

Vers une évolution de la création variétale pour répondre aux besoins de l'agriculture durable ? L'exemple du blé tendre

Bernard Rolland¹, François-Xavier Oury², Christine Bouchard³ et Chantal Loyce³

¹ INRA UMR APBV, BP 35327, 35653 Le Rheu cedex ; *brolland@rennes.inra.fr*

² INRA UMR ASP, 234 avenue du Brézet, 69039 Clermont-Ferrand cedex 2 ; *oury@clermont.inra.fr*

³ INRA / INA P-G, UMR Agronomie – 78850 Thiverval-Grignon ; *bouchard@grignon.inra.fr* ; *loyce@grignon.inra.fr*

Cet article vise à faire le point, au niveau de la création variétale, sur la contribution de la génétique et de l'amélioration des plantes pour répondre à la demande de systèmes de culture utilisant moins d'intrants mais productifs pour une agriculture durable¹. Les travaux de génétique et d'amélioration des plantes se conçoivent ici en interaction étroite avec ceux des disciplines de l'agronomie, au sens large, avec l'appui d'une analyse économique. L'offre variétale actuelle en blé tendre d'hiver et les travaux récents sur les itinéraires techniques pour variétés rustiques nous serviront d'exemple et de base de discussion.

1. Une céréaliculture française très consommatrice d'intrants chimiques

Le blé tendre d'hiver couvre en 2005 presque 4,9 millions d'hectares pour une surface en céréales, oléagineux et protéagineux (SCOP) totale de 13,6 millions d'hectares et une surface agricole utilisée (SAU) de 30 millions d'hectares. Il représente parfois plus du tiers de l'assolement des exploitations céréalières. Le rendement moyen national est, avec 73 q/ha (moyenne 2000-2004), l'un des plus élevés au monde.

Selon l'enquête de l'Office national interprofessionnel des céréales (ONIC) de juin 2005, les variétés rustiques, multirésistantes et productives, représentent 20 % des superficies en blé tendre (réparties entre 50 cultivars dont 10,5 % pour le seul Caphorn), mais il est impossible d'estimer la part de ces variétés en conduite intégrée². Aujourd'hui encore, la plupart des blés tendres sont conduits en système intensif peu raisonné. Ainsi, en 2001, selon les régions, de 30 à 40 % des superficies ne faisaient l'objet de l'utilisation d'aucun outil d'ajustement de la fertilisation azotée minérale aux besoins du peuplement (Rabaud, 2005). En ce qui concerne l'utilisation des produits phytosanitaires, l'itinéraire technique comporte en moyenne deux désherbants, trois fongicides, un insecticide et un régulateur de croissance. Par rapport à 1994, année comparable à 2001 du point de vue du contexte climatique et parasitaire, le blé tendre reçoit en 2001 trois traitements de plus, dont au moins un désherbant et un fongicide supplémentaires. Toutefois, les principales matières actives utilisées sur le blé tendre voient leurs doses d'application diminuer (Rabaud, 2003). La lutte contre les maladies est essentiellement chimique, pilotée en stratégie d'assurance : en 2002, 2,1 traitements fongicides ont été réalisés en moyenne sur les céréales à paille (14,5 millions d'hectares en surfaces déployées), mais 1,8 en 2003 et 2,2 en 2004 (dont 1,25 pour les strobilurines). La tendance est à la diminution du nombre de passages du fait des printemps secs de 2002 à 2005. Par ailleurs, on assiste à une rapide perte

¹ L'agriculture durable est l'application à l'agriculture de la définition du développement durable donnée par la Conférence de Rio en 1992, c'est-à-dire une agriculture respectueuse des générations futures : efficiente économiquement, socialement équitable, écologiquement saine.

² L'agriculture intégrée est basée sur une approche globale de l'exploitation en remplaçant au maximum des intrants extérieurs par des processus naturels de contrôle ou de régulation. Elle cherche à minimiser l'utilisation d'intrants en jouant sur le système de production lui-même, pour réduire, entre autre, les risques parasitaires (Viaux, 1999).

d'efficacité des matières actives récentes comme les strobilurines sur septoriose et oïdium (Leroux *et al.*, 2005).

Par ailleurs, l'orge fait l'objet d'un itinéraire technique proche de celui du blé tendre. Le triticale, quant à lui, est cultivé avec moins d'intrants que le blé sur une superficie de 280 000 hectares, surtout en régions d'élevage (Massif armoricain et Massif central). Les céréales à paille cultivées en agriculture biologique sont estimées, en 2004, à 80 000 hectares, dont environ 30 000 ha de blé tendre en culture pure.

