

Potentiels et leviers pour développer la production et l'utilisation des protéagineux dans le cadre d'une agriculture durable en Bourgogne

Gérard Duc, Stéphane Blancard, Catherine Hénault, M.S. Petit, Marie-Hélène Bernicot, Florian Bizouard, Norbert Blanc, A. Blondon, N. Blosseville, E. Bonnin, et al.

▶ **To cite this version:**

Gérard Duc, Stéphane Blancard, Catherine Hénault, M.S. Petit, Marie-Hélène Bernicot, et al.. Potentiels et leviers pour développer la production et l'utilisation des protéagineux dans le cadre d'une agriculture durable en Bourgogne. Innovations Agronomiques, 2010, 11, pp.157-173. hal-01173204

HAL Id: hal-01173204
https://hal.science/hal-01173204

Submitted on 4 Oct 2018

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

Innovations Agronomiques 11 (2010), 157-173

Potentiels et leviers pour développer la production et l'utilisation des protéagineux dans le cadre d'une agriculture durable en Bourgogne

Duc G. [1]*, Blancard S. [5]*, Hénault C. [2]*, Lecomte C. [1]*, Petit M.-S. [10]*, Bernicot M.-H. [3], Bizouard F. [2], Blanc N. [3], Blondon A. [14], Blosseville N. [8], Bonnin E. [12], Bois B. [6], Castel T. [6], Challan-Belval C. [10], Coulon C. [5], Delattre M. [9], Deytieux V. [3], Dobrecourt J.-F. [14], Dumas M. [15], Geloen M. [12], Humeau F.[16], Huot E. [14], Jeuffroy M.-H. [4], Killmayer M. [7], Larmure A. [1], Lelay D. [15], Leseigneur A. [5], Mabire J.-B. [10], Mangin P. [3], Marget P. [1], Million G. [9], Raynard L. [15], Robin P. [11], Ronget D. [11], Richard Y. [6], Vaccari V. [9], Vermue A. [2], Villard A. [13], Villery J. [6,] Vivier C. [14]

* *coordination*

1- INRA, UMR 102, Génétique et Ecophysiologie des Légumineuses à Graines, BP86510, F-21034 Dijon Cedex, France
2- INRA, UMR MSE, BP86510, F-21034 Dijon Cedex, France
3- INRA, Domaine d'Epoisses, F-21110 Bretenières, France
4- INRA, UMR0211, Agronomie INRA-AgroParis tech, F-78000 Thiverval-Grignon, France
5- AgroSup Dijon, CESAER, 12 Bd Dr Petitjean, F-21000 Dijon, France
6- Centre de Recherches de Climatologie, UMR 5210 CNRS/Univ. Bourgogne, F-21000 Dijon, France
7- Arvalis – Institut du végétal, 11 rue Henri Becquerel, F-21000 Dijon, France
8- UNIP, 12 avenue Georges 5, F-75008 Paris, France
9- Dijon-Céréales, Damier-vert, 4 boulevard de Beauregard, F-21604 Longvic Cedex, France
10- Chambre régionale d'Agriculture de Bourgogne, 3 rue du Golf, F-21800 Quétigny, France
11- Chambre d'agriculture de la Côte d'Or, 42 rue de Mulhouse, F-21000 Dijon, France
12- Chambre d'agriculture de la Nièvre, 25 Boulevard Léon Blum, 58028 Nevers Cedex, France
13- Chambre d'agriculture de la Saône et Loire, 59 rue du 19 Mars 1962, 71000 Mâcon, France
14- Chambre d'agriculture de l'Yonne, 14 bis rue Guynemer, 89015 Auxerre, France
15- EPLEFPA de Quétigny, Ferme expérimentale de Tart-le-bas, 21110 Tart-le Bas, France
16- LEGTA de Fontaines, la Platière, 71150 Fontaines, France

Correspondance : gerard.duc@dijon.inra.fr

Résumé

Une démarche multi-partenaires est engagée sur le territoire de la région Bourgogne, pour évaluer les potentiels et identifier des leviers au développement d'une filière protéagineuse. L'analyse des interactions génotype x environnement et des facteurs climatiques est appuyée par une deuxième année d'expérimentation variétale de protéagineux (pois et féveroles d'hiver et de printemps). Une étude fréquentielle sur la période 1961-2009 a permis de cartographier les risques de gel hivernal et de fortes chaleurs en fin de cycle cultural en Bourgogne et nous pouvons proposer des variétés de pois et de féveroles mieux adaptées à la région. Le volet d'évaluation multicritères de la durabilité des systèmes de culture bourguignons, comparant des systèmes avec et sans protéagineux, a permis de confirmer et de quantifier l'intérêt de l'insertion de protéagineux, qui passe notamment par une diminution de l'IFT moyen et des doses d'azote, une augmentation de la robustesse économique (économie d'engrais azotés et énergie fossile sur l'ensemble de la rotation), la diversification des rotations en offrant de nouvelles possibilités de gestion des adventices. Sur 2 sites, le volet « environnemental » a montré en conditions « in situ », que les émissions de N_2O par les sols contenant des résidus de pois ne sont en général pas supérieures à celles des sols contenant des résidus de céréales. La proposition de variétés tolérantes aux principaux stress en culture et de bonne productivité sera une clef essentielle du développement des cultures protéagineuses. L'analyse économique a identifié un intérêt du développement de la contractualisation dans la filière et de la mise en place et de

la promotion d'une filière de qualité, en accentuant les exigences en matière de traçabilité et d'étiquetage.

Mots-clefs : Bourgogne, protéagineux d'hiver, pois, féverole, systèmes de culture, climat, interaction génotype x environnement, impacts environnementaux, N_2O, énergie, protéines, élevages, économie, filière

Abstract: Potentials and levers for developing production and use of grain legume crops in sustainable agriculture in Burgundy

A multi-partners strategy is engaged at level of Burgundy-France territory, to evaluate potentials and identify levers for the development of a chain from production to uses of grain legumes. The analysis of genotype x environment interaction and climatic factors is supported by a second year of field trials of grain legumes varieties (pea and faba bean of spring or winter sowing types. The statistical analysis of climatic data over the 1961-2009 period, has allowed to build Burgundy maps of freezing risk and late spring heat stress risk and we are able to suggest pea or faba bean genotypes, better adapted to the region. The sustainability of cropping systems involving or not grain legumes was evaluated according several criteria (agronomy, energy and other input, work organisation). It has confirmed the positive effect of inserting grain legumes, on the reduction (i) of N fertiliser, energy and pesticide uses, (ii) for easier weed control (iii) on the economic bilan assessed over whole cropping system. On 2 sites, « in situ » most measurement of N_2Oemissions by soils containing grain legume crop residues were higher than those containing cereal residues. Offering to farmers varieties with good level of stress resistance and good productivity will be a key point for the development of grain legume crops. The economic analysis has identified the potential value of developing contracts between produces and collectors which will secure prices and market. The technical development of a high quality "chain" and its promotion may be valuable provided efforts on traceabilty and on labelling.

Keywords: Burgundy, autumn-sown grain legumes, pea, fababean, cropping systems, genotype x environment interaction, environmental impact, N_2O, energy, protein, animal farming, economics, supply chain.

Introduction

La Bourgogne est une terre d'élevage et de productions végétales. L'inflexion de son agriculture vers des systèmes visant une qualité des produits et utilisant moins d'intrants permet d'envisager une place plus grande des protéagineux. Le programme de recherche PSDR-PROFILE[1] 2009-2011 évalue les potentiels et leviers de développement des protéagineux selon deux axes stratégiques :

Rechercher une plus grande autonomie protéique en alimentation animale, par l'utilisation des protéagineux en Bourgogne. Alors que l'UE est la première zone du monde pour l'utilisation animale de matières riches en protéines (MRP) avec une consommation de plus de 50 millions de tonnes (Mt), elle ne couvre aujourd'hui que 23% de ses besoins en protéines par sa production intérieure. Paradoxalement, entre 2000 et 2009, des surfaces communautaires en protéagineux ont fortement reculé, alors que les importations de tourteaux de soja, principale MRP consommée en Europe, ont augmenté de plus de 5 Mt au cours de cette période (Guéguen *et al.*, 2008). Après la crise de l'ESB, dite « de la vache folle », la demande sociétale de traçabilité des produits côtoie les questions d'évitement des OGM dans certaines filières. L'utilisation grandissante de graines protéagineuses

[1] Protéagineux, Filière, Impacts, Environnement (Potentiels et leviers pour développer la production et l'utilisation des protéagineux dans le cadre d'une agriculture durable en Bourgogne)

produites à proximité des zones de consommation, au sein même des zones AOC-AOP ou à destination des systèmes de polyculture-élevage biologiques, inciterait à développer une ressource protéique locale alternative au soja importé, offrant une image de terroir dans les filières de qualité. Par ailleurs, le développement actuel de la production de colza bio-énergétique va conduire au développement des tourteaux de colza par rapport auxquels des graines de protéagineux se montrent des compléments intéressants dans l'alimentation animale.

