



HAL
open science

Quelle(s) sélection(s) du blé tendre pour l'agriculture biologique ? Résultats et perspectives d'un comparatif avec les performances variétales en conduites "faibles intrants"

Antonin-Pierre Le Champion, Francois-Xavier Oury, Jean-Yves J.-Y. Morlais, Patrice Walczak, O. Gardet, S. Gilles, A. Pichard, Bernard Rolland

► To cite this version:

Antonin-Pierre Le Champion, Francois-Xavier Oury, Jean-Yves J.-Y. Morlais, Patrice Walczak, O. Gardet, et al.. Quelle(s) sélection(s) du blé tendre pour l'agriculture biologique ? Résultats et perspectives d'un comparatif avec les performances variétales en conduites "faibles intrants". *Innovations Agronomiques*, 2013, 32, pp.443-454. hal-02648284

HAL Id: hal-02648284

<https://hal.inrae.fr/hal-02648284v1>

Submitted on 29 May 2020

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

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



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

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 »

**Le Champion A.¹, Oury F-X.², Morlais J-Y. ¹, Walczak P.³, Gardet O.⁴, Gilles S.⁴, Pichard A.⁴,
Rolland B.¹**

¹INRA UMR IGEPP Domaine de la Motte F-35653 Le Rheu

²INRA UMR GDEC 234 avenue du Brézet, F-63000 Clermont-Ferrand

³INRA, UE Fourrages et Environnement, route de Saintes, BP 6, F-86600 Lusignan

⁴Agri-Obtention, Chemin de la Petite Minière, F-78280 Guyancourt

Correspondance : alecampion@rennes.inra.fr

Résumé

La sélection de variétés adaptées aux conditions variables de l'agriculture biologique est l'une des solutions possibles pour augmenter les rendements et maintenir, voire améliorer, la qualité du blé tendre cultivé selon ce mode de culture. Entre 2004 et 2011, le groupe d'innovation variétale « blé tendre » du département DGAP de l'INRA a mis en place un dispositif expérimental dans trois régions aux conditions pédoclimatiques variées intégrant l'évaluation de génotypes diversifiés en conduite « faibles intrants » (FI) et en agriculture biologique (AB). La comparaison des 17 couples d'essais FI / AB retenus montre l'intérêt d'une sélection indirecte par la conduite « faibles intrants » pour identifier des génotypes propices à l'AB pour différents caractères dont le rendement et la teneur en protéines des grains mais aussi pour caractériser les génotypes « GPD + » (positive Grain Protein Deviation) qui valoriseraient mieux l'azote disponible. L'aptitude à la panification, très souvent altérée et plus instable en AB, nécessite toutefois d'évaluer les génotypes sélectionnés dans les conditions de l'AB, au moins dans les dernières années de sélection.

Mots-clés : blé tendre d'hiver, variétés, méthode de sélection, sélection indirecte, interaction génotype-environnement

Abstract: What breeding strategy(ies) should be carry up for organic winter wheat? Results and prospects from a long-term comparison with low input variety trials

Breeding varieties adapted to various organic farming conditions is one solution, among others, to increase yields and improve organic winter bread wheat quality. From 2004 to 2011, INRA winter wheat breeders have conducted variety trials in three contrasting agro-climatic regions across north-west France to test the relative response of 25 to 30 diversified genotypes when cultivated in low input (FI) and organic (AB) conditions. The comparison of 17 paired management trials showed the relevance of low input conditions to identify genotypes adapted to organic farming conditions for yield and protein content. Such a selection environment is useful also to screen "GPD+" (positive Grain Protein Deviation) genotypes with better nutrient use efficiency. In contrast, our results highlighted the need to evaluate genotypes baking quality in organic conditions in which bread making ability is frequently lost.

Keywords: winter bread wheat, varieties, breeding strategy, indirect selection, genotype × environment interaction

Introduction

Les apports de la composante génétique sont aujourd'hui sous-estimés en agroécologie, discipline scientifique où les travaux fondateurs ont trait au rôle régulateur de la biodiversité spécifique dans les agrosystèmes (Altieri, 1999 ; Deguine *et al.*, 2010).

Comme le souligne Chevassus-au-Louis (2006), il était difficile d'élaborer un ensemble disciplinaire intégrant les acquis et approches de deux disciplines encore opposées jusqu'à une période récente : l'**agronomie** et l'**écologie**. La « **variété** », sélectionnée dans une base génétique ouverte et diversifiée (lignée pure, population, association intra ou inter-spécifique) pour répondre au mieux aux spécificités d'un milieu ou d'un système de culture, constitue une connexion entre les deux domaines disciplinaires. Elle participe en effet à l'amélioration des performances économiques et environnementales des systèmes agricoles en se basant sur une ressource génétique étendue, reconnue comme service écosystémique d'approvisionnement pour l'homme (Millenium Ecosystem Assessment, 2005).

Couplée à des pratiques agronomiques retrouvées et mieux comprises, la variété sera d'ailleurs une des clés de la réussite des systèmes innovants, économes et productifs reposant sur le principe d'agronomie intégrale (Chevassus-au-Louis et Griffon, 2007).

L'agriculture biologique est le mode de production qui a le plus généralisé l'appel aux processus naturels de régulation et de contrôle comme levier de productivité. Avec une approche résolument centrée sur les caractéristiques intrinsèques du milieu, l'AB constitue un véritable prototype pour expérimenter et tester les concepts de l'agroécologie.

Néanmoins, l'absence d'utilisation d'intrants chimiques dans les systèmes certifiés « AB » révèle une forte hétérogénéité des conditions de culture pour lesquelles la recherche de variétés adaptées en est à ses prémices en France. Cette variabilité des environnements de culture « cibles » complique également le travail de sélection, la confusion d'effets environnementaux multiples pouvant entraîner une relative imprécision dans l'estimation de la valeur réelle des génotypes (Messmer *et al.*, 2012).

Notre expérience de sélectionneurs nous conduit au constat de l'inadaptation à l'agriculture biologique des variétés sélectionnées pour la céréaliculture intensive (variétés à pailles courtes et le plus souvent impanifiables à basses teneurs en protéines). Pour répondre à l'absence de programme de sélection dédié aux contraintes spécifiques de l'AB, la sélection de génotypes de blé tendre spécifiquement pour ce mode de production a été proposée par plusieurs auteurs aux Etats-Unis (Murphy *et al.*, 2007), au Canada (Reid *et al.*, 2009 & 2011 ; Kirk *et al.*, 2012) et en Europe (Wolfe *et al.*, 2008 ; Löschenberger *et al.*, 2008 ; Hildermann *et al.*, 2009). Depuis une dizaine d'années, quelques nouvelles variétés de blé tendre d'hiver issues de programmes de sélection suisse (Kuntz *et al.*, 2006 in Löschenberger *et al.*, 2008) et autrichien (Löschenberger *et al.*, 2008) dédiés ou orientés sur les demandes de l'agriculture biologique sont disponibles pour les producteurs. Mais les performances de ces variétés bien adaptées aux conditions de production de leur territoire de sélection et de culture ne sont pas probantes dans les conditions de l'ouest européen et présentent notamment des sensibilités aux maladies, comme les rouilles, ou des potentiels de rendements limités.

