

EcoVAB - Evaluer le comportement des variétés en AB : construire aujourd'hui les outils pour demain

Fontaine L.¹, Le Gall C.², Gauffreteau A.³, Moutier N.⁴, du Chevron P.⁵, Bernicot M.H.⁶

¹ ITAB, 149 rue de Bercy, F-75595 Paris Cedex 12

² Terres Inovia, Avenue Lucien Brétignières, F-78850 Thiverval-Grignon

³ INRAE UMR 0211 Agronomie, Avenue Lucien Brétignières, F-78850 Thiverval-Grignon

⁴ INRAE - Agrocampus Ouest - Université de Rennes, UMR 1349 IGEPP, F-35653 Le Rheu Cedex

⁵ ARVALIS – Institut du végétal, Route de Châteaufort, F-91190 Villiers-le-Bâcle

⁶ GEVES, Domaine de l'Anjouère - La Pouëze, F-49370 Erdre-en-Anjou

Correspondance : marie-helene.bernicot@geves.fr

Résumé

Parmi les différents leviers agronomiques mobilisés en agriculture biologique (AB), l'entrée variétale est un facteur important dans la conception des systèmes de grandes cultures. Le projet ECoVAB s'est interrogé sur comment décrire et évaluer une variété adaptée à une utilisation en AB. Les résultats confirment que l'évaluation de caractères spécifiques est attendue pour les variétés destinées à l'AB. Il s'agit en particulier de la compétitivité vis-à-vis des adventices (ou d'une plante compagne en cas d'association de cultures), pour toutes les espèces, d'intérêt au-delà de l'AB dans le cadre de la transition agroécologique. Les travaux ont montré par ailleurs qu'il existe un continuum de l'évaluation variétale entre agricultures biologiques (AB) et agricultures conventionnelles (AC), variable selon les espèces, les critères considérés, les génotypes testés et les conditions d'essais (cultures associées, niveau d'utilisation d'intrants, pédoclimats variés). Aussi, il n'est pas nécessaire de doubler les réseaux en AB et en AC, mais plutôt les faire fonctionner ensemble, avec des modalités en AB et en AC, chacun pouvant mobiliser des résultats issus de l'autre. Au-delà des essais à développer, il apparaît que la coordination entre acteurs des filières des semences et du développement est essentielle pour optimiser l'orientation de l'évaluation variétale, la diffusion des références et la production de semences de qualité.

Mots-clés : Evaluation variétale, Agriculture biologique, Agroécologie, Soja, Blé, Association

Abstract: Assessing varieties for organic farming: designing tools for tomorrow

Among the different agronomic levers mobilised in organic farming (OF), the choice of variety is an important factor in the design of arable farming systems. The ECoVAB project examined how to describe and evaluate a variety suitable for use in organic farming. The results confirm that the evaluation of specific traits is expected. This concerns especially the ability to compete with weeds (or companion crop for intercropping), useful for all species, of interest beyond OF for agro-ecological transition. The work has also shown that there is a continuum of varietal assessment between organic and conventional farming (CF), which varies according to the species, the criteria considered, the genotypes assessed and the test conditions (intercropping, level of use of inputs, varied pedoclimates). It is therefore not necessary to duplicate the networks in OF and CF, but rather to make them work together, with modalities in both management. Beyond the trials to be fostered, it appears that coordination between actors in the seed and development sectors is essential to optimise the orientation of varietal assessment, the dissemination of references and the production of high-quality seeds.

Keywords: Varietal assessment, Organic farming, Agroecology, Soya, Wheat, Intercropping

Introduction

Le contexte actuel de transition agroécologique encourage la conception, la promotion et le développement de systèmes de culture innovants et performants, limitant les impacts sur l'environnement. L'agriculture biologique (AB), modèle agroécologique en plein essor, s'inscrit dans cette dynamique. Parmi les différents leviers agronomiques mobilisés en AB, l'entrée variétale est un facteur important dans la conception des systèmes de grande culture (GC). Des critères sont plus recherchés en AB, où les contraintes du milieu sont plus fortes et variables, que dans d'autres systèmes : la compétition vis-à-vis des adventices, la valorisation de l'azote dans des conditions limitantes voire très limitantes, la résistance/tolérance aux maladies, l'aptitude à la culture en association (Lammerts van Bueren *et al*, 2011). Aussi, le développement de démarches d'évaluation variétale adaptée à l'AB est un facteur décisif pour faire progresser l'offre et disposer de variétés performantes et stables dans ce mode de production. Les enjeux sont à la fois de mieux connaître le comportement des variétés pour faciliter leur choix selon les conditions de culture, mais aussi d'appuyer la sélection (pour l'AB et en AB), en favorisant l'inscription de variétés adaptées au catalogue et en informant les sélectionneurs sur les critères recherchés en AB. Plus largement, il s'agit de favoriser la sélection et l'inscription de variétés adaptées à tout modèle d'agriculture économe en intrants.

Le Projet ECoVAB (2015-2018) était centré sur la question : comment décrire et évaluer une variété adaptée à une utilisation en AB ? L'ambition du programme était d'identifier les caractéristiques variétales (ou traits) à examiner, en s'interrogeant si certaines sont spécifiques ou non, avec quelles méthodes et selon quelles conditions d'étude, notamment le mode de conduite. Il s'agissait, entre autres, de déterminer si la description de caractéristiques variétales évaluées en agriculture conventionnelle (AC) peut être valorisée pour l'AB et, en corollaire, si des traits sont à évaluer spécifiquement en AB.

ECoVAB se composait de trois étapes. Une première étape a consisté à mieux connaître les attentes des utilisateurs, et les confronter à l'offre variétale de façon à en apprécier l'adéquation face aux besoins. Une dizaine d'espèces, en céréales et oléo-protéagineux, ont été enquêtées et analysées.

La seconde étape visait à produire des références techniques pour définir dans quelles conditions et sur quels critères évaluer les variétés destinées à l'AB. Elle était structurée autour de trois actions :

- i. La comparaison de résultats acquis en AB et en AC, pour évaluer leur continuité ou non, leurs possibles complémentarités et/ou spécificités. Ces travaux ont porté sur le cas du blé tendre et du soja.
- ii. L'analyse du comportement variétal face à des facteurs limitants couramment rencontrés en conditions AB. Deux cas ont été étudiés : le comportement de variétés de blé en situation de stress azoté, courant en l'absence de fertilisation minérale ; et la tolérance de variétés de soja au stress hydrique, la sole de soja cultivé en sec en AB étant conséquente.
- iii. L'aptitude à la culture en association, en s'interrogeant si le comportement d'une variété cultivée en pur est prédictif de son comportement en culture associée. Les modèles étudiés étaient la culture de blé tendre associé à du pois protéagineux ou à de la féverole et la culture de pois protéagineux associé à du blé tendre.

La dernière étape consistait à valoriser les acquis du projet et proposer des dispositifs d'évaluation des variétés destinées à l'AB.

1. Connaître les attentes des utilisateurs et analyser l'offre variétale en Grandes Cultures en AB

1.1 Les enquêtes menées

Des enquêtes, diffusées en ligne, ont été menées en début de programme, en 2015, afin de mieux connaître les attentes des utilisateurs. Une dizaine d'espèces ont été renseignées, en céréales (blé tendre, triticale, blé dur, orge, maïs), protéagineux (pois, féverole), associations céréales-légumineuses et oléagineux (soja, tournesol, colza, lin). Les questions portaient sur : (i) les variétés utilisées ; (ii) les critères retenus (prioritaires, secondaires, neutres) pour orienter le choix variétal ; (iii) le niveau de satisfaction sur l'offre variétale disponible et en corollaire les attentes en termes de critères à améliorer ; (iv) les sources d'information utilisées pour connaître les variétés et orienter leur choix. En parallèle, pour préciser l'appréciation de l'offre variétale, un état des lieux des surfaces de multiplication en AB par variété et de leur évolution a été conduit (source GNIS), complété, quand disponibles, par les surfaces cultivées en AB par variété (source FanceAgriMer).

Les cibles des enquêtes étaient d'une part les agriculteurs, d'autre part les acteurs de la collecte en AB. Pour les agriculteurs, l'enquête a été diffusée à l'échelle nationale via les conseillers et techniciens GC AB de GAB et de Chambres d'Agriculture. 122 répondants ont été comptabilisés, avec une forte représentation dans l'Ouest et le Centre. Les résultats ne sont absolument pas représentatifs de l'ensemble des producteurs en AB français, mais ils sont illustratifs de certaines attentes et riches d'enseignements. Concernant la collecte, l'enquête a été diffusée aux adhérents bio de Coop de France et à quelques négoce. 18 organismes stockeurs et 1 négoce ont répondu, ce qui peut paraître faible, mais le fait d'avoir les collecteurs majeurs parmi les répondants (dont la moitié collectent uniquement des productions biologiques) permet d'atteindre des taux de couverture de la collecte significatifs : 97% en soja, 70% en tournesol, 64% en féverole, 55% en maïs, 41% en blé.

1.2 Principaux résultats

Les résultats complets des enquêtes et états des lieux ont été publiés dans trois brochures (Fernier *et al*, 2015). Concernant les réponses sur la satisfaction des utilisateurs et leurs attentes vis-à-vis de l'offre actuelle, le Tableau 1 en donne les grandes lignes par espèce.

