple). En Europe, on peut entre-autre citer la pratique ancienne du « méteil » qui associe plusieurs espèces de céréales (Blé-Seigle représentait 6% de la sole céréalière française en 1817) [1]

Jusqu'au milieu des années cinquante, les associations céréales - protéagineux étaient largement cultivées en Europe, elles sont ensuite tombées en désuétude avec l'intensification des agro-systèmes durant le 20ème siècle au profit des systèmes fondés sur les peuplements cultivés monospécifiques.

Cependant, depuis les années 2000, des éleveurs souhaitant diminuer leur consommation de protéines, achetées sous forme de tourteaux de soja par exemple, décident d'implanter des associations de cultures céréalières avec des légumineuses, ensilées ou récoltées en grains.

Constatant les bénéfices apportés par ces associations, des essais de cultures destinées à l'alimentation humaine sont initiés dans les années 2010. L'insertion des légumineuses dans les rotations ou dans des associations permettent une **intensification écologique des agrosystèmes**. Pour les systèmes de cultures sans élevage l'apport d'azote nécessaire à la production est par ailleurs un vrai défi compte-tenu du coût et de la disponibilité de la fertilisation azotée en agriculture biologique.

1 - Intérêts agronomiques et économiques des légumineuses dans les rotations et des associations légumineuses - plante partenaire

En agriculture biologique, la culture de légumineuses, fourragères ou à graines (protéagineux), est un élément clef du système de production. Les protéagineux - pois, féverole, lupins - sont particulièrement intéressants non seulement pour leur effet fertilisant lié à la fixation symbiotique de l'azote de l'air (effet précédent dans les rotations) mais aussi pour la production de graines présentant des teneurs élevées en protéines et en énergie. Cependant, **les légumineuses en culture pure concurrencent mal les adventices** et sont considérés comme des cultures salissantes. La **variabilité interannuelle de leurs rendements** est par ailleurs forte. Enfin, certains d'entre eux, comme le pois ou la lentille sont particulièrement **sensibles à la verse**. Ce sont les raisons pour lesquelles, en agriculture biologique, les protéagineux sont souvent cultivés en association avec une céréale. Dans cette association, on parle parfois d'une **culture principale** (ou culture de rente, en proportion majoritaire à la récolte) avec une **culture secondaire**, voire *de service* [2].

Les avantages agronomiques de telles associations sont multiples :

- **Complémentarité de niche** entre les espèces **vis-à-vis des facteurs de croissance**, lumière, eau et azote.
    - La céréale, en occupant les espaces vides et en absorbant des ressources d'azote limitées, favorise la fixation symbiotique du protéagineux associé, augmente la surface photo-synthétisante totale et **facilite la maîtrise de l'enherbement** jusqu'à la récolte (point de faiblesse de la féverole cultivée seule par exemple). Si le **pouvoir couvrant** supérieur d'une association limite certes les entrées de lumière propice au développement des adventices, cet effet positif ne remplace pas et doit être ajouté aux autres moyens de gestion des adventices dans le système cultural (déchaumage, labour, faux semis, herse étrille…)

Féverole pure

Féverole associée à de l'épeautre *crédit photos Bio en Hauts de France*

    - On constate par ailleurs une **complémentarité des zones d'exploration** respectives **des racines** des céréales et de celles des légumineuses. (Par ailleurs, le lupin et en particulier le lupin jaune solubilise davantage le phosphore grâce à ses racines protéoïdes)

- Dans le cas de la lentille, des pois fourragers ou protéagineux, **la culture associée** (céréale ou cameline) **offre un support d'ancrage érigé (effet tuteur) à la légumineuse** et diminue ainsi les risques de verse et de pertes à la récolte. Il faudra cependant choisir un couple espèce-variété dont la rigidité et la hauteur des tiges conviendra à la légumineuse.

- La culture en association peut apporter un **effet barrière** : les espèces différentes jouent un rôle d'écran physique pour certaines maladies à dispersion aérienne ainsi que certains ravageurs : le déplacement des pucerons vers leur culture cible pourra ainsi être perturbé (confusion visuelle) par une culture associée. Une céréale ne fera cependant pas *barrière* à l'atteinte des légumineuses par les sitones.