Dans ce cadre, une question essentielle émerge : **les variétés cultivées en AB doivent-elles être sélectionnées dans les conditions de l'AB durant l'ensemble du cycle de sélection ?** Autrement exprimé, faut-il privilégier une **sélection directe** pour l'AB ?

Alors qu'un consensus est établi pour convenir que la sélection directe pour des conduites économes en intrants chimiques est plus efficace qu'une sélection indirecte en conduite intensive, comme démontré pour le blé tendre (Brancourt-Hulmel *et al.*, 2005 ; Loyce *et al.*, 2008, 2012), l'orge (Ceccarelli, 1996 ; Sinebo, 2002 ; Ryan *et al.*, 2008) ou le maïs (Presterl *et al.*, 2003) dans différentes régions du monde, les études portant sur l'efficacité de la sélection indirecte et directe pour l'AB sont moins nombreuses et leurs conclusions plus nuancées.

A l'heure actuelle, c'est surtout la comparaison des conduites « conventionnelle » et « agriculture biologique » qui bénéficie du plus grand nombre de références. Ainsi, bien que quelques travaux portant sur le maïs (Lorenzana et Bernardo, 2008) et le blé tendre d'hiver (Annichiariccho *et al.*, 2010) soulignent l'intérêt d'une sélection indirecte, plus nombreux sont ceux dont les résultats sur maïs (Burger *et al.*, 2008 ; Messmer *et al.*, 2009 ; Weber *et al.*, 2012), orge (Sinebo *et al.*, 2002 ; Østergård *et al.*, 2006), blé tendre de printemps (Reid *et al.*, 2009 & 2011 ; Kirk *et al.*, 2012) et blé tendre d'hiver (Baresel et Reents, 2006 ; Murphy *et al.*, 2007 ; Gevrek et Atasoy, 2012) plaident en faveur d'une sélection directe pour l'AB.

Pour expliquer ces résultats contradictoires, il faut souligner la diversité des itinéraires techniques rassemblés sous le terme générique de « conventionnel » dans les travaux précités. En effet, si l'on détaille les itinéraires techniques pratiqués, la conduite « conventionnelle » est très différente selon les régions du monde et les qualificatifs de « non-AB » ou « qui n'est pas cultivé en AB » serait plus appropriés pour les caractériser.

Du point de vue des sélectionneurs de l'INRA, sélectionner en conduite « conventionnelle intensive » ne présente pas d'intérêt pour identifier des variétés adaptées à l'AB (Rolland *et al.*, 2012). Si la sélection directe en AB est plus efficace que la sélection indirecte par une conduite « conventionnelle », très peu d'études mentionnent l'efficacité d'une sélection indirecte à partir d'une conduite « extensive » ou « faibles intrants » (FI). Les deux seules études sont suisses et elles indiquent de fortes corrélations entre les performances des variétés cultivées en conduite « extenso » et en AB pour le rendement, le PS, le PMG, la hauteur, la précocité, la verse (Schwärzel *et al.*, 2006) et la valeur boulangère (Kleijer et Schwärzel, 2006). Dans la pratique, concernant le blé tendre d'hiver, la conduite économe ou faibles intrants (semis clair et relativement tardif, fertilisation azotée réduite, pas d'utilisation de fongicide et de régulateur de croissance) est agronomiquement plus proche de l'agriculture biologique que de la conduite « conventionnelle » intensive très majoritairement pratiquée dans le nord-ouest de l'Europe.

Même s'il est établi de longue date que la sélection directe pour un environnement cible donné serait théoriquement plus efficace que la sélection indirecte (Falconer, 1952), la question suivante se pose : **quelle est l'efficacité d'une sélection indirecte à partir d'un milieu de sélection « faibles intrants » pour l' « agriculture biologique » ? En d'autres termes, quel est le pouvoir prédictif de la conduite FI pour l'AB sur des caractères d'intérêt comme le rendement, la teneur en protéines des grains et la panification ?**

1. Huit années d'évaluation variétale en conduite « faibles intrants » et en agriculture biologique

Pour répondre à ces questions un dispositif expérimental important a été mis en place par le groupe d'innovation variétale « blé tendre » du département GAP de l'INRA : 25 à 30 génotypes (lignées pures issues d'un processus volontariste de sélection qui élimine chaque année de 80 à 100% des descendances des croisements) ont été emblavées en conduite FI et en AB en trois lieux en France de 2004 à 2008 (Rennes, Le Moulon et Lusignan), puis en deux lieux de 2009 à 2011 (Rennes et Le Moulon). Après élimination des essais imprécis ou trop hétérogènes, soit 4 couples d'essais, c'est un total de **17 couples d'essais comparatifs FI / AB** qui ont été analysés. La conduite « faibles intrants » ou « FI » intègre un itinéraire technique qui n'est pas appliqué par les agriculteurs. Il s'agit d'une conduite extrémisée pour la réduction des intrants chimiques dont l'objectif est de constituer un milieu de sélection efficace. Elle est équivalente à l'ITK4 déjà mis en place dans le cadre du dispositif INRA-GIE Club 5-ITCF (Loyce *et al.*, 2008 ; Loyce *et al.*, 2012). Ainsi, elle n'intègre pas de fongicides, pas de régulateur de croissance, et ne comprend qu'un seul passage d'herbicide et une fertilisation minérale réduite de 60 unités d'azote par rapport à la fertilisation appliquée en conduite intensive raisonnée telle que recommandée localement par Arvalis-Institut du végétal et les Chambres d'agriculture.

L'étude comparée de la réponse des génotypes selon une conduite de culture « économe en intrants », dont la dénomination officielle helvétique est « Extensio », et l'AB apparaît encore très peu traitée dans la littérature et l'exemple suisse précédemment décrit (Kleijer et Schwärzel, 2006 ; Schwärzel *et al.*, 2006) repose sur des expérimentations à moyen terme (trois campagnes) et un nombre de génotypes limité (15 au maximum). Huit années d'évaluation variétale permettront donc d'apporter de nouvelles connaissances complémentaires, reposant sur des données issues d'expérimentation à plus long cours.

