

Pourquoi sélectionner de nouvelles variétés de blé tendre adaptées à l'agriculture biologique ?

Bernard Rolland¹, Antonin Le Campion¹, François-Xavier Oury²

¹INRA, UMR Institut de génétique, environnement et protection des plantes (IGEPP), domaine de la Motte, 35653 Le Rheu

²INRA, UMR Génétique, diversité et écophysiologie de céréales (GDEC), 234 avenue du Brézat, 63000 Clermont-Ferrand

bernard.rolland@rennes.inra.fr

Longtemps marginale en France, l'agriculture biologique est un secteur émergent à fort potentiel : les objectifs fixés par la loi Grenelle I ambitionnaient de faire passer les surfaces cultivées en agriculture biologique de 2% de la SAU française à 6% en 2012 puis de franchir un nouveau palier avec une couverture de 20% de la SAU en 2020. Même si en réalité c'est seulement 3% de la SAU qui est actuellement cultivée en agriculture biologique, les recherches consacrées à ce domaine, dont le cahier des charges interdit le recours aux produits de la chimie de synthèse, permettent d'anticiper le probable fort renchérissement du coût de l'énergie fossile (pic pétrolier). Ce travail pionnier de réduction des engrais et des pesticides sera alors utile à l'ensemble de l'agriculture. Tous les systèmes de culture ont bénéficié des progrès de la sélection végétale excepté l'agriculture biologique, parent pauvre de l'amélioration génétique. En effet la sélection s'est faite depuis 50 ans pour des itinéraires techniques artificialisés pour lesquels la fertilisation azotée minérale est abondante et où les herbicides sont utilisés pour lutter contre les adventices des cultures. Elle a conduit à l'obtention de variétés à paille courte donc peu concurrentielles vis-à-vis des mauvaises herbes et qui peinent en conditions de disponibilités réduites en azote, conditions rencontrées en agriculture biologique. La sélection variétale sur des critères adaptés à ces milieux aux contraintes fortes se justifie. Nous présentons pourquoi elle peut être porteuse d'enseignements et discuterons de sa possible évolution au regard des premiers résultats obtenus.

L'utilité des variétés de blé tendre sélectionnées pour l'agriculture biologique

Plusieurs explications sont avancées concernant le retard accumulé pour la sélection en agriculture biologique. Ce mode de production, s'il offre des perspectives de développement à

moyen terme, ne représentait en France en 2010, pour le blé tendre, que 43 000 hectares, dont 15 000 en conversion (Agence Bio, 2011), sur des emblavements qui couvrent près de 5 millions d'hectares (FranceAgriMer, 2012b). La modestie de ce marché n'a pas incité les sélectionneurs professionnels à investir sur des programmes spécifiques à l'agriculture biologique, sachant que de 10 à 12 campagnes, soit 10 à 12 années (un cycle du blé d'hiver dure environ 9 mois), sont nécessaires à la création d'une variété.

L'INRA, fondé en 1946 pour « nourrir la France » au lendemain de la seconde guerre mondiale, a activement participé aux évolutions de l'agriculture française et notamment au progrès génétique. Jusqu'au milieu des années 1980, ceci s'est traduit par la mise au point de variétés (d'Etoile de Choisy à Pernel), adaptées à des modes d'agriculture considérés comme intensifs du fait du recours aux intrants chimiques. L'institut a ensuite accompagné la diversification de l'agriculture en développant des variétés « rustiques » à la fois productives et plus résistantes aux maladies. L'arrivée au premier plan du concept de protection intégrée des cultures a vu ce champ de l'amélioration des plantes s'intensifier avec les inscriptions successives à la fin des années 1990 des variétés *Virtuose* (1998), *Farandole* (1999), et plus récemment de *Koreli* (2006), *Barok* (2009), *Flamenko*, *Folklor* (2010) et *Lyrik* (2011), variétés possédant des résistances intéressantes aux maladies d'importance économiques.

Pour répondre à une demande de plus en plus insistante de la filière, le groupe « Innovation variétale » du département de Génétique et d'amélioration des plantes de l'INRA (DGAP) a entrepris depuis 2000 d'évaluer dans les conditions de l'agriculture biologique les lignées rustiques de blé tendre sélectionnées pour des conduites à intrants réduits. Depuis 2004, des équipes INRA ont rejoint le réseau de criblage variétal de l'ITAB pour former un dispositif

d'essais multisites et pluriannuel. C'est également à partir de cette date que des croisements spécifiques pour l'agriculture biologique, dont les premiers résultats prometteurs apparaissent, ont été réalisés à Rennes.

Après douze années de travaux d'expérimentation et de sélection en station et en réseau, les sélectionneurs du groupe « Innovation variétale » de l'INRA identifient quatre raisons justifiant l'amélioration génétique par sélection généalogique du blé tendre pour créer de nouvelles variétés lignées pures pour l'agriculture biologique. Nous les donnons ci-après.

Une demande croissante

La demande en farines issues de l'agriculture biologique pour l'alimentation humaine est croissante et l'augmentation de la production française ne suffit pas. Pour la campagne 2010-2011, les importations de blé tendre couvraient près de 32% (chiffre proche des années précédentes) des utilisations en France et 27% des ressources totales (utilisations + stocks) (FranceAgrimer, 2012a). Ce chiffre apparaît stable sur les prévisions de 2011/2012. En outre, des importations lointaines de grains productibles en Europe de l'ouest contredisent l'éthique de l'agriculture biologique qui vise une production, autant que faire se peut, locale.

La nécessaire augmentation des rendements

Les rendements des céréales d'hiver (la situation est très différente en cultures d'été) cultivées en agriculture biologique sont divisés par deux par rapport à la moyenne française (fig. 1), d'autant qu'elles sont très peu cultivées

en agriculture biologique dans le grand Bassin parisien (Agence Bio, 2011).

Ces rendements avoisinaient les 32 q/ha en 2009/2010 (FranceAgriMer, 2011a) et sont instables d'une année et d'un lieu à l'autre (fig. 2). Si certains agriculteurs travaillant en circuit court (et dont l'essentiel des revenus provient de la commercialisation de leurs produits transformés) se contentent des rendements actuels, pour les autres, qui constituent une large majorité, le revenu est conditionné par la quantité de grains récoltée à l'hectare. L'attente est de plus en plus forte de la part de la profession agricole pour de plus hauts rendements en agriculture biologique (Lammerts Van Bueren *et al.*, 2011).

Les limites des progrès par la voie agronomique et par la fertilisation

Les rotations en grandes cultures biologiques ont été étudiées dans leur diversité et sont mieux comprises. Les choix liés à la rotation, participant à la durabilité d'un système de cultures biologiques sont mieux cernés notamment sur le plan agronomique, mais également économique et environnemental. Cela a été étudié par le programme RotAB (ITAB, 2011) dont il ressort que le contexte de production conditionnerait fortement les résultats économiques de l'exploitation (Garnier, 2011). L'optimisation des rotations en grandes cultures biologiques semble donc atteindre un palier et ne se profile désormais plus comme une voie majeure d'augmentation durable du rendement, donc du revenu.

Pour les cultures de céréales d'hiver, les gains de production par fertilisation organique, seule autorisée par le cahier des charges de l'agriculture biologique, sont faibles.