La situation bourguignonne est conforme au paysage européen, utilisant 876 000 t/an d'aliments (*source : SNIA 2010,* Agreste 2010) et incorporant environ 190 000 t de tourteaux de soja. Deux tiers des aliments sont utilisés par les ruminants. Les productions de viandes blanches sont très importantes en Bourgogne (environ 350 000 porcs et 25 x 10^6 volailles, consommant environ 300 000 t d'aliments annuellement) et sous l'hypothèse d'un taux d'incorporation de 20%, elles représenteraient à elles seules un potentiel d'utilisation de 60 000 t de protéagineux. Face à cela, la production bourguignonne de protéagineux en 2009 était de 32 000 t sur 7 500 ha (0,7% de la surface arable), surtout représentés par des pois conduits en culture de printemps. Un récent rapport du Commissariat Général au Développement Durable (CGDD, 2009) faisait une hypothèse de développement des protéagineux à un niveau de 7% de la surface arable française, ce qui pour la Bourgogne amplifierait d'un facteur 10 sa ressource propre en protéagineux, et qui s'ajouterait aux autres ressources protéiques produites sur ce territoire par les légumineuses fourragères (luzerne déshydratée, trèfles violet et blanc pâturés) et le colza.

Minimiser les intrants et les impacts environnementaux des systèmes de culture en insérant des légumineuses protéagineuses, tout en assurant les revenus des producteurs et en assurant une production de proximité pour les élevages bourguignons. Parmi les productions végétales, les légumineuses protéagineuses (pois, féverole notamment) sont un élément déterminant pour la durabilité, apportant une diversité dans les assolements et contribuant à la réduction de la fertilisation azotée, grâce à la capacité de ces plantes à établir une symbiose avec des bactéries du sol du genre *Rhizobium* qui permet la fixation d'azote atmosphérique (on estime à plus de 1,8 t de pétrole le coût de l'apport d'une tonne d'engrais azoté rendu racine en agriculture, auquel est associé un fort dégagement de CO_2, gaz à effet de serre). Malgré ces atouts importants, et en dépit des efforts significatifs réalisés depuis 1973 en matière de recherche et de structuration de la filière, les légumineuses à graines protéagineuses n'occupent que 2% de la surface dédiée aux cultures arables en France, à comparer aux 15-25 % dans les assolements des pays hors-Europe (source : GL-Pro 2006).

La faiblesse et l'instabilité des rendements des cultures protéagineuses ont limité leur développement. Des nouveautés génétiques, notamment des variétés d'hiver adaptées à la zone Est, devraient permettre de réduire les risques de stress qui sont amplifiés par les changements climatiques. De plus, les bilans économiques et techniques de ces cultures doivent être davantage considérés au niveau global du système de culture. Dans le contexte des préoccupations environnementales qui se développent au niveau européen, la valorisation économique des atouts environnementaux de ces cultures sera facilitée par une évaluation plus précise de leurs impacts positifs dans les rotations et par des adaptations des conduites de culture et des variétés, de façon à maximiser ces avantages environnementaux. Les systèmes de production diversifiés à faibles intrants, ou biologiques (environ 10 000 ha de grandes cultures en Bourgogne en 2008) qui devraient se développer, seront particulièrement propices à l'amplification des surfaces de protéagineux.

La faisabilité et les leviers du développement des protéagineux doivent être analysés au niveau de la culture, du système de culture et du tissu économique.

1- Analyse de l'adaptation des espèces et variétés aux milieux bourguignons

Le caractère continental du climat bourguignon avec des risques de stress de sécheresse printanière combiné à de grandes surfaces de sols calcaires peu profonds sur les plateaux, ont incité à privilégier l'évaluation de variétés de type hiver de pois et féverole dans ce projet.

Pour expliquer les causes d'instabilité des rendements des protéagineux en Bourgogne, un réseau de variétés témoins-révélateurs permet de caractériser les milieux d'évaluation : 16 sites expérimentaux en 2008-2009 et 2009-2010 pour les pois d'hiver, 6 sites en pois de printemps, 2 sites pour la féverole d'hiver et 1 site en 2009-2010 pour la féverole de printemps. La démarche de caractérisation repose sur l'identification et la quantification des facteurs limitants de la production au moyen d'observations approfondies et de modèles agronomiques : bilan hydrique, estimation de la résistance au gel, estimation des dates de stades, notamment du stade initiation florale (voir Figure 4, Baranger et al, 2010)). Pour cela, des données météorologiques, obtenues dans le cadre de la convention Météo-France/uB, sont analysées. Les stations, aussi proches que possible de chaque site d'évaluation sont utilisées. Les observations et variables obtenues par la modélisation, et les données météorologiques nous permettent d'appliquer une démarche de diagnostic des facteurs limitants sur les témoins révélateurs (Lecomte et al., 2009).

Cette action comporte aussi une analyse du climat aboutissant à une cartographie des risques de facteurs limitants dans différentes sous-régions de la Bourgogne. A terme, cette cartographie, combinée à l'analyse des aptitudes variétales nous aidera à positionner des variétés de pois et féveroles adaptées aux conditions bourguignonnes.

Pour identifier des variétés mieux adaptées et plus tolérantes aux contraintes des milieux, une évaluation des performances variétales dans le réseau expérimental (essais comportant une liste commune de variétés incluant les témoins révélateurs, permettant de caractériser ces sites) au moyen d'une analyse de l'interaction génotype x milieu, permet d'estimer les tolérances variétales aux facteurs limitants (Lecomte et al., 2009). Sur le pois, une approche par modélisation est également développée, permettant d'estimer le potentiel de production des variétés dans différentes petites sous-régions de Bourgogne. Nous utilisons pour cela le modèle de culture Afisol (Vocanson, 2006).

1.1- Modélisation de l'initiation florale et de la résistance au gel des cultures de pois d'hiver

Deux modèles sont apparus nécessaires à la description et à la quantification de facteurs limitants majeurs du pois.

Recherche d'un modèle d'estimation de la date d'initiation florale (IF).

Pour estimer la date d'initiation florale, nous avons comparé une estimation basée sur les sommes de températures moyennes journalières en base 0 entre l'initiation florale et le début floraison à un modèle basé sur l'estimation des rythmes d'émission des feuilles et des ébauches d'organes sur l'apex de la tige principale et de la deuxième ramification, en posant l'hypothèse que le premier nœud fleuri correspond au premier nœud initié (Figure 1). Un suivi du rythme d'émission des feuilles et des ébauches a donc été réalisé, la date d'initiation florale (observation sous loupe binoculaire) et la date de début floraison ont été relevées dans 2 à 5 situations expérimentales (Dijon et Mons en 2007 et 2008) et testées par permutation, en utilisant un lieu supplémentaire (Rennes 2007 et 2008). Ces mesures ont été réalisées sur des variétés de pois d'hiver de type classique (Isard, Cherokee, Cartouche) ou adaptées à un semis précoce (lignée 886/01 dont l'initiation florale est en partie déterminée par la photopériode), et des pois de printemps (Athos, Hardy, Lumina).

En pois de printemps, la meilleure estimation est obtenue par un modèle unique (toutes variétés confondues) avec paramètres, la date d'IF étant estimée à 23 C.j (degrés.jours) près :

stmpIF[2] = (stmpDF[3]*0,01430 – 6,33539) / 0,01920 +36,0 (E.T. = 23,2)

La précision est améliorée avec des modèles établis variété par variété (écart-type de 1,9 à 6,9 C.j).

En pois d'hiver, quand on s'intéresse à toutes les variétés, le modèle le plus précis est également un modèle avec paramètres :

stmpIF = (stmpDF*0,01341 - 6,31068) / 0,01788 + 105,8 (E.T. = 79,9).

Des modèles par variété donnent également des précisions supérieures (écart-type de 58,9 à 69,9 C.j). Pour les pois d'hiver réactifs à la photopériode, la meilleure estimation de la date d'initiation florale est obtenue par la somme de tmp IF-DF (580 C.j +/- 90 C.j).

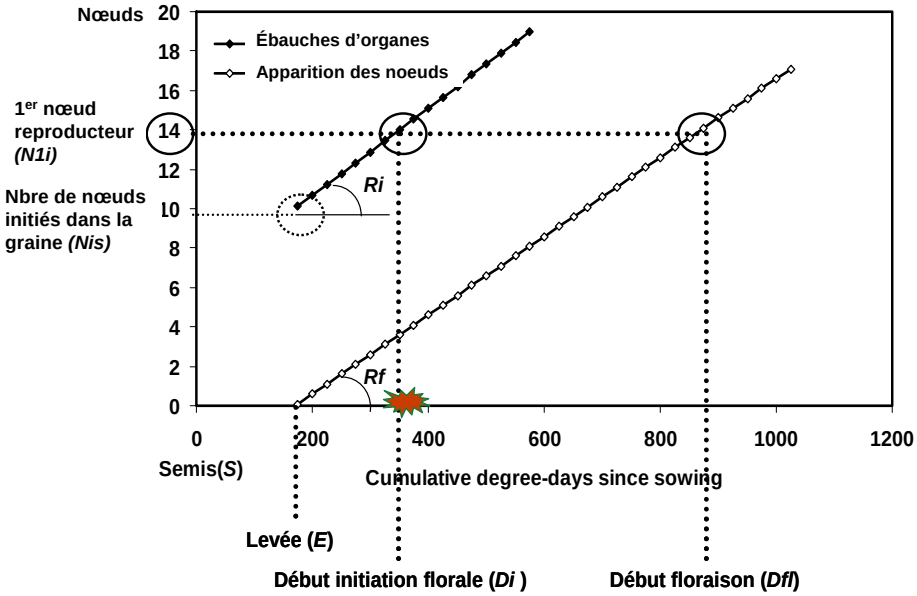


Figure 1 : Prise en compte du rythme d'émission des ébauches d'organes sur l'apex, et du rythme d'émission des feuilles d'une plantule de pois pour estimer la date d'initiation florale à partir de la date de début floraison (Munier-Jolain, 2006, com. pers). Pour calculer la date d'initiation florale, on considère que le premier nœud fleuri correspond au premier nœud initié.