La faible diversité génétique disponible dans le matériel inscrit au catalogue est une des raisons invoquées pour expliquer les résultats contradictoires obtenus dans la comparaison AB et « conventionnel » (Messmer *et al.*, 2012). Pour assurer la fiabilité des résultats et favoriser au maximum l'observation d'interactions génotype \times conduite, le parti pris a été de choisir chaque année des génotypes représentant une gamme variétale la plus étendue possible parmi la diversité génétique cultivable et productive disponible. Ce choix est illustré par la Figure 1, s'appuyant sur l'année 2006 en exemple. En choisissant des **variétés « classiques »** issues d'une sélection en conduite intensive, des **lignées et variétés dites « rustiques »** issues d'un parcours de sélection en conduite « faibles intrants » à l'INRA et des **variétés expérimentées et cultivées en AB**, dont certaines sont issues de programmes de sélection spécifique pour l'AB (ex : Ataro), ce sont des séries variétales aux phénotypes très contrastés reflétant une variabilité génétique importante qui ont été étudiées par le dispositif.

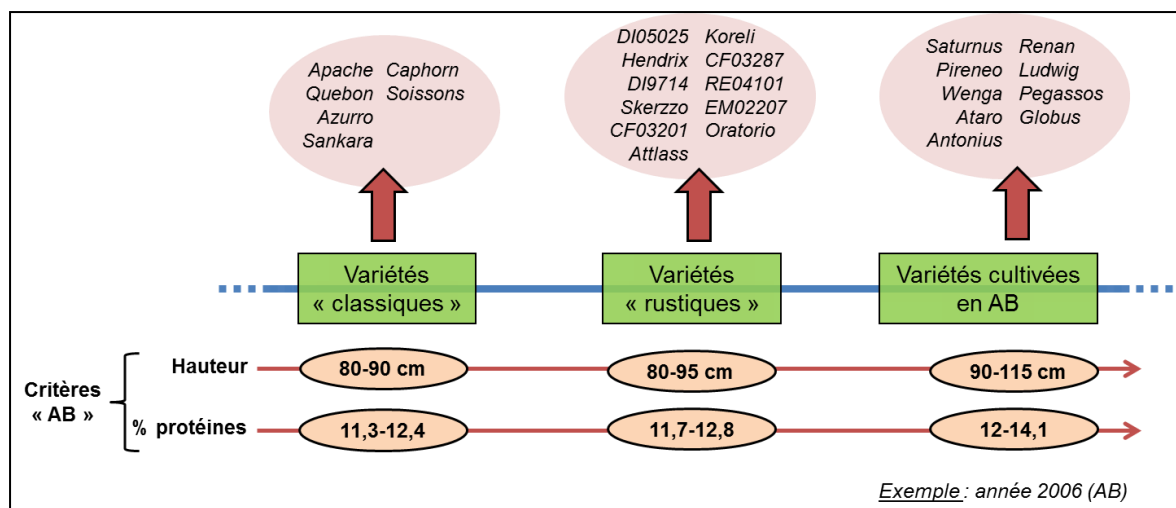


Figure 1 : Illustration de la recherche d'une gamme variétale étendue pour les séries variétales dans les essais

Cette étude s'inscrivant dans un objectif plus global d'évaluation et de sélection variétale, le renouvellement des génotypes dans les essais chaque année est très important (environ 50%). Seules deux variétés témoins, Renan et Caphorn, ont été présentes dans les essais au cours des huit années d'expérimentation.

Trois variables d'intérêt majeur ont été étudiées pour caractériser les performances des génotypes dans chaque conduite :

- Le **rendement en grains**, ce caractère incontournable des essais variétaux synthétise et exprime l'aptitude d'un génotype à réagir face à l'ensemble des contraintes environnementales, plus intenses en agriculture biologique du fait d'une moindre artificialisation du milieu due à l'interdiction des intrants chimiques ;
- La **teneur en protéines des grains**, appréciation de la « qualité technologique » la plus répandue ;
- L'**aptitude à la panification**, estimée par la **note de panification BIPEA** (norme NFV03-716), un critère essentiel pour la valorisation de la récolte.

2. La conduite « faibles intrants » permet-elle d'identifier des génotypes performants pour l'agriculture biologique ?

2.1 Rendement et teneur en protéines des grains

Les rendements en AB étaient inférieurs d'environ **25 %** à ceux obtenus en conduite FI à Rennes (en moyenne sur 7 années) et au Moulon (en moyenne sur 6 années). A Lusignan, les rendements en AB furent inférieurs de près de **40 %** à ceux réalisés en FI (en moyenne sur 4 années). Ces chiffres reflètent la diversité des conditions pour la culture du blé tendre en AB : à Lusignan, les rendements en conduite FI parviennent à se maintenir au niveau de ceux de Rennes et du Moulon, mais en AB ils décrochent du fait de carences azotées plus fortes que sur les deux autres sites. Les analyses de variance effectuées par année et par site pour évaluer la part des interactions génotype \times conduite dans l'explication de la variance de chaque couple d'essais ont mis en évidence la faible proportion (de 0,9 % à 12,5 %) de variance expliquée par l'interaction pour le rendement et la teneur en protéines des grains. Ce résultat a été conforté par l'analyse des corrélations de rangs (R_s) entre les deux conduites.

En sélection végétale, le classement des variétés et des lignées est, pour le sélectionneur, le critère déterminant lors du choix des lignées à conserver. En effet, le but de la sélection est de ne conserver que les meilleures lignées pour proposer aux producteurs de nouvelles variétés plus intéressantes. Le coefficient de corrélation de Spearman (R_s), qui se base uniquement sur les rangs, est un bon indicateur de la conservation des classements des génotypes entre les deux conduites testées. Son calcul, pour chaque couple d'essais, a permis d'établir la **relative stabilité des classements** entre les deux conduites avec des valeurs de R_s comprises entre **0,54 et 0,89** pour le rendement, et du même ordre de grandeur pour la teneur en protéines des grains. En comparaison, les valeurs de R_s renseignées par Murphy *et al.* (2007) ne dépassaient pas 0,26 pour quatre couples d'essais sur cinq. La relative conservation des rangs peut également être visualisée par les graphiques d'interactions présentés sur la Figure 2. Triés par ordre de rendement décroissant, les génotypes les plus performants sur ce critère sont très fréquemment identiques dans les deux conduites. Les inversions de classements restent ponctuelles et peuvent être exacerbées du fait d'écart de rendements entre génotypes généralement plus faibles en AB.