On constate des taux de réponse variables selon les espèces. Sans surprise, le blé tendre, majoritairement destiné à la meunerie, est le mieux renseigné. Le colza, à l'inverse, est très peu renseigné, sa culture étant réduite en AB. De même, peu de réponses concerne le pois en pur, sa culture en association étant beaucoup plus répandue. Le nombre de réponses pour les associations céréales-protéagineux est d'ailleurs élevé.

Le niveau de satisfaction sur l'offre variétale varie selon les espèces. Une seule espèce, le triticale, obtient de bons niveaux. A l'opposé, le blé dur ou encore le colza montrent de forts taux d'insatisfaction, bien qu'à relativiser car sur un nombre réduit de réponses. Pour la majorité des espèces les avis sont partagés, en différant parfois entre collecteurs et agriculteurs. Ainsi, pour la culture majeure qu'est le blé tendre, les acteurs de la collecte considèrent plus positivement l'offre variétale que les agriculteurs ayant répondu (quasiment les deux tiers des collecteurs sont satisfaits contre environ la moitié des agriculteurs) ; chez ces derniers une partie sont en vente directe ou filière courte, ce qui peut expliquer des décalages. A noter pour le maïs et le tournesol des avis très partagés chez les agriculteurs ayant répondu, et une part d'insatisfaction beaucoup plus nette chez les collecteurs. Le manque de disponibilité en semences certifiées AB pour ces espèces, comme le manque de variétés précoces en soja au moment des enquêtes, peuvent être des facteurs explicatifs de l'insatisfaction des acteurs de la collecte, souvent également diffuseurs des variétés.

Tableau 1 : Résultats synthétiques des enquêtes menées en 2015 auprès de 122 agriculteurs et 19 acteurs de la collecte quant à leur satisfaction et attentes vis-à-vis de l'offre variétale en espèces de grande culture en AB.

	Nombre de réponses		Satisfaction par rapport à l'offre*				Attentes par rapport à l'offre actuelle
	Agriculteurs	Collecteurs (% couverture collecte)	Réponses agriculteurs		Réponses collecteurs		
			+ et ++	- et --	+ et ++	- et --	
Blé	99	19 (41%)					Qualité – Productivité – Rouilles, carie –
blé meunier	72	14	46%	54%	64%	36%	Produire avec peu d'azote – Couverture sortie hiver - Enracinement
blé fourrager	18	7	50%	50%			Couverture du sol - Rouille jaune
Triticale	45	8 (35%)	77%	23%	88%	12%	Productivité - Compétitivité / adventices – Rouille jaune - Germination sur pied
Blé dur	3	-	0%	100%	-	-	Mitadinage – Compétitivité / adventices
Orge	18	4 (14%)	51%	49%	25%	75%	Productivité – Maladies - Qualité brasserie - Produire avec peu d'azote - Compétitivité
Maïs							Compétitivité / adventices (vigueur au départ, couverture > 4 feuilles) – Productivité.
maïs grain	29	12 (55%)	41%	59%	33%	67%	Manque d'offre en variétés récentes et indice précocité adapté. Disponibilité semences
maïs fourrage	9		55%	45%			
Association	44	4					Comportement en association
Variétés céréale	30	4	80%	20%	75%	25%	
Variétés pois	30	4	36%	64%	50%	50%	Maladies – Compétitivité / adventices - Casse au battage – Teneurs en FAN
Pois	4	2 (17%)	33%	67%	ns	ns	Productivité en FAB, qualité en casserie – Compétitivité / adventices
Féverole	39	5 (64%)	34%	66%	50%	50%	Productivité – Maladies – Teneurs en FAN
Soja	21	8 (97%)	52%	48%	50%	50%	Qualité – Productivité - Hauteur 1 ^e gousse – Compétitivité / adventices. Manque d'offre en variétés précoces.
Tournesol	16	8 (70%)	47%	53%	25%	75%	Productivité – Maladies - Vigueur au départ. Manque de choix : récentes, oléiques précoces Disponibilités et qualité semences
colza	6	2 (31%)	14%	86%	ns	ns	Maladies – Insectes - Vigueur au départ - Orobanche
lin oléagineux	7	-	37%	63%	-	-	Productivité – Compétitivité / adventices – Qualité en alimentation humaine

* Les réponses Satisfaits / Plutôt satisfaits et Plutôt insatisfaits / Insatisfaits ont été regroupées en deux catégories pour le calcul des %, en comptant des valeurs doubles pour les réponses Satisfaits et Insatisfaits. FAN : facteurs antinutritionnels. FAB : fabricants aliments du bétail.

De manière générale, qualité, productivité, résistances aux maladies, voire aux insectes, sont des caractéristiques recherchées, ce qui ne diffère pas d'attentes exprimées en conventionnel. En revanche, la recherche de variétés concurrentes vis-à-vis des adventices apparaît comme un critère spécifique car attendu en AB. Même si la compétitivité ressort rarement en premier critère recherché, elle est quasiment

systématiquement citée, quelle que soit les espèces, souvent en second rang. Plus concrètement elle se traduit en critères tels que la couverture du sol à différents stades du cycle des cultures (dont les stades précoces), la vigueur au départ, la fermeture des rangs pour les cultures sarclées. La tolérance au désherbage mécanique est parfois citée, bien que rarement. Ces critères ne font pas partie actuellement de l'évaluation variétale classiquement menée en AC. Cette étude montre qu'il est nécessaire de les intégrer dans des démarches d'évaluation variétale ciblant l'AB. On note aussi des attentes d'amélioration des variétés de céréales quant à leur capacité à prélever l'azote du sol, les situations de stress azoté étant courantes en AB. Dans le même ordre d'idée, le critère d'enracinement profond est parfois cité.

De façon générale, on retient aussi des attentes sur une meilleure organisation de la filière des semences, de façon à améliorer la qualité des semences (état sanitaire, capacité de germination) ou encore à pallier les difficultés de production en conditions AB pour certaines espèces (protéagineux par exemple).

Les enquêtes ont aussi permis de mieux comprendre les sources d'information utilisées par les agriculteurs et les acteurs de la collecte pour mieux connaître les variétés à utiliser. Pour la grande majorité des espèces, deux sources majeures sont citées, que ce soit en collecte ou par les producteurs : les essais variétaux menés en AB par des acteurs du développement (l'intérêt de l'indépendance est parfois souligné) d'une part, les échanges avec d'autres acteurs, agriculteurs, techniciens, d'autre part. Par exemple, pour les références en matière de variétés de céréales, les agriculteurs mobilisent en premier lieu les résultats d'essais en AB (57% des répondants), puis les échanges avec d'autres agriculteurs (51%) et, en de moindres proportions, avec des conseillers (31%). Ils se réfèrent peu aux fiches obtenteurs ou à la presse (19 et 15%), et ne consultent quasiment pas le memento semences (sources GEVES-Arvalis). Les mêmes tendances sont observées en protéagineux et oléagineux. Si les acteurs de la collecte consultent plus couramment le memento et en partie les fiches obtenteurs, ils réclament un accès facilité aux informations variétales et qu'elles soient fiables, cohérentes et indépendantes. Ils soulignent aussi l'importance de disposer de références acquises en AB, lesquelles manquent pour certaines espèces en 2015 (NDLR : la situation a commencé à évoluer depuis) : orges, maïs, féverole, soja, tournesol... L'absence de références sur des variétés dites de pays ou des populations est aussi regrettée par quelques agriculteurs mais aussi collecteurs.

2. Déterminer les complémentarités des évaluations variétales en AB et en AC

2.1 Les données historiques mobilisées

Pour réaliser ce travail d'analyse, ECoVAB s'est appuyé sur des données existantes en blé tendre et soja, obtenues en conditions AB et AC. Ces deux espèces ont été choisies car étant celles avec le plus de données disponibles.

2.1.1 Pour le blé tendre

Les données analysées sont issues des réseaux d'essais suivants :

- Réseau de post-inscription en AB (ITAB, Arvalis et partenaires ; les données étaient gérées par l'ITAB) : il regroupe entre 30 à 40 essais par an, de 2003 à 2015. Le jeu de données comprend 351 variétés / 13 années / 114 communes d'essais, identifiées au travers de leur commune.
- Réseau de post-inscription en AC (Arvalis et partenaires) : il regroupe 60 à 70 essais par an, de 2003 à 2016, sur des séries variétales souvent de 40 variétés. Le jeu de données comprend 844 variétés / 14 années / 255 communes.
- En complément du précédent, les données du réseau de post-inscription des essais de variétés de type Blé Améliorant ou de Force (BAF) en AC (Arvalis et partenaires) ont été intégrés pour estimer la prédictibilité des performances en AB des évaluations de critères acquises en AC (quantification de l'interaction Variété x Conduite). Ces profils BAF se rapprochent de ceux de variétés recherchées et évaluées en AB.

Ces réseaux ont pour objectif de comparer les nouvelles variétés entre elles et à des variétés témoins. Les variétés passent transitoirement dans le réseau et ne sont évaluées, mis à part les variétés de référence, qu'un nombre réduit d'années, et seulement dans une partie des essais chaque année. Ces jeux de données sont donc très incomplets et déséquilibrés. De plus, seul un nombre réduit de variétés évaluées est commun aux deux réseaux AB et AC, beaucoup de variétés européennes non françaises étant testées en AB (profil plus adapté a priori), non connues et donc non évaluées en AC en France.

2.1.2 Pour le soja

Le réseau CTPS précocité I et II comprend depuis de nombreuses années deux sites d'essais en parcelles AB, l'un dans le Sud-Ouest (Gers), l'autre dans la vallée du Rhône (Drôme). Il s'agit d'un réseau commun inscription et post-inscription, avec donc de nombreuses variétés présentes plus de 2 années.