Paramétrage d'un modèle d'estimation de la résistance au gel hivernal du pois.

Une gamme de variétés de pois de tous types (printemps, hiver « classiques » et hiver réactifs à la photopériode) a été évaluée pour la résistance au gel dans un site expérimental INRA du Jura, dans le but de paramétrer un modèle d'estimation de la résistance au gel, initialement mis au point chez le blé (Lecomte *et al.*, 2003). L'évaluation a été conduite 4 années, de 2007 à 2010. L'ajustement des paramètres du modèle pour obtenir la meilleure estimation donne notamment les notes et seuils de résistance présentés dans le Tableau 1.

Tableau 1 : Notes et seuils de résistance maximale au gel hivernal des 14 variétés testées. Ces seuils correspondent à l'apparition des dégâts de gel sur les feuilles. Ils ne peuvent s'exprimer qu'après endurcissement maximal des plantes.

Variété	Note de 1 à 9	Seuil de résistance
Térèse	1	-8,0
Caméor	1,5	-9,0
Lucy	2,5	-11,5
Cheyenne	3	-12,5
Enduro	3,5	-13,0
Dove	4	-14,5
Victor	4,5	-15,5
Cartouche	5	-17,0
886-01	5,5	-17,5
Cherokee	6	-18,0
Isard	6,5	-19,5
Blixt 195	7,5	-22,5
China	7,5	-22,5
Champagne	8	-23,0

[2] stmpIF : Somme de températures moyennes journalières en base 0, du semis à l'initiation florale (IF).

3 stmpDF : Somme de températures moyennes journalières en base 0, du semis au stade début floraison (DF).

En absence d'endurcissement, il faut retenir un seuil de résistance très faible de -3°C, quelle que soit la variété. Et dans une première approche, il faut considérer pour les pois que la résistance maximale ne peut être atteinte qu'au terme d'une période d'endurcissement de 6 semaines en moyenne, avec des températures moyennes journalières proches ou inférieures à 0°C. Mais une certaine acclimatation des plantes se produit dès que la température moyenne journalière est inférieure à 15°C.

1.2- Cartographie des risques climatiques sur le pois d'hiver

L'analyse des données climatiques sur une période longue (de 1961 à 2009, ensemble des stations Météo-France en Bourgogne) montre qu'aucune évolution climatique n'est visible jusqu'en 1987. A partir de 1987 en revanche, une hausse significative de la température moyenne annuelle est observée (Cuccia, 2008). Cette hausse est de l'ordre de +1°C en moyenne régionale, entre 1987 et 2009. Ce réchauffement concerne la majorité des stations des 4 départements, qu'elles soient rurales ou urbaines, de plaine, de plateau ou de moyenne montagne. Mais il est à peine marqué en automne. Aucune tendance significative n'a été obtenue en ce qui concerne les précipitations, qui toutefois sembleraient devenir plus fréquentes et abondantes en automne (Cuccia, 2008).

Risque de gel hivernal.

Une étude fréquentielle du risque de gel hivernal a été menée sur la période 1987-2009, en utilisant plusieurs critères déduits du modèle d'estimation de la résistance au gel cité ci-dessus. On constate que les risques de dégâts de gel ne correspondent pas systématiquement avec les lieux où les températures minimales sont enregistrées : le risque est plus important sur le pourtour sud et le nord-ouest de la Bourgogne (Figure 2), alors qu'on rencontre fréquemment des températures très basses dans le centre de la région, ainsi que dans la plaine de Saône. Par ailleurs, deux stations proches géographiquement peuvent enregistrer des risques très différents, attestant d'une forte variabilité spatiale du risque aux échelles fines et d'une forte dépendance vis-à-vis de la géographie locale.

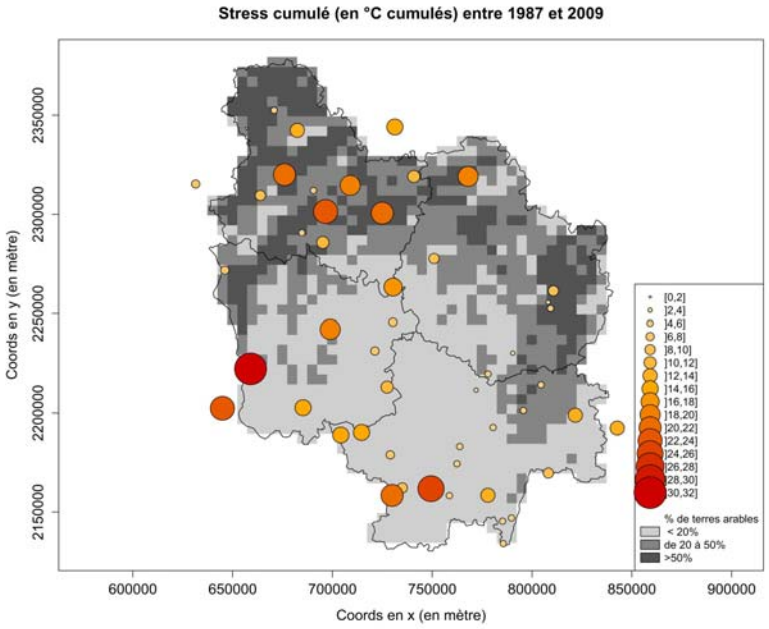


Figure 2 : Estimation des risques de gel hivernal (cumul des températures minimales inférieures au seuil de résistance estimé par le modèle). Etude fréquentielle sur la période 1987-2009 (Villery *et al.*, 2010).

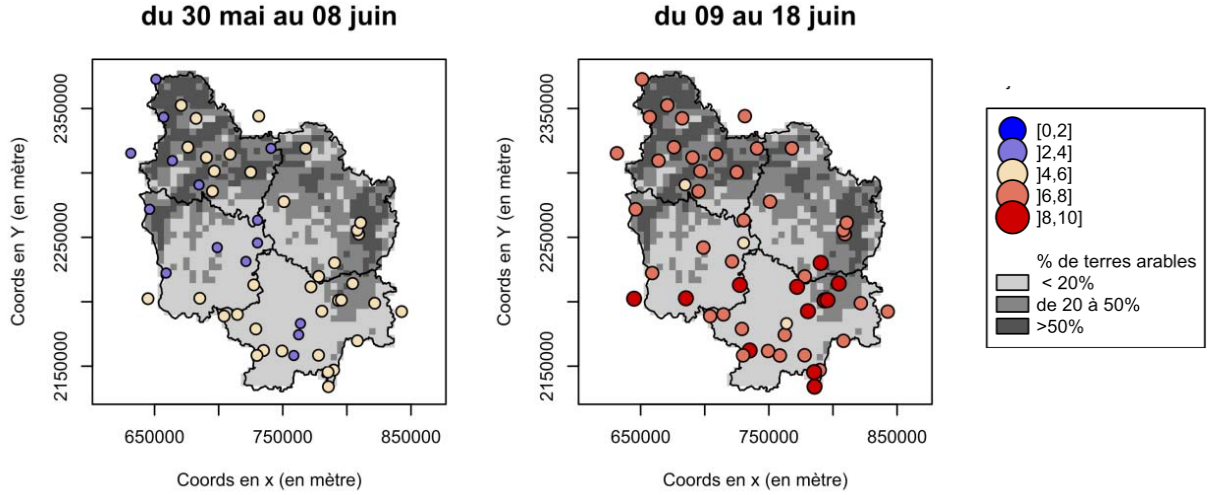
Risques liés aux fortes températures en fin de cycle pour le pois d'hiver.

Les risques liés aux fortes températures ont été cartographiés par décade entre le 10 avril et le 30 juillet, sur la période 1987-2008, en prenant en compte les seuils de 22, 25 ou 28°C (Figure 3).

On constate que le risque d'observer des températures > 25°C est marqué dès la première décade de juin, notamment dans le sud de la Bourgogne (1 jour sur 2). A partir du 9 juin, la majorité des stations présente le risque d'avoir un jour sur deux des températures > 28°C. On constate également que les fortes températures sont très souvent associées à des fortes amplitudes jour / nuit et que, contrairement

au risque de gel hivernal, le risque lié aux fortes températures présente une bonne cohérence spatiale. Ce risque est donc relativement équitablement partagé par l'ensemble du territoire bourguignon et contrôlé par des processus météorologiques d'échelle synoptique.