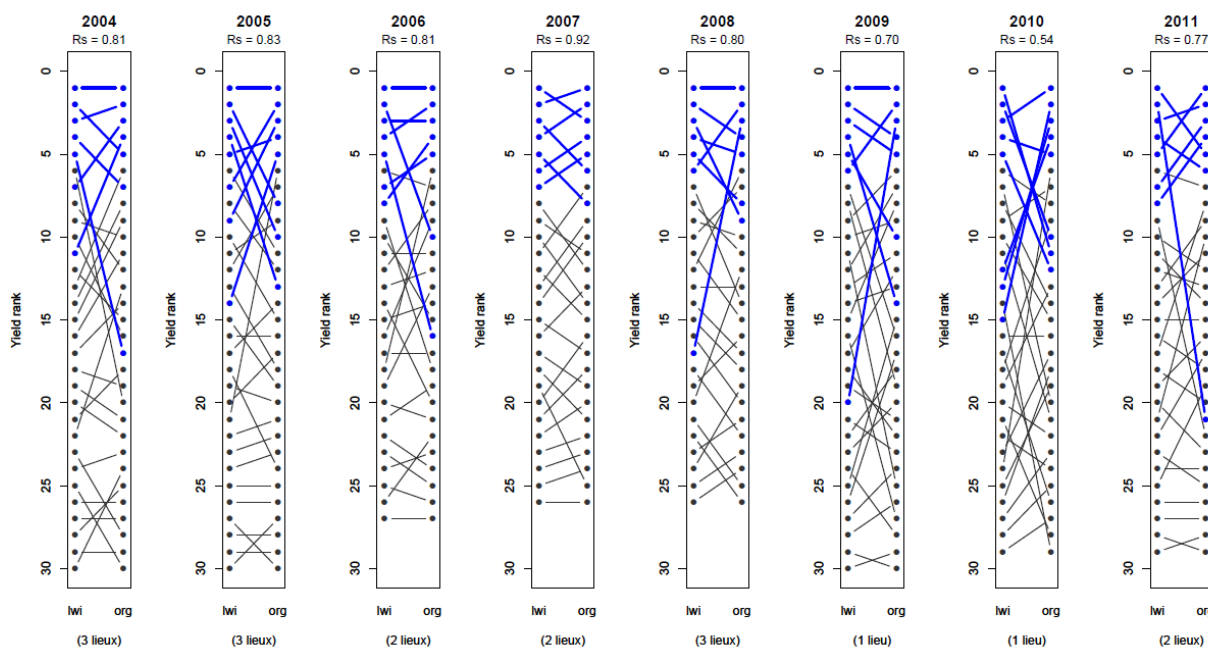


Figure 2 : Classements moyens des génotypes dans les conduites FI et AB pour le rendement. Les 5 génotypes les mieux classés dans chaque conduite sont représentés en bleu. R_s = coefficient de corrélation de Spearman.

Lors de la sélection à proprement parler, le nombre de génotypes conservés est un facteur déterminant que l'on désigne par **l'intensité de sélection**. La Figure 3 illustre l'efficacité de la sélection indirecte « faibles intrants » pour l'AB en fonction de l'intensité de sélection pratiquée pour le rendement et la teneur en protéines. Ainsi, pour chaque niveau d'intensité de sélection exercé, le nombre de génotypes communs aux deux conduites a été comptabilisé pour chacun des 17 couples d'essais, et les distributions de ces 17 valeurs ont été représentées par des boxplots. La qualité prédictive de la conduite FI pour l'AB apparaît meilleure pour la teneur en protéines que pour le rendement, notamment pour les intensités de sélection les plus faibles. Une intensité de sélection d'un tiers des génotypes (c-à-d les 10 meilleurs génotypes) se traduit par une efficacité moyenne de la sélection indirecte de **65% pour le rendement** et de **75% pour la teneur en protéines des grains**.

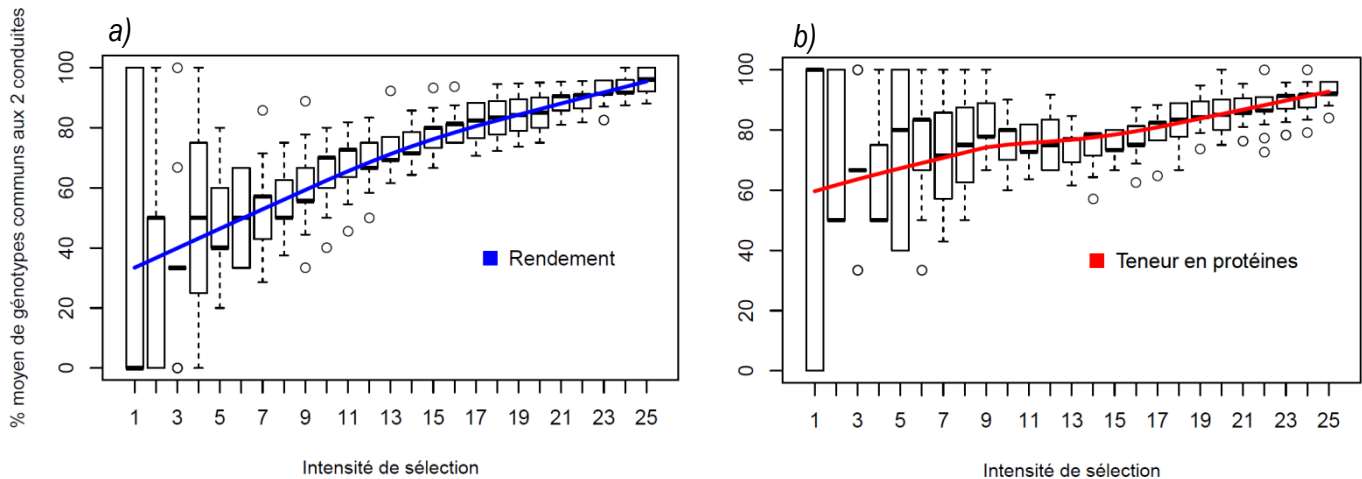


Figure 3 : Efficacité de la sélection indirecte pour l'AB observée sur 17 couples d'essais FI / AB pour le rendement (a) et la teneur en protéines des grains (b) en fonction de l'intensité de sélection exercée (cette intensité de sélection correspond ici aux n meilleurs génotypes retenus, n variant de 1 à 25). Les courbes figurant sur les graphiques correspondent au lissage réalisé sur les valeurs moyennes des distributions.

Ces résultats, tout comme ceux obtenus en suisse (Schwärzel *et al.*, 2006), soulignent l'intérêt de la conduite FI pour cribler les génotypes performants en AB pour des caractères comme le rendement, mais surtout la teneur en protéines des grains. A défaut d'apporter une prédiction optimale des performances en AB, cette conduite apporte une première approche dans des conditions « plus homogènes » que celles rencontrées en AB. Par ailleurs, même si la sélection indirecte en FI bien qu'efficace reste imparfaite, l'« art » du sélectionneur sera aussi de repêcher les lignées moins bien classées en FI, par exemple du fait de la verse, en préjugant de leur adéquation avec les conditions de l'AB où ce risque est moindre.

