



**HAL**  
open science

## Association de cultures annuelles combinant une légumineuse et une céréale : retours d'expériences d'agriculteurs et analyse

Elise Pelzer, Laurent Bedoussac, Guenaelle Corre - Hellou, Marie-Helene Jeuffroy, Thierry Métivier, Christophe Naudin

### ► To cite this version:

Elise Pelzer, Laurent Bedoussac, Guenaelle Corre - Hellou, Marie-Helene Jeuffroy, Thierry Métivier, et al.. Association de cultures annuelles combinant une légumineuse et une céréale : retours d'expériences d'agriculteurs et analyse. *Innovations Agronomiques*, INRAE, 2014, 40, pp.73-91. hal-01173338

HAL Id: hal-01173338

<https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01173338>

Submitted on 27 May 2020

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



Distributed under a Creative Commons Attribution - NonCommercial - NoDerivatives | 4.0 International License

## **Association de cultures annuelles combinant une légumineuse et une céréale : retours d'expériences d'agriculteurs et analyse**

**Pelzer E.<sup>1</sup>, Bedoussac L.<sup>2</sup>, Corre-Hellou G.<sup>3</sup>, Jeuffroy M.-H.<sup>1</sup>, Métivier T.<sup>4</sup>, Naudin C.<sup>3</sup>**

<sup>1</sup> INRA-AgroParisTech, UMR 211 Agronomie, Avenue Lucien Brétignières, F-78850 Thiverval-Grignon

<sup>2</sup> ENFA, INRA UMR 1248 AGIR, 2 route de Narbonne, F-31326 Castanet-Tolosan

<sup>3</sup> LUNAM Université, Groupe ESA, 55 rue Rabelais, F-49007 Angers Cedex 01

<sup>4</sup> Chambre d'agriculture du Calvados, ZAC Route de Caen, BP 62700, F-14406 Bayeux

Correspondance : Elise.Pelzer@grignon.inra.fr

### **Résumé**

Cet article traite des associations annuelles céréale-légumineuse récoltées pour la production de grains destinés à l'alimentation animale ou humaine, ou pour la production d'ensilage ou de foin lorsque les espèces sont récoltées en plante entière. Il présente des retours d'expériences d'agriculteurs ayant pratiqué ces associations, en distinguant les bénéfices attendus ou observés, et les limites de ces systèmes. Ces bénéfices et limites sont discutés au regard de résultats issus de la recherche. De nombreux bénéfices des associations sont mentionnés, en particulier par rapport aux légumineuses pures dont la conduite est difficile, surtout en agriculture biologique : réduction des bioagresseurs et de la verse, gain de rendement global (et de stabilité), enrichissement en azote des produits récoltés, réduction de l'utilisation de la fertilisation azotée à l'échelle des successions, etc. Des limites restent cependant à lever, qui concernent la conduite des associations (semis, fertilisation, récolte), la maîtrise des proportions à la récolte, et la valorisation, particulièrement dans le cas de la production de grains (collecte, tri, débouché).

**Mots-clés** : grains, fourrages, valorisation, bénéfices, limites

### **Abstract: Annual cereal-legume intercropping: feedback from farmers and analysis**

This paper deals with annual cereal-legume intercropping harvested for grain production for animal or human consumption or for the production of silage or hay when whole plants are harvested. It presents feedbacks from farmers who already practiced these intercroppings. Expected and observed benefits and limitations of these systems perceived by farmers are discussed in the light of results of research. Many benefits of intercroppings are mentioned, especially compared to sole legumes that are difficult to manage, particularly in organic farming: reduction of pests and lodging, overall higher yields (and higher stability), increase in nitrogen concentration of the harvested products, reduction of nitrogen fertilization, etc. However, limitations remain to be overcome, concerning the management of intercroppings (sowing, fertilization, harvest), proportions of each species at harvest, and market, especially in the case of grain production (collection, sorting, outlet).

**Keywords**: grains, silage/hay, outlet, benefits, limitations

### **Introduction**

Une association est définie comme la culture simultanée de deux espèces ou plus dans un même espace et pendant une durée significative de leur cycle (Willey, 1979). Grâce à son système racinaire plus profond et à sa croissance plus rapide, la céréale est plus compétitive que la légumineuse pour

l'utilisation de l'azote minéral du sol, « forçant » la légumineuse à dépendre davantage de l'azote atmosphérique pour sa nutrition azotée au moyen de la fixation symbiotique. Cette complémentarité de niche entre les deux espèces associées pour l'utilisation de ces deux sources d'azote explique en grande partie les performances généralement supérieures observées pour les associations par rapport aux cultures monospécifiques. Dans cet article, nous nous intéressons aux associations annuelles céréale-légumineuse destinées à être récoltées soit pour la production de grains pour l'alimentation animale ou humaine (ex : pois-blé, féverole-blé, pois-triticales, vesce-triticales), soit pour la production d'ensilage ou de foin lorsque les espèces sont récoltées en plante entière (ex : pois fourrager-triticales, vesce-triticales, légumineuses-maïs et des mélanges à plus de deux espèces comme triticales-avoine-pois-vesce). La spécificité de ces couverts repose sur le fait qu'une valorisation des deux espèces est visée, ce qui signifie qu'elles doivent être conduites jusqu'à leur récolte. Toutefois, il existe d'autres associations où seule l'une des deux cultures est valorisée. C'est le cas par exemple de la culture simultanée d'une culture de rente et d'une plante de service (ex : colza-légumineuses gélives ou blé-légumineuses en relai). Ces dernières ont été volontairement exclues de cet article car elles sont traitées dans un article de la même revue (Valantin-Morison et al., 2014). Le cas des associations annuelles visant d'autres débouchés (ex : biomasse énergie) sera mentionné en perspective.

L'objectif de notre approche est de présenter et d'analyser des retours d'expériences d'agriculteurs ayant pratiqué des associations de rente céréale-légumineuse en France, en distinguant d'une part les bénéfiques qu'ils en attendent et/ou qu'ils ont pu observer et, d'autre part, les limites et freins qu'ils mentionnent vis-à-vis de ces systèmes. Ces éléments sont ensuite discutés et complétés au regard de résultats issus de la recherche. Pour ce faire, nous nous sommes appuyés sur quelques témoignages issus de différents documents et enregistrements qui ont été largement diffusés : i) des témoignages d'agriculteurs biologiques ayant participé au projet ANR Perfcom (Projet PerfCom, 2012), ii) une interview de Frank Dalifard publiée dans *La France Agricole* (Boyeux et Magnard, 2013), iii) une interview<sup>1</sup> de Yohan Goubaud réalisée dans le cadre des Entretiens de l'Association internationale pour une Agriculture Écologiquement intensive (AEI), iv) une interview de Jean-Pierre Sicard sur Radio d'Oc<sup>2</sup> dans le cadre d'une journée portes ouvertes organisée sur son exploitation, v) des témoignages d'agriculteurs biologiques présentés dans un dossier d'AlterAgri consacré aux associations destinées à l'alimentation animale (Coulombel et Roinsard, 2013), et enfin vi) des enquêtes menées auprès d'un réseau de 20 agriculteurs de Poitou Charentes (CA 79) dans le cadre du projet CASDAR 8058 (Corre-Hellou et al., 2013). Il est à souligner que ces agriculteurs sont, pour la plupart, en agriculture biologique (certains depuis moins de 5 ans) et en système de polyculture-élevage (bovins lait, ovins ou volailles). Les associations qu'ils pratiquent comptent entre 2 et 5 espèces en mélange et présentent une grande diversité à la fois du point de vue des espèces de légumineuses (pois protéagineux, pois fourrager, féverole, soja, vesce et lupin blanc) que des espèces de céréales (blé tendre, blé dur, orge d'hiver, avoine et triticales).

La diversité des pratiques évoquées nous permet aussi d'évoquer les différents leviers techniques mobilisables en fonction de la valorisation envisagée et des objectifs de production recherchés, comme par exemple la proportion au semis, la fertilisation azotée, le précédent cultural ou encore la date de récolte.

<sup>1</sup> <https://www.youtube.com/watch?v=of381ZrgqpQ>

<sup>2</sup> [http://www.radiodoc.org/emissions/ltpld-objectif-partage/podcasts.html?f=images/audio/ltpld/zoom\\_a\\_la\\_ferme\\_de\\_corinne\\_et\\_jpierre.mp3.mp3&controller=recording](http://www.radiodoc.org/emissions/ltpld-objectif-partage/podcasts.html?f=images/audio/ltpld/zoom_a_la_ferme_de_corinne_et_jpierre.mp3.mp3&controller=recording)

## 1. Objectifs et bénéfices attendus : points de vue croisés entre agriculteurs et chercheurs

### 1.1 Produire des légumineuses en limitant les facteurs limitants biotiques

La plupart des agriculteurs interviewés voient dans les associations un moyen de stabiliser la production de légumineuses, beaucoup plus variable en culture pure, du fait de facteurs limitants biotiques et abiotiques. C'est le cas par exemple de Yohan Goubaud<sup>3</sup>, qui cultive du lupin en association avec du triticale. Dans ce cas précis, la céréale sert d'abord de plante de service au lupin, mais elle est néanmoins récoltée, ce qui lui assure un complément de production et donc de revenu. Cet objectif premier, qui consiste à cultiver des associations avant tout pour produire des protéagineux, est également souligné par d'autres agriculteurs (Projet PerfCom, 2012). Un autre agriculteur réalise des associations pois protéagineux-orge d'hiver, pois fourrager-blé ou pois fourrager-avoine pour produire des légumineuses en limitant les problèmes liés aux maladies et aux adventices qu'il rencontre lorsqu'il cultive ses pois en pur (Coulombel et Roinsard, 2013). De même, Jean-Pierre Sicard<sup>4</sup> souligne qu'il voudrait cultiver de la féverole en association afin de limiter le salissement de ses parcelles (en particulier par de la folle avoine) qu'il observe lorsqu'il cultive la féverole seule.