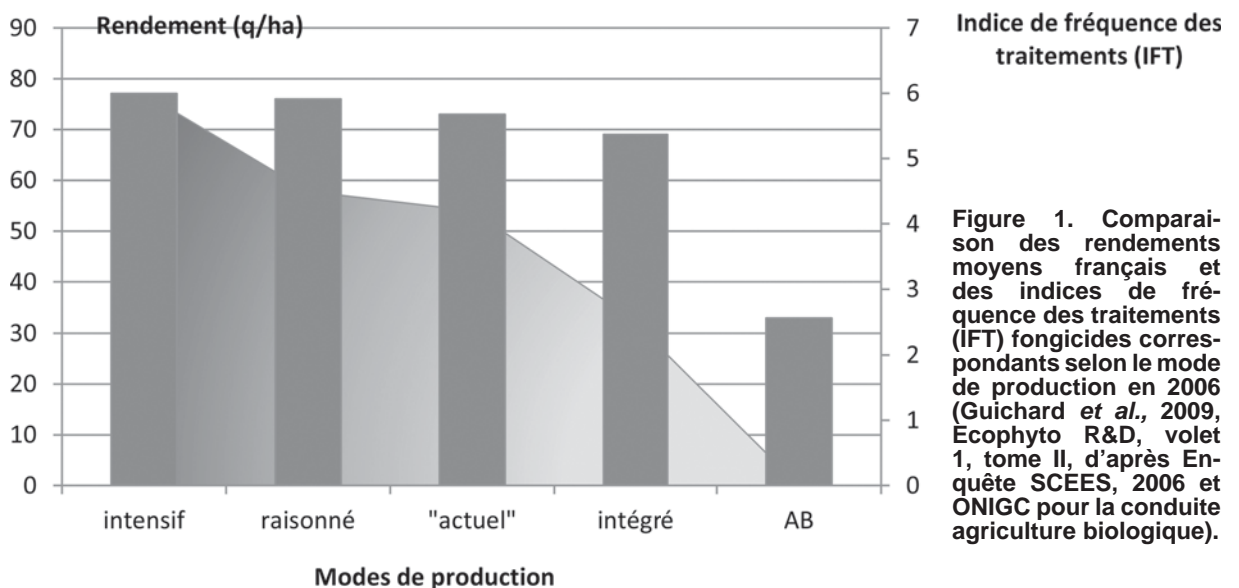


Figure 1. Comparaison des rendements moyens français et des indices de fréquence des traitements (IFT) fongicides correspondants selon le mode de production en 2006 (Guichard *et al.*, 2009, Ecophyto R&D, volet 1, tome II, d'après Enquête SCEES, 2006 et ONIGC pour la conduite agriculture biologique).

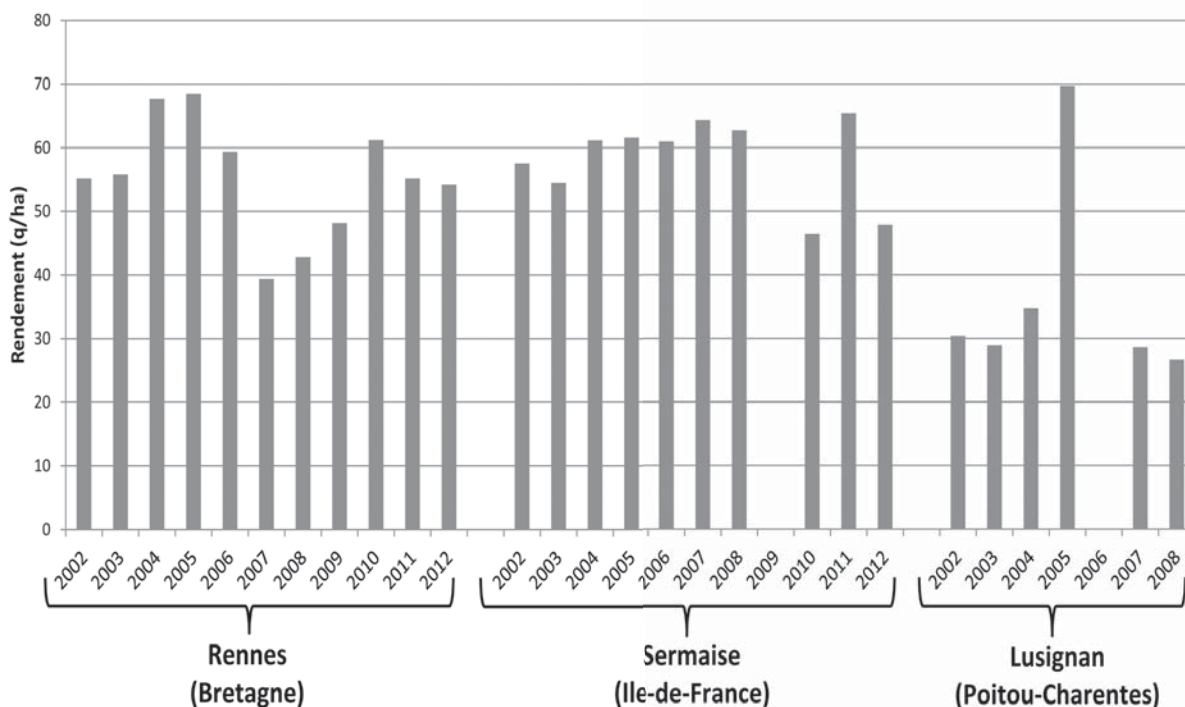


Figure 2. Rendements moyens obtenus dans les essais INRA en agriculture biologique toutes variétés confondues de 2002 à 2010 sur les sites de Rennes (35), Sermaise (91) et Lusignan (86).

Ils sont également aléatoires, chers et très variables selon les produits utilisés (Raynal et Nicolardot, 2006 ; Prieur et Justes, 2006). Ceci s'explique par les besoins importants des céréales d'hiver lors de la flambée de croissance à la montaison alors que les températures des sols en début de printemps limitent la minéralisation de l'azote organique.

En effet, bien que la biomasse soit rarement limitante au stade épi 1 cm (GS31), les composantes du rendement mises en place par la suite dans le cycle du blé (nombre d'épis par plante et nombre de grains par épi) sont généralement inférieures au potentiel initialement envisageable (InterBio Bretagne, 2010).

Les limites de l'offre variétale actuelle

En ce qui concerne les variétés anciennes et exotiques, les variétés d'Europe centrale ou d'Amérique du Nord, sélectionnées pour des situations pédoclimatiques différentes, voire très différentes de la France, et les variétés anciennes, populations ou lignées pures, donnent des résultats bien inférieurs aux variétés modernes, excepté dans les situations pédoclimatiques où le potentiel de rendement est faible (essais réseau INRA de création variétale).

Quant aux variétés sélectionnées pour les systèmes de culture intensifs, elles se montrent le plus souvent inadaptées aux conditions de l'agriculture biologique en termes de rendement mais aussi et surtout de qualité boulangère.

En conséquence, et à court terme, il semble que seule la mobilisation de nouvelles variétés puisse accroître le rendement par hectare, avec comme contrainte de maintenir la valeur boulangère, c'est-à-dire la capacité de la farine de blé tendre à être panifiée.

Sélection végétale et évolution du patrimoine génétique du blé

Un rappel historique

Pour les céréales à paille, la sélection végétale moderne a débuté en France dans les années 1880. Après une période d'isolement de lignées pures à partir des populations existantes, les premières variétés de blé tendre d'hiver sélectionnées après hybridation manuelle ont été obtenues (Dattel, Hâtif inversable, etc.).

Les blés poulards (*Triticum turgidum turgidum*) aux farines filantes ont été abandonnés au début du XX^e siècle. Les agriculteurs, après avoir constaté les meilleures performances des « blés de sélection », ont progressivement remplacé les variétés populations par de nouvelles variétés obtenues par des agriculteurs sélectionneurs (Benoist, Desprez, de Vilmorin...) qui évoluèrent ensuite pour devenir des entreprises spécialisées en sélection végétale. L'utilisation des populations de blés a quasiment disparu entre les deux guerres mondiales (Rolland et Nolot, 1989). Donc, avant toute intervention étatique réglementant le commerce des semences, le progrès génétique s'était répandu dans les campagnes et les agriculteurs avaient choisi de cultiver les nouvelles variétés car elles étaient plus productives.

Puis la sélection s'est professionnalisée, avec une augmentation du nombre de croisements suivis, grâce à la mécanisation du travail d'expérimentation et aux capacités accrues de travail en réseau permises par le développement des outils statistiques et informatiques. Les variétés sont alors développées à l'échelle des grandes régions de production, correspondant en France à au moins quatre vastes zones d'adaptation : nord Seine, centre ouest, centre est et sud.

La productivité a augmenté de façon spectaculaire à partir des années 1960 et la moitié du gain annuel a été attribué au progrès génétique (Brancourt *et al.*, 2003). Par ailleurs, la force boulangère des variétés de blé tendre a été multipliée par deux en 50 ans. Ceci a accompagné l'évolution des techniques de boulangerie (utilisation de levure, pétrissage intensif, fermentation rapide, ajout d'adjuvants), associée à l'amélioration des conditions de travail dans les fours.