Le jeu de données couvre les récoltes 2002 à 2018. Il est déséquilibré : 13 sites en AB (1 à 2 par an) et 58 en AC. 35 variétés communes sont étudiées au total ; quatre variétés sont présentes dans tous les essais (Isidor, Santana, Sphera et Steara), six dans moins de dix essais. Onze variétés sont des variétés européennes, non françaises, présentes uniquement en post-inscription.

2.2 L'interaction Génotype x Environnement dans les réseaux blé tendre est-elle plus importante en conditions AB qu'en conditions AC ?

2.2.1 Méthode

Sur les réseaux AB et AC, nous avons mesuré la variabilité des performances variétales entre années et entre sites, à l'aide de modèles mixtes appliqués à différents sous-jeux de données.

Pour estimer la variabilité interannuelle des performances, nous construisons le modèle suivant pour chaque commune présente plus de 3 ans et sur les variétés présentes plus de 50% des années :

$$Y_{ij} = \mu + G_i + A_j + \varepsilon_{ij}$$

Où : Y_{ij} est le rendement observé pour la variété i , l'année j .

μ est le rendement moyen observé sur le réseau d'essais.

G_i est l'effet du génotype (variété) i .

A_j est l'effet de l'année j .

ε_{ij} est la résiduelle qui porte l'interaction Variété x Année et l'erreur expérimentale.

G_i , A_j et ε_{ij} sont considérées comme des variables aléatoires centrées dont nous estimons les écart-types. L'écart-type associé à l'effet de l'année renseigne sur la variabilité interannuelle des rendements. Si on considère que l'erreur expérimentale est comparable entre les réseaux AC et AB, alors l'importance des interactions Variété x Année dans les 2 réseaux peut être comparée sur la base des écart-types résiduels.

Pour estimer la variabilité spatiale des performances, nous construisons le modèle suivant pour chaque année et sur les variétés présentes dans plus de 50% des communes cette année-là :

$$Y_{ij} = \mu + G_i + S_j + \varepsilon_{ij}$$

Où : Y_{ij} est le rendement observé de la variété i , dans le site j .

μ est le rendement moyen observé sur le réseau d'essais.

G_i est l'effet du génotype (variété) i .

S_j est l'effet du site j .

ε_{ij} est la résiduelle qui porte l'interaction Variété x Site et l'erreur expérimentale.

G_i , S_j et ε_{ij} sont considérées comme des variables aléatoires centrées dont nous estimons les écart-types. L'écart-type associé à l'effet du site renseigne sur la variabilité des rendements entre sites. Si on considère que l'erreur expérimentale est comparable entre les réseaux AC et AB, alors l'importance des interactions Variété x Site dans les 2 réseaux peut être comparée sur la base des écart-types résiduels.

2.2.2 Principaux résultats

La variabilité spatiale des rendements une année donnée est en moyenne plus forte que la variabilité interannuelle quel que soit le réseau considéré (Figure 1). Cette variabilité spatiale est aussi plus stable entre année que la variabilité interannuelle qui dépend du site mais aussi du groupe d'années considérés. Les interactions Variété x Site et Variété x Année génèrent des variations de rendement proches quel que soit le réseau d'essai (AC ou AB) que l'on considère. En moyenne, les écarts-types résiduels observés au sein des réseaux AB sont un peu supérieurs à ceux observés au sein des réseaux AC (moins d'1q/ha). Cela peut s'expliquer par des erreurs expérimentales légèrement supérieures en AB. Cela pris en compte, nous pouvons conclure de cette étude que les interactions Variété x Site ou Variété x Année sont du même niveau en AB et en AC. En revanche, comme la valeur du quintal est plus importante en AB qu'en AC, l'enjeu de l'interaction Variété x Site ou Variété x Année est plus important pour l'agriculteur AB.

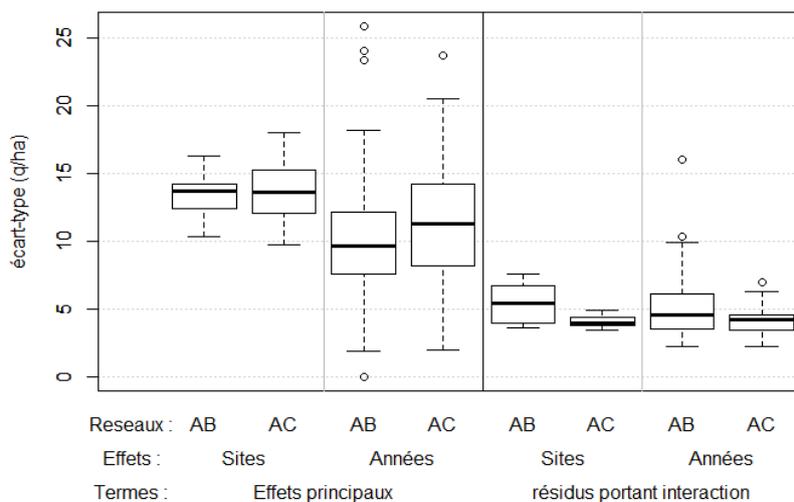


Figure 1 : Distributions des écart-types associés aux effets de l'année, du site et aux résidus dans les réseaux AC et AB.

Ce travail a permis par ailleurs de questionner la construction actuelle du réseau AB. Un de ses points fort est la diversité des environnements qui permet d'explorer différents profils et de ne pas favoriser des idéotypes par rapport à d'autres. Une difficulté est la dépendance au même set de témoins, qui facilite l'analyse des résultats mais peut être remis en cause par des contournements de résistance aux maladies. Cela interroge l'intérêt de garder pendant plusieurs années le même set de témoins.

2.3 L'évaluation variétale conduite en AC est-elle prédictible des performances en AB pour le blé tendre ?

2.3.1 Méthode

Deux méthodes d'analyse ont été utilisées pour répondre à cette question. Les rendements, teneurs en protéines, poids spécifique (PS), précocité d'épiaison ont été analysés.

Dans un premier temps, l'ensemble de la base de données a été analysé à l'aide d'un modèle mixte (méthode 1). Pour chacune des variables étudiées, le modèle suivant a été utilisé :

$$Y_{imj} = G_i + R_m + E_{mj} + RG_{mi} + \epsilon_{imj}$$

- Où :
- Y_{imj} est la valeur du caractère observé pour la variété i dans le réseau m et l'essai j
 - G_i est l'effet du génotype i , considéré comme fixe
 - R_m est l'effet du réseau m , considéré comme fixe
 - E_{mj} est l'effet de l'essai j dans le réseau m , considéré comme aléatoire
 - RG_{mi} est l'interaction Génotype x Réseau (AB/AC), considérée comme fixe
 - ϵ_{imj} est la résiduelle

Une analyse de variance du modèle a permis d'estimer les p-value associées aux effets fixes. Les variances des effets des facteurs aléatoires ont été extraites afin de comparer leurs poids relatifs sur les variables et d'évaluer leurs enjeux (+/-2 x l'écart type). Pour cela tous les facteurs ont été placés dans le modèle facteur aléatoire.

Dans un second temps, des analyses ont été faites séparément sur chacun des deux réseaux, à l'aide du modèle mixte (méthode 2) :

$$Y_{ij} = G_i + E_j + \varepsilon_{ij}$$

Où : Y_{ij} est la valeur du caractère observé pour la variété i et l'essai j .

G_i est l'effet du génotype i , effet fixe.

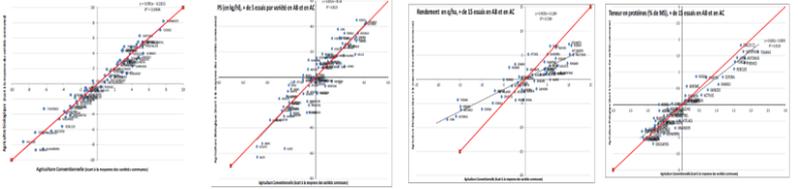
E_j est l'effet de l'essai j , aléatoire

Les effets variétaux ont ainsi été calculés par réseau, puis comparés. Les coefficients de détermination (R^2) et les écarts aux droites de régression ont été utilisés afin d'évaluer les enjeux des interactions Génotype x Réseau (soit les interactions entre variété et conduite en AB ou AC).

2.3.2 Principaux résultats

Les résultats de ces 2 analyses figurent au Tableau 2.

Tableau 2 : Résultats des comparaisons de performances variétales en AB ou en AC des variétés de blé tendre

	Date épiaison	Poids spécifique	Rendement	Teneur en Protéines	
Méthode 1	Décomposition de la variance en fonction des facteurs du modèle et enjeux				
	Essai (dans réseau)	78%	44%	17%	36%
	Réseau	2%	28%	78%	38%
	Variété (génotype)	17%	19%	2%	19%
	<i>enjeu variété</i>	16 jours	8 kg/hl	21q/ha	3.5 points
	Variété x Réseau	0%	1%	1%	1%
	<i>enjeu interact. var x rés</i>	2 jours	2 kg/hl	13q/ha	0.8 points
	Variété x Essai (dans Réseau)	3%	8%	2%	6%
	<i>enjeu interact. var x ess.</i>	6 jours	6 kg/hl	18q/ha	1.9 points
	Significativité des effets fixes				
Intercept	***	***	***	***	
Variété	***	***	***	***	
Réseau	*	***	***	***	
Variété x Réseau	***	***	***	***	
Méthode 2	Comparaison estimation effet variété AB = f(AC) sur les variétés présentes dans au moins 15 essais en AB et en AC (5 essais pour le PS)				
					
	R^2	0.94	0.82	0.72 (0.5 sans BAF)	0.91 (0.72 sans BAF)
	pente	0.99	1.03	0.45	0.83
	Moyenne AC	15/05	78.8	88	12.7
Moyenne AB	17/05	75.1	46	10.9	

Pour un caractère à forte héritabilité comme la date d'épiaison, il n'y a quasiment pas d'effet réseau (donc de conduite AB versus AC) et d'interaction Génotype x Réseau.