Il apparaît ainsi clairement qu'un avantage des associations, comparées aux cultures pures (en particulier aux légumineuses), concerne la maîtrise des facteurs biotiques. En effet, selon les agriculteurs, ces systèmes seraient plus concurrentiels vis-à-vis des adventices du fait d'une meilleure couverture du sol permise par le couvert associé comparativement aux légumineuses seules. Les associations permettraient également de réduire la pression des maladies et ravageurs, ce qui est particulièrement intéressant dans les systèmes biologiques où l'utilisation des produits phytosanitaires de synthèse n'est pas permise (Projet PerfCom, 2012 ; Boyeux et Magnard, 2013). Dans le cas, par exemple, de l'association lupin-triticale pratiquée par Yohan Goubaud, le salissement est réduit en période hivernale par rapport au lupin pur. En effet, le triticale étant semé sur le même rang que le lupin, la densité sur le rang (légumineuse et triticale) est plus importante, laissant ainsi peu de lumière aux adventices pour se développer. De plus cet agriculteur souligne que le passage de la bineuse en inter-rang est facilité du fait que l'association triticale-lupin réduit la fragilité du lupin par rapport à la situation où il est cultivé seul. Il indique également que le semis de l'association sur le rang favoriserait l'aération du couvert conduisant à une réduction des maladies et donc des fongicides (1 voire 2 applications sur le lupin-triticale). Jean-Pierre Sicard, quant à lui, observe, dans son méteil blé-triticale-avoine-pois-vesce, une réduction des maladies (en particulier sur céréales) ainsi qu'une diminution des pucerons sur pois et un moindre développement des adventices.

Plusieurs travaux de recherche ont démontré, dans une grande diversité de situations, l'effet bénéfique des associations céréale-légumineuse par rapport aux adventices (Corre-Hellou et al., 2014). Les associations présentent le plus souvent une biomasse d'adventices très inférieure à celle observée sous le couvert de protéagineux pur mais des résultats similaires à la céréale pure. Cet effet, observé quasi-systématiquement et dans des contextes pédo-climatiques contrastés, est probablement en partie expliqué par la capacité plus forte de la céréale à prélever l'azote du sol, privant ainsi les mauvaises herbes d'un nutriment essentiel à leur croissance. De plus, la céréale exerce une compétition forte pour la lumière vis-à-vis des adventices (Corre-Hellou et al., 2011) réduisant d'autant plus leur développement. En accord avec les témoignages d'agriculteurs, l'association d'un protéagineux à une céréale peut effectivement être vue comme un moyen de sécuriser la production de protéagineux face à des facteurs biotiques tels que les adventices. D'ailleurs, la coopérative Terrena trouve un intérêt à ces associations car elles permettent de sécuriser un approvisionnement en protéagineux aujourd'hui rares en particulier en agriculture biologique (Corre-Hellou et al., 2013).

<sup>3</sup> <https://www.youtube.com/watch?v=of381ZrgqpQ>

<sup>4</sup> [http://www.radiodoc.org/emissions/ltpld-objectif-partage/podcasts.html?f=images/audio/ltpld/zoum\\_a\\_la\\_ferme\\_de\\_corinne\\_et\\_jpierre.mp3.mp3&controller=recording](http://www.radiodoc.org/emissions/ltpld-objectif-partage/podcasts.html?f=images/audio/ltpld/zoum_a_la_ferme_de_corinne_et_jpierre.mp3.mp3&controller=recording)

Les associations permettent aussi de cultiver des légumineuses volubiles qui se cultivent très difficilement en culture pure, du fait entre autres que leur tige est longue et peu rigide entraînant leur verse (cas de la vesce et du pois fourrager par exemple). Dans les associations, la céréale sert de tuteur à condition que celui-ci soit suffisamment solide pour contenir la verse de la légumineuse. Des observations sur des parcelles d'agriculteurs et des essais en chambre d'agriculture ont montré qu'une hiérarchie semble se dégager parmi les céréales, même si des spécificités variétales s'expriment : le triticale est le meilleur tuteur, suivi du blé, de l'avoine, de l'épeautre, et enfin de l'orge. Il faut aussi plafonner la densité de protéagineux volubiles dans l'association pour limiter le développement de biomasse : le seuil semble se situer entre 20 et 30 grains/m<sup>2</sup>, pour le pois fourrager et pour la vesce, seuls ou combinés. Les agriculteurs qui dépassent ces seuils sont souvent confrontés à des difficultés pour récolter cette association, du fait de problèmes de verse.

Divers processus (effet barrière, effet dilution, microclimat dans le couvert défavorable à certaines maladies, habitat pour certains auxiliaires, effet répulsif de certains ravageurs) ont été décrits pour expliquer la réduction de certaines maladies ou ravageurs observée dans les associations d'espèces (Trenbath, 1993 ; Corre-Hellou et al., 2014, ce numéro). Par exemple, une réduction de l'anthracnose du pois a été observée en association pois-orge de printemps et pois-blé d'hiver (Schoeny et al., 2010), alors qu'une réduction des pucerons verts du pois a été observée pour les associations pois-blé dur d'hiver (Ndzana et al., 2014). Cependant, ces effets de l'association sur la réduction des maladies et ravageurs en comparaison des observations en cultures pures ne sont pas systématiques, parfois nuls (Naudin et al., 2009), voire néfastes (augmentation des infestations) comme pour les sitones sur les associations pois-blé (Corre-Hellou et al., 2014).

## *1.2 Accroître les rendements et améliorer la qualité des grains et des fourrages*

Au-delà du fait d'assurer la production de grains de protéagineux au moyen d'associations, un autre bénéfice attendu et observé par les agriculteurs concerne le gain de rendement global comparé aux cultures pures. En fonction des objectifs de chaque agriculteur, les gains de rendement ne sont pas exprimés de la même façon. Ainsi, Frank Dalifard a observé pour l'association triticale-féverole un gain de rendement de 4-5 q/ha par rapport à la moyenne des rendements observés en cultures pures (Boyeux et Magnard, 2013 ; Dalifard, communication personnelle). Pour l'association lupin-triticale<sup>5</sup>, Yohan Goubaud sème le lupin à la même densité qu'en culture pure (30 grains/m<sup>2</sup>) auquel il rajoute une densité faible de céréale (70 grains/m<sup>2</sup>). Il indique obtenir le même rendement pour le lupin associé que pour le lupin pur (20 q/ha), mais avec en plus un rendement de triticale de 30 q/ha. Au-delà du seul accroissement de la productivité, nombre d'agriculteurs évoquent le fait que les cultures associées sont un moyen de produire des grains de céréales avec un taux de protéines plus élevé qu'en culture pure (Projet PerfCom, 2012). Un gain de rendement et l'amélioration de la teneur en protéines de l'ensilage, ainsi qu'en PDIN (protéines digestibles dans l'intestin permises par l'azote) sont également des bénéfices attendus pour des associations fourragères comme le mélange maïs-soja (Boyeux et Magnard, 2013 ; Coulombel et Roinsard, 2013). En Normandie, l'association maïs-féverole semée le même jour a permis d'enrichir l'ensilage de 3 points d'azote par comparaison à l'ensilage de maïs cultivé en pur (avec la même fertilisation azotée : 35 m<sup>3</sup> de lisier bovin avant le semis, un précédent prairie pâturée, pas de fertilisation minérale), mais la concurrence prononcée de la féverole sur son compagnon a amputé le rendement global de 42% (Métivier, 2013 ; Métivier et al. 2014). Les conclusions des enquêtes réalisées en Poitou-Charentes lors du projet CASDAR 8058 (Corre-Hellou et al., 2013), indiquent que les mélanges à base de triticale et de pois fourrager produisaient des aliments équilibrés (rapport PDI/UF – Unité Fourragère – autour de 100), riches en fibres et plus riches en

<sup>5</sup> <https://www.youtube.com/watch?v=of381ZrgqpQ>

protéines qu'un maïs (8,8 % versus 7%) mais un peu moins énergétiques (environ 0,75 UF versus 0,90). De ce fait, ces éleveurs incorporent ce type de fourrage à hauteur d'un tiers de la ration de base en complément du maïs ensilage pour les vaches laitières, ou en aliment principal pour les génisses.

Ces gains de rendement et l'enrichissement en azote des produits récoltés sont mentionnés par les agriculteurs (Projet PerfCom, 2012 ; Boyeux et Magnard, 2013) comme étant en partie dus à une meilleure valorisation des ressources du milieu par rapport aux cultures pures. L'un d'eux précise que les associations pois protéagineux-orge d'hiver, pois fourrager-blé ou pois fourrager-avoine permettent une amélioration de la nutrition azotée de la céréale (Coulombel et Roinsard, 2013). Dans le cas de l'association lupin-triticales<sup>6</sup> pratiquée par Yohan Goubaud, ce dernier précise que la compétition pour la lumière entre le triticales et le lupin sur le rang favorise la « montée » de la légumineuse et que, de ce fait, le premier paquet de gousses est plus haut, ce qui facilite la récolte et évite les pertes de graines que l'on observe parfois dans le cas des cultures pures de lupin.