Depuis le milieu des années 1990 une stagnation des rendements en blé tendre a été constatée, questionnant sur un possible ralentissement du progrès génétique. Une étude récente reconnaît néanmoins les bénéfices apportés par la sélection. S'appuyant sur des données de rendement sur les 35 dernières années, la stagnation observée a pu être attribuée à une dégradation des conditions agro-environnementales, avec un effet prépondérant du changement climatique. En effet, en s'affranchissant de l'effet « année », il a été montré que les rendements corrigés ont marqué une augmentation régulière de 1970 à nos jours (Brisson *et al.*, 2010 ; Oury *et al.*, 2012). La stagnation n'est donc pas liée à un ralentissement du progrès dû à la sélection, et ne remet donc pas en cause l'utilité de cette dernière.

Aujourd'hui, l'amélioration des céréales à paille reste essentiellement basée sur le schéma

classique de la sélection généalogique multicaractères, pour l'obtention de variétés « lignées pures ». Ce processus dynamique intègre des géniteurs d'origines très diverses : essentiellement les meilleures variétés du moment, mais aussi des blés synthétiques issus de croisements interspécifiques, des lignées exotiques (dont celles du CIMMYT, Centre international d'amélioration du maïs et du blé dont le siège est basé à Mexico), plus rarement des variétés anciennes.

L'offre variétale potentielle est importante : une vingtaine de nouvelles variétés de blé tendre sont inscrites chaque année au catalogue, et les 80 000 hectares annuels de multiplication de semences concernent plus de 200 cultivars. Cependant, cette diversité de l'offre est incomplètement valorisée : pour 2012, et bien que ce chiffre soit en baisse régulière depuis 2006, les 10 variétés les plus cultivées couvrent 45% des 5 millions d'hectares de blé tendre (FranceAgriMer, 2012c). Notons qu'en agriculture biologique ce ratio monte à 67% pour l'assolement 2010, traduisant bien le besoin en variétés nouvelles mieux adaptées à ce mode de production. Le peu de renouvellement de l'offre variétale en agriculture biologique est confirmé par la prédominance continue de la variété Renan, inscrite en 1989, qui représentait encore environ 23% de l'assolement des blés français cultivés en agriculture biologique en 2010 (FranceAgriMer, 2011b).

Pratiquement tous les systèmes de culture ont bénéficié des progrès de la génétique et notamment la production intégrée (Rolland *et al.*, 2003 ; Bouchard *et al.*, 2008). Mais l'agriculture biologique a été laissée pour compte des programmes d'amélioration génétique, et plusieurs voies sont maintenant à explorer pour fournir à ce mode de production des variétés qui lui soient adaptées.

Aujourd'hui la sélection végétale est surtout au service du mode de production très majoritaire correspondant à l'agriculture intensive, grande consommatrice d'intrants chimiques. L'agriculture biologique se contente des « sous-produits » de cette sélection, selon le principe de « qui peut le plus peut le moins ». Pourtant, si on souhaite des variétés spécifiques, il faut bien les créer. Certains pays européens bénéficient d'une longueur d'avance sur la France. L'Autriche par exemple, a mis en œuvre depuis 2001 un test dit « *value for cultivation and use* » (VCU), équivalent de la valeur agronomique et technologique ou VAT en France, d'inscription au catalogue des variétés spécifiques à l'agriculture biologique. Cette possibilité d'évaluation de la valeur agronomique et technologique des blés autrichiens a favorisé le développement d'une sélection pro-

fessionnelle destinée à l'agriculture biologique, soutenue par des fonds publics, à l'image des travaux de la société Saatzucht Donau (Löschenberger *et al.*, 2008). En développant des méthodes de sélection adaptées à l'agriculture biologique, ces sélectionneurs amplifient leur stratégie de sélection basée, au départ, sur une évaluation en conditions de faibles intrants. Cette stratégie fait actuellement l'objet d'un questionnement important au sein de la communauté des sélectionneurs et des chercheurs : est-il nécessaire d'établir une sélection directe en agriculture biologique dès la première génération, ou vaut-il mieux instaurer une sélection indirecte, intégrant une première phase de sélection en conduite à intrants réduits ? En Suisse P. Kuntz sélectionne depuis 25 ans des descendances de croisements spécifiques entre variétés anciennes et modernes pour l'agriculture biologique (Löschenberger *et al.*, 2008).

La question de la diversité génétique

La question de l'appauvrissement du patrimoine génétique cultivé est fréquemment discutée. De fait, des rapports internationaux basés sur des données chiffrées et des études récentes de la biodiversité à l'échelle mondiale, s'inquiètent du maintien de la diversité génétique dans les paysages (Secrétariat de la Convention de la diversité biologique, 2006 et 2010). Plus récemment, un rapport d'expertise de la Fondation pour la recherche sur la biodiversité (Goffeaux *et al.*, 2011) soulignait, en s'appuyant sur divers indicateurs et sur l'exemple du blé tendre, l'homogénéisation génétique du blé cultivé en France, qui serait, selon les auteurs, essentiellement liée à la disparition des variétés de pays. L'augmentation de la diversité génétique au niveau de la parcelle cultivée est une stratégie envisagée pour freiner le développement des maladies et réduire l'effet de facteurs limitants. Des travaux de sélection mettent en œuvre des populations à base génétique large, soumises à de faibles pressions de sélection, dans le but d'obtenir des types variétaux génétiquement riches et adaptés aux conditions locales (Goldringer *et al.*, 2006 ; Wolfe *et al.*, 2008 ; Desclaux *et al.*, 2008).

Dans le cas de la culture de variétés lignées pures, la diversité envisagée à l'échelle d'une petite région dépend du nombre de variétés cultivées et de leur apparentement. La sélection de lignées pures de blé, adaptées à l'agriculture biologique favorise la réintroduction de diversité génétique en faisant appel, par des croisements spécifiquement dédiés à l'agriculture biologique, à des géniteurs jusqu'alors mis à l'écart, ces derniers ne répondant pas aux critères requis pour une agriculture intensive, centrée sur le rendement en conditions rendues non limitantes par le recours aux intrants.

L'agriculture biologique : un prototype pour anticiper sur les exigences de demain

Dans la perspective d'un fort renchérissement de l'énergie fossile et des intrants chimiques, le contexte à venir plaide pour la réorientation vers des systèmes productifs plus économes en intrants et donc plus autonomes. Dans le continuum des systèmes de culture, l'agriculture biologique, dont le cahier des charges interdit tout recours à la chimie de synthèse, est un bon prototype de réduction des intrants.

Ainsi la sélection pour l'agriculture biologique agira comme un catalyseur de l'innovation pour des modes d'agricultures « durables » plus économes en intrants. En agissant à la base, sur des espaces cultivés aux contraintes fortes et multiples, les solutions apportées s'étendront sur les conduites de culture en conditions moins extrêmes mais néanmoins exigeantes.

Dans ce contexte, la variété est l'une des clés des systèmes agricoles innovants, économes et productifs.

Trois axes de progrès peuvent être envisagés :

- l'adaptation à des systèmes robustes peu dépendants ou indépendants des intrants chimiques (azote et pesticides) ;
- une approche globale de la qualité, dans ses trois dimensions (technologique, nutritionnelle et organoleptique) ;
- une réflexion sur la faisabilité d'une déclinaison territoriale plus fine de la sélection, pour des débouchés régionaux, avec une délégation de l'expérimentation en fin de cycle à des structures locales (coopératives, GAB, Chambres d'agriculture, autres réseaux d'agriculteurs...), quand elles existent. L'intérêt d'une sélection régionalisée sur des unités territoriales homogènes est parfois évoqué (Annicchiarico *et al.*, 2010) comme une solution d'optimisation de la sélection.

Quelle sélection pour l'agriculture biologique ?

Moins d'intrants, plus de facteurs limitants (?)

En réduisant les intrants, l'expression des facteurs limitants liés au milieu est exacerbée : ils vont se répercuter sur les composantes du rendement et sur la qualité du blé avec une grande variabilité selon les lieux et entre les années. Les résultats obtenus dans les essais INRA (voir fig. 2) illustrent la forte variabilité des rendements entre les années et selon les sites.

La conduite de culture en agriculture biologique fait ressortir la fertilité initiale des milieux, généralement « lissée » par les intrants en agriculture raisonnée et intégrée.

En effet, la conduite du blé tendre se retrouve confrontée en agriculture biologique à une contrainte récurrente : la faible disponibilité de l'azote pendant la montaison lors de la flambée de croissance des céréales d'hiver. Cette carence en nutriments, lors de cette étape clé du cycle végétatif du blé, est souvent préjudiciable au rendement mais surtout à la qualité boulangère. Ce manque d'azote a pour résultat des teneurs en protéines basses pouvant provoquer le déclassement de variétés normalement classées BPS (Blé Panifiable Supérieur) en conduites intensives, où l'apport d'azote optimal correspond à leur environnement de sélection. Cette observation a été confirmée par les résultats de l'épreuve spéciale VAT en agriculture biologique du CTPS (Comité Technique Permanent de la Sélection) en 2010 et 2011.