Pour le PS, l'effet réseau existe, en moyenne les PS sont inférieurs de 3,7 points, mais l'interaction Variété x Réseau est faible.

Pour le rendement, l'effet réseau est important, avec une importante différence de rendement entre AB et AC (46 q/ha versus 88 q/ha). L'interaction Variété x Réseau est inférieure à l'interaction Variété x Essai, mais elle est présente. Une partie de l'interaction entre variété et réseau s'explique par le fait que les écarts de rendements (en q) sont en moyenne 2 fois plus importants en AC qu'en AB avec les données considérées. Le R^2 est de 0.72 ce qui peut apparaître correct, mais il est obtenu sur une gamme variétale ayant des types variétaux très différents car incluant des BAF peu productifs (plus de 33% d'écart de potentiel de rendement avec les plus productives), certes plus proches des profils des blés évalués en AB mais conduits en situation azotée très différente. En enlevant ces variétés de type, le R^2 chute à 0.50 pour le rendement.

Pour la protéine, l'effet variétal est plus important que pour le rendement et le R^2 également (0.72 en enlevant les BAF). Il est également intéressant de constater que l'effet réseau est nettement moins marqué que pour le rendement, ce qui montre que certaines situations en conventionnel ne font pas mieux que des situations en AB au niveau de la teneur en protéines.

Des écarts de comportement vis-à-vis des carences en azote, des adventices et des maladies foliaires pourraient expliquer les interactions observées.

Cette analyse comprend de nombreuses limites du fait du déséquilibre de ces données : (i) les variétés de types BAF sont présentes sur relativement peu d'essais en AC ; (ii) les variétés ne sont pas toujours expérimentées sur les mêmes zones d'essais, par exemple les variétés tardives descendent nettement plus au sud en AB et il existe donc un risque de confusion avec des interactions Variété x Zone ; (iii) les variétés ne sont pas toujours expérimentées les mêmes années, il existe donc un risque de confusion avec des interactions Variété x Année ; (iv) une variété peut avoir un mauvais comportement dans le réseau AB une année donnée en raison de problèmes de qualité de semences, ce qui peut biaiser l'estimation de son effet. Cependant, il est intéressant de constater, malgré toutes ces sources d'imprécision, les bons niveaux de corrélation entre évaluation en AB et évaluation en AC pour les caractères étudiés, excepté pour le rendement.

2.4 Les résultats des évaluations variétales de soja sont-elles similaires en AB et en AC ?

2.4.1 Méthode

Les résultats obtenus dans les sites AB ont été comparés aux résultats des sites en AC. Les comportements des variétés dans chaque conduite sont estimés sur la base de la moyenne des observations centrées sur la moyenne des variétés communes. Les résultats obtenus en AB et en AC sont ensuite comparés, les coefficients de la droite de régression calculée (Tableau 3).

2.4.2 Principaux résultats

Pour l'ensemble des caractères, les performances obtenues en conditions AC sont relativement bien corrélées à celles obtenues en conditions AB. On le constate notamment pour le rendement, caractère généralement le plus interactif avec les conditions d'environnement : le R^2 est correct, même avec une gamme de variétés ayant des rendements proches (rdt max-rdt min/ moyenne <15%). Ceci semble cohérent avec le fait que, contrairement au blé tendre, il y a peu de différence entre les conduites AB et AC : pas d'apports d'azote, pas ou très peu de fongicide et d'insecticide en AC ; le désherbage est ce qui diffère le plus, essentiellement mécanique en AB. De plus, les sites en AB intégrés au réseau d'essais

sont quasiment tous irrigués, alors qu'en situation agricole les situations en sec sont fréquentes (de l'ordre de 40%).

Les rendements obtenus dans les sites d'expérimentation AB (2 par an, l'un dans la Drôme, l'autre dans le Gers) sont en moyenne plus faibles que dans le reste du réseau et la pente de la droite de régression (0.7) indique que les différences de rendement entre les variétés en AB sont moins importantes qu'en AC.

Tableau 3 : Résultats des comparaisons des performances en AB ou en AC des variétés de soja

	R ²	pente	AC Moyenne témoins	AB Moyenne témoins	Nombre de données par variété en AB
rendement	0.77	0.7	46.7	40.0	5 à 11
protéines	0.84	1.1	41.7	41.5	5 à 11
hauteur plante	0.90	1.1	95	87	5 à 12
humidité récolte	0.81	0.7	12.5	13.3	5 à 11

La conduite de ces analyses dans ECoVAB a permis, par ailleurs, de créer une dynamique sur les variétés cultivées en AB, amenant le démarrage d'une coordination de réseau d'évaluation variétale du soja en AB. Des essais variétés ont ainsi été mis en place en AB dans les différentes séries de précocités, en renforçant le nombre de sites en tardives, tandis que de nouveaux essais s'organisaient en précoces.

3. Quelles différences variétales face au principal facteur limitant ?

A nouveau blé tendre et soja ont servi de modèles d'étude, afin de statuer sur l'intérêt de mener des essais dans différentes situations intégrant des conditions limitantes.

Pour le blé tendre, les niveaux de nutrition azotée sont bien plus bas en AB qu'en AC. De plus, une grande partie de l'azote prélevé par le blé provenant de phénomènes de minéralisation (apports d'engrais organiques ou utilisation de l'azote du sol), la nutrition azotée du blé est très dépendante des conditions climatiques de l'année. Les risques sont réels soit de lessivage accru en période de drainage, soit de défaut de minéralisation au printemps, et donc de manque d'azote pendant les stades clés. La question posée par ECoVAB est de savoir si certaines variétés de blé tolèrent mieux des conditions de nutrition azotée très limitantes.

En soja, les systèmes en AB diffèrent des conventionnels par un recours moindre à l'irrigation, 40% du soja bio est conduit en sec, alors que seul 11% du soja conventionnel l'est (source : enquête pratiques culturales conduite par Terres Inovia en 2016). Les performances du soja sont très dépendantes de son alimentation en eau pendant les stades clés, c'est-à-dire de la floraison à la fin du remplissage ; en général, la conduite « en sec » conduit à une perte de rendement de 30% à 50%, ainsi qu'à une baisse de la teneur en protéines et du PMG (poids de mille grains) si le stress hydrique intervient tardivement. Des variétés plus robustes en conditions non irriguées seraient particulièrement intéressantes pour les situations en AB, mais il n'existe pas de référence sur les variétés actuelles.

3.1 Blé tendre : quelles différences variétales vis-à-vis du stress azoté ?

3.1.1 Matériel et méthodes

Une expérimentation étudiant la réponse à la fertilisation des variétés en AB a été conduite dans le Gers par le CREAB, partenaire du projet, pendant 12 années. ECoVAB a procédé à l'analyse de ces données historiques. Les variétés sont étudiées sous deux niveaux d'alimentation azotée, avec ou sans

fertilisation. Les doses d'azote organique, apportées sous forme de plume ou farine d'os, sont, en lien avec les reliquats sortie hiver réalisés, de 80 ou 100 U / ha, avec un cas à 144 U / ha, apportées en un ou deux apports. Les essais sont mis sur précédent favorable à la culture du blé tendre (soja, pois, féverole, couverts). L'analyse essai par essai porte sur 10 essais, 2 essais ayant été retirés car peu précis. Une analyse pluriannuelle a été réalisée en complément en utilisant un modèle mixte.

3.1.2 Principaux résultats

L'effet variété est présent dans tous les essais. Il existe un effet azote (significatif au seuil de 10%) dans 7 essais sur 10 (dans 5 essais sur 10 au seuil de 5%). En moyenne sur les 10 essais, l'apport d'azote permet d'augmenter le rendement de 5.9 q/ha (médiane 5.6 q/ha) et la teneur en protéines de 0.8 point (médiane 0.7). L'interaction Variété x Fertilisation n'est significative (au seuil de 10%) que dans 3 essais sur 10. La réponse des variétés est très différente d'un essai à l'autre, et comme peu de variétés sont présentes plus de 3 années, il est impossible de dégager des hypothèses de réponses différentes.

En analyse pluriannuelle, la part de la variance imputée au facteur fertilisation est faible. Sur le nombre de grains/m² et le rendement, l'effet de la fertilisation est nettement inférieur à l'effet de l'année. C'est sur la teneur en protéines qu'il est le plus important. Il est quasiment nul sur les autres variables. L'interaction Variété x Fertilisation est inexistante. On voit à nouveau que même si l'interaction Variété x Fertilisation existe dans certains essais, elle est différente entre les essais et ne se confirme pas au niveau de plusieurs essais.