L'agriculture de certains pays européens offre un visage différent. Ainsi, au Danemark, pays de l'intensification, les quantités de matières actives pesticides utilisées ont été réduites de 40 % entre 1986 et 1996 en grandes cultures, par une incitation à l'évolution des pratiques et un recours à la taxation. L'objectif danois pour 2004-2009 est, en considérant qu'une réduction du nombre de traitements de 30 à 40 % pourrait être effectuée sans impact économique majeur pour les exploitants agricoles, de réduire l'indice de fréquence des traitements (TFI) de 2,04 à 1,7 contre 2,67 au début des années 1980 (Petersen, 2003). En Suisse, 10 % des surfaces agricoles sont en agriculture biologique et 86 % en production intégrée (Fossati *et al.*, article dans ce dossier, p. 91), et l'Autriche présente des chiffres assez proches, respectivement 9 et 70 %. Les Italiens ont fait le choix de l'agriculture biologique, qui représente 1 200 000 hectares, soit 8 % de la SAU. Concernant les pays de l'Est, nouveaux entrants dans l'Union européenne, la tendance serait par contre à l'intensification des systèmes actuels ; mais ceux-ci correspondent à des systèmes à très bas niveaux d'intrants et l'on ne peut dire à l'heure actuelle jusqu'où ira cette intensification.

Treize ans après la réforme Mac Sharry de la PAC, les modes de production français des céréales à paille n'ont pas beaucoup évolué vers une agriculture plus durable : extension de la monoculture, augmentation du nombre de traitements phytosanitaires, pollution de vastes bassins versants par les nitrates et les pesticides, d'une part, et concentration des exploitations, marchandisation des droits à primes SCOP, d'autre part. La production est toujours le fait d'une agriculture qui valorise peu les mécanismes biologiques de maîtrise des maladies et des adventices ainsi que les techniques culturales économes en azote et en eau.

Par ailleurs, le contexte est devenu de plus en plus incertain. En effet, des inquiétudes nouvelles et fortes se font jour vis-à-vis de l'agriculture : toxicité des pesticides, sécurité sanitaire des aliments, dégradation des ressources naturelles communes dont les paysages, augmentation du prix de l'azote minéral (+25 % en 2005), ouverture au marché mondial, etc., sans oublier un revenu des céréaliers constitué à 90 % par l'argent du contribuable européen (primes PAC), donc tributaire de décisions politiques et de cours mondiaux.

2. Les enjeux pour la sélection variétale et l'offre variétale en 2005

Le travail de sélection végétale se fait sur un pas de temps d'au moins dix ans, du croisement à l'inscription au catalogue. Aussi un cadrage prospectif et la définition d'orientations stratégiques devraient éclairer les choix à faire au départ des programmes de création variétale mais également dans l'évolution du système d'inscription des variétés. Ainsi, parmi les questions posées, on peut s'interroger sur le niveau respectif des prix des intrants (engrais et produits phytosanitaires) et des céréales à paille en 2015, lorsque le renchérissement de l'énergie jouera sur le prix des intrants chimiques... et sur celui du désherbage mécanique. On peut aussi se demander quelle sera l'évolution de la réglementation concernant l'usage des pesticides, avec l'éco-conditionnalité des aides publiques et la taxation ? Le facteur 4³ sera-t-il mis en œuvre ? Quelle sera la part des biocarburants, et en conséquence, quelle concurrence existera entre cultures alimentaires et cultures industrielles ?

La réalisation de tout ou partie de ces hypothèses amènera à des évolutions qui pourront être radicales et exiger une grande diversification de l'offre variétale en blé.

Face à ces enjeux, quel est aujourd'hui le panorama de l'offre variétale dans le cas du blé tendre d'hiver ? Chaque année, 15 à 20 nouvelles variétés de blé tendre d'hiver sont inscrites au catalogue

³ Objectif, inscrit à l'agenda international, de réduction d'un facteur 4 du contenu en matières premières et en énergie fossile du PIB à un horizon de quelques décennies (2050)

français par une vingtaine d'établissements semenciers européens. Ces variétés sont, pour la plupart d'entre elles, sélectionnées par des méthodes généalogiques classiques. Seules deux ou trois connaîtront un succès commercial, les obtenteurs considérant que la création variétale est amortie, sur plusieurs années, à partir de 10 000 hectares de multiplication de semences certifiées.

Pour la campagne 2004-2005, selon l'enquête annuelle de l'ONIC, les quatre variétés les plus cultivées (Apache, Caphorn, Charger et Orvantis) totalisaient 42 % de la sole. Les dix premières variétés représentaient 61,7 % de la sole en blé tendre d'hiver (fig. 1), les 38,3 % restants se répartissant entre plus de 360 génotypes différents. En 1995, les quatre premières variétés (Soissons, Sidéral, Ritmo et Trémie) représentaient 58 % de la sole.