Figure 3 : Nombre de jours où la température maximale journalière est supérieure à 25°C pour les deux décades 30 mai – 8 juin et 9 juin – 18 juin. Etude fréquentielle sur la période 1987-2009 (Villery *et al.*, 2010).



1.3- Diversité des réponses variétales des protéagineux en Bourgogne en 2009 et 2010

Un réseau d'évaluation de variétés de pois et de féveroles a été mis en place en Bourgogne en 2009 et 2010. En féverole d'hiver, les réponses variétales observées sur deux essais de plaine se sont échelonnées de 49 à 52,2 qx/ha à 14% d'humidité en 2009 pour les variétés Karl, Gladice et Diva) et de 50,7 à 54,5 q/ha en 2010 (Gladice, Organdi, Diva, Karl, Diver Hiverna). Malgré des températures hivernales basses, les dégâts de gel ont été minimes, ce qui montre qu'on dispose aujourd'hui de types hiver adaptés aux conditions de la plaine de Saône. Les résultats obtenus en féverole de printemps ont été exceptionnellement bons en 2010 pour 4 variétés (rendements de 60 à 67,5 qx/ha). L'essai a bénéficié de conditions printanières très favorables (pas de stress hydrique et pas de températures élevées durant la phase reproductive). En pois d'hiver, près de 20 essais (site x conduite de culture x année) ont été conduits sur 2 ans. Nous illustrons ci-dessous les résultats obtenus dans un sous-ensemble de ce réseau dans lequel la liste variétale était homogène.

Dans ce sous-ensemble, les rendements moyens par essai ont été très variables, de 25,1 à 71,7 qx/ha (à 14% d'humidité), et les rendements moyens par variété de 43,7 à 47,6 qx/ha (Tableau 2). L'analyse des résultats par une méthode de régression conjointe, qui relie le rendement obtenu par chaque variété en chaque lieu au rendement moyen obtenu en chaque lieu, permet de tirer des conclusions intéressantes sur le comportement des variétés (Tableau 2 et Figure 4).

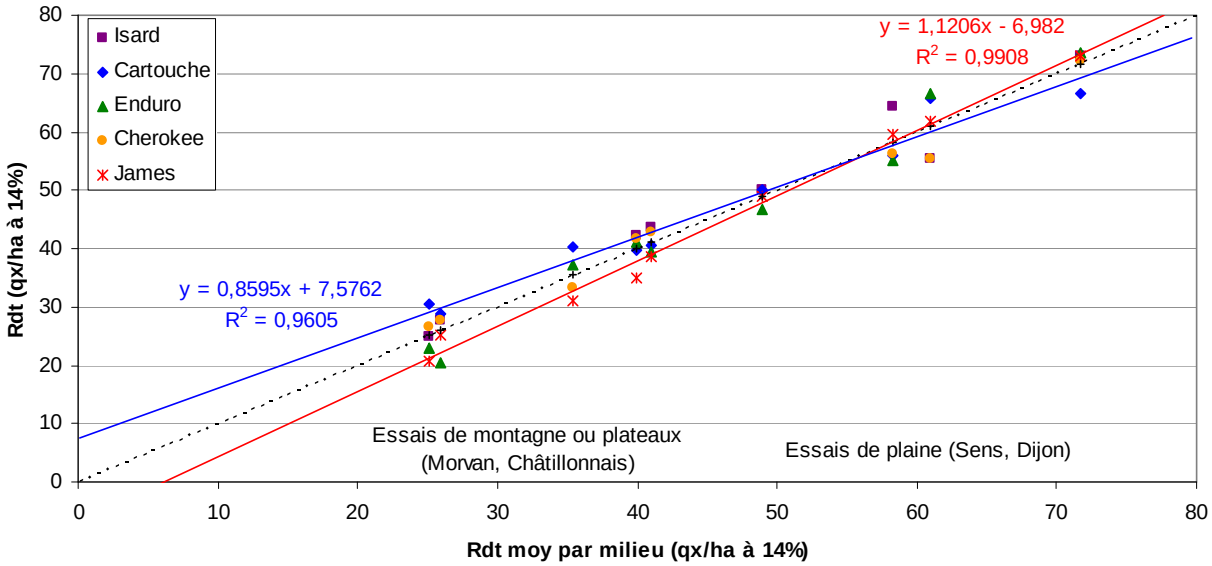
Tableau 2 : Caractéristiques de la régression conjointe : moyenne génotypique, rendement maximal observé, pente et coefficient de détermination obtenus pour les 5 variétés.

	MoyG	MaxG	Pente	R^2
Isard	47,64	73,08	0,983	96,1
Cartouche	46,47	66,58	0,860	96,1
Enduro	44,80	73,45	1,108	97,5
Cherokee	44,47	72,23	0,921	97,7
James	43,72	73,02	1,121	99,1

En termes de potentiel de rendement, approché par le rendement maximal observé, les variétés sont équivalentes sauf Cartouche, qui se situe à environ 6 qx en dessous des autres variétés.

Les variétés Enduro et James obtiennent des rendements élevés dans les milieux à haut potentiel de production. Isard et Cherokee apparaissent comme des variétés stables, qui valorisent assez bien les milieux à faible potentiel, Isard valorise aussi bien les milieux à fort potentiel que les milieux à faible potentiel. Cartouche montre un rendement moyen élevé, mais le plus faible rendement maximal, ce qui montre que, malgré un potentiel de production qui apparaît ici inférieur aux autres variétés, elle est bien adaptée aux milieux à faible potentiel de production.

Figure 4 : Régression conjointe du rendement de 5 variétés de pois d'hiver dans 9 milieux bourguignons en 2009 et 2010.



L'intérêt d'une caractérisation des milieux basée sur la quantification des facteurs limitants sera d'étudier la réaction des variétés non plus par rapport aux rendements moyens obtenus dans les essais, mais par rapport aux facteurs limitants. Nous pourrons ainsi estimer les tolérances variétales à ces facteurs (Lecomte *et al.*, 2009). Nous envisageons de combiner cette approche analytique par une approche de modélisation, pour estimer le potentiel de production du pois dans différentes sous-régions caractéristiques de la Bourgogne, définies à partir de la cartographie des contraintes telle que présentée ci-dessus, et pour définir les types variétaux qui seront les mieux adaptés à ces différentes sous-régions.

2- Evaluation multicritère de systèmes de culture incorporant des protéagineux

Pour répondre à la question de l'intérêt et des limites des protéagineux dans les systèmes de culture bourguignons, une étude a été réalisée sur 2 années (Dumas, 2009 ; Mabire, 2010) dans le cadre du PSDR – PROFILE par la Chambre Régionale d'Agriculture de Bourgogne, en lien avec l'INRA, les Chambres départementales d'Agriculture, les coopératives, les instituts techniques et le RMT (Réseau Mixte Technologique) « Systèmes de culture innovants »[4].

L'objectif de cette étude est de décrire des systèmes de culture actuels avec et sans protéagineux dans les principaux contextes pédo-climatiques de Bourgogne et d'évaluer leurs résultats et performances, au niveau agronomique, technique, économique, environnemental (y compris énergétique) et social, en termes de durabilité.

[4] http://www.systemesdecultureinnovants.org/

La méthodologie d'évaluation multicritère s'est organisée en 5 étapes de travail, qui sont :

- Etape 1 : Recensement des outils et démarches d'évaluation de systèmes de culture, sélection des critères d'évaluation pertinents (Debaeke et al., 2008 ; Sadok et al., 2009).
- Etape 2 : Choix des systèmes de culture à étudier par le comité de pilotage de l'étude, en fonction des principales petites régions agricoles productrices de protéagineux et des principaux systèmes de culture présents.
- Etape 3 : Enquête auprès des agriculteurs mettant en œuvre les systèmes de culture sélectionnés.
- Etape 4 : Reconstitution des systèmes de culture pratiqués à partir des données de l'enquête.
- Etape 5 : Réalisation de l'évaluation multicritère et analyse des systèmes de culture à l'aide des 28 critères sélectionnés à l'étape 1.

La démarche d'évaluation retenue s'appuie sur celle proposée par le RMT « Systèmes de culture innovants » (Debaeke et al., 2008), avec une caractérisation des systèmes de culture à l'aide de 28 critères et une évaluation globale avec MASC® (Sadok et al., 2008 & 2009) réalisée uniquement en 2009. Ainsi, le croisement des zones productrices de protéagineux en Bourgogne et des systèmes de culture présents dans ces contextes a permis de travailler en 2010 chez 6 agriculteurs, correspondant à douze systèmes de culture (Tableau 3).

Tableau 3 : Description succincte des 12 systèmes de culture étudiés.