3.2 Soja : quelle tolérance variétale vis-à-vis du stress hydrique ?

3.2.1 Matériel et méthodes

Une expérimentation pluriannuelle a été conduite, dans le cadre d'ECovAB, comparant un pool de 5 variétés à 2 niveaux d'irrigation très différents : conduite en sec (sans irrigation sur la totalité du cycle) et conduite irriguée à l'optimum (du stade R1 à la maturité). Cette expérimentation a été menée conjointement par le CREAB et Terres Inovia, dans le Gers : sur une même parcelle, deux essais, l'un conduit en sec et l'autre en irrigué, ont été implantés côte à côte. Sur les 3 années, l'essai a été mené en sol moyennement profond, représentatif des conditions de production en irrigué et en sec du secteur. Les gains permis par l'irrigation sont différents selon les années, en lien avec les conditions de sécheresse rencontrées (24 q /ha en 2016, 8.1 q /ha en 2017, 19.4 q /ha en 2017). La teneur en protéines est en moyenne la même en irrigué et en sec.

3.2.1 Principaux résultats

En comparant les rendements moyens par variété en sec et en irrigué (figure 2), on constate que l'irrigation semble avoir un effet fort sur le classement variétal : faible R² (0.23), pente de la courbe différente de 1 (0.4). Deux des variétés, Santana et Sphera perdent plus de rendement que les autres variétés en l'absence d'irrigation (respectivement -18,9 et -18,4 q/ha, de l'ordre de 44%). Les trois autres variétés, ES Pallador, Isidor et Steara ont des comportements proches : si Isidor perd le moins en rendement (-15.6 q/ha), les trois variétés ont les mêmes pertes exprimées en potentiel de rendement (de l'ordre de 38%) et. ES Pallador reste la plus productive en sec.

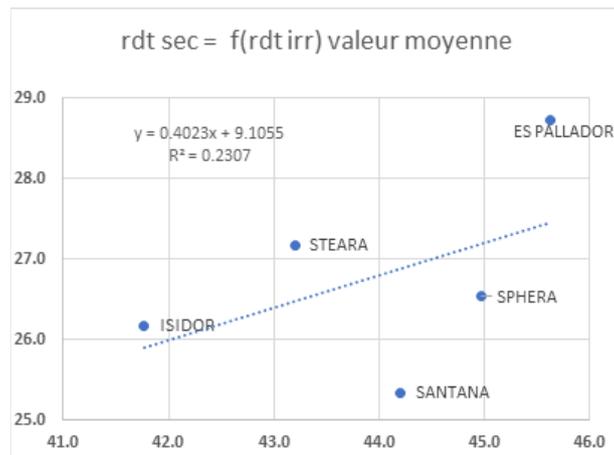


Figure 2 : Comparaison des rendements en irrigué et en sec (moyenne des 3 années)

4. Evaluer les variétés cultivées en association céréales-protéagineux

4.1 Les expérimentations mises en place

Les associations céréales-légumineuses sont fréquentes en AB. Elles peuvent avoir de très nombreux objectifs (récolte en fourrage, production de blé tendre meunier à bonne teneur en protéines, production de pois en facilitée par la présence d'une céréale servant de « tuteur », ...). Dans le cadre de ce projet nous nous sommes intéressés à deux cas d'associations céréales-protéagineux :

- Association avec un objectif de production de blé tendre panifiable, ce qui signifie avec une teneur en protéines suffisante. Dans ce cas le blé est associé avec un protéagineux (pois protéagineux ou féverole). Le protéagineux et le blé sont en compétition pour la lumière et l'eau, mais pas pour l'azote minéral du sol, la légumineuse ayant la faculté de fixer l'azote atmosphérique. Le blé dispose de la même quantité d'azote qu'une culture en pur mais, son rendement étant limité par la compétition, la teneur en protéines se trouve augmentée (Bédoussac *et al*, 2015).
- Association avec un objectif de production de pois protéagineux. Le pois est rarement cultivé en pur en AB (cf enquêtes utilisateurs), car très sensible à l'enherbement, aux maladies et à la verse. L'associer à un blé permet de réduire ces difficultés et de limiter les risques d'absence de récolte.

Il existe des recommandations pour leur conduite et quelques préconisations pour le choix des variétés à associer : dates de maturité permettant une récolte simultanée des deux espèces, résistance à la verse de la céréale, PMG des deux espèces et résistance à la casse de la graine de légumineuse pour faciliter le tri. Le questionnement dans ce projet porte sur l'évaluation variétale. Faut-il évaluer les variétés en association ? Les résultats obtenus en culture pure sont-ils transposables en association ?

Pour répondre à ces questions, des essais ont été menés sur 2 années (récoltes 2016 et 2017) en évaluant des variétés d'une part en culture pure, d'autre part en association.

4.1.2 Les variétés étudiées

Pour étudier les interactions entre variétés et conduites (pur ou association), les variétés de blé tendre ou de pois protéagineux ont été choisies de façon à exprimer une large gamme de variation de traits, connus en culture pure : précocité, hauteur, pouvoir couvrant pour les deux espèces ; teneur en protéines pour le blé ; résistance à la verse pour le pois (Tableau 4).

Tableau 4 : Caractéristiques, en culture pure, des variétés utilisées dans les essais associations

Association à objectif blé panifiable					Association à objectif pois protéagineux				
Variété	Précocité épiaison	Hauteur	Pouvoir couvrant	Teneur en protéines	Variété	Précocité	Hauteur récolte	Pouvoir couvrant	R. à la verse
Energo	½ P à ½ T	H	F à M	M	Aviron	½ T	E	B	AR
Flamenko	P	M	F à B	F	Balltrap	½ P à ½ T	E		PS
Ghayta	½ P à ½ T	C	B à TB	M	Enduro	½ P à ½ T	M	F	PS
Renan	½ P à ½ T	M	B	E	Fresnel		E	B	R
Rubisko	½ P	C	M	F	Furious	½ P	E	B	R
					Gangster	½ P	F		M

Avec : AR= Assez Résistant, B= Bon, C= Courte, E= Elevée, F = Faible, H= Haute, M = Moyen(ne), P = précoce, PS = peu sensible, R= résistant, T = tardif, TB = Très Bon

La variété de blé tendre associée dans les essais à « objectif pois » est Flamenko, variété de hauteur moyenne et peu couvrante en début de cycle. Pour les essais à « objectif blé », espèces et variétés de protéagineux ont varié selon les essais : pour les pois, Balltrap en 2016, Aviron en 2017 ; pour les féveroles, Diva ou Axel.

4.1.3 Essais retenus

Les essais ont été conduits en 2016 et 2017, sachant que 2016 a été une très mauvaise année pour les cultures de pois et de blé dans une très grande partie de la France. Les conditions climatiques ont été très pluvieuses, avec un manque de rayonnement significatif pendant près de 2 mois au printemps et un développement de maladies très important. Aucun essai avec du pois de la récolte 2016 n'a pu être intégré dans les synthèses ; la féverole a mieux résisté aux conditions particulières. Au final, peu d'essais ont pu être retenus sur les deux années : 3 essais sur 6 à objectif pois (départements 78, 35, 18 en 2017) ; 3 essais sur 11 en blé meunier/pois (86, 44, 35 en 2017) ; 6 essais sur 9 en blé meunier/féverole (86, 49, 32 en 2016 ; 86, 44, 32 en 2017). Les résultats sont donc à considérer avec précaution au vu de leur nombre réduit.

4.1.4 Conduite des essais

La conduite des essais a été définie en s'appuyant sur l'expertise et l'expérience des conseillers en AB partenaires du projet. La date de semis n'est pas trop précoce pour être compatible avec le cycle du protéagineux. Les densités de semis utilisées dans les essais retenus sont, en % de la dose en pur :

- Association à objectif pois : pois = 75%, blé = 37 à 50%.
- Association à objectif blé, associé à un pois : blé = 100%, pois = 50% (essais 2017 retenus).
- Association à objectif blé, associé à une féverole : blé = 70%, féverole = 50% en 2016, ramené à blé = 100% et féverole = 25% en 2017 pour les essais du Grand Ouest (86, 44), pour limiter la concurrence de la féverole face au blé et éviter une perte de rendement trop importante.

4.2 Résultats des essais à objectif « production de pois protéagineux »

Même s'il est impossible de conclure sur trois essais, nous présentons les résultats obtenus pour l'évaluation variétale :

- Une interaction Variété x Conduite (association vs culture pure) significative dans un essai sur trois.

- Absence de lien entre rendement moyen en culture pure et rendement en association, ce qui indique que le rendement en culture associée ne peut être prédit par le rendement en culture pure (Figure 3).
- Sur les trois essais, Gangster est la variété qui perd le plus de quintaux en association. C'est aussi la variété la moins haute. En association, sa hauteur ne dépasse pas le blé, contrairement aux autres variétés.