- De plus, la moindre densité de chacune des espèces et le choix de variétés résistantes entraînent une moindre sensibilité aux maladies (**effet dilution**). Par rapport aux cultures pures correspondantes, en augmentant la biodiversité intra-parcelle, les **associations sont plus résilientes vis-à-vis des stress climatiques et des bio-agresseurs**.

- La culture protéagineuse étant capable de fixer l'azote atmosphérique après la mise en place des nodosités, le reliquat d'azote dans le sol est donc entièrement disponible pour la céréale. Compte-tenu de sa densité réduite de semis, **cela permet à la céréale d'avoir un rendement relatif et une teneur en protéine plus élevés** (cette mesure n'est pas faussée par la présence résiduelle de légumineuses après triage). Un blé associé à un protéagineux aura ainsi une force boulangère accrue et donc potentiellement une valeur commerciale supérieure.

- **Facilitation** : La mobilisation du **Phosphore** accrue constatée en sols pauvres pourrait par-ailleurs trouver son origine dans les interactions rhizosphériques entre céréales et protéagineux. On mesure par exemple une teneur accrue en Phosphore disponible dans une terre cultivée en blé dur lorsque ce dernier est associé avec un pois-chiche.

- Cependant, la proportion de chaque espèce à la récolte ne peut être parfaitement maîtrisée. (la proportion à la récolte n'est jamais celle du semis). **La disponibilité de l'azote** (reliquat sortie d'hiver) **reste le premier facteur décisif de la dominance de l'un ou l'autre des partenaires de l'association** (céréale ou protéagineux). Les associations dont on attend une forte dominance protéagineux doivent être implantées dans des terres offrant de faibles résidus azotés (systèmes à bas intrants, fréquents en Agriculture Biologique). A contrario, il n'apparait pas judicieux d'emblaver une association dans des terres riches en azote qui favoriseront très fortement la céréale. Le choix des combinaisons d'espèces, de variétés (hauteur, précocité à montaison), de leurs dates et densité de semis influent dans une moindre mesure sur cette orientation.

  L'ensemble des points cité ci-dessus permet de constater que **le rendement des associations est généralement supérieur au rendement moyen des cultures pures correspondantes**. (***Land Equivalent Ratio* > 1** calculé en additionnant les surfaces des cultures pures de chacun des partenaires permettant la même récolte que dans l'association. Exemple : Les récoltes ajoutées de 0.6 ha de pois en culture pure et de 0.6 ha de blé en culture pure pourraient être obtenues par un seul ha d'une culture associant pois et blé, soit un LER de 0.6 + 0.6 = 1.2)

  Dans les rotations, on constate que le **reliquat azoté après la récolte d'une association** contenant une légumineuse associée à une céréale dépend de la proportion à la récolte des deux espèces. Quand l'association est constituée majoritairement de céréales à la récolte, le reliquat sortie hiver diffère peu des valeurs observées pour la céréales seule.

  Enfin, au-delà des intérêts agronomiques, **d'un point de vue économique**, le gain de rendement permis par la culture associée permet la plupart du temps une **amélioration de la marge brute à l'hectare des associations légumineuses – céréales**. (cependant, la Politique Agricole Commune ne finance que les cultures monospécifiques) .Ces associations permettent aussi de **limiter les risques liés aux variations inter-annuelles des rendements des légumineuses cultivées seules**.

2 – **Difficultés techniques à lever pour améliorer l'insertion des légumineuses dans les associations**

- L'assortiment des légumineuses et céréales associées doit être judicieusement réfléchi. **Il faudra être attentif :**

  a) à la composition des associations qui doit **prendre en compte l'évolution des vigueurs respectives des deux partenaires**. Les espèces de céréales peuvent être classées, en fonction de leur « **compétitivité** / agressivité » **vis-à-vis des protéagineux**, comme suit [3] : Avoine > Orge > Triticale > Epeautre > Blé (pouvoir couvrant décroissant). D'autre part, **la capacité des espèces de protéagineux à évoluer dans un couvert de céréales** se classe comme suit : Pois fourrager > Féverole > Pois protéagineux >= Lupin bleu.

  b) à la **complémentarité des cycles culturaux** : Un choix techniquement difficile à réaliser peut consister à décaler les dates de semis des espèces associées. Il est souvent préférable de viser des espèces dont les maturités s'accordent en choisissant au sein des céréales des précocités compatibles. Dans tous les cas, il faut attendre la maturité complète de la plus tardive des espèces pour envisager la récolte.