La gestion des adventices constitue la seconde contrainte marquante dans ces systèmes de culture sans herbicide. La sélection orientée vers l'agriculture biologique favorisera les variétés à fort pouvoir couvrant, généralement dotées d'une hauteur plus élevée et d'un port plus étalé.

Les dégâts des maladies sont généralement moins fréquents en agriculture biologique, plus aléatoires mais parfois importants, comme l'analyse des résultats issus de 12 années d'expérimentation dans le réseau de création variétale du DGAP INRA a permis de le constater (septoriose sur feuilles en 2009 et 2012, rouille jaune en 2011 et 2012, carie). Par ailleurs, les insectes peuvent parfois occasionner de gros dégâts (taupins sur jeunes plantes en 2010 et 2012, pucerons sur épis en 2011). À l'inverse, d'autres facteurs limitants sont parfois surestimés. Ainsi les dommages liés à la fusariose n'ont pas été plus importants en agriculture biologique, du fait de l'absence de fongicide, que sur les autres conduites de culture (« faibles intrants », « non traité » et « traité ») sur les douze années d'expérimentation.

Les interactions génotype × milieu

L'interaction génotype × environnement a été largement observée dans le milieu animal comme végétal (Ceccarelli, 1996). Parmi une multitude d'exemples, on pourra retenir les résultats de Lafitte et Edmeades (1994) sur l'interaction génotype × fertilisation azotée chez le maïs.

Ces problématiques sont omniprésentes dans les travaux effectués dans le cadre du programme de création variétale de l'INRA

et peuvent être discutées au regard des résultats les plus récents. Dans les systèmes de culture à faibles niveaux d'intrants, les différences entre milieux ne sont pas atténuées par la conduite précise de l'alimentation azotée et la maîtrise optimale des maladies, des ravageurs et des adventices. Les interactions génotype × milieu sont alors plus fréquentes et l'interprétation des résultats des essais comparatifs de rendement plus délicates lorsque le ou les facteurs limitants ne sont pas identifiés. L'efficacité de la sélection s'en trouve diminuée. Pour y pallier, il faudrait donc trouver des critères de sélection liés au rendement, mais moins affectés par le milieu de sélection.

Quels critères de sélection pour l'agriculture biologique ?

La sélection pour l'agriculture biologique nécessite de hiérarchiser et pondérer des critères de sélection nouveaux et plus nombreux qu'en sélection classique. Elle nécessite de gérer des contradictions, comme par exemple le choix d'augmenter la hauteur des plantes pour contenir les adventices en mesurant bien le risque lié à un couvert haut et dense potentiellement plus sensible à la verse et aux maladies du feuillage. Le travail du sélectionneur repose alors sur sa capacité à bien peser le « pour » et le « contre » en conservant des objectifs d'amélioration des rendements et de la valeur en panification, les plus stables possibles au cours des années. Ces arbitrages se réalisent en partie lors d'échanges réguliers avec les agriculteurs.

Après douze campagnes d'essais en agriculture biologique, la réflexion actuelle porte sur le choix de l'environnement de sélection le plus approprié pour la prise en compte de ses contraintes spécifiques. Entre la première option, celle d'une sélection dédiée, et la seconde, qui, dans un objectif de réduction des intrants, intègre constamment les critères spécifiques aux besoins de l'agriculture biologique, quel est le choix le plus rationnel et efficace ?

Les enseignements du programme « blé tendre » pour l'agriculture biologique

Le programme de création variétale blé tendre de l'INRA vise l'obtention de variétés rustiques pour les modes de production économes en intrants. Aux mesures de rendement en conduites intensives en mode « traité fongicides » et « non traité fongicides », nécessaires pour l'inscription au catalogue, s'ajoute une évaluation généralisée

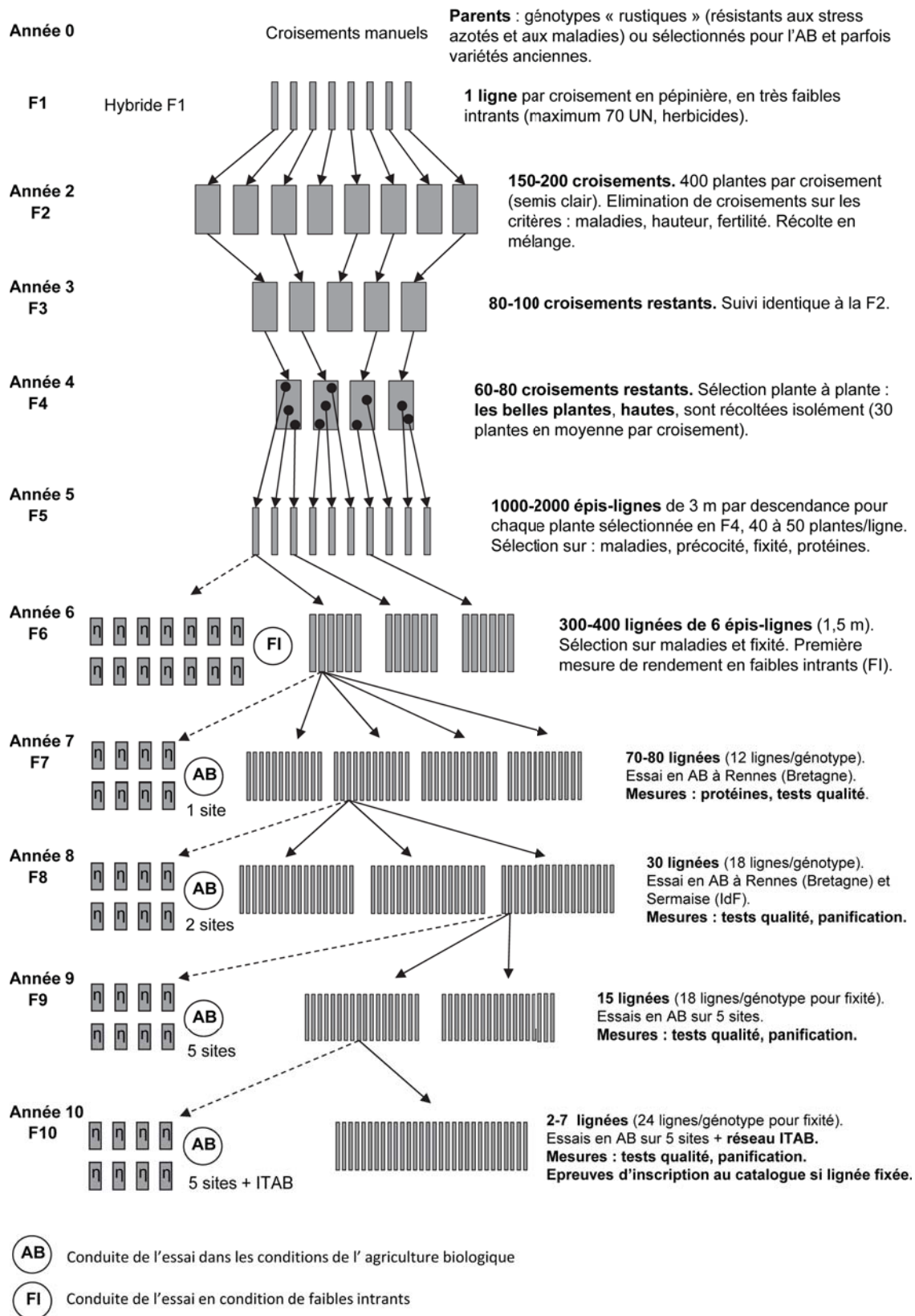


Figure 3. Stratégie de sélection généalogique, pour un blé tendre d'hiver destiné à l'agriculture biologique développée à l'INRA de Rennes - Le Rheu.

et préalable du rendement en conduite « faibles intrants » (fertilisation azotée réduite de 60 unités, ni fongicide ni régulateur) dès les générations F6 et F7. Ce type de sélection vise la productivité (produire mieux avec moins d'intrants) et non le productivisme (plus avec plus), avec l'ambition de maintenir des rendements élevés grâce à la recherche d'une valeur ajoutée biologique maximale.