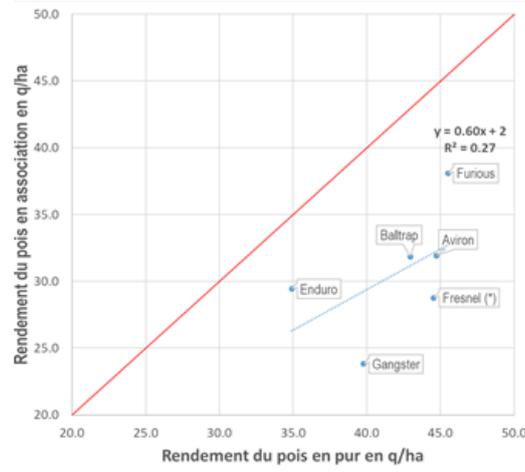


Figure 3 : Synthèse des 3 essais associations à « objectif pois »

Utilisés en regroupement avec des essais menés dans d'autres projets, ces résultats ont abouti aux conclusions suivantes (Moutier *et al.*, 2018b) :

« Dans nos conditions environnementales :

- Les dates de début de floraison, les dates de fin de floraison et les poids de mille graines sont très proches en culture associée et en culture pure. Les valeurs de ces traits en culture pure semblent donc prédictives de celles observées en association.
- Les hauteurs des variétés de pois dans les couverts sont plus élevées en culture associée qu'en culture pure, quel que soit le stade d'observation, confirmant l'effet tuteur du blé sur le pois.
- Les hauteurs en début et fin de floraison en culture pure semblent prédictives de celles observées en association.
- Que ce soit pour les hauteurs en fin de cycle ou pour le rendement en graines du pois, les valeurs en culture pure ne semblent pas prédictives de celles observées en association. Par conséquent, le développement de schémas spécifiques de sélection pour une évaluation spécifique de ces traits en culture associée paraît nécessaire. ».

4.3 Résultats des essais à objectif de « production de blé panifiable »

L'analyse des résultats a été conduite en dissociant les associations d'une part avec du pois et d'autre part avec de la féverole (Tableau 5).

A une dose de semis équivalente en cultures pure et associée, les caractères rendement, taux de protéines, poids spécifique, poids de mille grains, hauteurs et pouvoir couvrant sont prédictibles du comportement relatif des variétés entre elles dans l'association blé – protéagineux.

La conduite en association au pois a un effet significatif sur certains caractères : rendement du blé plus faible (- 5 q/ha en moyenne, soit 12%), taux de protéines plus élevé (+1,1 en moyenne, soit 12%) et hauteurs à l'épiaison et à la récolte plus élevées (respectivement +2,8 et +4,1 cm en moyenne). Ces tendances sont les mêmes avec la féverole.

Tableau 5 : Résultats des essais associations à « objectif blé meunier »

	Association avec un pois				Association avec une féverole			
Nombre d'essais	3 essais				6 essais			
Nb d'essais où l'interaction variétés conduite est significative	Pour le rendement = 1 essai				Pour le rendement = 1 essai			
	Pour la protéine = 0 essai				Pour la protéine = 0 essai			
	Valeur moyenne		Régression		Valeur moyenne		Régression	
	en pur	association	R ²	Pente	en pur	association	R ²	pente
Rendement (cf figure 4)	40.6	35.8	0.85	0.66	26.7	21.1	0.81	0.72
Teneur protéines	9.7	10.8	0.97	1.1	10.2	11.1	0.95	1.05
Poids spécifique	77	77	0.90	0.92	74	74	1	1.05
PMG	45	45	0.70	1.00	44	44	0.86	0.89
Hauteur épiaison	77	79	0.89	0.94	77	80	0.89	0.94
Hauteur récolte	89	90	0.95	1.08	80	84	0.95	1.03

Il semble y avoir un effet variétal sur les écarts de rendement observés en pur et en association (Figure 4). Les différences de rendement sont plus faibles entre les variétés cultivées en association (pente inférieure à 1), bien que l'effet soit réduit. Energo est la variété qui perd le moins de quintaux en association, tout en gagnant près d'un point de protéines. Cette variété est par ailleurs la plus haute des cinq variétés testées.

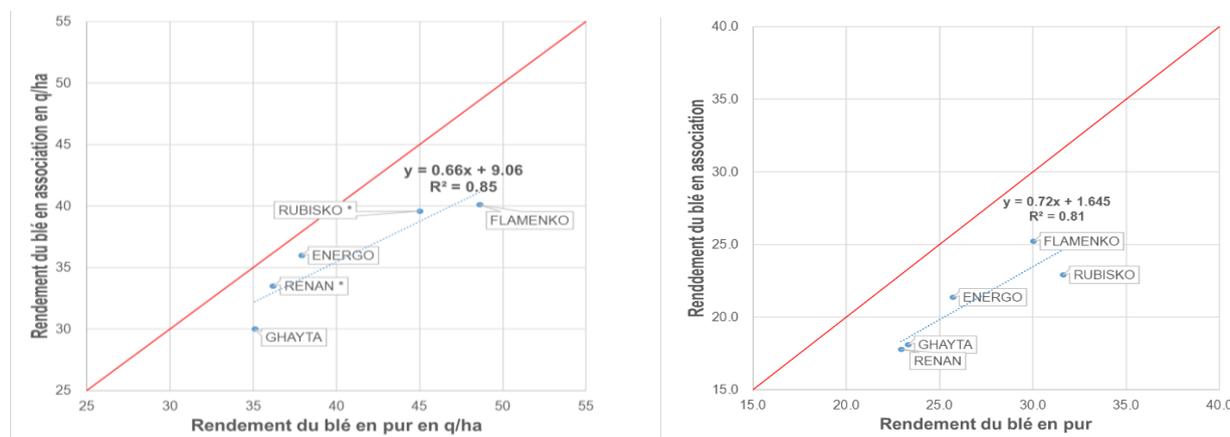


Figure 4 : Comparaison des rendements des 5 variétés de blé obtenus en pur et associés 1/ à un pois (graphique de gauche) 2/ à une féverole (graphique de droite)

5. Quelle(s) évaluation(s) variétale(s) pour la production biologique ?

5.1 AB et AC, AB ou AC : construire le continuum d'évaluation

Les deux cas étudiés dans ECoVAB, en blé tendre et en soja, montrent qu'un **continuum d'évaluation existe entre AB et AC**. Le degré de continuité diffère cependant selon les espèces et les critères considérés avec, manifestement, des niveaux d'interaction Variété x Conduite liées au « gap » existant entre les modes de conduite, certains étant beaucoup plus contrastés (ex. blé) que d'autres (ex. soja).

Ainsi, en blé, les résultats d'évaluation de caractères très héréditaires tels que la précocité d'épiaison ou le PS peuvent être valorisés en commun quel que soit le mode de conduite de l'essai. C'est pourquoi Arvalis regroupe désormais ces données (mais aussi la hauteur, ou des notations rouilles) issues d'essais menés en post-inscription et pour l'inscription indistinctement en AC (source Arvalis et GEVES) et en AB (source ITAB et partenaires, GEVES), pour le calcul des notes publiées dans les catalogues tels que le memento Semences et dans les fiches variétales, pour les variétés présentes dans les deux modes de production. En soja, les niveaux de corrélation corrects obtenus entre évaluations en AC et en AB sur les variétés tardives, aux conduites proches (principalement le désherbage diffère), amènent à intégrer deux essais en AB dans le réseau d'essais CTPS-Terres Inovia pour la réalisation de synthèses en commun.

La part de l'AB dans la production nationale mérite d'être considérée en complément : en soja 25% des surfaces françaises sont en AB en 2019 (chiffres Agence Bio 2020), ce qui milite pour un nombre accru d'évaluations variétales en AB. ECoVAB a d'ailleurs permis de créer une dynamique pour démarrer la coordination de réseaux d'essais en AB plus conséquents, en particulier en variétés précoces. Autre exemple : en triticales la part de la sole en AB est de l'ordre de 20%, mais à ce jour les données AB et AC ne sont pas aussi bien partagées qu'en blé tendre.

Le continuum peut aussi dépendre du niveau d'intensification de chaque conduite, en AC et en AB, ce qui peut expliquer des résultats contradictoires entre études (Gutzen, 2019). Par exemple, en Suisse, les essais de variétés de blé « en AC » sont conduits en « extenso », c'est-à-dire sans fongicide, sans régulateur, à environ 140 UN/ha. Leurs résultats sont prédictifs des performances en AB (Schwärel *et al*, 2006), les modes de conduite se rapprochant, tandis qu'en France, où la conduite en AC est plus consommatrice d'intrants, les résultats ne sont que faiblement prédictifs pour le rendement.

Pour construire le continuum s'ajoute la **question du panel des variétés évaluées** selon les conduites. En blé tendre, nombre de variétés évaluées en AB ne le sont pas en AC : il s'agit de géotypes sélectionnés et inscrits en AB (ex. dernières inscriptions en France en 2019), de variétés inscrites de longue date (ex. Renan), de variétés européennes (majoritairement sélectionnées pour le bas intrant et l'AB). La question se pose alors de la caractérisation de ces variétés pour des critères non disponibles en AC en France. En soja, la demande actuelle en AB cible beaucoup plus qu'en AC des variétés précoces à très précoces, ce qui interroge sur la répartition des essais en AB et en AC à envisager pour les tester.