     Par exemple, attention à porter à l'égrenage potentiel d'un des partenaires de l'association:

     - La maturité précoce du pois a pu certaines années conduire à l'égrenage au champ de ses cosses avant la maturité du blé associé. (rarement observé ces dernières années)
     - Un petit décalage de maturité entre espèces est possible si l'espèce la plus précoce est peu sensible à l'égrenage : le cycle court de la caméline résistant bien à l'égrenage permet de retarder sa récolte en phase en attendant la maturité plus tardive de sa culture associée, la lentille par exemple.

c) à **la richesse en azote de la terre emblavée**. Les essais «associations légumineuses-céréales» montrent qu'une bonne **disponibilité de l'azote au printemps** est un déterminant favorisant la croissance de la céréale qui y répondra fortement au détriment de la légumineuse de l'association. L'appréciation des fournitures en azote par un **reliquat azoté à la sortie de l'hiver** est essentielle. Elle doit permettre d'orienter le choix de l'agriculteur vers la culture de printemps
   - d'une céréale pure si le reliquat azoté est élevé
   - d'un protéagineux associé à une céréale (dont on pourra ajuster la densité de semis en fonction de ce reliquat)

d) au **pouvoir couvrant** de la culture associée (céréale ou cameline) qui devra également être adapté en fonction du risque de salissement par les adventices de la parcelle.

- Attention à porter aux éventuelles surdensités, à **l'encombrement spatial** induit par l'association : La féverole qui a **besoin de lumière** pour la fécondation de ses fleurs et la maturation de ses graines peut être handicapé par une végétation d'association trop dense.

- **Facilité de triage** des deux espèces associées suivant les outils de triage dont on pourra disposer après la récolte. Ce critère n'a pas besoin d'être envisagé si la récolte de l'association est destinée à l'alimentation des ruminants (si le mélange est consommé sur l'exploitation). Le **réglage des moissonneuses** pourrait également être difficile si, par exemple, l'on voulait associer un triticale et une lentille.

- Attention à porter dans le choix de la légumineuse pouvant contenir des **éléments anti-nutritionnels** pouvant limiter l'incorporation dans les rations des monogastriques (tanins, vicine et convicine présents dans certaines variétés des féveroles et lupins)

- Maladies portées et/ou exprimées par les légumineuses (**Sclerotinia, Aphanomyces** pouvant par exemple affecter des cultures suivantes dans la rotation : pois protéagineux de printemps ou de conserve sensibles aux deux maladies, Lentilles à l'Aphanomyces)

- Attention à porter **au caractère gélif des légumineuses de service** (que l'on ne récoltera pas) semées dans du colza mais dont on bénéficiera du pouvoir couvrant de l'inter-rang et de la captation de l'azote atmosphérique durant l'automne.

- **Technicité de semis :** Profondeur de semis différentes des cultures partenaires, pouvant imposer l'utilisation de deux semoirs / outils différents si l'exploitation n'a pas accès à un matériel polyvalent (association féverole-blé par exemple)

3 – Essais interrégionaux entrepris pour appréhender quelques-unes de ces difficultés (voir carte p 7)

Les essais choisis dans les régions Flandres, Wallonie et Hauts de France , visent à décliner dans ces trois contextes pédoclimatiques les réponses aux questions du deuxième paragraphe. Ces essais concernent principalement des **cultures associées** (céréales et légumineuses cultivées simultanément) mais également des **semis sous couvert** (légumineuse récoltée ou non semée sous couvert de céréales) et enfin des **rotations riches en légumineuses**. Le relay-cropping ne sera pas abordé (ex : semis d'un soja dans un blé d'hiver récoltés l'un après l'autre). Nous n'envisagerons pas les associations céréales-protéagineux destinés à être ensilés pour l'alimentation animale (*mélange protéagineux céréales immatures MPCI)*