2.2 Identification et stabilité des génotypes « GPD » en FI et en AB

Pour mettre en évidence les « profils » des génotypes présents dans les essais, leur positionnement par rapport à la relation négative « rendement – teneur en protéines » a été déterminé. Pour ce faire, la méthode d'Oury et Godin (2007), déjà utilisée dans les procédures d'inscription variétale du Comité Technique Permanent de la Sélection (CTPS) a été appliquée. Elle permet de repérer les génotypes « GPD + » (positive Grain Protein Deviation, figure 4) dont la capacité d'assimilation de l'azote serait améliorée (Jeuffroy *et al.*, 2011).

Des régressions linéaires entre le rendement et la teneur en protéines ont été effectuées. L'analyse des résidus standardisés de ces régressions a ensuite permis de détecter les génotypes « GPD » (Monaghan *et al.*, 2001).

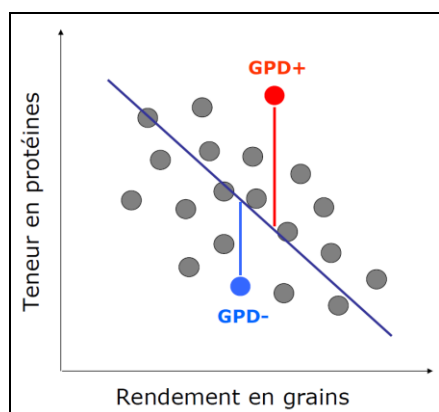


Figure 4 : Identification des géotypes GPD+ et GPD- (Bogard, 2011)

Le « GPD » est un caractère qui peut être relativement bien appréhendé en conduite FI pour l'AB, à la condition que le nombre de lieux accueillant les essais soit suffisant, comme en témoigne les corrélations élevées entre les deux conduites obtenues pour deux et trois lieux (Tableau 1). Les faibles valeurs observées en 2009 et 2010 correspondent en effet à l'analyse effectuée sur un seul site (respectivement Rennes et Le Moulon). Selon Jeuffroy *et al.* (*op.cit.*), les imprécisions dans l'estimation des écarts à la régression « rendement – teneur en protéines » sont principalement dues aux interactions Génotypes × Environnement qui introduisent du « bruit » dans les données. Cette imprécision permet d'expliquer les faibles valeurs de R^2 obtenues en 2009 et 2010, les moyennes « multilocales » ayant pour effet de « lisser » les interactions G × E ponctuelles.

Tableau 1 : Corrélations entre les conduites FI et AB pour le critère « GPD ». Les coefficients de détermination (R^2) sont calculés sur les résidus standardisés déterminés par la régression « rendement - teneur en protéines des grains ».

	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
Nombre de lieux	3	3	2	2	3	1	1	2
R^2	0,4	0,69	0,66	0,52	0,73	0,2	0,16	0,39

Ces conclusions confortent la stratégie de sélection pratiquée à l'INRA de Rennes qui combine une conduite « faibles intrants » dans les premières années de sélection suivie d'un tri en AB en fin de sélection. Ce schéma est équivalent à celui proposé par Löschenberger *et al.* (2008) en Autriche. Lors des cinq premières années en milieu FI, la sélection se fait sur des caractères assez facilement mesurables en pépinière, comme la **(multi)résistance aux maladies** d'importance économique, la **fertilité** des épis, évaluée par le nombre de grains par épi, la **hauteur**, la **précocité** ou encore le **pouvoir couvrant** aux stades « deux nœuds » (Z32) et « épiaison » (Z55). Ce n'est qu'à partir de la 6^e année du cycle de sélection qu'une mesure de rendement en conduite FI permet une première estimation de la productivité. A partir de tous ces éléments, on essaie alors d'identifier (sélection indirecte) les géotypes les plus propices pour l'AB, qui seront, dès la 7^e année, testés dans des essais en AB, ce qui permettra alors une sélection directe des géotypes les plus performants pour cette conduite.

3. La localisation géographique des sites expérimentaux influence-t-elle la réponse variétale sur le rendement ?

Un objectif principal de la sélection est d'identifier des lignées au comportement le plus stable possible pour différents contextes pédoclimatiques et dans la durée, c'est pourquoi l'inscription d'une variété au catalogue dépend de ses performances évaluées à travers une moyenne « multilocale », calculée sur plusieurs sites et deux années consécutives. De ce fait, la question de l'élimination dommageable d'un

génotype potentiellement mieux adapté à un territoire est fréquemment soulevée. Concernant la stabilité des différentes variétés et leur contribution individuelle aux interactions Génotype×Environnement×Conduite, une analyse par site et par année des essais AB permet de dresser le constat suivant : la variété Atlass se classe constamment parmi les quatre génotypes les plus productifs dans **12 cas sur 14** (6^e à Rennes en 2011 et 10^e au Moulon 2010). La variété Hendrix (8 essais) et une lignée INRA (CF03201, 9 essais) bien qu'un peu moins régulières, présentent aussi un comportement stable d'un lieu et d'une année sur l'autre en AB. Ce constat montre qu'il est possible d'identifier en AB des variétés capables d'adaptation à différents milieux pour y maintenir un rendement élevé. A l'inverse, si l'on détaille les données des essais AB, certains génotypes peuvent occasionnellement présenter sur un seul lieu, des performances bien supérieures aux autres sites, mais le manque de données pluriannuelles sur ces génotypes ne permet pas de conclure quant à l'observation effective d'adaptations locales.

La recherche de variétés « adaptables » pour un critère comme le rendement qui intègre toutes les contraintes et pour lequel on recherche la stabilité, apparaît donc justifiée pour l'AB. C'est d'ailleurs cette stratégie qui est poursuivie par P. Kuntz en Suisse avec une sélection directe en AB dès la première génération. Nos résultats, issus d'un programme de sélection multi-locale, ne permettent pas de mettre en évidence des génotypes « adaptés » dans la durée à une petite unité territoriale.

4. Des performances aléatoires des variétés en panification : un passage obligatoire en agriculture biologique au cours du cycle de sélection

L'aptitude à la panification est un critère fondamental dans la valorisation de la récolte en AB. Pour sélectionner des variétés adaptées aux conditions de l'AB, l'INRA procède à des tests de panification sanctionnés par une note sur 300 (norme NFV03-716) sur les génotypes d'intérêt identifiés dans les essais AB. Aucune mesure de panification n'est disponible pour la conduite FI, mais d'expérience (sélectionneurs du DGAP INRA) cette dernière permet de maintenir l'aptitude à la panification des génotypes BPS (Blé Panifiable Supérieur) ou BP (Blé Panifiable) telle que déterminée en conduite intensive, grâce à un apport tardif d'engrais azoté à l'épiaison. Faute de comparaison entre les valeurs en panification des génotypes en FI et en AB, la figure 5 illustre uniquement le comportement des génotypes en AB.