Les **critères évalués** varient aussi quant à leur mode d'acquisition, en AB et/ou en AC. En restant sur l'exemple du blé, on voit que les caractères pour lesquels l'interaction Variété x Conduite est plus forte concernent, outre le rendement, les critères relatifs à la qualité (Le Champion *et al*, 2013 ; Steinberger *et al*, 2007). Ainsi des Variétés Recommandées par la Meunerie (VRM) en AC ne le seront pas forcément en AB, l'inverse étant possible, bien que moins courant (ex. Rubisko). L'absence d'azote minéral, pour cette culture d'hiver avec un démarrage rapide au printemps, est impactante sur le rendement, la quantité et la qualité des protéines et donc la qualité technologique. Si on voit l'intérêt de mener en AB des évaluations pour apprécier ces critères, essentiels, l'observation d'autres caractères en AC reste pertinente, en particulier pour les résistances aux maladies dans le cas de gènes de résistance majeurs. La conduite en AC permet alors l'inoculation de maladies pour évaluer les résistances variétales, alors que cette pratique est peu souhaitable en AB où des moyens de lutte curatifs sont peu courants ou manquent d'efficacité. De plus, des références acquises en AC peuvent aussi concerner des maladies non évaluées pour l'AC car maîtrisées en AC, mais utiles pour l'AB. C'est ainsi le cas de la carie commune, pour laquelle le GEVES a mis au point une méthode de détection précoce afin d'étudier les résistances des variétés de céréales (Cadot *et al*, 2018). L'objectif est de pouvoir l'utiliser pour l'inscription et favoriser la sélection de ces résistances. On pourrait aussi citer le cas de la résistance à l'ascochytose de la féverole, peu étudiée en AC, alors qu'en AB elle est primordiale, peu d'autres leviers étant disponibles (Fontaine *et al*, 2019).

Les caractères peu héréditaires, poussant à une évaluation spécifique en AB, sont plus sous l'influence de l'environnement. Au vu de la diversité des conditions de production, donc des environnements potentiels, on retient l'intérêt d'explorer dans les démarches d'évaluation des **gammes de variétés pour des environnements diversifiés**, plutôt que de chercher à repérer un idéotype idéal. Cette approche est vraie en AC comme en AB, mais peut-être encore plus prégnante en AB car il n'y a pas de possibilité d'ajuster le milieu par l'utilisation de produits phytosanitaires et l'apport d'engrais minéraux. Cette notion de diversité de l'offre rejoint d'ailleurs les attentes exprimées par des collecteurs et des agriculteurs pour des références locales.

Ces analyses montrent qu'il n'est pas raisonnable de doubler systématiquement les dispositifs d'évaluation variétale d'une part en AB, d'autre part en AC, en les déconnectant. Au contraire, il est possible de s'appuyer sur les complémentarités des différents modes de conduite et d'identifier, par espèce, les regroupements possibles de résultats en AB et en AC à l'échelle d'essais (ex. réseaux soja mixtes en variétés tardives) ou de critères (ex. caractères héréditaires et à faible interaction Variété x Conduite en céréales), ou encore les caractérisations porteuses d'information s'affranchissant du mode de conduite (ex. notations maladies telles que la carie). La question se pose néanmoins des gammes de situations couvertes, plus ou moins intensives (en lien avec le niveau d'intrants, azote et irrigation notamment comme vu dans ECoVAB), et des géotypes non inclus dans les panels de variétés testées dans plusieurs conduites. Autrement dit, cela interroge sur la capacité à construire un continuum d'évaluation en cohérence avec chaque mode de production, tenant compte des attentes de chacun et des perspectives d'évolution.

5.2 Evaluer la compétitivité des variétés vis-à-vis des adventices

Les enquêtes auprès des utilisateurs ont montré les fortes attentes sur la caractérisation de la capacité des variétés à concurrencer les adventices, traduite via divers critères selon les espèces, notamment architecturaux. Dans l'étude sur les associations céréales-protéagineux, cette caractérisation est aussi nécessaire, puisque des critères comme l'architecture du couvert apparaissent aussi comme des facteurs de concurrence entre les espèces composant l'association, impactant les performances. Ces critères sont à l'heure actuelle peu étudiés, bien que de plus en plus de travaux existent. Ils peuvent être observés dans les essais de céréales en AB, en post-inscription (Réseau ITAB) ou en inscription (GEVES), à la suite des travaux menés dans des programmes de recherche FSOV 2007-2009 puis 2013-2015 (Fontaine *et al*, 2017). En AC, à l'inscription, une note de pouvoir couvrant est attribuée en pois protéagineux par analyse de photo prise à la verticale ; en maïs une note de vigueur est publiée. En colza, Terres Inovia travaille à la mise au point d'une méthode pour évaluer le pouvoir couvrant en début de cycle. En betterave sucrière, le programme Archibet a permis d'avancer sur la caractérisation du pouvoir compétitif des variétés. Au-delà de ces initiatives, la démocratisation des nouvelles technologies (analyse d'images en particulier) pourrait permettre de larges avancées pour l'évaluation variétale. Trois points de vigilance demeurent, constatés dans les projets FSOV adventices : (i) l'architecture de la plante dépend de la conduite de la culture (niveau de nutrition azoté, AB ou AC) pouvant amener une interaction Variété x Conduite, ce qui ramène à la discussion sur le continuum et le besoin d'évaluation dans diverses conditions ; (ii) en AB les analyses d'image peuvent ne pas être pertinentes en cas de présence d'adventices ; (iii) la qualité des semences est indispensable pour garantir l'évaluation des caractéristiques variétales au démarrage (et non de la qualité de levée).

5.3 Evaluer les variétés pour les cultures en associations

Au vu de l'importance des cultures associées en AB et de leur probable progression en AC dans le cadre de la transition agroécologique, il est important de savoir comment évaluer les variétés destinées à être cultivées en association d'espèces ou en mélange de variétés. ECoVAB a permis d'apporter des

réponses pour les cas particuliers des associations blé-protéagineux visant une production privilégiée soit de blé panifiable, soit de pois protéagineux, la récolte d'un mélange équilibré n'étant pas l'objectif. Dans ces deux cas, la culture associée y joue avant tout un rôle de plante de service (cas 1 : le protéagineux sert à optimiser la qualité du blé, cas 2 : le blé sert de tuteur au pois, cas 1 et 2 : la plante compagne contribue à limiter le développement des adventices), bien que sa production puisse générer une plus-value en cas de récolte.

Dans le premier cas (production de blé panifiable visée, à densité de semis identique à celle pratiquée en pur), les faibles interactions Variété x Conduite, combinées au fait que ce mode de production reste limité face aux surfaces de blé en AB en culture pure, conduisent à considérer que la caractérisation des variétés de blé en pur suffit pour aider à leur choix, sans avoir besoin de les caractériser en conduite associée (Moutier *et al*, 2018a).

A l'inverse, dans le cas de l'association du pois protéagineux à un blé (densité de semis du pois en association correspondant à 75% des doses de semis en culture pure), les résultats d'ECoVAB associés à ceux d'autres projets (Moutier *et al*, 2018b) démontrent qu'il existe une interaction Variété x Conduite sur le rendement du pois. Il serait donc justifié d'évaluer en conduite associée en AB le rendement des variétés de pois, dans le cadre de dispositifs ciblant les pois protéagineux pour l'AB. Des recherches supplémentaires sont en cours pour distinguer, au-delà du critère rendement, les traits pouvant être évalués en pur de ceux relevant de la conduite associée.

5.4 Permettre aux acteurs de s'approprier les références en AB

Les enquêtes menées en début de projet montrent qu'évaluer les variétés pour mieux connaître leurs caractéristiques et adaptations à l'AB, quels que soient les dispositifs, ne suffit pas. Des attentes ont en effet été exprimées sur la nécessité, en complément, d'une communication ciblée sur les résultats acquis en évaluation, en visant les variétés préconisées en AB et les nouveautés potentiellement adaptées à l'AB. Ceci nécessite la coordination entre acteurs de la R&D depuis les phases d'inscription de variétés à leur évaluation en post-inscription.

Cette demande de références pour l'AB est cohérente avec le fait que collecteurs et agriculteurs citent dans les enquêtes l'importance de la mise en place de plateformes variétales en AB, quelle que soient les espèces. Ce sont de plus des lieux de discussion privilégiés, où chacun peut apprécier visuellement les variétés, sachant que les enquêtes révélaient comme importants les échanges oraux en sources d'information. Ceci interpelle par contre sur la nature de telles plateformes variétales, sachant qu'on peut les imaginer à trois niveaux : (i) essais en blocs, permettant de contrôler l'hétérogénéité des parcelles (en station ou chez des agriculteurs) ; (ii) essais en bandes larges, où la répétition d'un témoin peut aider à contrôler partiellement l'hétérogénéité de terrain pour les interprétations (le plus souvent chez des agriculteurs) ; (iii) comparaison de variétés chez des agriculteurs (avec matériel agricole classique), suivies par ceux-ci avec des protocoles allégés, permettant d'intégrer plus facilement leurs avis et jugement des variétés.

5.5 Disposer de semences en qualité et en quantité suffisante

Enfin, au-delà des choix variétaux, les résultats des enquêtes et les analyses menées montrent qu'il est important d'arriver à mettre en place des dispositifs permettant de s'assurer que les semences produites en AB (i) présentent la qualité attendue, (ii) soient produites en quantité suffisantes et (iii) qu'elles représentent un panel de variétés suffisamment important pour satisfaire les besoins pour différents types de pédoclimats et valorisations. Pour ceci, la concertation entre les acteurs est la base d'une bonne organisation de la filière des semences.

Conclusion

Les travaux menés dans ECoVAB se révèlent d'intérêt à plusieurs titres.

En premier lieu, ils confirment que l'évaluation de **caractères spécifiques** est attendue pour les variétés destinées à l'AB. Il s'agit en particulier de la **capacité à concurrencer les adventices**, utile pour toutes les espèces, relevant de critères divers (vigueur au démarrage ; architecture du couvert tout au long du cycle de la culture ; tolérance au désherbage mécanique...). Ce levier agronomique étant d'intérêt dans le cadre de la transition agroécologique qui s'amorce, la mise au point de méthodes rapides pour l'évaluation de ces critères devrait pouvoir faciliter leur insertion progressive au sein des protocoles d'évaluation pour de plus en plus d'espèces. De plus, décrire l'architecture de la plante pour mieux comprendre son comportement vis-à-vis des adventices est également intéressant pour prédire le comportement en association d'espèces ou en mélange de variétés.