Dans cette perspective, les objectifs du programme « blé tendre » de l'INRA pour l'agriculture biologique sont de produire plus et mieux, avec des blés panifiables même lorsque les teneurs en protéines sont faibles et plus couvrants pour concurrencer les adventices (Goyer *et al.*, 2005).

À la fin des années 1990 les interpellations des agriculteurs cultivant selon le cahier des charges de l'agriculture biologique étaient de plus en plus pressantes vis-à-vis de la recherche publique et notamment de son secteur « génétique et amélioration des plantes ». Pour tenter de répondre à ces demandes, l'équipe d'innovation variétale de l'INRA de Rennes a choisi d'adapter aux contraintes de l'agriculture biologique un schéma de sélection généalogique éprouvé. La sélection généalogique est caractérisée par la concomitance entre sélection créatrice et sélection fixatrice qui coexistent tout au long du processus (Bonjean et Picard, 1990). Elle conduit à l'obtention de variétés lignées pures. Dans le schéma utilisé à Rennes (fig. 3, page précédente) les plantes sont semées en mélange (bulk) pendant les premières générations puis en familles à partir de la cinquième. Le croisement initial est constitué de deux parents (parfois 3 ou 4), choisis parmi des lignées « rustiques », c'est-à-dire résistantes à la fois aux maladies, à la verse et aux stress azotés. Pendant les 5 années de sélection généalogique en pépinière, l'originalité porte sur le choix de plantes hautes, à fort pouvoir couvrant et multirésistantes aux maladies, qui ne seraient certainement pas conservées en sélection standard. La parcelle n'est pas conduite en agriculture biologique. La fertilisation azotée est limitée à 70 unités par hectare et les adventices, facteur de grande hétérogénéité en semis clair, sont contrôlées par un herbicide. A partir de la F7, les lignées sont évaluées en essais rendement et qualité en parcelles certifiées en agriculture biologique. Ce mode opératoire est voisin de celui adopté en Autriche par Saatzucht Donau (Löschenberger *et al.*, 2008).

Il est important d'indiquer que la sélection telle que pratiquée à l'INRA de Rennes s'inscrit dans une démarche volontariste, où la pression de

sélection est forte sur les lignées expérimentées. En effet, sur l'ensemble du processus de création variétale (au moins 10 ans) il y aura beaucoup plus de lignées écartées (entre 95 et 100%) que conservées. Cette démarche qui oriente très fortement la sélection apparaît donc sensiblement différente de celle qui repose sur la gestion de populations soumises à la sélection naturelle ou à une faible pression de sélection et dont le but est de produire sur le long terme des variétés populations adaptées aux conditions locales (Goldringer *et al.*, 1998 ; Witcombe et Virck, 2001 ; Desclaux, 2005).

Du tri des lignées rustiques aux croisements spécifiques

Initialement, pour repérer des lignées intéressantes pour l'agriculture biologique, un tri multilocal dans le pool des lignées « rustiques » sélectionnées pour les conduites économes en intrants a été réalisé par quatre équipes INRA (unités expérimentales de Lusignan, Le Moulon et Toulouse et unité de recherche de Rennes) en parcelles expérimentales chez des agriculteurs aux exploitations certifiées agriculture biologique, à partir de 2001 à Rennes puis 2002 dans les autres lieux (Rolland *et al.*, 2006 ; Rolland *et al.*, 2008). Dans trois régions il s'agit de systèmes de grandes cultures sans élevage tandis qu'en Bretagne les céréales sont produites dans une ferme laitière. Dans tous les sites les conduites des essais sont celles choisies par les agriculteurs et représentatives des conduites de culture régionales en agriculture biologique. À partir de 2005, les meilleures lignées pures ont été évaluées dans le réseau de criblage variétal coordonné par l'ITAB (Fontaine *et al.*, 2008).

Dans une deuxième phase, depuis 2004 sont réalisés chaque année entre 150 et 200 croisements dont 20 à 40 font appel à des géniteurs particuliers choisis pour l'agriculture biologique. Ces géniteurs sont les meilleures variétés du réseau ITAB ou issues d'échanges internationaux (projet COST860 et autres collaborations) et des génotypes de la sélection INRA.

Ainsi en 12 ans, d'un tri dans des descendance de croisements visant à l'obtention de lignées rustiques économes en intrants, la sélection a évolué vers le suivi en agriculture biologique de croisements spécifiques à celle-ci.

Importance renouvelée de l'efficacité de la concurrence vis-à-vis des adventices

Par ailleurs, la réflexion a intégré des aspects nouveaux, indissociables des contraintes rencontrées en agriculture biologique. Ainsi un programme retenu en 2006, cofinancé par le

Tableau 1. Classement des variétés selon leur effet sur la biomasse d'adventices (en g/m²) sur la moyenne de 5 essais en agriculture biologique (Bernicot *et al.*, 2010).

Variétés	Biomasse moyenne d'adventices (en g/m ²)	Groupes homogènes NK à 5%	
Caphorn	148	A	
Pegassos	115	A	B
Cézanne	110	A	B
Renan	106	A	B
Grandval	63		B

Fonds de Soutien à l'Obtention Végétale (FSOV) et commun à plusieurs partenaires de la filière, a eu pour finalité la hiérarchisation des critères importants vis-à-vis des adventices. Les nouvelles méthodes de gestion des adventices s'appuyant sur le désherbage mécanique et sur des méthodes plus agronomiques, comme la mise en place de rotations « nettoyantes », n'étant pas pleinement efficaces seules, ce programme avait pour objectif d'évaluer les capacités des variétés à lutter contre les adventices par elles-mêmes.

Cet aspect « variétal » de la gestion des adventices n'a pas été pris en compte dans la sélection végétale au cours des 50 dernières années, la maîtrise des adventices se faisant par l'utilisation d'herbicides. Or, il existe une variabilité génétique du comportement concurrentiel des variétés de blé vis-à-vis des adventices comme le montrent les résultats de l'étude FSOV (tabl. 1). La diminution de la biomasse d'adventices sous la variété Renan est de l'ordre de 30% par rapport à la variété Caphorn (variété à faible pouvoir couvrant) dans les conditions de l'agriculture biologique. Ici la variété de triticale Grandval est ici prise comme témoin à fort pouvoir couvrant.

Malgré l'existence d'une interaction forte variété × milieu d'essai, liée à l'importance du peuplement de plantes levées et à la nature différente des adventices, il ressort que la hauteur des variétés et leur pouvoir couvrant sont des caractéristiques prédictives de leur pouvoir concurrentiel (Fontaine *et al.*, 2008). Ces aspects restent toutefois dépendants des conditions de la levée et donc de la qualité de la semence. En outre, plusieurs autres facteurs interviennent dans la compétition face aux adventices tels que le port, la précocité de la montaison et sa vitesse (Bernicot *et al.*, 2010).

De nouvelles méthodes sont en cours d'élaboration afin de quantifier le pouvoir couvrant des variétés par des prises de vues suivies d'analyse d'images. Ce procédé, répété à différents stades du cycle du blé, permet de quantifier le pourcentage de « vert » ou de feuillage par

rapport à la surface de sol visible et aidera à terme à mieux comprendre la dynamique d'installation du couvert propre à chaque génotype. Ces informations permettront de mettre ainsi en place des méthodes de lutte adaptées aux variétés et aux adventices. En effet, au-delà de la seule agriculture biologique, pour une gestion durable de ces plantes indésirables, les solutions ne seront pas uniques, mais elles s'intégreront dans une démarche d'agronomie intégrale : coupler des rotations nettoyantes, des variétés compétitives, des semis plus tardifs et des opérations de désherbage chimique et/ou mécanique (Chevassus et Griffon, 2008).

Inscription au catalogue de deux variétés en agriculture biologique

Une autre étape a été franchie dernièrement pour que le travail de sélection arrive jusqu'aux agriculteurs. Il s'agit de l'adaptation des épreuves d'inscription VAT du CTPS en les ouvrant à une évaluation spécifique par des essais menés dans les conditions de l'agriculture biologique, pour pouvoir inscrire de nouveaux idéotypes au catalogue français.