En AB, il est admis par l'ANMF (Association Nationale de la Meunerie Française) qu'un blé peut être panifiable quand sa note BIPEA dépasse 230.

Deux points importants ressortent de la figure 5 :

- 1) l'aptitude à la panification, en AB tout comme en conduite intensive ou « faibles intrants », est bien une caractéristique variétale ;**
- 2) l'aptitude à la panification en AB ne peut pas être déduite de l'aptitude à la panification en conduite intensive ou « faibles intrants ».** En effet, certaines variétés « BPS » en conduite intensive ou FI décrochent radicalement en AB (ex : Apache, Soissons, Oratorio) alors que d'autres restent très régulièrement panifiables (ex : Renan, Caphorn, Skerzso).

Il faut donc obligatoirement effectuer un tri en AB, au moins en fin de sélection, pour évaluer l'aptitude à la panification des génotypes en AB, et surtout la stabilité de celle-ci. La réduction de la teneur en protéines en AB étant inévitable, il s'agit alors d'identifier lors de cette phase des **génotypes régulièrement panifiables à faibles teneurs en protéines.**

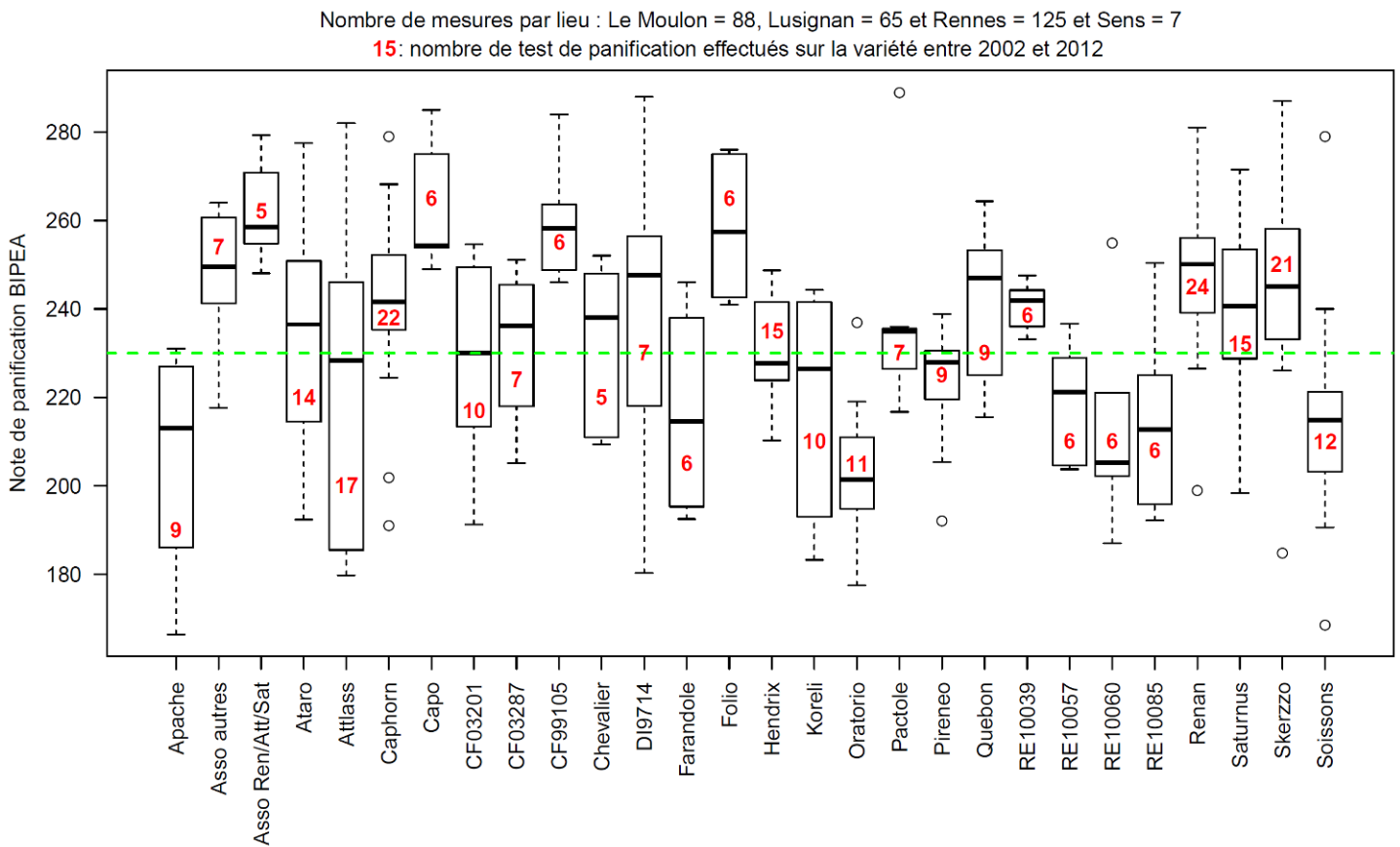


Figure 5 : Notes de panification BIPEA (NFV03-716) obtenues par les génotypes en essais AB entre 2002 et 2012. Seuls les génotypes pour lesquels au moins 5 mesures ont été effectuées sont représentés. La ligne horizontale figure le seuil de 230, à partir duquel la note totale en panification est suffisamment élevée pour que le génotype soit considéré comme panifiable en AB. La boîte représente les notes comprises entre les 1er et 3e quartiles de la distribution. Les moustaches s'étendent jusqu'à la valeur distante d'au maximum 1,5 fois l'écart interquartile. La ligne noire horizontale représente la médiane de chaque distribution. Les cercles noirs sont les outliers.

Conclusion

L'agriculture biologique est un mode de production agricole dont les connaissances nouvelles sont transférables à d'autres agricultures innovantes, comme la production intégrée qui s'autorise ponctuellement l'utilisation d'intrants chimiques. Dans ce cadre, la recherche de la variété appropriée constitue une des voies de progrès. Sur une plante autogame comme le blé, la lignée pure apparaît comme un type variétal bien approprié à l'AB, et l'association variétale peut apporter une réponse complémentaire dans la recherche de diversité génétique et d'adaptabilité aux conditions variables de l'AB.