De nombreuses études (Bedoussac et Justes, 2010a, 2010b ; Corre-Hellou et al., 2006 ; Jensen, 1996 ; Naudin et al., 2009 ; Naudin et al., 2010 ; Pelzer et al., 2012 ; Bedoussac et al., 2014 ; Justes et al. 2014) ont été menées pour caractériser les performances et analyser le fonctionnement des associations annuelles (principalement blé-pois protéagineux d'hiver et orge-pois protéagineux de printemps). Ces travaux ont mis en évidence, aussi bien en agriculture conventionnelle qu'en agriculture biologique, des niveaux de rendement en association supérieurs ou égaux à la moyenne des cultures pures. Par exemple, l'analyse d'un réseau de 16 essais (sites-années) réalisés en plein champ a démontré que les rendements de ce type de mélange (environ 45 qx/ha, quel que soit le niveau de fertilisation azotée) étaient toujours supérieurs à ceux des pois protéagineux cultivés en purs, et proches de ceux des blés purs fertilisés selon la méthode du bilan (sur chaque site-année, les modalités étaient toutes semées à la même date, donc tardivement pour le blé pur, et les modalités regroupaient des conduites biologique et conventionnelles) (Pelzer et al., 2012). De plus, ces mêmes études démontrent que la teneur en protéines de la céréale non fertilisée, ou fertilisée à une dose faible, associée à une légumineuse est, dans la plupart des cas, proche de celle obtenue par une céréale pure fertilisée selon les recommandations de la méthode du bilan.

### *1.3 Autonomie alimentaire des élevages et meilleure stabilité face aux aléas*

Plusieurs éleveurs mentionnent les associations comme l'un des moyens de tendre vers l'autonomie alimentaire pour leur élevage. C'est le cas par exemple de Frank Dalifard qui indique que les associations céréales-légumineuses mises en place dans son exploitation contribuent à sa recherche de l'autonomie alimentaire pour son élevage bovins-lait (Boyeux et Magnard, 2013). Il en va de même pour Jean-Pierre Sicard<sup>7</sup> qui doit produire des céréales et des légumineuses pour nourrir son élevage de volailles, et qui cherche, dans la mesure du possible, à être autonome pour la production de cette alimentation (fabrication des aliments sur son exploitation). Ainsi, il recherche l'autonomie protéique en cultivant des méteils complexes du type blé-triticales-avoine-pois-vesce qu'il récolte en grains, afin de limiter autant que possible l'achat de compléments comme le blé, le maïs ou le tourteau de soja dont les prix à l'achat sont très élevés. Il souligne également que les espèces présentes dans le méteil sont complémentaires pour les acides aminés à apporter aux animaux. En effet, dans une ration volailles, les acides aminés essentiels tels que lysine, méthionine et cystine doivent être apportés en quantité suffisante (ITAB, 2010). La consultation des tables de composition et valeur nutritive des matières premières destinées aux animaux d'élevage (Sauvant et al, 2002) montre par exemple que le pois et les céréales (triticales ou blé) sont complémentaires pour les apports en lysine.

<sup>6</sup> <https://www.youtube.com/watch?v=of381ZrgqpQ>

<sup>7</sup> [http://www.radiodoc.org/emissions/ltpld-objectif-partage/podcasts.html?f=images/audio/ltpld/zoum\\_a\\_la\\_ferme\\_de\\_corinne\\_et\\_jpierre.mp3.mp3&controller=recording](http://www.radiodoc.org/emissions/ltpld-objectif-partage/podcasts.html?f=images/audio/ltpld/zoum_a_la_ferme_de_corinne_et_jpierre.mp3.mp3&controller=recording)

Certains agriculteurs mentionnent aussi un gain de stabilité des rendements face aux aléas climatiques (Boyeux et Magnard, 2013 ; Projet PerfCom, 2012). Cette stabilité est aussi due à une maîtrise des adventices du fait de la couverture du sol par l'association (Boyeux et Magnard, 2013). Plus largement, cette stabilité est évoquée de façon indirecte par les agriculteurs qui cultivent des associations pour produire des protéagineux pour lesquels les rendements en culture pure sont extrêmement variables du fait des facteurs limitants biotiques et abiotiques, et ce tout particulièrement dans les systèmes biologiques. D'ailleurs, les différents travaux conduits sur les associations montrent que la quantité de légumineuse produite en association est le plus souvent inférieure à celle obtenue en culture pure du fait d'une moindre densité et de la compétition exercée par la céréale pour la lumière et les éléments minéraux. Cependant, lorsque les conditions pédo-climatiques sont défavorables aux légumineuses celles-ci voient leur rendement en culture pure fortement diminué et parfois à un niveau tel que les agriculteurs ne les récoltent pas. *A contrario*, dans la culture associée il a été observé dans de telles situations que la production de la légumineuse était également fortement impactée mais atteignait un niveau comparable à celui de la culture pure (malgré un semis à densité plus faible) avec en compensation la production d'une quantité variable de céréale. Les enquêtes réalisées en Poitou-Charentes, lors du projet CASDAR 8058 sur les associations récoltées en ensilage (Corre-Hellou et al., 2013) ont montré que ces associations (principalement à base de triticales et de pois récoltés en plante entière) sont revenues à l'ordre du jour dans les élevages laitiers dans un souci d'assurer des stocks fourragers en réponse aux déficits estivaux en pluviométrie qui entraînent des rendements faibles en maïs ensilage. En effet, ces associations ont montré une meilleure résistance à la sécheresse que le maïs, et plus généralement des rendements élevés et stables face aux aléas climatiques (10,6 t MS en moyenne, avec des fertilisations azotées contrastées) permettant une diversification et une sécurisation de la production de fourrage à un coût réduit.

Un agriculteur réalisant une association blé-triticales-avoine-pois mentionne également la souplesse permise par cette association, puisqu'il peut la récolter en grain ou en ensilage (ensilage fibreux avec une valeur alimentaire équilibrée, i.e. bon MAT, et un ratio PDI/UF autour de 100 pour les ruminants) en fonction des conditions climatiques (maturation et date de récolte) (Coulombel et Roinsard, 2013). En effet, dans des fermes avec un atelier de ruminants, le choix d'espèces qui peuvent être soit récoltées en grains, soit ensilées, offre une grande souplesse d'exploitation selon les besoins de l'année ou les conditions de développement de la culture. Les espèces de protéagineux à vocation mixte sont préférentiellement le pois fourrager et la vesce, du fait de leur capacité à produire une biomasse importante, mais la récolte en ensilage ne leur est plus exclusivement réservée (féveroles et lupins sembleraient aussi pouvoir être ensilés facilement avec de bonnes valeurs alimentaires). Une association semée dans le but de récolter un concentré peut être détournée pour renforcer les stocks fourragers en cas de faibles récoltes d'herbe au printemps ou en cas de verse prononcée rendant difficile la poursuite du cycle de la culture jusqu'à la production de grains secs. Inversement, cette association destinée initialement à l'ensilage pourra être « menée à grains », si les récoltes fourragères déjà réalisées ou à venir sont suffisantes par rapport aux besoins de l'élevage.

#### 1.4 Valoriser l'azote pour réduire l'utilisation des engrais et leurs impacts

Quelques bénéfices à l'échelle de la succession ont été cités par les agriculteurs. Les associations céréales-légumineuses permettent de contribuer à l'allongement des rotations et à la réintroduction des légumineuses pour réduire l'utilisation des engrais organiques qui sont coûteux en agriculture biologique (Projet PerfCom, 2012). Yohan Goubaud<sup>8</sup> observe, après une association lupin-triticales récoltée en grains, une restitution d'azote pour la culture suivante de l'ordre de 30-50 kg N/ha, et une bonne structuration du sol qui facilite le drainage, permise par le système racinaire du lupin.

<sup>8</sup> <https://www.youtube.com/watch?v=of381ZrgqpQ>

Par ailleurs, différentes études ont montré une réduction de l'azote minéral présent dans le sol après la récolte d'associations graminées-légumineuses par rapport aux légumineuses pures, et donc une réduction du risque potentiel de lixiviation. Par exemple, l'étude conduite sur un réseau de 16 parcelles en France dans le cadre du projet CASDAR 431 (Baranger et al., 2008) a montré que la quantité d'azote minéral dans le sol après la récolte en grains d'associations pois-blé fertilisées est identique à celle mesurée après la récolte d'un blé pur fertilisé, et significativement plus faible qu'après un pois pur (Pelzer et al., 2012). Les valeurs obtenues dans les conditions non fertilisées pour l'association pois-blé et pour le blé étaient également significativement plus faibles que celle du pois pur. Une autre étude (Hauggaard-Nielsen et al., 2003) mesurant la lixiviation des ions nitrate à l'aide de lysimètres a montré que celle-ci était plus faible après une association pois-orge de printemps qu'après les cultures pures correspondantes non fertilisées même si les différences n'étaient pas significatives.

Comme le souligne Jean-Pierre Sicard (en agriculture biologique depuis 4 ans), les agriculteurs conventionnels sont aussi intéressés par les associations d'espèces pour réduire les intrants. Ainsi, les cultures associées seraient un moyen de réduire l'utilisation des engrais azotés de synthèse du fait de la réintroduction des protéagineux dans les exploitations. En particulier, si un agriculteur cherche à produire du blé et du pois sur son exploitation, il aura tout intérêt à les cultiver en association du fait que ces systèmes présentent de meilleurs rendements que lorsque les cultures sont cultivées seules, sans oublier que le blé produit est plus riche en protéines. Par contre, et contrairement aux agriculteurs en production biologique, les agriculteurs conventionnels ont moins d'intérêt à cultiver des associations lorsque l'objectif premier est de produire des céréales. En effet, dans les systèmes conventionnels, la culture associée reste moins productive qu'un blé pur fertilisé et la qualité des grains est assurée par l'utilisation des engrais minéraux et des apports fractionnés. Ainsi en agriculture conventionnelle, l'intérêt des cultures associées apparaît surtout dans la réintroduction des protéagineux dans les systèmes, plutôt que dans la production de blé avec moins d'azote.