Deux lignées créées par l'INRA, RE04073 et CF99102 ont été identifiées dans le réseau de criblage variétal coordonné par l'ITAB. Leurs résultats prometteurs lors des essais d'évaluation variétale ont permis d'entreprendre une démarche d'inscription au catalogue en les soumettant aux épreuves spécifiques VAT du CTPS, mises en œuvre par le GEVES. Elles ont été inscrites au catalogue sous les noms de Skerzzo et Hendrix. Lors de deux campagnes en 2010 et 2011, ces deux lignées ont été expérimentées et confrontées aux résultats de plusieurs témoins, sur 16 sites quadrillant le quart nord-ouest de la France dans les départements de l'Aisne (02), de l'Eure (27), d'Ille-et-Vilaine (35), l'Indre (36), du Loir-et-Cher (41), du Maine-et-Loire (49), du Pas-de-Calais (62), des Yvelines (78), de la Somme (80) et de l'Essonne (91).

Nous discuterons ici les principaux résultats obtenus lors de ces essais.

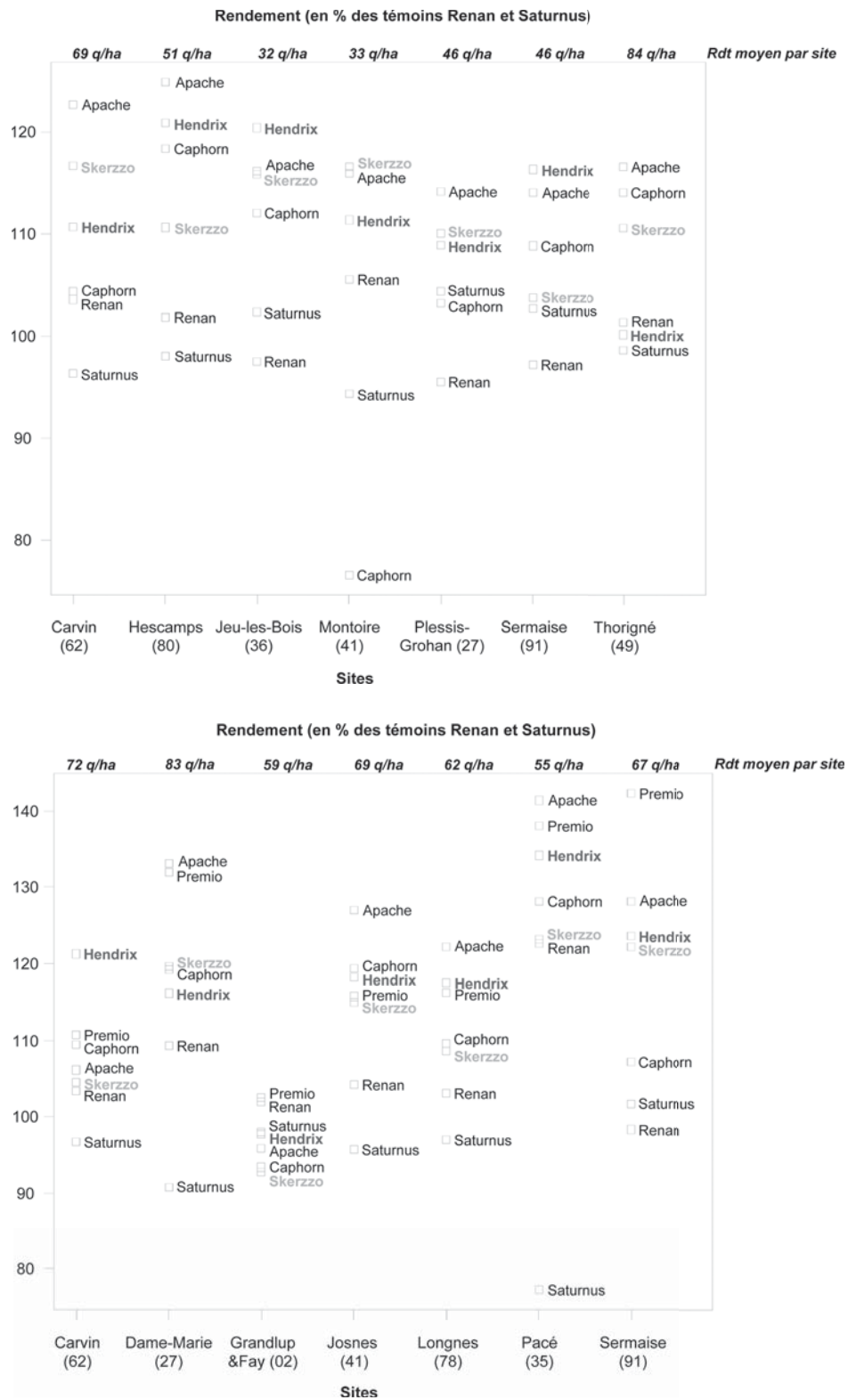


Figure 4. Classements des variétés en pourcentage du rendement moyen des 2 variétés témoins, selon les 7 sites accueillant les épreuves VAT du CTPS en 2010 (en haut) et 2011 (en bas).

Des rendements variables mais améliorés

La plupart des essais étaient situés dans des régions céréalières et dans le quart nord-ouest de la France, les rendements obtenus y étant en moyenne relativement élevés. Dans un premier temps de fortes différences de rendement entre sites sont relevées (fig. 4). Il existe des écarts importants entre Thorigné d'Anjou et Carvin (de 75 à 80 q/ha), et entre Jeu-les-Bois et Montoire (35 q/ha) pour 2010 ; de même entre Dame-Marie et Carvin (75 q/ha) et Grandlup-et-Fay dans l'Aisne (55 q/ha) en 2011. Ces résultats confirment que le mode de production en agriculture biologique fait ressortir la fertilité des milieux et exacerbe l'effet du site sur le potentiel de rendement.

La figure 4 permet d'apprécier les classements des variétés dans les différents sites. Les classements sont établis sur les valeurs de rendement rapportées aux performances des deux témoins Renan et Saturnus qui étaient les variétés les plus multipliées en agriculture biologique en 2009 (GNIS). Toutefois remarquons que la sensibilité à la rouille jaune d'un des deux témoins a pour effet de faire baisser leur moyenne. La variété Apache est en tête pour les rendements dans 8 essais sur 14. Cependant cette variété n'a pas réalisé les performances de panification qui lui ont valu son classement en blé panifiable supérieur (BPS) en conduite intensive standard. Elle a donc été très mal classée en panification en agriculture biologique et ne répond pas aux exigences de ce mode de culture (fig. 5).

En 2010, les lignées INRA ont obtenu, en moyenne sur sept lieux, des rendements de l'ordre de 112% des témoins. En 2011 et sur sept lieux toujours, ces valeurs élevées ont été confortées par des rendements respectivement équivalents à 118% (Hendrix) et 112% (Skerzso) des témoins. Ce sont ces performances ainsi que leurs résultats en panification qui ont permis l'inscription au catalogue de ces deux variétés INRA, avec la mention « agriculture biologique ». Cette procédure originale d'inscription de deux variétés dans les conditions de l'agriculture biologique constitue une première en France et ouvre la porte à des inscriptions futures en blé et pour d'autres espèces.

Des performances stables ?

L'une des questions posées est la stabilité des performances des génotypes selon les lieux, d'où la comparaison des classements sur le rendement des variétés selon les sites.

En 2010, les deux lignées INRA se situent le plus souvent entre Apache, qui obtient pratiquement partout le meilleur rendement, et les témoins Saturnus et Renan qui sont les moins productifs (exception faite de Caphorn qui décroche dans l'essai de Montoire). Elles ont des performances globalement similaires à celles de Caphorn. Il est toutefois possible de noter le recul de Hendrix à Thorigné (49) alors que ce dernier dépassait Apache à Sermaise (91). Les altérations des dernières feuilles d'Hendrix à Thorigné ont pu expliquer son comportement décevant.