Nos résultats confirment la stratégie de Löschenberger (2008) en Autriche et les intuitions des sélectionneurs de l'INRA (Rolland *et al.*, 2012). Une conduite de culture en « faibles intrants » renseigne efficacement sur les performances de génotypes de blé tendre en AB, mais une phase finale de sélection dans les conditions de l'AB reste indispensable, notamment pour évaluer l'aptitude à la panification des lignées retenues. Il faut également nuancer ces résultats qui, comme toujours dans ce

type d'expérimentation, sont fortement dépendants du choix des génotypes. Bien que dans ce choix la volonté fût forte d'ouvrir la gamme pour couvrir la diversité génétique disponible, il faut préciser qu'entre 2004 et 2011 il n'existait pas de génotypes issus d'une sélection spécifique pour l'AB, dans les conditions du nord-ouest de la France. Un tel dispositif de sélection n'a que récemment été mis en place par le groupe d'innovation variétale « blé tendre » du département GAP de l'INRA et les premières lignées les plus avancées en sélection sont désormais « testées » au sein d'un réseau comprenant plusieurs sites en France. Tourné vers l'« AB », le schéma de sélection mis en place comprend une première phase en FI pendant laquelle la sélection est centrée sur des critères variant peu entre les deux conduites FI et AB comme la résistance aux maladies, la hauteur, la précocité ou encore la mise en évidence de génotypes valorisant bien l'azote (GPD+). Dans un second temps, la sélection est réalisée directement en AB en portant une attention particulière au rendement mais aussi à la qualité, notamment à la valeur boulangère à basses teneurs en protéines. Une question émerge alors : obtiendrions-nous les mêmes résultats en disposant de ces nouveaux génotypes issus d'une sélection pour l'AB ?

La stratégie retenue permet de limiter la taille d'un dispositif expérimental plus coûteux en AB du fait d'hétérogénéités parcellaires plus fortes qui nécessitent en général de doubler le nombre de répétitions dans les essais. Un enherbement parfois mal maîtrisé exacerbe notamment ces hétérogénéités.

La recherche de variétés performantes et stables, dans le temps et dans l'espace malgré les fluctuations de l'environnement apparaît essentielle en agriculture biologique. L'analyse du comportement des génotypes sur 17 essais conduits en AB montre que certains génotypes, comme Atlass, ont des performances stables car elles sont capables d'exprimer leur fort potentiel de rendement dans des contextes variés (lieu, année). Cet objectif n'est pas contradictoire avec la recherche de variétés adaptées localement pour lesquelles nos résultats n'ont pas permis de conclure et nécessite un dispositif dédié dont le montage est en cours.

Remerciements : Les auteurs remercient les contributeurs de ce projet, notamment les nombreux expérimentateurs qui ont assuré le suivi des essais « faibles intrants » ou « agriculture biologique » :

L'ensemble de l'équipe Matériel Végétal Innovant (ex équipe « blé ») de Rennes-Le Rheu et les équipes des Unités Expérimentales de l'INRA d'Auzeville, de Lusignan, du Moulon, et du Rheu, et celles d'Agri-Obtentions à Orsonville.

Nos travaux sont soutenus depuis plus de dix ans par l'ITAB et InterBio Bretagne dans le cadre du plan contrat de plan Etat – Bretagne. Nous remercions également les agriculteurs qui en Bretagne, dans le Poitou et en Île-de-France, accueillent les expérimentations de l'INRA depuis 12 ans dans leurs fermes certifiées en agriculture biologique. Merci également à Melen Leclerc et Matthieu Jourdan pour leurs conseils statistiques avisés et à Maxime Trottet, Laurence Fontaine et Laurent Saur pour leur relecture attentive.

Références bibliographiques

Agreste - Enquête Pratiques culturales, 2011. Agreste les Dossiers n° 17 - juillet 2013

Altieri M.A., 1999. The ecological role of biodiversity in agroecosystems. *Agriculture Ecosystems & Environment* 74, 19-31.

Annicchiarico P., Chiapparino E., Perenzin M., 2010. Response of common wheat varieties to organic and conventional production systems across Italian locations, and implications for selection. *Field Crops Research* 116, 230-238.

Baresel J.P., Reents H.J., 2006. Observations on long-term wheat variety trials under organic and conventional conditions in Germany. In: Østergård H, L. Fontaine (Eds) *Proceedings of the COST SUSVAR workshop on cereal crop diversity: Implications for production and products*. ITAB Press, Paris, France.