Systèmes de culture étudiés de	Sites	Type de sol	Rotation du SdC sans protéagineux	Rotation du SdC avec pois d'hiver	Rotation du SdC avec pois de print.	Rotation du SdC avec féverole ou soja	Principales stratégies de gestion
Plateaux de Bourgogne	Trouhaut	Argilo-calcaires superficiels caillouteux	Colza – Blé – Orge H	Pois H – Blé – Orge H – Colza – Blé			Travail du sol superficiel Semis dense pour concurrencer les mauvaises herbes, faux semis en interculture Utilisation de variétés rustiques en blé
	Montigny-sur-Aube				Pois P – Blé – Colza – Blé – Orge H		Travail du sol superficiel, labour le cas échéant si parcelles infestées d'adventices Faux semis en intercultur
	Jully	Limons battants profonds	Colza – Blé – Orge H	Pois H ou Colza – Blé – Orge H	Colza – Blé – Pois P – Blé – Orge H		Alternance de labour et non labour Diversification de la rotation pour alterner cultures d'hiver et de printemps
Puisaye	Tannerre-en-Puisaye	Limons battants	Tournesol – Blé – Colza – Blé			Colza – Blé – Féverole P - Blé	Travail du sol superficiel Diversification de la rotation pour alterner cultures d'hiver et de printemps Protection phytosanitaire avec une pulvérisation bas volume
Centre nivernais	Bazolles	Limons battants	Colza – Blé – Orge H	Pois H – Colza – Blé – Orge H – Colza – Blé			Travail du sol en non labour Protection phytosanitaire en préventif avec une pulvérisation bas volume
Bresse	Demigny	Limons argilo-sableux	Maïs - Blé			Maïs – Soja – Blé – Colza - Blé	Travail du sol superficiel Diversification de la rotation pour alterner cultures d'hiver et de printemps Faux semis en interculture Désherbage mécanique sur maïs (binage) Utilisation de variétés peu sensibles aux maladies

A partir de l'enquête réalisée chez les agriculteurs, nous avons décrit les systèmes de culture pratiqués selon une méthode proposée par Reau et al. (2008 & 2010) avec :

- La reconstitution des successions, à partir des parcelles relevant d'un même système de culture, avec le cas échéant une identification de variantes.
- La reconstitution des itinéraires techniques pratiqués pour chaque culture du système, intégrant les pratiques réalisées généralement et leurs variantes, avec une fréquence définie en fonction des parcelles ou encore par exemple de la pression de l'année pour tel bioagresseur. L'effet précédent est également pris en compte, en particulier pour l'effet précédent protéagineux.

Premiers résultats

Des marges de manœuvre pour la fertilisation azotée.

Pour la plupart des systèmes étudiés, l'introduction d'un protéagineux induit une diminution des apports azotés à l'échelle du système, en raison de l'absence d'apport sur le protéagineux et de la prise en compte de l'effet précédent. Toutefois, des marges de manœuvre existent encore en 2010, comme à Tannerre-en-Puisaye (Figure 5) où l'ajustement de la dose d'azote sur la culture suivant le protéagineux n'est pas suffisant, avec + 63 kg/ha d'azote apportée en excès par rapport à la dose recommandée, sachant que l'objectif de rendement du blé de féverole a été revu à la hausse (80 q/ha contre 75 q/ha pour un blé de colza).

Figure 5 : Dose d'azote apportée à Tannerre-en-Puisaye

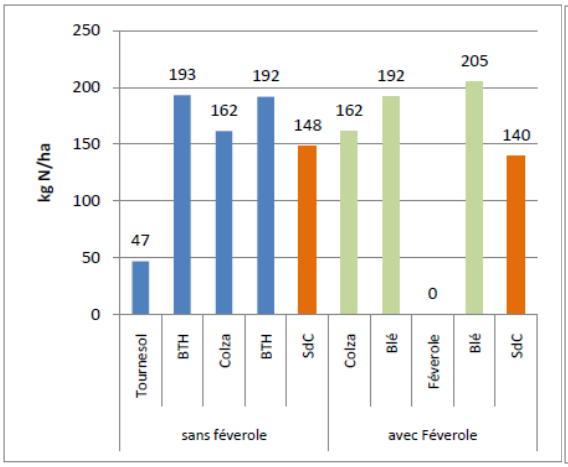
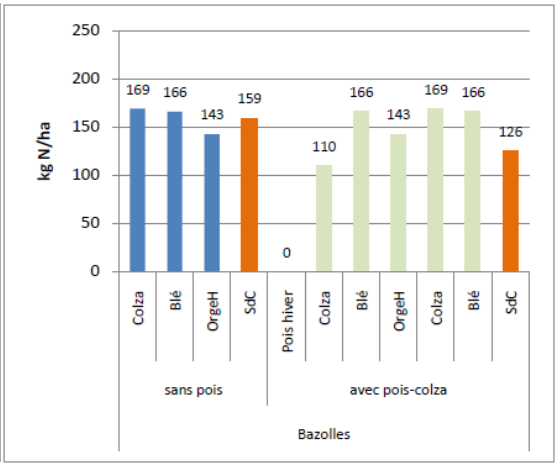


Figure 6 : Dose d'azote apportée à Bazolles.



A Bazolles (Figure 6), le système de culture avec pois-colza a les mêmes objectifs de rendement que le système sans protéagineux ; il présente surtout une fertilisation azotée revue à la baisse de – 33 kg/ha, en raison de l'absence d'apport sur pois et de la réduction d'apport sur colza, pour atteindre une dose totale de 126 kg/ha/an (contre 159 kg/ha/an pour le système sans protéagineux).

Intérêt des protéagineux par rapport à la pression phytosanitaire.

Dans le contexte d'Ecophyto 2018, l'IFT (Indice de Fréquence de Traitement) des systèmes de culture étudiés a été analysé et présente des valeurs légèrement inférieures (de 0,2 à 0,9 points) pour les systèmes avec protéagineux : en effet, le pois a souvent un IFT inférieur au blé (4,4 pour un pois d'hiver, 2,8 pour un pois de printemps, contre 5,4 pour un blé ou une orge d'hiver, par exemple à Jully), et le pois d'hiver n'est pas exposé aux pucerons de printemps. Par rapport à l'impact de ces systèmes sur le milieu, mesuré à l'aide de l'indicateur Iphy de la méthode Indigo de l'INRA de Colmar, Iphy est quasi-équivalent pour tous les systèmes avec et sans pois.

Intérêt énergétique des systèmes avec protéagineux : un atout pour aujourd'hui et pour demain.

L'évaluation de la consommation énergétique à l'échelle des systèmes de culture montre que les systèmes avec protéagineux présentent une réduction de leur consommation énergétique directe et indirecte de - 9% à – 47%, comme à Tannerre-en-Puisaye ou à Montigny-sur-Aube – Truhaut, sachant

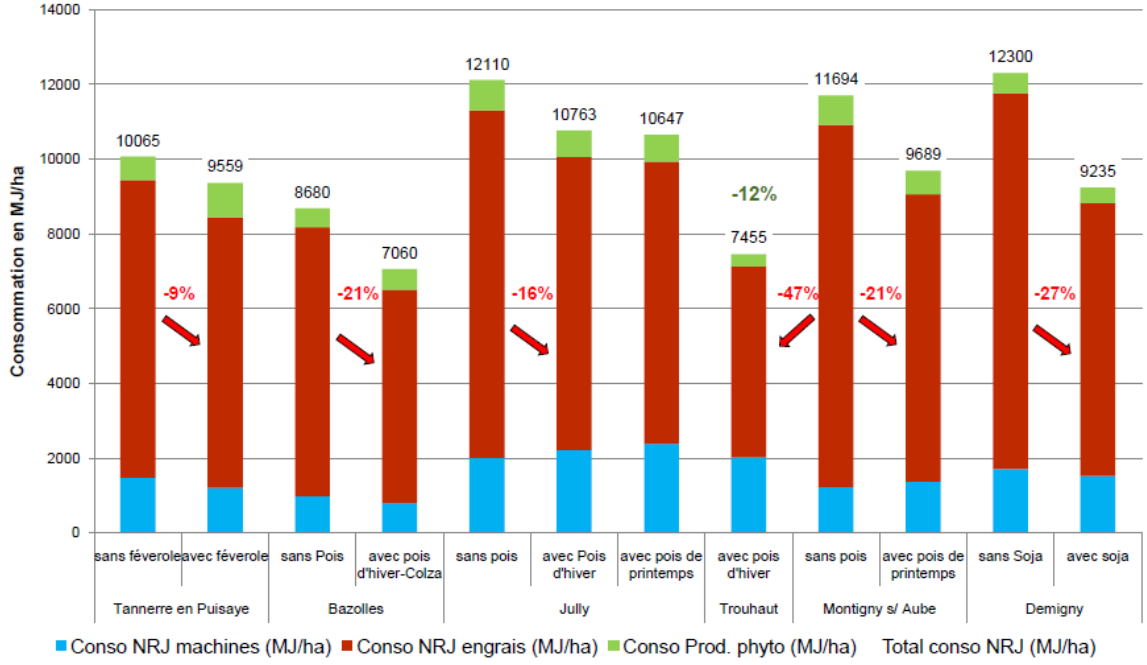
que des marges de manœuvre supplémentaires existent sur l'azote en particulier et dans une moindre mesure sur le travail du sol (Figure 7).