3.a – En Flandres, essais menés par Inagro

Essai association lentillon-épeautre : Essai en micro-parcelles implanté à l'automne 2018 à Wannegem
Impact de différentes densités de semis sur le rendement. Acquisition de références sur cette association

Essai féveroles : Essai en micro-parcelles implanté au printemps 2019 à Rumbeke. Acquisition de références sur 12 variétés de féveroles de printemps, pauvres en tannins pour alimentation monogastrique.

Essai blé associé à des légumineuses en plantes compagnes : Essai en bandes implanté au printemps 2019 à Rumbeke. Etude de différents temps de semis (semis simultanés / semis sous couvert de différents trèfles – et autres), caractéristiques de différents engrais verts et de leurs impacts sur la fourniture en azote, l'enherbement et le rendement de la culture en place et de la culture suivante.

Essai succession culturale riche en légumineuses : Essai implanté au printemps 2019 à Rumbeke Evaluer l'impact sur 3 ans d'une augmentation de la part des légumineuses (en association ou en interculture) dans une rotation comprenant des espèces légumières sur l'activité de deux pathogènes telluriques : Aphanomyces et Sclerotinia. 3 modalités. Suivi de la biologie des sols, du rendement des cultures, de l'enherbement, de la présence de pathogènes dans le sol…

Essai association féverole/triticale et pois/triticale : Essai en micro-parcelles implanté à l'automne 2018 à Lo-Reninge. Suivi de 11 variétés de pois fourrager et de féveroles d'hiver en association avec du triticale. Etude du rendement, résistance au maladie, dominance d'une culture sur l'autre, taux protéique des légumineuses.

3.b – En Wallonie, essais menés par le Centre de Recherche Agronomique et Biowallonie

Essai association céréales-protéagineux : Essai implanté en micro-parcelle à l'automne 2018, Ciney. CRA-W. Evaluer l'impact d'une association céréale-protéagineux comparée à la culture pure sur la fourniture en azote, l'enherbement, la verse et le rendement des cultures. 24 modalités.

Essai succession culturale riche en légumineuses : Essai implanté pour l'automne 2019, Ciney. CRA-W. Evaluer l'impact sur 3 ans d'une augmentation de la part des légumineuses dans la rotation (en association ou en interculture) sur l'activité de deux pathogènes telluriques : Aphanomyces et Sclerotinia. 4 modalités.

Essai féverole : Essai en bande implanté au printemps 2019, Rebecq et Herbet. Biowallonie. Etude de l'impact de l'association féveroles de printemps / avoine nue ou avoine blanche sur l'enherbement.

Essais soja : Essai en bande implanté au printemps 2019, Moustier sur Sambre. Biowallonie. **Etude de l'impact de l'association soja/caméline sur l'enherbement de la ligne du soja.**

3.c – En Hauts de France, essais menés par Bio en Hauts de France

Trois essais d'associations de cultures : Essai en micro-parcelles implantées au Printemps 2019 à Autreville (Oise). Objectif commun : produire des références sur le triage.

- Lentille : test de différentes plantes associées alternatives à la cameline.
  Améliorer l'efficacité économique, suivre la réponse à l'azote des différentes variétés de lentilles.
- Féveroles : en culture associée avec petit épeautre. Tester la faisabilité au semis et à la récolte, la concurrence à l'eau… Acquisition de références sur les associations avec la féverole.
- Pois : en culture associée avec différentes céréales et implantation de trèfle blanc en plante compagne. Test de la faisabilité de l'association Orge/Pois-Trèfle blanc, acquisitions de références.

Essai succession culturale riche en légumineuses : Essai en bandes implanté à l'automne 2019, Airion (Oise). Evaluer l'impact sur 3 ans d'une augmentation de la part des légumineuses ou de cultures allelopathiques dans la rotation (en association ou en interculture) sur l'activité de deux pathogènes telluriques : Aphanomyces et Sclerotinia. Suivi de l'activité biologique des sols dans ces systèmes. 3 modalités.