### *1.5 Améliorer la performance environnementale*

Dans le cas de l'agriculture conventionnelle, une réduction de l'utilisation des fertilisants azotés sur l'association peut conduire à une réduction de la consommation énergétique, ainsi qu'à une réduction des émissions de gaz à effet de serre liées à la production et à l'application de ces engrais. Les résultats du réseau de 16 essais (Pelzer et al., 2012) ont ainsi montré que l'énergie nécessaire à la production d'une tonne de grains (grains de blé pour les modalités blé pur, grains de pois pour le pois pur, ou grains de blé et grains de pois mélangés pour les modalités association) est significativement plus élevée pour le blé pur fertilisé que pour les autres modalités (blé pur non fertilisé, pois pur, association pois-blé fertilisée et association pois-blé non fertilisée). L'énergie nécessaire à la production d'une tonne de grains de blé est également significativement plus élevée pour le blé pur fertilisé que pour les modalités associations fertilisées ou non (Pelzer et al., 2012).

Les difficultés de l'évaluation des bénéfices environnementaux des mélanges d'espèces restent le choix du mode de comparaison et le choix de la méthode employée. Naudin et al. (2014) ont proposé une méthodologie afin d'évaluer les impacts potentiels des associations blé-pois relativement aux deux cultures pures au moyen d'une ACV (Analyse de Cycle de Vie), en se basant sur une comparaison à production équivalente et à surface équivalente. Les premières évaluations utilisant cette approche laissent présager d'un très fort intérêt des associations en comparaison des cultures pures pour la diminution des impacts environnementaux de la production agricole en grandes cultures (Naudin et al., 2014). Sur la base de ces propositions méthodologiques, Le Breton (2011) avait évalué les impacts environnementaux potentiels des associations en comparaison à des cultures pures de blé tendre d'hiver et de pois protéagineux d'hiver pour les catégories d'impacts suivants : i) changement climatique, ii) demande en énergie, iii) eutrophisation et iv) occupation des terres. Cette évaluation a été réalisée pour des stratégies de conduites et d'insertion de mélanges blé-pois d'hiver définies à dire



d'experts, et adaptées aux régions Pays de la Loire et Normandie. Comparées à des combinaisons de cultures pures qui produisent les mêmes quantités à l'hectare, les associations présentent des impacts environnementaux potentiels inférieurs aux cultures pures, quelle que soit la catégorie d'impacts considérée. A production équivalente, une association blé-pois a des impacts d'environ 30 à 60% inférieurs aux cultures pures concernant le changement climatique (émissions de GES) et la demande en énergie. A surface équivalente, l'association réduit l'eutrophisation jusqu'à 77% dans certains systèmes testés.

Ces travaux ont donc mis en évidence les avantages agronomiques et environnementaux des associations culturales blé-pois dans des systèmes de production céréaliers en régions Pays de la Loire et Normandie. Néanmoins, ces avantages restent à nuancer selon le mode de production étudié (agriculture conventionnelle raisonnée ou biologique), le raisonnement de la succession culturale (gestion des reliquats azotés et des périodes de sols nus), les pratiques culturales adoptées (fertilisation des associations) et les unités d'expression des résultats (impacts par kg de produit ou par hectare de terre occupé, à production équivalente ou à surface équivalente).

En agriculture conventionnelle, la réduction de certains bioagresseurs (section 1.1) pourrait s'accompagner d'une réduction de l'utilisation de produits phytosanitaires sur les associations. Ainsi, une réduction de l'IFT (Indice de Fréquence de Traitement) pour l'association pois-blé a été observée comparativement aux deux cultures pures sur un réseau d'essais conduit en France (Pelzer et al., 2012), bien que cette réduction ne fut pas significative, probablement du fait que, pour simplifier la conduite de l'essai comparant les associations aux cultures pures, certains expérimentateurs ont simplifié le travail et parfois réalisé les mêmes applications de produits phytosanitaires sur les différentes modalités. Des études complémentaires doivent donc être conduites pour analyser l'effet des associations sur la réduction de l'IFT en analysant leur effet sur les dégâts mais également les dommages.

## **2. Limites et risques liés à la production et à la valorisation économique des associations : points de vue croisés entre agriculteurs et chercheurs**

### *2.1 Contraintes techniques liées à la conduite des associations*

#### **2.1.1 Le semis**

Une première contrainte relevée par les agriculteurs est le problème du semis, puisque la date et la technique de semis ne sont pas obligatoirement identiques pour les deux espèces qu'ils souhaitent associer (Projet PerfCom, 2012). Ceci pose aussi le problème du matériel, comme par exemple lorsqu'il s'agit de semer séparément du triticale et de la féverole pour laquelle le semis doit être plus profond pouvant nécessiter l'emploi d'une charrue déchaumeuse (Boyeux et Magnard, 2013). En effet, pour les associations avec de la féverole (blé-féverole ou triticale-féverole), il est préférable de réaliser le semis en deux passages afin, d'une part, de semer la graine de féverole plus en profondeur pour la protéger du gel et, d'autre part, pour permettre un bon contrôle des densités et une bonne répartition des deux espèces. Il s'agit là d'un principe de sécurité uniquement dans les zones où le risque de gel est important car, dans le cas d'hivers plus doux, aucune différence n'a été mise en évidence entre un semis superficiel simultané des deux espèces et un semis en deux fois avec une implantation de la féverole plus en profondeur (plate-forme du projet Reine Mathilde<sup>9</sup> d'essais en agriculture biologique à Tracy-Bocage (14) en 2013 et 2014 ; Métivier et al., 2014). Une autre alternative pour simplifier le semis consiste à semer la féverole à la volée avant le labour, et à réaliser ensuite le semis du blé selon la technique classique, ce qui permet d'enfouir à moindre frais les graines de féverole lors de la reprise du labour et donc de les protéger du gel.

---

<sup>9</sup> <http://www.normandie.chambagri.fr/detail-bio.asp?card=615421&siteAppelant=cran&chambreOrigine=cran>

Jean-Pierre Sicard<sup>10</sup> souligne également l'importance de la gestion de la proportion de chaque espèce dans le mélange pour garantir à la fois la quantité et la qualité des aliments produits. Ainsi, il recherche la meilleure proportion possible dans le méteil en semant des proportions exactes et non pas en repartant de la récolte du méteil de l'année précédente, du fait que ce dernier peut avoir une composition non optimale avec des proportions de céréales et légumineuses variables selon les années. Ce problème de la proportion de chaque espèce à la récolte est aussi soulevé par les agriculteurs ayant contribué au projet PerCom (Projet PerfCom, 2012).

### **2.1.2 Le choix variétal**

Concernant la disponibilité en semences, les agriculteurs constatent que les variétés disponibles ne semblent pas toujours adaptées à la culture en association (Projet PerfCom, 2012). Certains paramètres architecturaux, comme la vitesse de développement foliaire, le nombre de ramifications ou la longueur des entre-nœuds, impactent le partage du rayonnement entre les deux espèces, et donc leurs performances dans l'association (Corre-Hellou et al., 2013). Par ailleurs, la synchronisation des dates de maturité des deux espèces associées est cruciale dans le choix des variétés. Pour le pois, des variétés de type Hr se révèlent intéressantes en association avec une céréale, car elles sont plus tardives à la floraison et donc à maturité, que les variétés de pois classiques, alors qu'elles sont sensibles à la verse, aux maladies et aux sécheresses de fin de cycle comparées aux variétés hr quand elles sont cultivées en pur. Cependant, la faible couverture du sol en début de cycle par les variétés Hr rend la compétitivité de l'association vis à vis des adventices moindre (Corre-Hellou et al., 2013). Malgré des travaux qui ont montré des différences de performances importantes en fonction des cultivars pour limiter la dominance d'une espèce sur l'autre (hauteur, LAI, compétition racinaire, synchronie des durée de cycle...) et des différences de comportement des variétés entre culture pure et association (Corre-Hellou et al., 2013 ; Hauggaard-Nielsen et Jensen, 2001), il n'existe à ce jour pas de programme de sélection variétale spécifique pour les associations dans le cas des espèces annuelles.

### **2.1.3 Le désherbage**

Même si les associations permettent une réduction des adventices, celle-ci n'est pas suffisante dans le cas des parcelles à fort salissement et, dans ces situations, un désherbage apparaît nécessaire. Certains agriculteurs mentionnent le fait que le désherbage mécanique est plus compliqué à réaliser dans une association, avec la nécessité d'intervenir à un stade précoce de développement de la légumineuse (Projet PerfCom, 2012). La date optimale d'intervention pour le désherbage mécanique n'est par ailleurs pas forcément la même pour les deux espèces, ce qui peut limiter le nombre de jours disponibles. Frank Dalifard souligne également que les agriculteurs en conventionnel pourraient se retrouver confrontés à un problème de désherbage du fait que certaines associations comme le pois-blé d'hiver n'ont pas d'herbicide homologué (Boyeux et Magnard, 2013).

### **2.1.4 La récolte**

Les dates de récolte ne sont pas toujours identiques pour les deux espèces associées, ce qui peut rendre le réglage de la moissonneuse difficile pour limiter les pertes de grains ou réduire la proportion de grains cassés, phénomène plus fréquent lorsque la date de maturité de certaines légumineuses comme le pois est dépassée (Coulombel et Roinsard, 2013 ; Projet PerfCom, 2012), alors que pour d'autres espèces comme la féverole ou le lupin, c'est la céréale qui devra attendre. Cependant, comme le souligne Jean-Pierre Sicard, la perte de grains sur la parcelle, due à une récolte tardive des légumineuses, permet un apport d'azote sous forme d'engrais vert non négligeable. Comme indiqué ci-dessus, le choix des variétés des deux espèces associées peut permettre de mieux synchroniser les dates de maturité (Corre-Hellou et al., 2013).