Intérêt économique des systèmes avec protéagineux.

Au niveau économique, les systèmes avec protéagineux présentent des niveaux de marges nettes équivalents ou légèrement supérieurs en hypothèse de prix bas pour les produits phytosanitaires et les engrais. En hypothèse de prix haut pour les engrais et bas pour les produits phytosanitaires, les systèmes avec protéagineux sont aussi intéressants, voire plus, que les systèmes sans (Mabire, 2010).

Ces résultats 2010 confirment les tendances constatées au cours de l'étude de 2009 (Dumas, 2009) et invitent les agriculteurs et les agronomes à revisiter les systèmes de culture avec protéagineux pour optimiser leurs résultats et leurs performances.

Figure 7 : Consommation énergétique des différents systèmes de culture.



Ce travail d'évaluation multi-critères reste à faire sur l'ensemble des 24 systèmes étudiés sur les 2 ans. Il devra être complété par des actions de développement et de communication, (i) mettant en valeur ces résultats à l'échelle globale du système de culture, (ii) permettant de souligner les intérêts des protéagineux dès lors que l'on raisonne en pluriannuel et que l'on prend en compte les impacts environnementaux, et enfin (iii) montrant tout l'intérêt de repenser/reconcevoir les systèmes de culture pour répondre aux problématiques locales ou encore aux impasses techniques notamment en matière de gestion des adventices.

3- Evaluation des émissions de N_2O au cours de la décomposition des résidus de cultures protéagineuses

Le N_2O est un gaz à effet de serre dont la concentration atmosphérique est passée de 270 ppb (période préindustrielle) à une valeur actuelle de 319 ppb. Son pouvoir de réchauffement global (PRG) est environ 300 fois plus élevé que celui de CO_2, sur une base molaire. On estime que les sols agricoles à l'échelle mondiale émettent 2.8 (1.7-4.8) Mt N (N_2O).an^{-1} et sont ainsi la principale source anthropique de ce gaz. Il est établi que les fertilisants azotés (inutiles sur légumineuses) représentent en agriculture la source majeure de NO_X et N_2O.

On considère en général que la décomposition des résidus de légumineuses pourrait s'accompagner d'une augmentation des émissions de N_2O (Kaiser *et al.*, 1998 ; Baggs *et al.*, 2000 ; Shelp *et al.*, 2000, Huang *et al.*, 2004). Ainsi, Rochette *et al.* (2004) ont observé que les émissions de N_2O les plus fortes dans un système de culture avec soja, avaient lieu après la récolte, ce qui souligne l'importance de l'étape de décomposition des résidus dans les flux de N_2O.

Nous nous sommes donc intéressés aux émissions de N_2O au cours de la décomposition des résidus de pois en comparaison avec des résidus de céréales, en partant de l'hypothèse que les émissions de N_2O au cours de la décomposition des résidus de pois étaient supérieures à celles au cours de la décomposition des résidus de céréales.

Au cours de cette étude, nous avons mesuré les émissions de N_2O par des sols cultivés au cours de la période de décomposition des résidus de culture. L'étude a été conduite sur 2 fermes situées en Bourgogne, la ferme du lycée agricole de Tart le Bas (21) et une ferme située à Jully (89). Elle a été réalisée sur la période post-récolte. Sur chacune de ces fermes, nous avons identifié deux parcelles adjacentes, *a priori* homogènes du point de vue pédologique, l'une ayant été cultivée à l'année n, avec une céréale, l'autre avec un pois. Sur chacune de ces parcelles, nous avons réalisé un suivi des émissions de N_2O, au cours des étés 2009 et 2010 pour la situation de Tart le Bas et au cours de l'été 2010 pour la ferme de Jully.

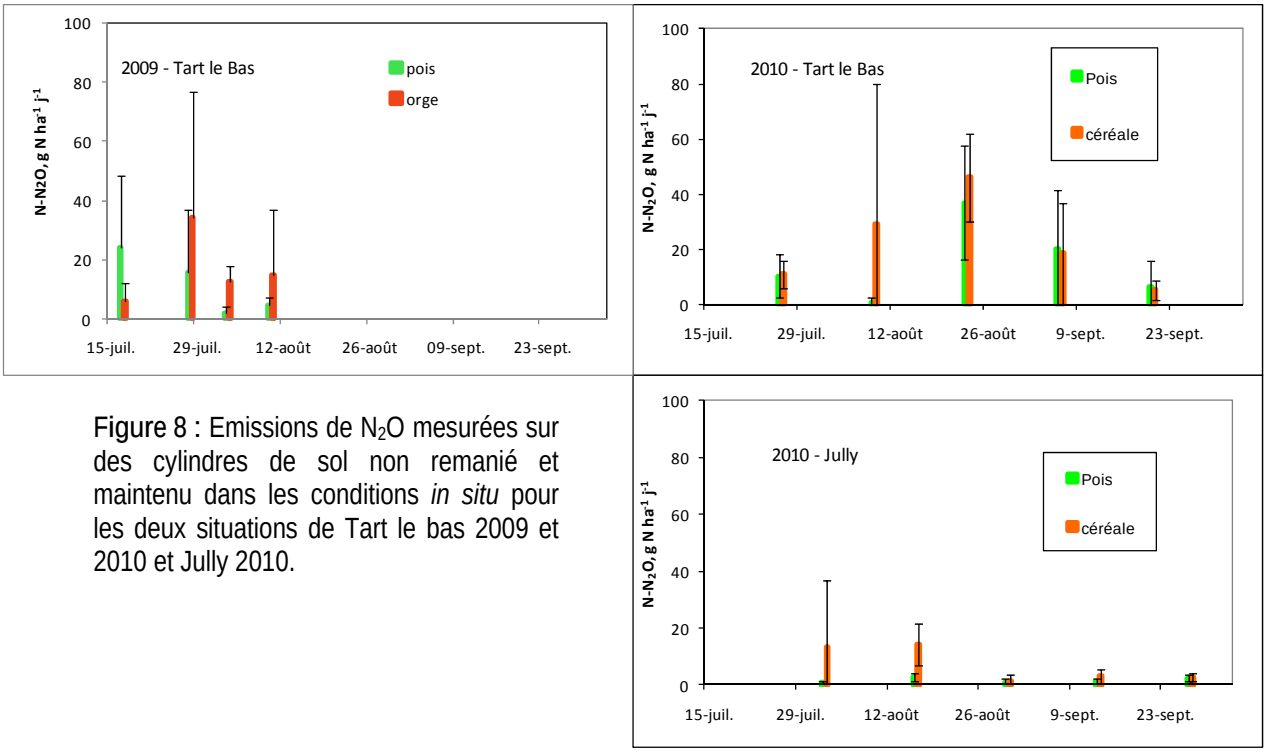


Figure 8 : Emissions de N_2O mesurées sur des cylindres de sol non remanié et maintenu dans les conditions *in situ* pour les deux situations de Tart le bas 2009 et 2010 et Jully 2010.

Pour réaliser les mesures d'émission de N_2O par les sols, des échantillons de sol non remaniés ont été prélevés périodiquement *in situ* dans des cylindres de 10 cm de diamètre et 20 cm de profondeur et ramenés au laboratoire. Pendant la période expérimentale, les agriculteurs sont intervenus dans leurs parcelles, selon leurs pratiques habituelles. A chaque date de mesure, 8 échantillons étaient prélevés sur chacun des traitements (pois, céréale) du site. Les échantillons étaient conservés intacts une nuit à 20°C. Lors des mesures des émissions de N_2O, les échantillons de sol étaient fermés hermétiquement pendant 1h30 avec suivi de l'accumulation de N_2O par chromatographie en phase gazeuse équipée d'une capture d'électrons. Au moment des mesures, nous pouvons considérer que la structure du sol,

son humidité et sa teneur en azote minéral étaient identiques à ceux du terrain. L'humidité, la teneur en azote minéral et la densité apparente ont été déterminées sur chacun de ces cylindres.

Les émissions de N_2O mesurées ont été comprises entre 1 et 60 g N_2O $ha^{-1}.j^{-1}$ (Figure 8). Quels que soient le site ou la date des mesures, la variabilité spatiale des émissions était très importante. Globalement, les émissions de N_2O mesurées sur le site de Tart le Bas ont été du même ordre de grandeur en 2009 et en 2010. Sur le site de Jully, les émissions sont apparues globalement plus faibles que sur le site de Tart le Bas. A l'exception de la 1ère mesure réalisée en 2009 à Tart le Bas, les émissions mesurées après récolte sur parcelle cultivée en pois n'ont jamais été supérieures à celles mesurées sur céréales, ce qui invalide donc notre hypothèse de départ.

4- Analyse économique de la filière protéagineuse en Bourgogne

4.1- Description de la filière protéagineuse bourguignonne

Dans la filière protéagineuse, il existe deux circuits (Figure 9).