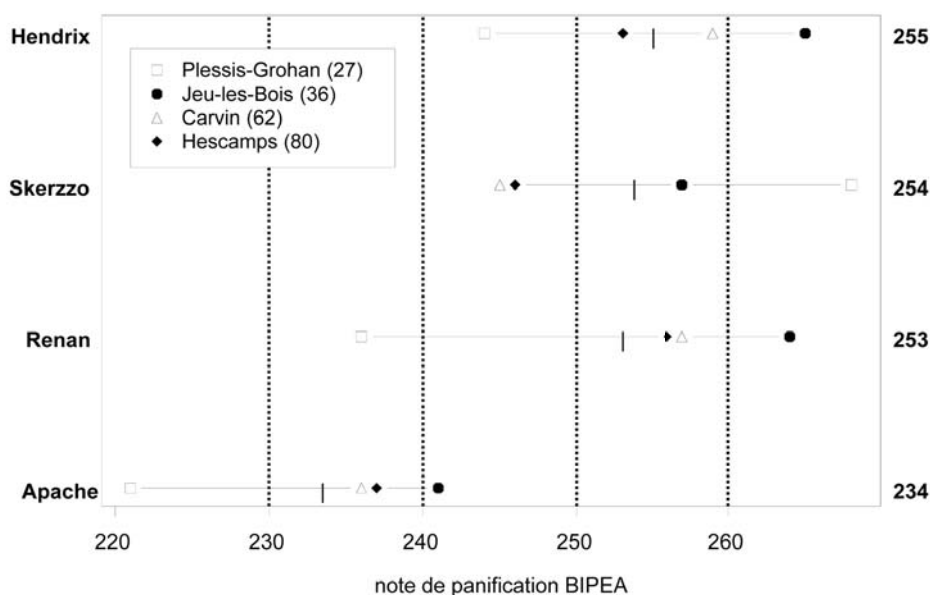


Figure 5. Notes de panification (test normé BIPEA) des variétés lors des analyses technologiques du CTPS sur la récolte 2010.



En 2011, ces classements sur le rendement apparaissent globalement stables à travers les différents sites, les variétés donnant des réponses pratiquement similaires à 2010 dans tous les lieux. En effet, hormis sur le site de Grandlup-et-Fay, Saturnus et Renan sont toujours derniers et Apache premier avec Premio très proche. Skerzso et Hendrix sont toujours bien positionnées, devant Renan et Saturnus mais derrière Apache.

Dans cette expérimentation l'effet lieu \times année semble jouer un rôle mineur dans la réponse des variétés à leur milieu. En effet, les classements des variétés sont stables entre 2010 et 2011. Hormis pour quelques rares cas, les lignées INRA présentent un gain de rendement par rapport aux deux témoins Renan et Saturnus,

dans tous les sites et au cours des deux années d'expérimentation. Au-delà de la variabilité inhérente à ce type d'expérimentation, il semble que les variétés répondent globalement de la même façon entre les différents sites au cours de ces deux années. En conséquence cette expérience ne révèle pas d'interactions Génotype \times Environnement fortes pour ces deux campagnes marquées par des printemps très secs.

Ces résultats donnent des indications sur les critères de sélection qu'il faudra développer en agriculture biologique. Sans permettre de trancher, ils ne vont pas dans le sens d'une nécessaire mise en place d'une sélection à l'échelle de petites régions, dont le coût serait par ailleurs considérable. Ce dernier point, qui s'inscrit dans

la thématique plus globale du choix de l'environnement de sélection, fait l'objet de nombreux débats qui conduisent à des avis partagés (Mason *et al.*, 2007 ; Murphy *et al.*, 2007 ; Przystalski *et al.*, 2008 ; Wolfe *et al.*, 2008 ; Löschenberger *et al.*, 2008 ; Annicchiarico *et al.*, 2010 ; Lammerts van Bueren *et al.*, 2011).

Pour essayer de répondre à ces questionnements, le groupe « innovation variétale » du département Génétique et amélioration des plantes de l'INRA entreprend actuellement des analyses sur une période plus longue et sur un nombre de variétés plus grand, afin de gagner en précision.

Conclusion

La sélection et l'inscription au catalogue d'Hendrix et Skerzoo sont une avancée pour l'agriculture biologique. Elles ouvrent la voie à de nouvelles variétés qui concrétiseront un idéal-type complet associant valorisation de l'azote, résistance aux maladies et à la verse, concurrence vis-à-vis des adventices, rendement et qualité boulangère – variétés que l'on cultivera seules ou en association (de Vallavieille-Pope *et al.*, 2006).

La question est posée de savoir si la sélection professionnelle peut relever le défi de l'agriculture biologique ou s'il faut changer complètement de paradigme.

Notre démarche s'appuie sur l'aspect intégratif du caractère « rendement » (Weiner et Freckleton, 2010). En effet en agriculture biologique, encore plus que dans les autres systèmes de culture, il synthétise et exprime l'aptitude d'un génotype à réagir face à l'ensemble des contraintes environnementales. Le sélectionneur éliminera à chaque génération les lignées défaillantes.

La sélection pour l'agriculture biologique était un domaine de recherche orphelin, en France encore plus qu'ailleurs. En conséquence elle bénéficie à court terme d'un grand potentiel d'innovation. Le progrès dans cette voie peut être d'autant plus rapide que ce domaine de recherche dispose de méthodes connues et éprouvées qu'il convient d'adapter. Il n'est en effet pas nécessaire de faire table rase du passé, une sélection avec des méthodes « classiques » peut être développée efficacement pour l'agriculture biologique, en partenariat avec les agriculteurs et les transformateurs.

Devant les défis qui se posent à une agriculture qui devra assurer la compatibilité entre le respect de l'environnement et les volumes produits, pourquoi ne pas parier sur le progrès génétique obtenu par la sélection végétale ? Celui-ci, mis au service de l'agriculture durable par un « contrat » global et pragmatique entre sélectionneurs privés et publics d'une part et agriculteurs d'autre part, ne pourrait-il pas être orienté dans l'intérêt du plus grand nombre ? C'est ainsi que procèdent les pays européens bien plus avancés que la France dans le domaine des agricultures alternatives, avec des opérateurs de sélection publics (RAC Changins en Suisse) ou privés (Saatzucht Donau en Autriche et P. Kuntz en Suisse).

Pour accompagner cette mécanique, il est souhaitable qu'en parallèle un important effort de recherche sur l'agroécologie soit mis en œuvre (Vanloqueren et Baret, 2009). En effet, les solutions ne seront pas uniques mais intégrées à une dynamique globale de recherche constante de l'innovation dans laquelle l'agriculture biologique sera le catalyseur ■

Remerciements

Les auteurs remercient l'ensemble des expérimentateurs de l'INRA (équipes des unités expérimentales d'Auzeville, de Lusignan, du Moulon et de Rennes ainsi que celles de l'UMR de Rennes), ceux d'Agri-Obtentions et des chambres d'agriculture (Maine-et-Loire, Pas-de-Calais, Ile-de-France et Picardie), ainsi que les collègues d'Arvalis-Institut du Végétal (Jeu-les-Bois et Ouzouer-le-Marché) et du GRAB de Haute-Normandie. L'étude VAT du CTPS en agriculture biologique a été coordonnée par le GEVES et l'ITAB.

Nos travaux, qui avaient été initiés avec l'appui de Bertil Sylvander du CIAB INRA, sont soutenus depuis plus de dix ans par l'ITAB et InterBio Bretagne.

Nous remercions également les agriculteurs qui, en Bretagne, dans le Poitou et en Ile-de-France, accueillent ces expérimentations de l'INRA depuis douze ans dans leurs fermes certifiées en agriculture biologique, et, enfin, les relecteurs exigeants que furent Violette le Féon, Eflamm an Intanv, Philippe Viaux, Jean-Luc Pujol, Anne Judas et Laurent Saur.