---

<sup>10</sup> [http://www.radiodoc.org/emissions/ltpld-objectif-partage/podcasts.html?f=images/audio/ltpld/zoum\\_a\\_la\\_ferme\\_de\\_corinne\\_et\\_jpierre.mp3.mp3&controller=recording](http://www.radiodoc.org/emissions/ltpld-objectif-partage/podcasts.html?f=images/audio/ltpld/zoum_a_la_ferme_de_corinne_et_jpierre.mp3.mp3&controller=recording)

Le problème de la détermination de la date de récolte optimale existe également pour la production de fourrage. Pour une bonne digestibilité et conservation du fourrage, le taux de matière sèche (MS) doit approcher 30%. Pour atteindre ce taux en coupe directe, la proportion de céréale et de protéagineux est à considérer et difficile à estimer sur pied par les agriculteurs. Avec une dominante de céréales, le stade 30% de MS s'obtient au stade laiteux-pâteux du grain, courant juin dans l'Ouest de la France, avec une évolution rapide de ce taux conduisant à une fenêtre de récolte assez restreinte. Avec une dominante de protéagineux (pois fourrager ou vesce), la récolte en coupe directe devra être plus tardive pour atteindre 30% MS, car ils présentent environ 5 points de MS de moins que les céréales à la même date. Enfin, pour réaliser un ensilage plus précocement, il faudra faucher et laisser le fourrage sécher au sol 1 à 2 jours pour atteindre les 30% de MS.

### **2.1.5 Une combinaison de leviers en fonction des objectifs visés**

Dans le cadre du réseau de 20 parcelles d'associations céréale-légumineuse suivi en Poitou-Charentes au cours du CASDAR 8058 (Corre-Hellou et al., 2013), il ressort que la préoccupation majeure des agriculteurs concerne la proportion dans le mélange des espèces pour obtenir un fourrage riche en protéines, avec un bon rendement. Cette préoccupation ressort sur la plupart des témoignages analysés et ce y compris pour la production de grains. Les agriculteurs essaient donc d'adapter la fertilisation azotée en fonction de la densité du mélange en place. Des expérimentations de plein champ ont démontré que la fertilisation azotée était un levier efficace pour gérer la proportion de chaque espèce dans le mélange (Naudin et al., 2010). Un apport d'azote intervenant avant le début du remplissage des grains du pois favorise la croissance du blé et pénalise celle du pois du fait que la céréale est plus précoce et plus compétitive que la légumineuse pour cette ressource. Cependant, l'intensité de la réponse à la date de fertilisation varie en fonction des écarts de dynamiques de croissance et de phénologie de chaque espèce au moment de l'apport, facteurs qui apparaissent déterminants dans le partage de l'azote minéral et le comportement de la fixation symbiotique (Naudin et al., 2010). Par ailleurs, la fertilisation azotée entraîne une courte inhibition de la fixation symbiotique, qui est réversible si l'apport intervient avant la floraison du pois (Naudin et al., 2010 ; Naudin et al., 2011). Au final, la fertilisation azotée sous forme minérale apparaît comme un outil intéressant pour le pilotage de la proportion des espèces dans la biomasse de l'association, mais peut réduire la quantité d'azote fixée par l'association qui est corrélée au niveau de biomasse du pois. A noter que ce levier est moins efficace dès lors qu'il s'agit d'engrais organique devant se minéraliser avant d'être utilisé et de modifier le comportement des espèces associées.

Au-delà de l'effet des différents leviers, c'est bien une combinaison de pratiques qui permet de piloter la proportion d'espèces à la récolte en fonction des objectifs visés (Naudin, 2009 ; Naudin et al., 2010). Ainsi, pour un objectif de production d'un mélange à destination fourragère (récolte en ensilage ou en grains), c'est un équilibre entre la céréale (contribuant d'abord à l'apport en énergie) et la légumineuse (contribuant à l'apport en matières azotées totales) qui est recherché. Il est alors recommandé de semer chacune des deux espèces à des densités proches de la moitié des densités pratiquées en cultures pures et de ne pas réaliser d'apport azoté. Si l'agriculteur cherche à produire un blé de qualité meunière avec moins d'intrants azotés, les densités de semis et le choix de la variété de céréale (forts potentiels de tallage et de hauteur) doivent favoriser la céréale au détriment de la légumineuse dès la mise en place du couvert. Une fertilisation azotée réduite (estimée selon la méthode du bilan avec des besoins calculés au prorata de la densité relative de céréale dans le mélange) apportée au début de la montaison de la céréale contribuera également à conforter voire augmenter la proportion de céréale dans le mélange à la récolte. A l'inverse, dans le cas d'un objectif de production de légumineuse avec moins de facteurs limitants que ceux souvent rencontrés en cultures pures, la stratégie est de favoriser la légumineuse dès l'implantation par un semis à une densité relative élevée comparativement à celle de la céréale. Dans ce cas, on privilégiera une variété de céréale ayant un moindre potentiel de compétition (faibles potentiels de tallage et de hauteur) et aucune fertilisation azotée ne devra être pratiquée.

Malgré ces leviers agronomiques identifiés pour gérer les proportions à la récolte, il apparaît que le conseil technique est souvent peu, voire non adapté à la conduite des associations (Projet PerfCom, 2012). Dans le cas d'une autoconsommation dans les élevages, les agriculteurs peuvent combiner différentes associations et/ou des cultures pures sur leur exploitation afin d'assurer une ration équilibrée pour l'alimentation de leurs élevages, y compris en achetant certaines cultures déficitaires sur l'exploitation si besoin, comme expliqué par Jean-Pierre Sicard.

## 2.2 Contrainte liée à la succession des cultures

Certains agriculteurs regrettent le peu de connaissances disponibles sur l'effet des associations sur les cultures suivantes dans la rotation (Projet PerfCom, 2012), i.e. sur les maladies telluriques, sur la dynamique d'azote et sur la gestion des adventices à moyen terme. Les associations céréales-protéagineux peuvent, au vu de leurs avantages agronomiques (stabilité du rendement, pouvoir étouffant, faible besoins en azote...), conduire à une abondance de plantes fixatrices d'azote dans la rotation et donc pose la question des risques sanitaires (aphanomyces, sclerotinia, ascochytose) et de la durabilité de ces rotations. Par exemple sur des fermes d'élevage, on peut retrouver dans la succession la luzerne, et des cultures annuelles destinées à l'autoconsommation, avec des associations de céréales avec du pois, de la vesce, de la féverole, du lupin, soit une rotation de cultures comprenant chaque année des légumineuses.

## 2.3 Valorisation des associations en fourrage

Pour les fourrages, les objectifs spécifiques consistent à renforcer l'autonomie des élevages de ruminants du point de vue des volumes produits et de la qualité des fourrages. Les associations permettent de produire une forte biomasse, sont stables face aux aléas climatiques (en particulier en élaborant leur rendement avant les périodes de déficit hydrique prononcé), économes en intrants (eau, N, produits phytosanitaires) et riches en fibres et en MAT. Les associations ensilées avec une conduite sans pesticides permettent aussi d'implanter des prairies sous couvert plus facilement qu'avec des associations moissonnées, du fait de la libération précoce du sol, favorisant l'accès à la lumière pour la jeune prairie.

Dans la production de fourrage, l'association a donc, entre autres, pour vocation de produire un aliment équilibré ou plus riche en azote. C'est l'objectif recherché en cultivant des céréales associées à du pois fourrager ou de la vesce pour une récolte en ensilage, ou en cultivant un maïs accompagné d'une légumineuse. Cependant, quand les protéagineux sont sous-représentés à la récolte, l'objectif d'amélioration de la teneur en PDI (Protéines Digestibles dans l'Intestin) n'est pas atteint, et l'ensilage est constitué de céréales presque pures. C'est ce qui a été observé en pratiquant une forte fertilisation azotée (ou dans des situations avec un fort reliquat azoté en sortie d'hiver) qui stimule la croissance des céréales à paille (Corre-Hellou et al., 2013). Cela a également été observé en associant à du maïs fourrage des espèces de légumineuses qui ont été étouffées, ou bien au cycle de végétation bien plus court. Par exemple en Normandie (plate-forme Reine Mathilde, Métivier et al., 2014), le semis simultané vesce-maïs ou pois fourrager-maïs au mois de mai s'est traduit par une absence de légumineuses à la récolte. En effet, celles-ci étaient sénescentes et plaquées au sol lors de la récolte mi-octobre du fait qu'elles n'avaient pas eu le temps de s'accrocher au maïs pour s'en servir de tuteur. Il en est de même lorsque le maïs est associé avec un soja 000 (soja nécessitant de faibles sommes de températures et permettant d'étendre la zone de culture vers le Nord de la France) du fait d'un cycle trop court et d'une concurrence pour la lumière exacerbée en lien avec un écartement inter-rang réduit à 45 cm. De plus, sa taille bien inférieure à celle du maïs rendait la coexistence difficile. Les gousses insérées sur la tige à 10 cm du sol (une caractéristique actuelle des sojas 000) rendaient aussi l'ensilage difficile.