Un circuit conventionnel composé de coopératives ou organismes stockeurs (OS) collectant des protéagineux auprès d'agriculteurs. Ces productions sont principalement vendues aux fabricants d'aliments du bétail (FAB) régionaux et dans une moindre mesure aux clients proposés par des courtiers. Il existe également des unions de coopératives proposant des quantités de matières premières plus conséquentes, ce qui crée alors d'autres débouchés à coté de l'utilisation animale locale, à savoir l'export (pour l'alimentation animale ou humaine) ou l'utilisation humaine. Bien sûr, les protéagineux utilisés par les FAB bourguignons peuvent provenir d'autres régions françaises voire européennes de même que les éleveurs peuvent s'approvisionner auprès d'entreprises extérieures à la région. Enfin, les producteurs-éleveurs peuvent fabriquer l'aliment à la ferme (FAF).

Le second circuit, plus simple, concerne la filière biologique. Les producteurs livrent les protéagineux à la coopérative céréalière biologique qui fournit soit l'alimentation humaine biologique, soit un FAB biologique situé hors région.

D'autres acteurs interviennent indirectement dans la filière. Sans exhaustivité, nous retrouvons *i*) les organismes professionnels (UNIP, ARVALIS-Institut du végétal, Fédération Française des Producteurs d'Oléagineux et de Protéagineux, Organisation Nationale Interprofessionnelle des Graines et Fruits Oléagineux), *ii*) les organismes institutionnels (Chambres d'agriculture), *iii*) les organismes de recherche et de développement (INRA, CNRS, Universités et Ecoles, Association Européenne des Protéagineux, UNIP, ARVALIS-Institut du végétal) et *iv*) les organismes publics (Etat et Union Européenne).

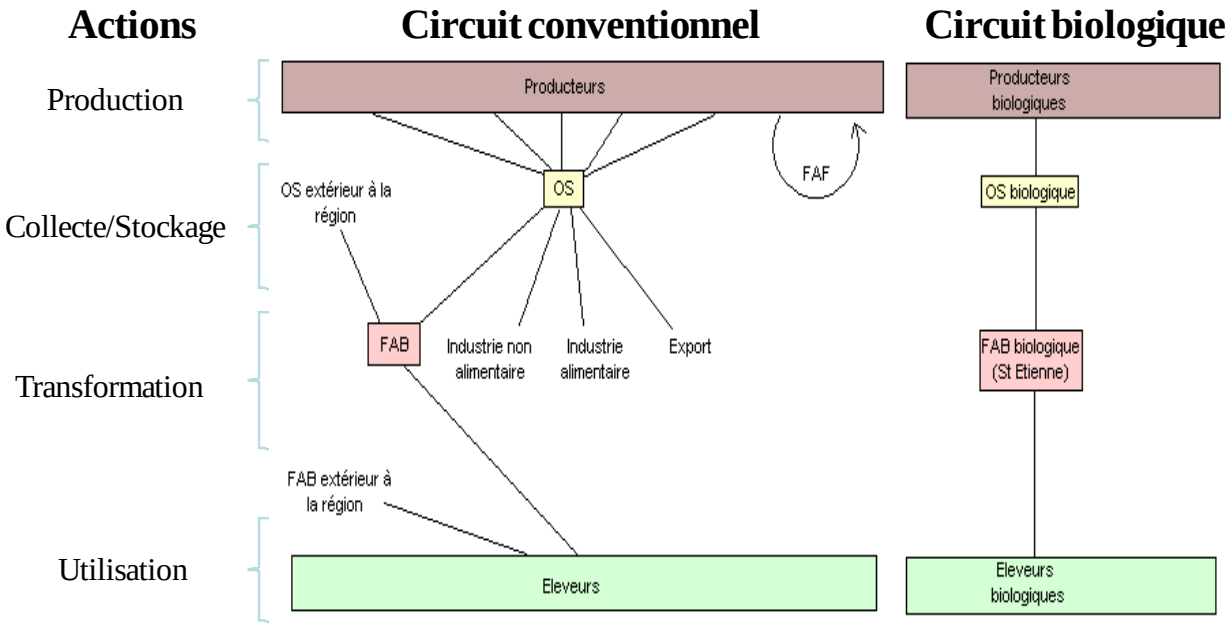
Sur la base d'enquêtes, nous avons conduit une analyse des relations entre acteurs en nous concentrant sur celles du circuit conventionnel. Le choix des espèces à implanter est fait conjointement entre producteurs et collecteurs mais certains de ces derniers parviennent à influencer leurs sociétaires. D'une manière générale, la production de protéagineux n'est pas rentable pour les Organismes Stockeurs (OS). Cette absence de rentabilité s'explique par *i*) la faiblesse des collectes, *ii*) l'éclatement des parcelles induisant des coûts logistiques (transport, stockage,…) importants par rapport au tonnage collecté et *iii*) par une vente réalisée peu de temps après la récolte et pas forcément au meilleur prix afin d'éviter la mobilisation de cellules. Ainsi, ces espèces sont exclues des propositions des collecteurs, sauf dans les cas d'une demande explicite de clients. Au final, pour les OS, il s'agit plus de « rendre service » aux producteurs que de répondre à un réel besoin des partenaires en aval.

Les relations entre OS et FAB sont généralement contractuelles et de courte durée (contrat Spot[5] ou contrat de 3 à 6 mois). Malgré la présence de plusieurs fournisseurs, l'irrégularité de l'approvisionnement en protéagineux persiste, ne facilitant alors pas leur intégration dans les rations.

[5] Un contrat Spot est une transaction à règlement et/ou livraison immédiats.

Cette irrégularité est accentuée par les OS qui recherchent les débouchés les plus lucratifs, ce qui n'est pas le cas de l'alimentation animale. D'un autre côté, la demande de protéagineux émanant des FAB ne se justifie que lorsque la quantité proposée est importante et/ou le prix compétitif. Les contrats ne sont ainsi passés que dans ces conditions souvent difficiles à réunir. Plus spécifiquement en Bourgogne, nous constatons que les OS vendent principalement aux FAB à bas prix. En effet, hormis en Saône et Loire et dans la Plaine dijonnaise, les canaux de fret à destination des zones portuaires permettant l'exportation sont inexistants. De plus, depuis quelques années, certains importateurs refusent d'acheter des protéagineux bourguignons, les volumes proposés étant trop faibles.

Figure 9 : Les filières protéagineuses en conventionnel et en biologique (Coulon, 2009).



En général, les contrats entre FAB et éleveurs sont ponctuels. Ces derniers restent fidèles à un fabricant d'aliment, bien qu'ils ne soient liés par aucun contrat d'exclusivité. Ils peuvent avoir certaines exigences (produits non-OGM, sources diversifiées de MP, …) mais ne revendiquent pas l'intégration de protéagineux dans les rations.

Au final, le pouvoir de négociation revient systématiquement à l'acteur en aval. En effet, aucun acteur n'est motivé par l'achat de protéagineux à l'acteur qui le précède, car ce n'est pas une matière protéique indispensable. Au sein des secteurs de la production, de la collecte ou de la transformation, la concurrence est faible, voire inexistante. La menace vient surtout des produits de substitution, c'est-à-dire des autres MP. Aussi, l'avantage concurrentiel doit être recherché par rapport à ces produits.

4.2- Les forces/faiblesses et menaces/opportunités de la filière protéagineuse

Comme présentées dans le Tableau 4, les forces relèvent principalement de la capacité des protéagineux à répondre aux exigences en termes de qualité et d'indépendance protéique. Les faiblesses sont principalement d'ordre technique et sanitaire pour les producteurs ou encore logistique pour les OS. L'absence de coordination et de relations contractuelles est également à souligner.
Les opportunités et menaces sont présentées dans le Tableau 5. Les opportunités sont liées à l'élévation des exigences en termes de qualité, à la présence de mesures et d'aides en faveur des protéagineux et à l'existence d'un potentiel existant. Pour la Bourgogne, les menaces ont trait à la concurrence des autres producteurs d'autres régions françaises et étrangers.

Tableau 4 : Forces et faiblesses identifiées chez les acteurs bourguignons de la filière.

	Forces	Faiblesses
Producteurs	- Effet positif sur la rotation	- Difficultés de conduite de la culture - Contraintes sanitaires (Aphanomyces…)
OS		- Production faible et parcelles à collecter éloignés d'où coût logistique important
FAB		- Production proposée par les OS trop faible
FAF - Eleveurs		- Idem que pour producteurs
Général	-Atout santé et environnemental - Recherche dynamique - Capacité des protéagineux à répondre aux exigences en termes de qualité (ISO 9000) ou au besoin d'indépendance protéique	- Relations contractuelles inexistantes ou peu nombreuses - Coordination avec d'autres filières faible (peu de filière intégrée)

Tableau 5 : Opportunités et menaces dans la filière.