En 2004-2005, 99 variétés sont multipliées sur au moins 100 hectares, par rapport à un total de plus de 230 variétés pour 82 000 hectares de multiplications. Ainsi, le principal verrou à la diversification ne se situerait pas au niveau de l'offre variétale (nombre de variétés multipliées) mais au niveau du marché.

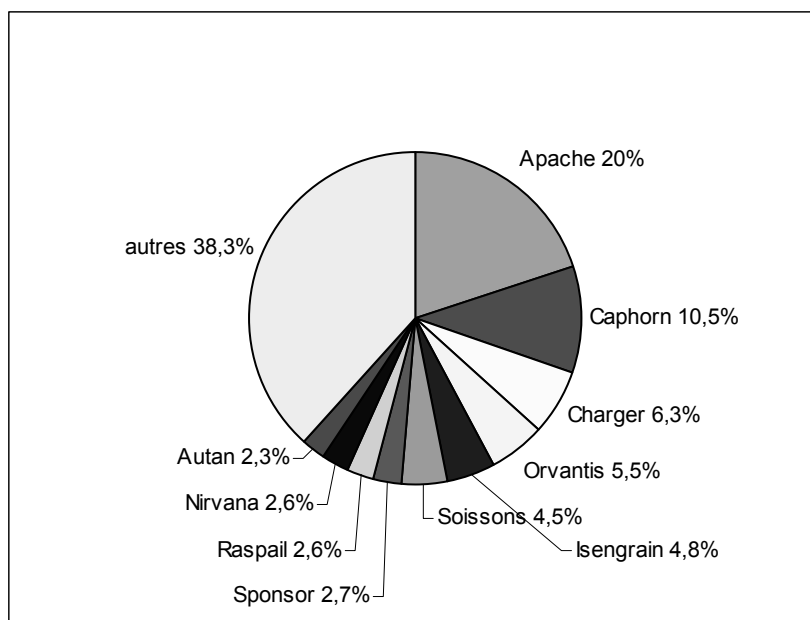


Figure 1. Répartition des variétés de blé tendre sur la sole française pour la campagne 2004-2005

3. La valorisation de variétés multirésistantes aux maladies par des itinéraires techniques économes en intrants

Des alternatives variétales existent, issues du travail du secteur semencier public et privé, avec des variétés offrant un bon compromis entre productivité et résistance aux maladies. De 2000 à 2002, un réseau de 13 essais en stations expérimentales mis en place par l'INRA, le GIE de sélectionneurs Club des 5⁴ et l'ITCF a permis de croiser 4 itinéraires techniques (ITK) de niveaux d'intrants variés (tab. 1) avec 5 ou 6 variétés, dont 3 témoins présents sur tous les essais – Trémie et Isengrain représentant les types variétaux productifs et plutôt sensibles aux maladies, Oratorio étant caractéristique des variétés multirésistantes aux maladies et à la verse. Depuis 2003, le protocole a été réduit à deux conduites (ITK 2 et 3), et 3 variétés témoins – Orvantis du type variétal productif et assez sensible aux maladies, Apache de type intermédiaire et Caphorn pour le type rustique résistant –

⁴ C.C. Benoist, SERASEM, F. Desprez, Verneuil-Nickerson.

ceci pour élargir l'expérimentation à un plus grand nombre de sites suivis par les chambres d'agriculture et Arvalis Institut du Végétal.

Tableau 1. Description des itinéraires techniques

Itinéraire technique	Densité de semis	Dose d'azote (kg/ha)	Fractionnement de l'azote (kg/ha)			Nombre de régulateurs de croissance	Nombre de traitements fongicides
			Sortie hiver	Epi 1 cm	Gonflement		
1	D _{rec}	Bil + 30	30	Bil-30	30	1 ou 2	2 ou 3
2	D _{rec}	Bil	30	Bil-60	30	1	2
3	0,6 x D _{rec}	Bil-30		Bil-60	1/3 X3 et au moins 40 N	0	1
4	0,6 x D _{rec}	Bil -60		Bil-90	30 au moins 40 N ?	0	0

D_{rec} : densité recommandée (de 250 à 350 grains/m² selon la date de semis et la région).

Bil : dose d'azote calculée à partir de la méthode du bilan prévisionnel.