## 2.4 Valorisation des associations en grains

### 2.4.1 Améliorer la performance économique

Les performances économiques des associations sont difficiles à analyser car elles nécessitent de faire des hypothèses sur la valorisation possible de ces cultures et sur les prix de vente, ainsi que sur le coût associé au tri lorsqu'il est nécessaire. Cependant, les calculs de marge brute, réalisés sur le réseau d'essais (Pelzer et al., 2012) en prenant en compte le coût des semences, de la fertilisation azotée et des pesticides mais pas le coût du tri (estimé par ailleurs à 15 €/t par la coopérative Terrena), et en faisant l'hypothèse que les associations étaient commercialisables en l'état avec un prix au prorata de la proportion des deux espèces, ont montré qu'il n'y avait pas de différence significative entre les modalités (blé pur fertilisé, blé pur non fertilisé, pois pur, association pois-blé fertilisée et association pois-blé non fertilisée). Par ailleurs, la marge brute des associations pois-blé était plus élevée que la moyenne des marges brutes des cultures pures dans la majorité des sites-années.

Le premier critère à prendre en considération pour évaluer la performance économique des associations est celui de leurs débouchés commerciaux. Dans la plupart des cas que nous avons présentés, les associations sont utilisées en autoconsommation pour l'alimentation des élevages (contrairement aux situations où les deux espèces doivent être triées). Dès lors, la présence de grains cassés n'est pas un problème, comme pour Jean-Pierre Sicard<sup>11</sup> qui valorise son méteil auprès de ses volailles directement en mélange. Frank Dalifard précise qu'il vend ses associations triticales-féveroles à la coopérative Terrena<sup>12</sup> (intéressée par la production de protéagineux biologiques via les associations) ou à Valorex<sup>13</sup> pour la valorisation de la féverole (Boyeux et Magnard, 2013). Il indique également que la présence d'une unité de collecte acceptant les mélanges à environ 15 km de son exploitation l'a encouragé à pratiquer largement des associations céréales-légumineuses sur son exploitation. D'ailleurs dans ce cas précis, le rôle de la coopérative Terrena est double car elle lui permet, d'une part, de préparer les grains pour les insérer dans sa ration et d'autre part de commercialiser son surplus de production. Il est à noter que d'autres coopératives comme Biocer<sup>14</sup> collectent également des associations telles que des mélanges triticales-pois fourrager ou orge-pois protéagineux pour la revente en l'état à des éleveurs (Coulombel et Roinsard, 2013).

Un autre élément qui conditionne la performance économique des cultures associées concerne les contraintes liées à la déclaration PAC de ces systèmes, qui sont soulevées par plusieurs agriculteurs. En effet, le statut des associations n'est pas bien défini. Selon l'espèce prédominante au semis, l'agriculteur doit déclarer soit une céréale soit un protéagineux. Cette dernière déclaration permet seule d'activer l'aide couplée aux protéagineux. La nouvelle PAC 2014-2020 encouragera aussi par une aide couplée la production de protéines végétales, avec une aide annoncée d'au minimum 100 €/ha. Par contre, il n'existe pas de mesures agro-environnementales spécifiques pour les associations malgré leurs effets bénéfiques sur l'environnement (Boyeux et Magnard, 2013; Projet PerfCom, 2012). Étant donné le flou dans la réglementation quant aux règles sur les proportions d'espèces dans le couvert (dose de semis ? date du contrôle ? rendement récolté ?), le problème de la maîtrise des proportions à la récolte est mentionné par certains agriculteurs comme un risque supplémentaire d'erreurs dans les déclarations PAC (Projet PerfCom, 2012). On peut faire l'hypothèse que les agriculteurs cultivant des associations vont avoir envie de solliciter l'aide couplée protéines végétales. Cependant, même s'ils respectent la règle des protéagineux prédominants au semis, ils ne sont pas certains d'obtenir cette dominance avant la récolte, au moment des contrôles PAC.

<sup>11</sup> [http://www.radiodoc.org/emissions/ltpld-objectif-partage/podcasts.html?f=images/audio/ltpld/zoum\\_a\\_la\\_ferme\\_de\\_corinne\\_et\\_jpierre.mp3.mp3&controller=recording](http://www.radiodoc.org/emissions/ltpld-objectif-partage/podcasts.html?f=images/audio/ltpld/zoum_a_la_ferme_de_corinne_et_jpierre.mp3.mp3&controller=recording)

<sup>12</sup> <http://www.terrena.fr/>

<sup>13</sup> <http://www.valorex.com/>

<sup>14</sup> <http://biocer.fr/>

### 2.4.2 Les contraintes liées à la collecte et au tri des grains

Même si les gains de rendement et de teneur en azote ne sont pas remis en question, la valorisation des récoltes en grains est difficile, car il existe très peu de filières pour les mélanges, et le problème du tri des grains est souvent mentionné par les agriculteurs comme un frein au développement de ces systèmes (Coulombel et Roinsard, 2013 ; Projet PerfCom, 2012). En effet, lorsque les associations ne sont pas destinées à être autoconsommées directement dans les élevages, il est nécessaire d'effectuer un tri des grains. Celui-ci peut-être réalisé à la ferme lorsque les agriculteurs sont équipés du matériel nécessaire (Projet PerfCom, 2012) ou, dans certains rares cas, chez les collecteurs. Toutefois, certains collecteurs ne proposent pas le tri, tandis que d'autres facturent cette prestation à l'agriculteur (Boyeux et Magnard, 2013). Dès lors, il est nécessaire de réduire le coût du tri afin que celui-ci ne dépasse pas les gains permis par les associations, comme le souligne un agriculteur enquêté (Coulombel et Roinsard, 2013). Pour cette raison, un tri à la ferme en s'orientant vers un achat d'un trieur en CUMA pour réduire les coûts d'investissement apparaît une bonne solution (Boyeux et Magnard, 2013). Yohan Goubaud<sup>15</sup> va dans ce sens quand il souligne que les agriculteurs pourraient s'organiser pour réaliser le tri à la ferme moyennant l'achat de matériel dédié, ce qui permettrait de réduire le coût de ce tri par rapport à la situation actuelle où ce dernier est réalisé par la coopérative Terrena.

Quel que soit l'opérateur réalisant le tri (l'agriculteur ou la coopérative), on observe que la qualité du tri reste imparfaite en général, avec notamment des taux d'impuretés élevés dans la céréale (jusqu'à 10%). Ces conclusions sont basées sur des tests de tri, conduits pour des associations céréale-pois par la coopérative Terrena, et qui indiquent que les résultats du tri sont hétérogènes. Il y a en effet systématiquement trop de grains cassés de protéagineux dans le blé empêchant la valorisation en alimentation humaine. Dans le cas des filières blé tendre et blé dur dans lesquelles les conditions de commercialisation en alimentation humaine sont draconiennes (1.5% maximum de matières organiques autres que des graines comestibles de céréales, 0.1% maximum d'impuretés d'origine animale y compris les insectes et 0.5% de matières étrangères inorganiques telles des pierres et poussières ; CODEX STAN 199-1995<sup>16</sup>), ce constat conduit certains agriculteurs à dire que la valorisation dans ces filières est impossible. C'est le cas également de la coopérative Terrena qui envisage plutôt une valorisation des associations d'espèces en alimentation animale du fait le plus souvent de céréales présentant des niveaux trop importants d'impuretés (Boyeux et Magnard, 2013). Toutefois, d'autres solutions sont envisageables dès lors que les procédés actuels de transformation sont remis en question. En effet, il est possible de produire des aliments à base de blé dur et de légumineuses tels que des biscuits ou des « pâtes » (ANR PastaLeg<sup>17</sup>) à ceci près que la dénomination « pâte » est réservée aux produits élaborés intégralement à base de semoule de blé dur et qu'une modification de la réglementation européenne semble difficilement envisageable dans un horizon proche.

Par ailleurs, les grains cassés ne sont pas valorisés en protéagineux, ce qui constitue une perte pour le collecteur dès lors que les prix des protéagineux sont supérieurs à ceux de la céréale. Ainsi, l'analyse économique montre que le coût du tri est estimé à 15 €/t comprenant le coût de l'opération stricte de dé-mélange (7 €/t) auquel s'ajoutent 8 €/t de pertes de protéagineux : grains non séparés du blé et donc non valorisés au prix du protéagineux). Ce coût, s'il est répercuté sur le paiement de l'agriculteur, reste acceptable en agriculture biologique par rapport aux gains de rendement réalisés et à l'amélioration de la teneur en protéines des céréales. Par contre, en agriculture conventionnelle, ce coût représente une part plus importante du fait des prix de vente des produits plus faibles qu'en agriculture biologique, et cela diminue donc l'intérêt économique des associations malgré les moindres charges d'intrants.

Il est à souligner que ce coût ne prend pas en compte les investissements en cellules de stockage et séchage qui seraient également nécessaires pour pouvoir collecter les cultures associées. A cela

<sup>15</sup> <https://www.youtube.com/watch?v=of381ZrgqpQ>

<sup>16</sup> [http://www.codexalimentarius.org/input/download/standards/62/CXS\\_199f.pdf](http://www.codexalimentarius.org/input/download/standards/62/CXS_199f.pdf)

<sup>17</sup> <http://www.cepia.inra.fr/Le-departement-Les-recherches/Nos-resultats/pastaleg>

s'ajoutent les difficultés logistiques engendrées au niveau des coopératives, comme la disponibilité de la main d'œuvre pour traiter de façon particulière des lots en période de pointe d'activités ou encore la difficulté à réaliser un échantillon représentatif pour le paiement de l'agriculteur. Néanmoins des pistes sont envisageable pour permettre une valorisation du blé en alimentation humaine, comme par exemple une dilution avec d'autres lots ou l'investissement dans du matériel de tri plus sophistiqué. Sur ce dernier point, il existe en effet des trieurs ayant une meilleure efficacité mais un débit de chantier moindre et donc un coût à la tonne triée plus élevé. Il est également possible de limiter les difficultés de tri via le choix des espèces et des variétés associées. La coopérative Terrena a observé par exemple de meilleurs résultats pour le tri du mélange blé-féverole tel que pratiqué par Frank Dalifard. Il en va de même de l'association triticales-pois qui pose moins de problèmes puisque la céréale est dans ce cas valorisée en alimentation animale.