Essai lentillon-épeautre : Essai en bande implanté à l'automne 2018. Le Plessier-sur-Saint-Just (Aisne). Etudier l'influence des tuteurs, densités de semis et méthodes de semis sur le rendement du lentillon et de l'espèce associée. Etude de la réponse à l'azote.

Association féveroles/triticale et pois/triticale : Essai en micro-parcelles implanté à l'automne 2018 à Vleteren. Inagro.
Objectif : Suivi de 4 variétés de pois fourrager et de 7 variétés de féveroles d'hiver en association avec du triticale. Etude du rendement, résistance au maladie, dominance d'une culture sur l'autre, taux protéique des légumineuses.

3 Essais associations de cultures : Essai en micro-parcelles implantées au Printemps 2019 à Autreville. BHDF.
Objectif commun : produire des références sur le triage.

- **Lentille :** Test de différentes plantes associées alternatives à la cameline. Objectifs : améliorer l'efficacité économique, suivre la réponse à l'azote en fonction des variétés de lentilles.
- **Féveroles :** En culture associée avec petit épeautre + trèfle blanc au semis. Objectif : tester la faisabilité au semis et à la récolte, la concurrence à l'eau… Acquisition de références sur les associations avec la féverole.
- **Pois :** En culture associée avec différentes céréales et implantation de trèfle blanc en plante compagne. Objectif : test de la faisabilité, acquisitions de références.

Lentillon-épeautre : Essai en bande implanté à l'automne 2018. Le Plessier-sur-Saint-Just. BHDF.
Objectif : Etudier l'influence des tuteurs, densités de semis et méthodes de semis sur le rendement du lentillon et de l'espèce associée. Etude de la réponse à l'azote.

Association lentille-épeautre : Essai en micro-parcelle implanté à l'automne 2018 à Wannegem. Inagro.
Objectif : Impact de différentes densités de semis d'épeautre sur le rendement. Acquisition de références

Association Lentille/moutarde blanche, Lentille/caméline et Lentille/sarrasin : Essai en bande implanté au printemps 2019 à Wannegem. Inagro.
Objectif : Acquisition de références, Améliorer l'efficacité économique, tester la faisabilité au semis et à la récolte, l'impact de l'association sur l'enherbement, tester quelques densités de semis de la plante compagne.

Féveroles : Essai en micro-parcelles implanté au printemps 2019. Rumbeke. Inagro.
Objectif : Acquisition de références sur 10 variétés de féveroles de printemps, pauvres en tannins, vicine et/ou convicine pour alimentation monogastrique.

Blé associé à des légumineuses en plantes compagnes : Essai en micro-parcelle implanté au printemps 2019. Rumbeke. Inagro.
Objectif : Etude des caractéristiques de différents engrais verts (sous-semés après le dernier hersage) et de leurs impacts sur la fourniture en azote, l'enherbement et le rendement de la culture en place et de la culture suivante.

Succession culturale riche en légumineuses : Essai en micro-parcelle implanté au printemps 2019. Rumbeke. Inagro.
Objectif : Evaluer l'impact sur 3 ans d'une augmentation de la part des légumineuses dans la rotation (en association ou en interculture) sur l'activité de deux pathogènes telluriques : Aphanomyces et Sclerotinia. 6 modalités. Suivi de la biologie des sols, du rendement des cultures, de l'enherbement, de la présence de pathogènes dans le sol…

Association soja/sarrasin et soja/orge d'hiver : Essai exploratif en micro-parcelle implanté au printemps 2019. Rumbeke. Inagro.
Objectif : Etude de l'impact de l'association sur l'enherbement et le rendement. Acquisition de référence.

Trèfle blanc semé simultanément ou sous couvert d'une association blé-féverole : Essai exploratif en micro-parcelle implanté au printemps 2019. Rumbeke. Inagro.
Objectif : Tester la faisabilité des dates de semis et si le semis simultané apporte une valeur ajoutée. Suivre le développement et le rendement du trèfle et de l'association blé-féverole.