Références bibliographiques

- Agence Bio, 2011. L'agriculture biologique, chiffres clés. Édition 2011.
- 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.
- Bernicot M.-H., Rolland B., Fontaine L., Lécuyer J., 2010. Wheat varieties in competition with weeds for sustainable agriculture, in particular organic farming. In: Breeding for resilience : a strategy for organic and low-input farming systems? *EUCARPIA 11th Conference of the "Organic and Low-Input Agriculture" Section*, December 1-3, Paris, France, 77-80.
- Bonjean A., Picard E., 1990. Les céréales à pailles : origines, histoire, économie, sélection, Softword, 205 p.
- Bouchard C., Bernicot M.H., Félix I., Guérin O., Omon B., Loyce C., Rolland B., 2008. Associer des itinéraires techniques de niveau d'intrants variés à des variétés rustiques de blé tendre : évaluation économique, environnementale et énergétique. *Le Courrier de l'Environnement de l'INRA*, 55, 49-77.
- Brancourt-Hulmel M., Doussinault G., Lecomte C., Bérard P., Le Buanec B., Trottet M., 2003. Genetic improvement of agronomic traits of winter wheat cultivars released in France from 1946 to 1992. *Crop Science*, 43, 37-45.
- Brisson N., Gate P., Gouache D., Charmet G., Oury F.X., Huard F., 2010. Why are wheat yields stagnating in Europe? A comprehensive data analysis for France. *Field Crops Research*, 119, 201-212.
- Ceccarelli S., 1996. Adaptation to low/high input cultivation. *Euphytica*, 92, 203-214.
- 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.
- Desclaux D., 2005. Participatory plant breeding methods for organic cereals: review and perspectives. In: Lammerts van Bueren E.T., Goldringer I., Østergård H. (Eds.), *Proceedings of the COST SUSVAR/ECO-PB Workshop on organic plant breeding strategies and the use of molecular markers*, 17-19 January 2005, Driebergen, The Netherlands. Louis Bolk Institute, Driebergen.
- Desclaux D., Nolot J.M., Chiffolleau Y., Gozé E., Leclerc C., 2008. Changes in the concept of genotype x environment interactions to fit agriculture diversification and decentralized participatory plant breeding: pluridisciplinary point of view. *Euphytica*, 163, 533-546.
- Fontaine L., Rolland B., Bernicot M.H., 2008. Contribution to organic breeding programmes of wheat variety testing in organic farming in France. *Proceedings XVIth IFOAM Organic World Congress, IInd ISOFAR scientific Conference*, 18-20 June 2008, Modena, Italy. vol. 1, 692-695.
- FranceAgrimer, 2011a. *Flash info Bio, mars 2011*, 2 p.
- FranceAgrimer, 2011b. Variétés et rendement des céréales biologiques. Récolte 2010, 7 p.
- FranceAgrimer, 2012a. *Flash info Bio, février 2012*, 2 p.
- FranceAgrimer, 2012b. *Bilans prévisionnels Blé dur, Blé tendre, Orges et Maïs pour la campagne 2011-2012*, 10 juillet 2012, 4 p.
- FranceAgrimer, 2012c. *Variétés de blés tendres. Enquête 2012*, 8 p.
- Garnier J.F., 2011. Grandes cultures biologiques sans élevages. Analyse technico-économique de rotations. *AlterAgri*, 108.
- Goffaux R., Goldringer I., Bonneuil C., Montalent P., Bonnin I., 2011. *Quels indicateurs pour suivre la diversité génétique des plantes cultivées? Le cas du blé tendre cultivé en France depuis un siècle*. Rapport FRB, Série expertise et synthèse, 2011, 44 p.
- Goldringer I., Paillard S., Enjalbert J., David J.L., Brabant P., 1998. Divergent evolution of wheat populations conducted under recurrent selection and dynamic management. *Agronomie*, 18, 413-425.
- Goldringer I., Prouin C., Rousset M., Galic N., Bonnin I., 2006. Rapid differentiation of experimental populations of wheat for heading-time in response to local climatic conditions. *Annals of Botany*, 98, 805-817.
- Goyer S., Al Rifai M., Bataillon P., Gardet O., Oury F.X., Rolland B., 2005. Selection index for bread wheat cultivars suitable for organic farming. In: Lammerts van Bueren E.T., Goldringer I., Ostergard H. (Eds), 2005. *Proceedings of the COST SUSVAR/ECO-PB Workshop on Organic Breeding Strategies and the Use of Molecular Markers*. Driebergen, The Netherlands, 17-19 January 2005, Louis Bolk Institute, Driebergen, p. 84.
- Guichard L., Munier-Jolain N., Omon B., Mischler P., Viaux P., Guindé L., Guérin O., Villard A., Delos M., Debaeke P., Brunet N., Rolland B., 2009. *Vers des systèmes de culture économes en produits phytosanitaires : analyse comparative et conception d'un réseau d'acquisition de références*. Étude multi-partenaire pilotée par L'INRA, t. II : Grandes cultures. Ministère de l'Agriculture et de la pêche (Programme 215, sous-action 22), MEEDDAT, 166 p.
- ITAB, 2011. *Rotations en grandes cultures biologiques sans élevage. 8 fermes-types, 11 rotations*. Repères agronomiques, économiques, techniques et environnementaux. Rapport d'étude du programme CASDAR n°70 55 RotAB (L. Fontaine coord.), 132 p.
- INTERBIO Bretagne, 2010. *Résultats d'expérimentations et de suivis techniques « Grandes cultures » en agrobiologie en Bretagne*, 23 p.

- Lafitte H.R., Edmeades G.O., 1994. Improvement for tolerance to low soil nitrogen in tropical maize: selection criteria. *Field Crops Research*, 39, 1-14.
- 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.
- Löschenberger F., Fleck A., Grausgruber H., Hetzendorfer H., Hof G., Lafferty J., Marn M., Neumayer A., Pfaffinger G., Birschtzky J., 2008. Breeding for organic agriculture: example for winter wheat in Austria. *Euphytica*, 163, 469-480.
- Mason H., Navabi A., Frick B., O'Donovan J., Niziol D., Spaner D., 2007. Does growing Canadian Western Hard Red Spring wheat under organic management alter its breadmaking quality? *Renewable Agriculture and Food Systems*, 22, 157-167.
- 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.
- ONIC, 2008. *La répartition variétale des blés tendre d'hiver. Enquête ONIC-ARVALIS-Institut du végétal.*
- Oury F.X., Godin C., Mailliard A., Chassin A., Gardet O., Giraud A., Heumez E., Morlais J.-Y., Rolland B., Rousset M., Trottet M., Charmet G., 2012. A study of genetic progress due to selection reveals a negative effect of climate change on bread wheat yield in France. *European Journal of Agronomy*, 40, 28-38.
- Prieur L., Justes E., 2006. Disponibilité en azote issue de l'effet du précédent légumineuse, de culture intermédiaire et d'engrais organique. *AlterAgri*, 80, 13-17
- Raynal C., Nicolardot B., 2006. Une meilleure connaissance des engrais et amendements organiques utilisés en bio. *AlterAgri*, 79, 14-17
- Rolland B., Nolot J.M., 1989. *Deux cents ans de culture du blé en région toulousaine*. Note rédigée à l'occasion du centenaire du lycée agricole d'Ondes (juin 1989).
- Rolland B., Bouchard C., Loyce C., Meynard J.M., Guyomard H., Lonnet P., Doussinault G., 2003. Des itinéraires techniques à bas niveaux d'intrants pour des variétés rustiques de blé tendre: une alternative pour concilier économie et environnement. *Courrier de l'environnement de l'INRA*, 49, 47-62.
- Rolland B., Oury F.X., Bouchard C., Loyce C., 2006. Vers une évolution de la création variétale pour répondre aux besoins de l'agriculture durable ? L'exemple du blé tendre. *Les Dossiers de l'Environnement de l'INRA, Quelles variétés et semences pour des agricultures paysannes durables ?*, 30, 79-90.
- Rolland B., Al Rifaï M., Bataillon P., Fontaine L., Gardet O., Oury F.X., 2008. Wheat trials networks for determining characters for organic breeding. Proceedings XVIth IFOAM Organic World Congress, IInd ISO FAR scientific Conference, 18-20 June 2008, Modena, Italy, 692-695
- Secrétariat de la Convention de la diversité biologique, 2006. *Global Biodiversity Outlook II*. Perspectives mondiales de la diversité biologique, 2^e éd., Montréal, 91 p.
- Secrétariat de la Convention de la diversité biologique, 2010. *Global Biodiversity Outlook III*, 2010. Perspectives mondiales de la diversité biologique, 3^e éd., Montréal, 94 p.
- de Vallavieille-Pope C., Belhaj Fraj M., Mille B., Meynard J.M., 2006. Les associations de variétés : accroître la biodiversité pour mieux maîtriser les maladies. *Dossier de l'Environnement de l'INRA n° 30, Quelles variétés et semences pour des agricultures paysannes durables ?*, 101-109.
- Vanloqueren G., Baret P.V., 2009. How agricultural research systems shape a technological regime that develops genetic engineering but locks out agroecological innovations. *Research Policy*, 38, 971-983.
- Weiner J., Freckleton R. P., 2010. Constant final yield. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 41, 173-192
- Witcombe J.R., Virck D.S., 2001. Number of crosses and population size for participatory and classical plant breeding. *Euphytica*, 122, 451-462
- Wolfe M.S., Baresel J.P., Desclaux D., Goldringer I., Hoard 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.



Culture traditionnelle d'ignames aux Antilles. Photo Gérard Hostache, Photothèque INRA.