**Tableau 1:** Principaux avantages et limites des associations céréales-légumineuses annuelles mentionnées par les agriculteurs

<b>Avantages</b>
Produire des légumineuses avec moins d'adventices, de verse et de maladies
Gain de rendement global par rapport aux cultures pures
Enrichissement en azote des produits récoltés
Vers l'autonomie alimentaire des élevages (pour les associations fourrage ou grains destinées à l'alimentation animale)
Stabilité des rendements
Souplesse pour l'alimentation animale (pour les associations fourrage ou grains destinées à l'alimentation animale)
Diversification des rotations
Réduction des engrais azotés dans la succession (et des impacts négatifs associés)
Réduction des risques de lessivage de nitrate par rapport aux cultures pures
<b>Limites</b>
Semis : hétérogénéité entre espèces (date, profondeur, pour certaines associations comme blé-féverole), choix des proportions
Pas de sélection de variétés spécifiquement adaptées à la culture en association
Risque de salissement des parcelles (pas toujours d'herbicide homologué, désherbage mécanique compliqué)
Décalage de maturité à la récolte (risque de grains cassés ou de problèmes de conservation des fourrages)
Conduite : peu de références techniques, conseil peu adapté
Peu de références sur les risques de maladies à l'échelle de la succession
Maîtrise de la proportion de chaque espèce à la récolte
Collecte, tri et débouchés commerciaux (pour les associations grains, en particulier destinées à l'alimentation humaine)
Déclaration PAC

Enfin, dans le cas de l'association tritcale-lupin pratiquée par Yohan Goubaud, la légumineuse est destinée à une filière industrielle de Terrena Lup'ingrédients<sup>18</sup> qui permet de supporter les coûts liés au tri, étant donné la forte valeur ajoutée de la production, en lien notamment avec un manque de surfaces en lupin. Par ailleurs, le tri est dans ce cas plus facile que pour d'autres associations du fait que les deux graines ont des tailles très différentes. De plus, d'un point de vue logistique, les surfaces implantées en association tritcale-lupin sont positionnées à proximité du silo équipé du trieur, ce qui limite les coûts de transport notamment. Enfin, le lupin étant récolté plus tardivement que la majorité des produits récoltés par la coopérative, le travail supplémentaire demandé par le tri ne vient pas en concurrence avec d'autres chantiers de collecte. Cet exemple montre bien la nécessité d'organisation des acteurs au sein de la filière afin d'avoir des objectifs convergents.

## Conclusion et perspectives

Comme nous avons voulu le montrer, certains agriculteurs sont déjà convaincus des nombreux bénéfices permis par les associations, tant pour la production de grains que de fourrages (rendement et qualité), que pour la réduction de l'usage d'intrants et de certains impacts environnementaux essentiellement liés à la réduction de la fertilisation azotée. Les associations sont adaptées aux conduites conventionnelles à bas niveau d'intrants comme aux systèmes biologiques où les problèmes de bioagresseurs sont plus difficiles à maîtriser (en particulier pour les légumineuses pures) et où les services rendus par les légumineuses sont mieux valorisés. Étant donné la grande difficulté à valoriser la céréale associée en alimentation humaine (problème de tri), l'association est plutôt envisagée comme un moyen pour produire des rendements élevés et stables avec une proportion non négligeable de légumineuse et ce en remplacement des cultures pures de protéagineux difficiles à réaliser (réduction de la verse, réduction des adventices...) (CASDAR 8058 ; Corre-Hellou et al., 2013). Dès lors les cultures associées apparaissent comme l'une des solutions d'intérêt, notamment pour la recherche d'une plus grande autonomie en azote des systèmes de culture, mais aussi pour l'autonomie et la production locale de protéines dans les élevages et les filières d'alimentation animales. Dans ce cas, les associations visent à produire essentiellement des protéagineux. Notons que ceci peut être atteint avec l'utilisation d'une densité faible de céréale (15-30% de la densité de semis en pur) qui suffit pour fournir les services attendus.

Malgré ces avantages, plusieurs limites restent à lever pour le développement des associations céréales-légumineuses annuelles. Elles concernent (i) la conduite technique de ces associations pour une maîtrise de la production (et la présence sur le terrain d'un conseil technique adapté) et (ii) le développement de filières. Nous avons insisté sur les difficultés de maîtrise de la proportion des espèces à la récolte, mais aussi sur le fait que les associations permettent de la souplesse en fonction des aléas climatiques et biotiques. La variabilité de la composition à la récolte est souvent vue comme un inconvénient, mais certains agriculteurs apprécient la sécurité que cela apporte face à différents aléas. C'est le cas pour une valorisation possible en grains ou en fourrages, selon les conditions subies pendant le cycle cultural, ou quand un stress biotique ou abiotique conduit à la quasi disparition d'une espèce alors que l'autre n'est pas autant impactée voire pas du tout ce qui permet l'obtention d'une récolte significative. Dans ce second cas, il peut être pertinent d'abandonner l'espèce impactée en adaptant l'itinéraire technique en cours de culture pour l'éliminer, ce qui montre que l'association permet cette flexibilité que n'ont pas les cultures pures.

Afin de lever certaines de ces limites, il faudrait favoriser l'utilisation en mélange des deux espèces ou a minima des utilisations pour lesquelles les exigences de pureté ne sont pas excessives comme actuellement pour les débouchés vers l'alimentation humaine. Si l'autoconsommation en alimentation

---

<sup>18</sup> <http://www.lupin.fr/>



animale est la solution la plus simple, il peut également être envisagé le développement de nouveaux produits pour l'alimentation humaine comme des pâtes aux légumineuses (ANR PastaLeg<sup>19</sup>), des biscuits ou du pain utilisant des farines composées de blé et de légumineuses. Ces nouveaux produits peuvent en effet présenter une bonne qualité nutritive, du fait de leur richesse en protéines, en fibres et en minéraux, ainsi que du fait de leur indice glycémique faible. Les industriels peuvent rester réticents aux variations de proportion des deux espèces entre les lots lors de l'approvisionnement mais il peut être envisagé de corriger les lots avec de la farine ou des grains produits en purs et ce de façon à stabiliser la qualité technologique des produits.

Les associations sont aussi un moyen de cultiver de nouvelles espèces. Par exemple, afin de produire un fourrage riche en protéines sans risquer de perdre les protéagineux à la récolte (concurrence de la céréale), la voie de l'ensilage d'une association de deux protéagineux a été testée en Normandie, en cultivant ensemble féverole et pois protéagineux. Dans ce cas la culture est implantée à l'automne, en deux semis séparés (féverole semée à la volée avant le labour et pois semé en rangs). L'un des objectifs est d'avoir une culture très étouffante au printemps avec la féverole jouant cette fois le rôle de tuteur. Dans ce cas l'ensilage a lieu en juin au stade « petit pois de conserve » et produit 8 à 10 t MS/ha, avec une teneur en matières azotées totales de 18% contre 8,8% en moyenne dans les associations céréales-pois fourrager habituellement pratiquées par les agriculteurs, composées d'une forte part de céréale (70% à la récolte) dans le mélange et récoltées à 32% de MS), voire autour de 12% pour les associations où le pois représente plus de 50 % de la récolte (CASDAR 8058 ; Correhellou et al., 2013). Par ailleurs, afin de répondre à l'objectif de moindre pouvoir acidogène du mélange de graines récoltées pour l'alimentation des ruminants, de nouvelles associations sont examinées en orientant le choix des espèces vers des céréales et des protéagineux moins fermentescibles ou se dégradant plus lentement dans le rumen. Les espèces appropriées parmi les céréales sont celles qui présentent un grain vêtu comme l'épeautre ou l'avoine et parmi les protéagineux, le lupin qui ne contient pas d'amidon. D'ailleurs, en Normandie, le lupin associé à l'avoine est à l'examen en version hiver et printemps, avec un impact notoire de l'association sur la réduction du salissement. Une autre association introduisant l'épeautre avec du pois et de la vesce a aussi été observée pendant deux ans mettant en évidence que l'épeautre est facilement « étouffé » et n'est pas un tuteur assez solide pour supporter le poids de ces protéagineux volubiles et que l'épeautre (Métivier et al., 2014). Plus largement, il existe une large gamme d'associations d'espèces annuelles testées dans différentes parties du monde et dont nous pourrions nous inspirer afin de les adapter à nos contextes pédoclimatiques.

De nouveaux débouchés peuvent être envisagés pour ces associations et en particulier pour la production de biomasse pour la bioénergie (bioéthanol de 2<sup>ème</sup> génération ou biogaz). En effet, la principale critique des cultures énergétiques annuelles (face aux cultures pérennes) est leur consommation élevée en intrants azotés, entraînant des bilans énergétiques et d'émissions de gaz à effet de serre discutables pour des débouchés énergie. Les associations céréales-légumineuses récoltées en plante entière présentent en effet des rendements élevés avec peu, voire pas de fertilisation azotée et donc des bilans énergétiques favorables et des émissions de gaz à effet de serre réduites par rapport aux céréales pures et ce tout en conservant des critères de qualité compatibles avec les procédés de transformation actuels contrairement à certaines légumineuses pures (Pelzer et al., 2014). De telles associations pourraient être intégrées dans des successions dans lesquelles la plupart des cultures restent dédiées à l'alimentation animale et humaine. Notons qu'une valorisation en bioénergie (méthanisation) a également été envisagée pour des couverts associés en culture dérobée, et les premiers résultats obtenus semblent prometteurs (Guide Optabiom).