Opportunités	Menaces
- Elévation des exigences en termes de qualité - Besoin d'indépendance protéique constant - Potentiel d'utilisation existant - Mesure « diversité des assolements » - Volonté d'accompagnement de la filière au niveau national (Aide protéagineuse, MAE rotationnelle)	- Concurrence d'autres MP du fait de la substitution facile - Concurrence étrangère et d'autres régions plus propices à la culture (Champagne-Ardenne, Nord- Pas de Calais, Picardie, Normandie)

4.3- Les leviers au développement des protéagineux

A côté des préconisations nationales de Cavaillès (2009) (élargissement des seuils d'incorporation dans les cahiers des charges des poulets à labels et certifiés, suppression les limites d'incorporation dans les rations porcines et recours à des rations avec plus de protéagineux dans la filière bovine), cette analyse régionale de la filière révèle d'autres leviers comme :

- La proposition de nouvelles variétés avec une meilleure tenue de tige, résistantes à l'hiver et à Aphanomyces.
- Le développement du débouché pour l'alimentation humaine en local et à l'étranger, ou leur utilisation dans les biomatériaux. A propos du débouché « alimentation humaine », l'exemple de l'Egypte sur la féverole (près de 90% des exportations françaises) a permis de révéler les conditions d'un développement réussi, à savoir une qualité de graines irréprochable et un volume satisfaisant. La proximité géographique avec les principaux consommateurs étrangers (Moyen-Orient, Maghreb) est un atout dont il faudrait également tirer parti. Les conséquences seraient probablement une augmentation des marges ; ce débouché étant plus lucratif que l'alimentation animale. En termes de volume, une étude complémentaire serait nécessaire pour déterminer les potentialités à l'export autre que vers le marché égyptien. En effet, si le plafond pour ce dernier a déjà été estimé à 300 000 tonnes de féveroles, rien n'a encore été évalué pour les autres marchés et en particulier ceux du pois protéagineux.
- Le développement de la contractualisation dans la filière afin d'assurer des approvisionnements réguliers et irréprochables en termes de qualité et de garantir les prix. Cela nécessitera de fédérer tous les acteurs et passera par un travail en commun des producteurs de protéagineux et des FAB auprès des utilisateurs finaux.

- La mise en place et la promotion d'une filière de qualité en accentuant les exigences en matière d'étiquetage c'est-à-dire en incitant à plus de transparence concernant les produits agricoles mis sur le marché afin de garantir la sécurité alimentaire.

Conclusions - Perspectives

Selon les différents critères évalués, nos premières analyses montrent un intérêt et un potentiel au développement des protéagineux en Région Bourgogne. Les producteurs motivés par des exigences d'une agriculture utilisant moins d'intrants, et les utilisateurs motivés par les attentes sociétales sur la qualité et la traçabilité, sont en attente de démonstration de la faisabilité technique et économique, notamment basées, pour les producteurs, sur des innovations variétales et des systèmes de culture innovants encore peu explorés en Bourgogne. C'est le défi relevé par le réseau des partenaires à l'échelle du territoire bourguignon, dans ce projet conduit sur 3 années.

En troisième année et phase finale du projet, nos perspectives sont de :

- Synthétiser des références techniques et environnementales au niveau de la culture et du système de culture.
- Proposer des solutions d'optimisations technique et économique.
- Donner aux paramètres mesurés, dont ceux relatifs aux impacts environnementaux, une valeur économique et définir des seuils d'intérêt.
- Cartographier les zones et volumes pour le potentiel de production et proposer les variétés adaptées.
- Définir les volumes et qualités requises pour différentes utilisations (viande blanche, bio, autres…).
- Regrouper les acteurs techniques de la production et de l'utilisation – décideurs –société civile à l'échelle d'une région pour communiquer, construire une prospective et identifier les nouvelles questions de recherche.

Remerciements

Nous remercions l'INRA et le Conseil Régional de la Région Bourgogne pour le financement du projet PSDR-Profile 2009-2011 sur la filière protéagineuse, ainsi que Sandrine Petit, Animatrice de la cellule PSDR Bourgogne, et Serge Latroy de la CRAB pour leur soutien et leur participation aux réflexions du groupe de travail.

Références bibliographiques

Agreste Bourgogne, 2010. Memento de la statistique agricole. MAP Eds Sep 2010, 26 p.

Baggs E.M., Rees R.M., Smith K.A., Vinten A.J.A., 2000. Nitrous oxide emission from soils after incorporating crop residues. Soil use and management 16, 82-87.

Baranger A., Hanocq E., Lecomte C., Moussart A., Pilet-Nayel M.L., Lejeune-Hénaut I., 2010. Quel impact des innovations génétiques pour lever les facteurs limitant la production du pois protéagineux ? Innovations Agronomiques 11, 59-78.

Cavaillès E., 2009. La relance des légumineuses dans le cadre d'un plan protéine : quels bénéfices environnementaux ? Etudes & documents n°15, Service de l'économie, de l'évaluation et de l'intégration du développement durable, MEEDDAT, 44 p.

Commissariat Général au Développement Durable, 2009. La relance des légumineuses dans le cadre d'un plan protéine : quels bénéfices environnementaux ? 15, 44 p.

Coulon C., 2009. Etude de la filière protéagineuse en Bourgogne, analyse des freins au développement et observation de leviers permettant de relancer la filière. Mémoire de fin d'Etudes, AgroSup Dijon, 46 p.

Cuccia C., 2008. Changements climatiques observés en Bourgogne depuis 1961 : Etude des variations de températures et de précipitations. Mémoire de Master « Recherche Géobiosphère », CNRS, Université de Bourgogne, 52 p.

Debaeke Ph., Petit M-S, Bertrand M., Mischler P., Munier-Jolain N., Nolot J-M, Reau R., Verjux N., 2008. Evaluation des systèmes de culture en stations et en exploitations agricoles : où en sont les méthodes ? In: Systèmes de culture innovants et durables : Quelles méthodes pour les mettre au point et les évaluer ? Actes du colloque du 27 mars 2008, Educagri.

Dumas M., 2009. Evaluation multicritère et globale de systèmes de culture avec et sans protéagineux dans les exploitations bourguignonnes. Mémoire Ingénieur Agro campus Ouest 133 p.

GL-PRO (2006). www.grainlegumes.com.

Guéguen J., Duc G., Boutin J.P., Dronne Y., Munier-Jolain N., Sève B., Tivoli B., 2008. La filière protéagineuse. Quels défis ? Editions Quae, 2008, 147 p.

Huang Y., Zou, J., Zheng X., Wang Y., Xu X., 2004. Nitrous oxide emissions as influenced by amendment of plant residues with different C:N ratios. Soil Biology and Biochemistry 36, 973-981.

Kaiser E.A., Kohres K., Kücke M., Schnug E., Meinemeyer O., Munch J.C., 1998. Nitrous oxide release from arable soil: importance of N-fertilisation, crops and temporal variation. Soil Biol. Biochem. 30, 1553-1563.

Lecomte C., Giraud A., Aubert V., 2003. Testing a predicting model for frost resistance of winter wheat in natural conditions. Agronomie 23, 51-66.

Lecomte C., Prost L., Gauffreteau A., 2009. Présentation d'une méthode pour améliorer la connaissance des aptitudes variétales, intérêt des modèles, besoins de développements nouveaux. Innovations Agronomiques 7, 105-119.

Mabire J.B., 2010. Evaluation multicritere de systèmes de culture bourguignons avec et sans protéagineux. Mémoire Ingénieur Agrosup Dijon 60 p.

Reau R., Landé N., 2006. Evaluation a priori de systèmes de cultures innovants conçus par des experts et adaptés à des contextes régionaux. Rapport final de l'action 1. Projet ADAR « systèmes de culture innovants », CETIOM, Paris.

Reau R., Doré T., (Eds.) 2008. Systèmes de culture innovants et durables : quelles méthodes pour les mettre au point et les évaluer ? Educagri, Dijon.

Reau R., Mischler P., Petit MS., 2010. Evaluation au champ des performances de systèmes innovants en cultures arables et apprentissage de la protection intégrée en fermes pilotes. Innovations Agronomiques 8, 83-103.

Rochette P., Angers D., Bélanger G., Chantigny M., Prévost D., Lévesque G., 2004. Emissions of N2O from alfafa and soybean crops in Earsten Canada. Soil Sci. Soc. Am. J. 68, 493-506.

Sadok W., Bockstaller C., Guichard L., Reau R., Angevin F., Bergez J.-E., Colomb B., Doré T., 2008. Ex ante assessment of the sustainability of alternative cropping systems: implications for using multi-criteria decision-aid methods. A review. Agron. Sustain. Dev. 28, 163-174.

Sadok W., Bergez J.-E., Bockstaller C., Colomb B., Guichard L., Reau R., Messéan A., Doré T., Angevin F., 2009. MASC, a qualitative multi-attribute decision model for ex ante assessment of the sustainability of cropping systems. Agron. Sustain. Dev. 29, 447-461.

Shelp M.L., Beauchamp E.G., Thurell G.W., 2000. Nitrous oxide emission from soils amended with glucose, alfalfa, or corn residues. Communication Soil Science Plant Annals 31, 877-892.

SNIA et Coop de France, 2010. Statistiques de l'alimentation animale. www.nutritionanimlale.org.

Vocanson A., 2006. Evaluation ex ante d'innovations variétales en pois d'hiver (*Pisum sativum* L.) : approche par modélisation au niveau de la parcelle et de l'exploitation agricole. Thèse de docteur ingénieur de l'INAPG, 294 p.