Association céréales-protéagineux (féverole, pois, lentille, soja) : Essai implanté en micro-parcelle à l'automne 2018, et au printemps 2019. Ciney. CRA-W.
Objectif : Evaluer l'impact d'une association céréale-protéagineux comparée à la culture pure sur la fourniture en azote, l'enherbement, la verse et le rendement des cultures. 24 modalités.

Succession culturale riche en légumineuses : Essai implanté à l'automne 2018 et au printemps 2019, Ciney. CRA-W.
Objectif : Evaluer l'impact sur 3 ans d'une augmentation de la part des légumineuses dans la rotation (en association ou en interculture) sur l'activité de deux pathogènes telluriques : Aphanomyces et Sclerotinia. 4 modalités.

Féveroles : Essai en bande implanté au printemps 2019, Rebecq et Herbet. Bio Wallonie.
Objectif : étude de l'impact de l'association féveroles de printemps / avoine nue ou avoine blanche sur l'enherbement.

Soja : Essai en bande implanté au printemps 2019, Moustier sur Sambre. Bio-Wallonie.
Objectif : Comparaison du rendement et de l'enherbement sur le rang de deux parcelles : soja pur et association soja-cameline sur le rang.

[1] Abel Hugo, *France pittoresque, ou Description pittoresque, topographique et statistique des départements et colonies de la France… avec des notes sur les langues, idiomes et patois, sur l'instruction publique et la bibliographie locale, sur les hommes célèbres, etc., accompagnée de la statistique…*, Delloye, 1835

[2] Les cultures associées Céréales / Légumineuse En agriculture « bas intrants » dans le Sud de la France. Projet PerfCom ANR. Déc. 2012

[2] Une plante de service se définit par une espèce cultivée dans la même parcelle que la culture de rente, et qui peut rendre différents services tels que protection contre les maladies ou ravageurs, meilleur usage des ressources organiques ou minérales etc...

[3] « Intérêt et agronomie des associations céréales-protéagineux de printemps » Daniel Jamar, CRA-W, 02/2016, Cellule transversale de Recherches en Agriculture biologique

https://hautsdefrance.chambres-agriculture.fr/techniques-productions/agriculture-biologique/nos-references/nos-essais-bio-en-region/ Comprenant les compte-rendu et les synthèses des essais des Chambres d'Agriculture des Hauts de France sur les associations légumineuses – céréales (et cameline) de 2015 à 2018

« Inpassen, management en meerwaarde rustgewassen in de vruchtwisseling » Inagro 2016

«Sécuriser la culture des protéagineux en agriculture biologique». Synthèse des essais sur les associations légumineuses & céréales mis en place en 2015. Réseau APCA Grandes cultures Jan 2016

« La culture des associations céréales/protéagineux en AB » – fiche ITAB Juillet 2011

« Les nouveaux meteils à l'épreuve des zones tardives » – Revue Terra - Chambre Agriculture de Bretagne mai 2017

« Land Equivalent Ratio entre 1.2 et 1.3 » cités dans « MOOC Agroécologie Séquence 3 Octobre 2015 Système céréale-légumineuse à graine au Nord – Laurent Bédoussac – INRA »

« Facilitation pour le Phosphore » in « les cultures associées Céréales / Légumineuse en agriculture *bas intrants* dans le Sud de la France » Philippe Hinsinger Projet PerfCom - dec 2012

« Les associations céréales-protéagineux – Produire des protéagineux en Bio en Alsace » - OPABA sept 2005

http://www.inra.fr/Chercheurs-etudiants/Systemes-agricoles/Tous-les-dossiers/Le-poids-des-legumineuses/Les-legumineuses-necessaires-en-agriculture-bio

www.agro-transfert-rt.org/wp-content/uploads/2017/01/gestion-de-lazote.pdf Projet « Agri-Bio » : de la connaissance à la performance 2013 – 2017

« Les processus de complémentarité de niche et de facilitation déterminent le fonctionnement des associations végétales et leur efficacité pour l'acquisition des ressources abiotiques ». Justes et Al 2014