Le couple variété rustique-conduite à intrants réduits (semis clair et demi-tardif, pas d'apport d'azote au tallage, pas de régulateur de croissance, réduction de l'azote et des fongicides) offre régulièrement de meilleures marges brutes tout en limitant les risques économiques (Rolland *et al.*, 2003 ; Félix *et al.*, 2005 ; Rolland *et al.*, 2005).

En 2005, trente essais suivis dans un grand tiers nord-ouest de la France ont été analysés. Les potentiels de rendement, de 65 à 100 q/ha, sont représentatifs de la diversité des situations régionales, tant pour la grande diversité de précédents (à l'exception des blés sur blé) que pour le travail du sol (9 situations sur 32 en non labour).

L'écart de rendement entre intensif raisonné (ITK2) et intégré (ITK3) est compris entre 4 et 8 q/ha ; il est du même ordre que les années passées. En 2005, on observe peu de différences de classement entre variétés. La baisse de rendement observée entre conduites est moindre que celle attendue (10 q/ha). La teneur en protéines est plus faible en ITK3, avec une baisse atténuée pour la variété Caphorn. L'écart de charges opérationnelles entre les deux itinéraires est en moyenne de 110 €/ha. La différence de marge brute est de 40 €/ha entre l'ITK2 et l'ITK3, en faveur de l'ITK3. Entre Apache en ITK3 (Apache3) et Apache en ITK2 (Apache2), le gain de marge s'élève en moyenne à 40 €/ha et entre Caphorn en ITK3 (Caphorn3) et Caphorn en ITK2 (Caphorn2) à 30 €/ha (tab. 2).

Tableau 2. Comparaisons 2005 : valeurs moyennes sur 30 essais

	Apache3 - Apache2	Caphorn3 - Caphorn2	Orvantis3 - Orvantis2	Caphorn3 - Apache2	Caphorn3 - Orvantis3	Caphorn3 - Orvantis2
rendement	- 7 q	- 8 q	- 8 q	- 4 q	+ 1 q	- 6 q
protéines	- 0,3 %	- 0,2 %	- 0,3 %	- 0,2 %	+ 0,4 %	+ 0,1 %
charges opé.	- 110€/ha	- 110€/ha	- 110€/ha	- 110€/ha	=	- 110€/ha
marge à 8,6€/q	+50€/ha	+40€/ha	+45€/ha	+80€/ha	+20€/ha	+60€/ha
marge à 10€/q	+40€/ha	+30€/ha	+35€/ha	+70€/ha	+20€/ha	+50€/ha

Par ailleurs, l'itinéraire le plus intensif, destiné à exprimer le rendement potentiel, a disparu du réseau au bout de 3 ans d'expérimentation, faute d'intérêt économique avec les niveaux actuels de prix. À l'inverse, l'itinéraire technique 4 qui va plus loin dans les réductions d'intrants (réduction d'azote de 30 kg/ha par rapport à l'ITK3 et pas de fongicide) procure, dans certaines situations, les meilleures marges brutes. Enfin, ces résultats montrent que le rendement exprimé en quintaux par hectare n'est pas l'unité de mesure la plus pertinente pour comparer les performances des couples variété-itinéraire technique : un « rendement économique » en euros par hectare devrait bientôt le remplacer (par

exemple, la marge brute). La recherche d'un optimum économique, compatible avec le respect de l'environnement, se substituera à celle d'un maximum biologique.

Le positionnement de certains prescripteurs a évolué récemment quant à la perception du fait variétal⁵. Toutefois, de nombreux obstacles subsistent, par exemple les modèles agronomiques d'aide à la décision, élaborés en systèmes peu limitants du rendement, doivent être paramétrés pour des peuplements peu denses et temporairement carencés en azote.

4. Comparatif des performances variétales en agriculture biologique et en conduite à faibles intrants

Depuis 2002, l'INRA a entrepris d'évaluer dans les conditions de l'agriculture biologique les variétés⁶ rustiques de blé tendre sélectionnées pour des conduites à intrants réduits.

Après deux années pilotes en 2002 et 2003, cette étude est conduite à partir d'un dispositif multilocal et pluriannuel (2004 et 2005) qui associe généticiens, agronomes et agriculteurs en partenariat avec l'ITAB. Les parcelles d'expérimentations sont suivies chez des agriculteurs certifiés en agriculture biologique en Bretagne, Île-de-France, Midi toulousain et Poitou. Seul l'essai breton est en polyculture-élevage, les trois autres étant en système céréalier. Le réseau d'essais comporte 30 variétés dont 15 variétés préconisées par l'ITAB (10 étrangères sont issues des sélections suisse, allemande et autrichienne), 10 lignées sélectionnées par l'INRA en conduite faibles intrants et de bonne valeur boulangère, 2 témoins agronomiques et 3 témoins rustiques.