- Baresel J.P., Zimmermann G., Reents H.J., 2008. Effects of genotype and environment on N uptake and N partition in organically grown winter wheat (*Triticum aestivum* L.) in Germany, *Euphytica* 163, 347-354.
- Bogard M., 2010. Analyse génétique et écophysiological de l'écart à la relation teneur en protéines - rendement en grains chez le blé tendre (*Triticum aestivum* L.) Thesis. Université Blaise Pascal - Clermont 2. 193 p.
- Brancourt-Hulmel M., Heumez E., Pluchard P., Beghin D., Depatureaux C., Giraud A., Le Gouis J., 2005. Indirect versus Direct Selection of Winter Wheat for Low-Input or High-Input Levels. *Crop Science* 45, 1427.
- Burger H., Schloen M., Schmidt W., Geiger H.H., 2008. Quantitative genetic studies on breeding maize for adaptation to organic farming. *Euphytica* 163, 501-510.
- Ceccarelli S., 1996. Adaptation to low/high input cultivation. *Euphytica* 92, 203-214.
- Chevassus-au-Louis B., 2006. Biodiversité, un nouveau regard sur le vivant - Refonder la recherche agronomique. Leçons du passé, enjeux du siècle. Angers, École Supérieure d'Agriculture, Leçon inaugurale du groupe ESA, 29 p.
- Chevassus-au-Louis B., Griffon M., 2007. La nouvelle modernité : une agriculture productive à haute valeur écologique. In : Économie et stratégies agricoles, Demeter 2008, Club Déméter, Paris, 7-48.
- Deguine J.P., Ferron P., Russel D., 2008. Protection des cultures, de l'agrochimie à l'agroécologie. Versailles : éditions Quae, 187 p.
- Falconer D.S., 1952. The Problem of Environment and Selection. *American Naturalist* 86, 293-298.
- Gevrek M.N., Atasoy G.D., 2012. Performance of some bread wheat genotypes under organic and conventional production systems. *International Journal of Agriculture and Biology* 14, 580-584.
- Hildermann I., Thommen A., Dubois D., Boller T., Wiemken A., Mader P., 2009. Yield and baking quality of winter wheat cultivars in different farming systems of the DOK long-term trial. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 89, 2477-2491.
- Jeuffroy M.H., Burger P., Gauffreteau A., Lecomte C., Oury F-X., Beaufumé J.B., Lonnet P., Margalé E., Senellart P., Olivier A., 2011. Méthodes pour sélectionner des variétés de blé tendre adaptées aux situations de disponibilité en azote limitante. In « Synthèse des programmes de recherche FSOV, Actes de la rencontre scientifique ».
- Kirk A. P., Fox S. L., Entz M. H., 2012. Comparison of organic and conventional selection environments for spring wheat. *Plant Breeding* 131, 687-694.
- Kleijer G., Schwärzel R., 2006. Qualité boulangère du blé d'automne dans les essais d'homologation extenso et bio. *Revue Suisse d'Agriculture* 38, 31-34.
- Lorenzana R. E., Bernardo R., 2008. Genetic Correlation between Corn Performance in Organic and Conventional Production Systems. *Crop Science* 48, 903-910.
- Löschenberger F., Fleck A., Grausgruber H., Hetzendorfer H., Hof G., Lafferty J., Marn M., Neumayer A., Pfaffinger G., Birschitzky J., 2008. Breeding for organic agriculture: example for winter wheat in Austria. *Euphytica* 163, 469-480.
- Loyce C., Meynard J.M., Bouchard C., Rolland B., Lonnet P., Bataillon P., Bernicot M.H., Bonnefoy M., Charrier X., Debote B., Demarquet T., Duperrier B., Félix I., Heddadj D., Leblanc O., Leleu M., Mangin P., Méausoone M., Doussinault G., 2008. Interaction between cultivar and crop management effects on winter wheat diseases, lodging, and yield. *Crop Prot.* 27, 1131-1142.
- Loyce C., Meynard J.M., Bouchard C., Rolland B., Lonnet P., Bataillon P., Bernicot M.H., Bonnefoy M., Charrier X., Debote B., Demarquet T., Duperrier B., Félix I., Heddadj D., Leblanc O., Leleu M., Mangin P., Méausoone M., Doussinault G., 2012. Growing winter wheat cultivars under different management intensities in France: a multicriteria assessment based on economic, energetic and environmental indicators. *Field crops research* 125, 167-178.
- Messmer M.M., Hildermann I., Thorup-Kristensen K., Rengel Z., 2012. Nutrient management in organic farming and consequences for direct and indirect selection strategies. In : Lammerts van Bueren E.T. et J.R. Myers (eds.). *Organic Crop Breeding*, 1st edition. John Wiley & Sons, Inc.

- Messmer M., Burger H., Schmidt W., Geiger H., 2009. Importance of appropriate selection environments for breeding maize adapted to organic farming systems. Tagungsband der 60. Jahrestagung der Vereinigung der Pflanzenzüchter und Saatgutkaufleute Österreichs, November 24–26, 2009, pp. 49–52.
- Millennium Ecosystem Assessment. 2005. Ecosystems and Human Well-being: Biodiversity Synthesis, World Resources Institute, Washington, D.C.
- Monaghan J., Snape J., Chojecki A., Kettlewell P., 2001. The use of grain protein deviation for identifying wheat cultivars with high grain protein concentration and yield. *Euphytica* 122, 309-317.
- Murphy K.M., Campbell K.G., Lyon S.R., Jones S.S., 2007. Evidence of varietal adaptation to organic farming systems. *Field Crops Research* 102, 172-177.
- Østergård H., Kristensen K., Hovmøller M., Willas J., 2006. Genetic potential for grain yield in spring barley varieties and variety mixtures in variable organic environments. In: Andreassen CB, Elsgaard L, Sørensen LS, Hansen G (eds) *Organic farming and European rural development. Proceedings of the European joint organic congress, 30 and 31 May 2006, Odense, Denmark*. Danish Research Centre for Organic Food and Farming (DARCOF), Tjele, Denmark
- Oury F.-X., Godin C., 2007. Yield and grain protein concentration in bread wheat: how to use the negative relationship between the two characters to identify favourable genotypes ? *Euphytica* 157, 45-57.
- Presterl T., Seitz G., Landbeck M., Thiemt E.M, Schmidt W., and Geiger H.H., 2003. Improving nitrogen-use efficiency in European maize: Estimation of quantitative genetic parameters. *Crop Science* 43, 1259-1265.
- Przystalski M., Osman A., Thiemt E.M., Rolland B., Ericson L., Ostergard H., Levy L., Wolfe M., Buechse A., Piepho H.P., Krajewski P., 2008. Comparing the performance of cereal varieties in organic and non-organic cropping systems in different European countries. *Euphytica* 163, 417-433.
- Reid T.A., Yang R.-C., Salmon D.F., Spaner D., 2009. Should spring wheat breeding for organically managed systems be conducted on organically managed land? *Euphytica* 169, 239-252.
- Reid T.A., Yang R.-C., Salmon D.F., Navabi A., Spaner D., 2011. Realized gains from selection for spring wheat grain yield are different in conventional and organically managed systems. *Euphytica* 177, 253-266.
- Rolland B., Le Campion A., Oury F.X., 2012. Pourquoi sélectionner de nouvelles variétés de blé tendre adaptées à l'agriculture biologique ? *Courrier de l'Environnement de l'INRA* 62, 71-85.
- Ryan J., Masri S., Ceccarelli S., Grando S., Ibrikci H., 2008. Differential responses of barley landraces and improved barley cultivars to nitrogen-phosphorus fertilizer. *Journal of Plant Nutrition* 31, 381-393.
- Schwärzel R., Levy L., Menzi M., Anders M., Winzeler H., Dörnte J., 2006. Comparaison de deux réseaux d'essais variétaux de blé d'automne en cultures biologique et extensive. *Revue Suisse d'Agriculture* 38, 35-40.
- Sinebo W., Gretzmacher R., Edelbauer A., 2002. Environment of selection for grain yield in low fertilizer input barley. *Field Crops Research* 74, 151-162.
- Weber V.S., Melchinger A.E., Magorokosho C., Makumbi D., Bänziger M., Atlin G.N., 2012. Efficiency of managed stress screening of elite maize hybrids under drought and low nitrogen for yield under rainfed conditions in southern Africa. *Crop Science* 52, 1011-1020.
- Wezel A., Bellon S., Doré T., Francis C., Vallod D., David C., 2009. Agroecology as a science, a movement or a practice. A review. *Agronomy for Sustainable Development* 29, 503-515.
- Wolfe M.S., Baresel J.P., Desclaux D., Goldringer I., Hoad S., Kovacs G., Löschenberger F., Miedaner T., Østergård H., Lammerts van Bueren E.T., 2008. Developments in breeding cereals for organic agriculture. *Euphytica* 163, 323-346.