Par ailleurs, si le besoin d'évaluation en conditions AB est souligné par les utilisateurs des variétés cultivées en AB, celui-ci peut être modulé, ECoVAB démontrant que toutes les caractéristiques variétales n'ont pas besoin d'être évaluées dans ce mode de conduite. Au contraire, il existe un **continuum de l'évaluation variétale entre AB et AC**, variable selon les espèces, les critères considérés, les géotypes testés et les conditions d'essais (niveau d'utilisation d'intrants, pédoclimat). La complémentarité des approches montre qu'il n'est pas nécessaire de doubler les réseaux en AB et en AC, mais qu'il faut plutôt les faire fonctionner ensemble en créant des synergies, chacun pouvant mobiliser des résultats issus de l'autre (AC vers AB et AB vers AC). Pour répondre aux attentes des filières en AB, la démarche suppose de (1) partir des besoins de l'AB, puis (2) déterminer les données à acquérir en AB et en parallèle celles issues de l'AC pouvant l'intéresser.

La montée progressive de systèmes de production utilisant moins d'intrants (transition vers l'agroécologie) devrait favoriser à l'avenir la mobilisation de dispositifs d'évaluation couvrant un continuum de situations allant jusqu'à l'AB. On peut ainsi imaginer l'intégration progressive de quelques dispositifs en AB par espèce pour l'inscription, et une place renforcée en post-inscription. Il s'agirait aussi de travailler au **continuum des résultats entre inscription et post-inscription** par une meilleure coordination des réseaux, déjà engagée par le GEVES et les instituts (voire avec les sélectionneurs pour des données complémentaires), à appliquer aux dispositifs ciblant l'AB.

Sur un autre plan que la technique, les travaux et réflexions menés ont rappelé que la **coordination entre acteurs des filières des semences et du développement** est essentielle pour optimiser l'évaluation variétale, la diffusion des références, le choix des variétés et la production de semences de qualité. On peut cette fois parler d'un **continuum entre acteurs**, qui nécessitent pour se coordonner des lieux de concertation et d'échanges. Divers comités répondent en partie à ce besoin, entre la Commission Inter-Sections pour l'AB (CISAB) mise en place au sein du CTPS, le groupe de travail de l'INAO qui accompagne la production de semences, la gestion de la base de données <https://www.semences-biologiques.org/>, ou encore la commission bio du GNIS. En plus de lieux de concertation, une meilleure organisation des lieux et modes de communication sur les variétés adaptées à l'AB est certainement à réfléchir entre acteurs du développement pour répondre aux demandes des utilisateurs quant à des références pour l'AB fiables, accessibles et indépendantes. De plus, à l'échelle européenne, des échanges sont également à cultiver pour aider à repérer des variétés et programmes de sélection d'intérêt pour l'AB et développer des collaborations dans des programmes de recherche internationaux.

Enfin, concernant les dispositifs en AB de comparaisons au champ de variétés, des travaux rassemblant statisticiens, praticiens et spécialistes des variétés seraient utiles à mener sur la construction de réseaux d'évaluation à base de combinaisons à imaginer entre essais avec répétition, essais en bandes et comparaisons chez des agriculteurs, incluant l'implication des agriculteurs dans l'appréciation des variétés et de leurs caractéristiques, pour aider à leur évaluation. Autrement dit à intégrer de la recherche participative dans ces démarches. Ceci serait cohérent avec les résultats des enquêtes menées au début d'ECoVAB, montrant que les agriculteurs sont des acteurs primordiaux avec qui collaborer, pour établir

les besoins de connaissance sur les variétés et guider les sélectionneurs et évaluateurs. Poursuivre le recensement de ces besoins à pas de temps régulier, en les confrontant à l'offre disponible et aux besoins des filières, qu'elles soient courtes ou longues, est nécessaire.

Remerciements

Ce projet a bénéficié de financements du Compte d'Affectation Spécial Développement Agricole et Rural (CASDAR), géré par le Ministère de l'Agriculture et de l'Alimentation, dans le cadre de l'appel à projet « Semences et Sélection Végétale » 2014, de 2015 à 2018.

Les auteurs remercient les partenaires d'ECO VAB, réalisateurs des essais (CRA Pays de la Loire, FRAB Nouvelle Aquitaine, CREAB, CA 26, CA 89, Initiative Bio Bretagne, Agri Obtentions, Terres Inovia, INRAE IGEPP) et personnes impliquées dans les travaux de synthèse et d'interprétation (Mathieu Conseil, Camille Vindras et Alice Fernier, ITAB ; Christine Fintz, GEVES). Merci à Alain Baranger (INRAE IGEPP) pour sa relecture attentive. Merci également aux agriculteurs accueillant les essais.

Références bibliographiques

Bedoussac L., Journet E.P., Hauggaard-Nielsen H., Naudin C., Corre-Hellou G., Jensen E.S., Prieur L., Justes E., 2015. Ecological principles underlying the increase of productivity achieved by cereal-grain legume intercrops in organic farming. A review. *Agron. Sustain. Dev.* 2015, 35, 911–935.

Cadot V., Orgeur G., Le Dare L., Brachet J., Galon C., Baldwin T., Gombert J., Fontaine L., Du Cheyron P., Bruyère J., Oste S., Champion J., Maigniel J.P., Mailliard A., Grimault V., 2018. Carie commune : Etude des virulences prédominantes en France et mise au point d'un test de résistance pour l'inscription au Catalogue français des variétés de blé tendre déposées en AB. *Végéphyll*, 12^e Conférence internationale sur les maladies des plantes, Tours, France, 11-12 décembre 2018.

Fernier A., Fontaine L., Conseil M., 2015. 1/ Avis et attentes d'agriculteurs bio en 2015 sur les variétés en grandes cultures biologiques, ITAB, 75 p. 2/ Avis et attentes des collecteurs en 2015 sur les variétés en grandes cultures biologiques, ITAB, 48 p. 3/ Offre variétale en grandes cultures en agriculture biologique -Etat des lieux 2015, ITAB, 21 p.

Fontaine L., Le Gall C., Bernicot M.H., 2019. Les enjeux de l'évaluation variétale pour les grandes cultures en AB. 2^{es} Rencontres des Grandes Cultures Bio, Paris, 22 janvier 2019.

Fontaine L., Le Campion A., Bernicot M.H., Bonin L., du Cheyron P., Dehay G., Falchetto L., Gapin J.C., Lein V., Mailliard A., Moreau D., Morlais J.Y., Moulin V., Prieur L., Quirin T., Rolland B., Vidal R., 2017. Caractérisation et sélection de variétés de blé tendre plus compétitives vis-à-vis des adventices. Actes de la 5^e Rencontre Scientifique du FOSV, 23 mars 2017, p.2-14.

Gutzen K., 2019, Organic Variety Testing – Qualitative content analysis approach to assess organic variety testing, case study of Germany. Master's thesis, Aarhus University, 133 p.

Lammerts van Bueren E.T., Jones S.S., Tamm L., Murphy K., Myers J.R., Leifert C., Messmer M.M., 2011. The need to breed crop varieties suitable for organic farming using wheat, tomato and broccoli as examples: A review. *NJAS Wageningen Journal of Life Sciences*, 58, 193-205.

Le Campion A., Oury F-X., Morlais J-Y., Walczak P., Gardet O., Gilles S., Pichard A., Rolland B., 2013. Quelle(s) sélection(s) du blé tendre pour l'agriculture biologique ? Résultats et perspectives d'un comparatif avec les performances variétales en conduite « faibles intrants ». *Innovations Agronomiques* 32, 443-454.

Moutier N., Fintz C., Boissinot F., Quirin T., Champion J., Conseil M., Fontaine L., Bernicot M.H., 2018a. Breeding for mixtures in Organic Farming systems: are the traits of pure wheat cultivars predictive of their behavior in wheat-pea mixtures? (communication orale) EUCARPIA Symposium on breeding for diversification, Witzenhausen 19-21 février 2018.

Moutier N., Floriot M., Le Gall C., Fintz C., Blériot O., Brun C., Conseil M., Deulvot C., Falchetto L., Heumez-Lévêque M., Lecomte C., Martin J., Lejeune-Hénaut I., Marget P., Hanocq E., Fontaine L., Baranger A., 2018b. Sélection pour les associations blé-pois : les caractéristiques des variétés de pois en culture pure sont-elles prédictives de leur comportement en culture associée ? - 2èmes Rencontres Francophones Légumineuses, Toulouse 17 et 18 octobre 2018.

Schwärel R., Levy L., Menzi M., Anfers M., Winzeler H., Dörnte J., 2006, Comparaison de deux réseaux d'essais variétaux de blé d'automne en cultures biologique et extensive Revue suisse Agric. 38 (1): 35-40

Steinberger J., Rentel D., Trautwein F., 2007. Wertprüfungen für den ökologischen Landbau, [VCU-testing

Cet article est publié sous la licence Creative Commons (CC BY-NC-ND 3.0).



<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/3.0/fr/>

Pour la citation et la reproduction de cet article, mentionner obligatoirement le titre de l'article, le nom de tous les auteurs, la mention de sa publication dans la revue « Innovations Agronomiques », la date de sa publication, et son URL).