---

<sup>19</sup> <http://www.cepia.inra.fr/Le-departement-Les-recherches/Nos-resultats/pastaleg>

Enfin, les associations pourraient être valorisées en tant que couverts intermédiaires sachant que de telles cultures à vocation fourrage se sont développées ces dernières années dans les régions d'élevage, évitant notamment les périodes de sol nu entre les cultures de céréale et de maïs. Ces associations de type céréales-protéagineux sont semées tôt, dès septembre-octobre, et récoltées de façon précoce dès le début mai. Cependant, leurs rendements sont assez faibles (2 à 5 t MS/ha) tout comme leur taux de matière sèche. Enfin, ces fourrages nécessitent un séchage au sol avant l'ensilage et la part de protéagineux est souvent moindre par rapport aux associations en culture principale.

### Références bibliographiques

- Baranger E., Guichard L., Jeuffroy M.H., Yvergniaux M., Bedoussac L., Justes E., 2008. Cultiver des associations céréales-protéagineux : des intérêts agronomiques, économiques et environnementaux à découvrir. Rapport Technique Final. Programme Coordonné Par l'UNIP Avec Soutien CASDAR Appel À Projet 2005 N°431.
- Bedoussac L., Justes E., 2010a. Dynamic analysis of competition and complementarity for light and N use to understand the yield and the protein content of a durum wheat-winter pea intercrop. *Plant and Soil* 330, 37–54.
- Bedoussac L., Justes E., 2010b. The efficiency of a durum wheat-winter pea intercrop to improve yield and wheat grain protein concentration depends on N availability during early growth. *Plant and Soil* 330, 19–35.
- Bedoussac L., Journet E.P., Hauggaard-Nielsen H., Naudin C., Corre-Hellou G., Prieur L., Jensen E.S., Justes E., 2014. Eco-functional Intensification by Cereal-Grain Legume Intercropping in Organic Farming Systems for Increased Yields, Reduced Weeds and Improved Grain Protein Concentration. In: Bellon S, Penvern S (eds): *Organic Farming, prototype for sustainable agricultures*. Springer, Netherlands. pp 47-63.
- Boyeux M., Magnard A., 2013. Cultures associées : l'union fait la force. *France Agricole* 3488, 37–42.
- Corre-Hellou G., Baranger A., Bedoussac L., Cassagne N., Cannavacciuolo M., Fustec J., Elise Pelzer E., Piva G. 2014, Interactions entre facteurs biotiques et fonctionnement des associations végétales. *Innovations Agronomiques* 40, 25-42
- Corre-Hellou G., Bedoussac L., Bousseau D., Chaigne G., Chataigner C., Celette F., Cohan J.-P., Coutard J., Emile J.-C., Floriot M., Foissy D., Guibert S., Hemptinne J.L., Le Breton M., Lecomte C., Marceau C., Mazoué F., Mérot E., Métivier T., Morand P., Naudin C., Omon B., Pambou I., Pelzer E., Prieur L., Rambaut G., Tauvel O., 2013. Associations céréale-légumineuse multi-services. *Innovations Agronomiques*, 30, 41-57.
- Corre-Hellou G., Dibet A., Hauggaard-Nielsen H., Crozat Y., Gooding M., Ambus P., Dahlmann C., von Fragstein P., Pristeri A., Monti M., Jensen E.S., 2011. The competitive ability of pea–barley intercrops against weeds and the interactions with crop productivity and soil N availability. *Field Crops Research* 122, 264–272.
- Corre-Hellou G., Fustec J., Crozat Y., 2006. Interspecific competition for soil N and its interaction with N<sub>2</sub> fixation, leaf expansion and crop growth in pea-barley intercrops. *Plant and Soil* 282, 195–208.
- Coulombel A., Roinsard A., 2013. Associations céréales/protéagineux. Valorisation en alimentation animale. *Alter Agri* 120, 6–19.
- Guide Optabiom. Brochier M., Savouré M.L., Guy P., Chapron L., Deceuninck A., 2011. Bien choisir sa culture dérobée. *Projet Optabiom*.
- Hauggaard-Nielsen H., Ambus P., Jensen E.S., 2003. The comparison of nitrogen use and leaching in sole cropped versus intercropped pea and barley. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 65, 289–300.
- Hauggaard-Nielsen H., Jensen E.S., 2001. Evaluating pea and barley cultivars for complementarity in intercropping at different levels of soil N availability. *Field Crops Research* 72, 185–196.
- ITAB, 2010, Cahier technique Produire du poulet de chair en AB

- Jensen E.S., 1996. Grain yield, symbiotic N<sub>2</sub> fixation and interspecific competition for inorganic N in pea-barley intercrops. *Plant and Soil* 182, 25–38.
- Justes E., Bedoussac L., Corre-Hellou G., Fustec J., Hinsinger P., Journet E.-P., Louarn G., Naudin C., Pelzer E., 2014. La complémentarité pour l'acquisition des ressources abiotiques dans les associations végétales : quels processus déterminent leur fonctionnement ? *Innovations Agronomiques* 40, 1-24
- Le Breton M., 2011. Evaluations multicritères d'itinéraires techniques d'associations culturales céréale-légumineuse. Mémoire de fin d'étude d'Ingénieur en Agriculture Groupe ESA (Angers, France) ; pp.268.
- Métivier T., 2013. Nouveaux ensilages enrichis en protéines. *Réussir L'Agriculteur Normand* 2277, 26-27.
- Métivier T., *et al.*, 2014. 3 années d'essais en faveur de l'autonomie alimentaire. Rapport Technique des Chambres d'agriculture de Normandie, dans le cadre du Projet Reine Mathilde.
- Naudin C., Aveline A., Corre-Hellou G., Dibet A., Jeuffroy M.H., Crozat Y., 2009. Agronomic analysis of the performance of spring and winter cereal-legume intercrops in organic farming. *Journal of Agricultural Science and Technology* 3: 17-28
- Naudin C., 2009. Nutrition azotée des associations pois-blé d'hiver (*Pisum sativum* L. – *Triticum aestivum* L.): Analyse, Modélisation et Propositions de stratégies de gestion. Sciences Agronomiques. Thèse de doctorat, Université d'Angers, France. 10th december 2009, pp 119. [http://tel.archives-ouvertes.fr/docs/00/48/26/32/PDF/Thesis\\_NAUDIN.pdf](http://tel.archives-ouvertes.fr/docs/00/48/26/32/PDF/Thesis_NAUDIN.pdf)
- Naudin C., Corre-Hellou G., Pineau S., Crozat Y., Jeuffroy M.H., 2010. The effect of various dynamics of N availability on winter pea-wheat intercrops: crop growth, N partitioning and symbiotic N<sub>2</sub> fixation. *Field Crops Research* 119, 2–11.
- Naudin C., Corre-Hellou G., Voisin A.-S., Oury V., Salon C., Crozat Y., Jeuffroy M.H., 2011. Inhibition and recovery of symbiotic N<sub>2</sub> fixation by peas (*Pisum sativum* L.) in response to short-term nitrate exposure. *Plant and Soil* 346, 275-287
- Naudin C., van der Werf H.M.G., Jeuffroy M.H., Corre-Hellou G., 2014. Life cycle assessment applied to pea-wheat intercrops: A new method for handling the impacts of co-products. *Journal of Cleaner Production* 73, 80–87.
- Ndzana R.A., Magro A., Bedoussac L., Justes E., Journet, E.-P., Hemptinne, J.-L., 2014. Is there an associational resistance of winter pea-durum wheat intercrops towards *Acyrtosiphon pisum* Harris? *J. Appl. Entomol.* 138, 577–585.
- Pelzer E., Bazot M., Makowski D., Corre-Hellou G., Naudin C., Al Rifaï M., Baranger E., Bedoussac L., Biarnès V., Boucheny P., Carrouée B., Dorvillez D., Foissy D., Gaillard B., Guichard L., Mansard M.-C., Omon B., Prieur L., Yvergniaux M., Justes E., Jeuffroy M.H., 2012. Pea–wheat intercrops in low-input conditions combine high economic performances and low environmental impacts. *European Journal of Agronomy*. 40, 39–53.
- Pelzer E., Soulié M., Jeuffroy M.H., 2014. Grass-legume intercrops to produce biomass for bioenergy. Proceeding of the congress of the American Society of Agronomy, Long Beach, US, 3-5 November 2014.
- Projet PerfCom, 2012. Les cultures associées céréale/légumineuses en agriculture “bas intrants” dans le sud de la France. <http://www6.montpellier.inra.fr/systema-perfcom/>.
- Protin P.V., Corre-Hellou G., Naudin C., Trochard R., 2009. Impact des pratiques de fertilisation sur la productivité des prairies et mélanges céréales - protéagineux et la qualité du fourrage. *Fourrages*, 198: 115-130.
- Sauvant D., Perez J.M., Tran G. (eds), 2002. Tables de composition et de valeur nutritive des matières premières destinées aux animaux d'élevage : porcs, volailles, bovins, ovins, caprins, lapins, chevaux, poissons. INRA Editions et AFZ, Paris
- Schoeny A., Jumel S., Rouault F., Lemarchand E., Tivoli B., 2010. Effect and underlying mechanisms of pea-cereal intercropping on the epidemic development of ascochyta blight. *European Journal of Plant Pathology* 126, 317–331.

Trenbath B.R., 1993. Intercropping for the management of pests and diseases. *Field Crops Research* 34, 381-405.

Valantin-Morison M., David C., Cadoux S., Lorin M., Celette F., Annick Basset., 2014. Association d'une culture de rente et espèces compagnes permettant la fourniture de services écosystémiques. *Innovations Agronomiques* 40, 93-112

Willey R.W., 1979. Intercropping - its importance and research needs. 1. Competition and yield advantages. *Field Crops Abstracts* 32, 1-10.