Les résultats portent sur les caractéristiques comportementales des variétés vis-à-vis des maladies, des adventices, de la nutrition azotée, du rendement et de la qualité boulangère (tab. 3 et 4).

Ces mêmes 30 variétés sont conduites en faibles intrants (densité de semis et fertilisation azotée réduites, un herbicide, pas de régulateur de croissance, pas de fongicide, exceptionnellement un insecticide) sur les 4 unités expérimentales INRA proches des sites des essais en AB (Le Moulon, Lusignan, Rennes et Toulouse). Cette conduite correspond à l'ITK4 du réseau variétés rustiques. Les objectifs de rendement sont compris entre 70 et 80 q/ha.

Tableau 3. Conditions culturales des essais 2004 en agriculture biologique

Lieu	en AB depuis	Précédent	fertilisation N	rendement agriculteur
Sermaise (91)	1999	trèfle violet	0	60 q/ha
Saint-Vincent (79)	1997	Tournesol	60 kg/ha1	35 (triticale)
Rennes (35)	1992	Betterave	0	55 (Renan)
Toulouse (31)	1997	Fève	80 kg/ha	50 q/ha

Tableau 4. Conditions culturales des essais 2005 en agriculture biologique

Lieu	précédent	Fertilisation N	Rendement agriculteur
Sermaise (91)	colza	0	45 q/ha (Renan)
Saint-Vincent (79)	tournesol	70 kg/ha1	55-60 q/ha (Renan)
Rennes (35)	trèfle violet	0	55-60 q/ha (Renan)
Toulouse (31)	tournesol	40 kg/ha	-

⁵ « Choisir ses variétés 2004 », publication Arvalis Institut du végétal.

⁶ Lignées pures.

En 2004, à Rennes et Sermaise (Ile-de-France), le potentiel du milieu et une bonne maîtrise agronomique ont autorisé des rendements élevés compris entre 60 et 70 q/ha, résultat à comparer avec le rendement moyen de plus de 80 q/ha en conduite faibles intrants. Les maladies (piétin verse, rouille jaune et septoriose), bien contrôlées par la résistance des variétés et la disponibilité réduite en azote, ont eu une faible nuisibilité. Dans le Poitou, à Saint-Vincent, avec un potentiel pédoclimatique plus faible, le rendement moyen est de 35 q/ha, contre plus de 70 q/ha en intrants réduits. Sur le site toulousain, le rendement moyen est intermédiaire (50 q/ha) avec peu de différences entre agriculture biologique et conduite faibles intrants.

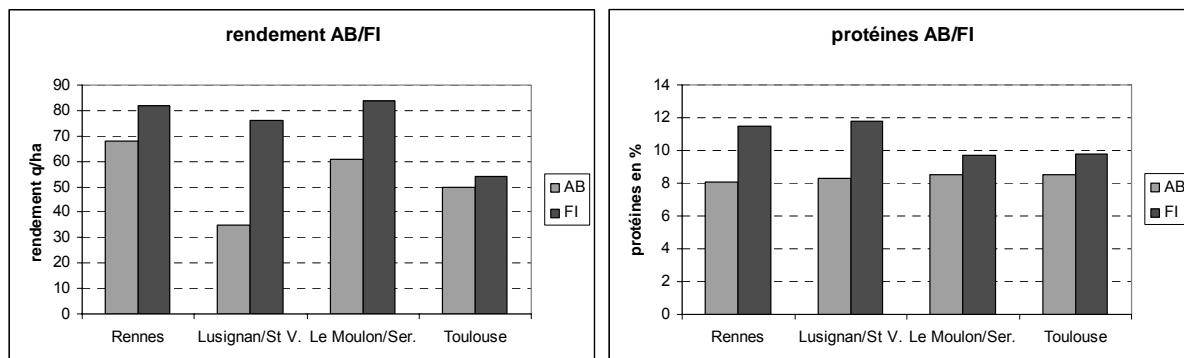


Figure 2. Rendements et teneurs en protéines pour les conduites agriculture biologique (AB) et faibles intrants (FI) en 2004

D'après un diagnostic agronomique, dans nos conditions d'expérimentation en AB, le principal facteur limitant le rendement était la nutrition azotée ; les teneurs en protéines s'en sont ressenties (fig. 2).

La comparaison des performances obtenues dans les deux conduites en 2004, pour les quatre lieux du réseau, donne des coefficients de détermination compris entre 0,25 et 0,40 pour le rendement : les interactions variétés \times conduites sont donc importantes et occasionnent des différences de comportement des génotypes en agriculture biologique et en faibles intrants.

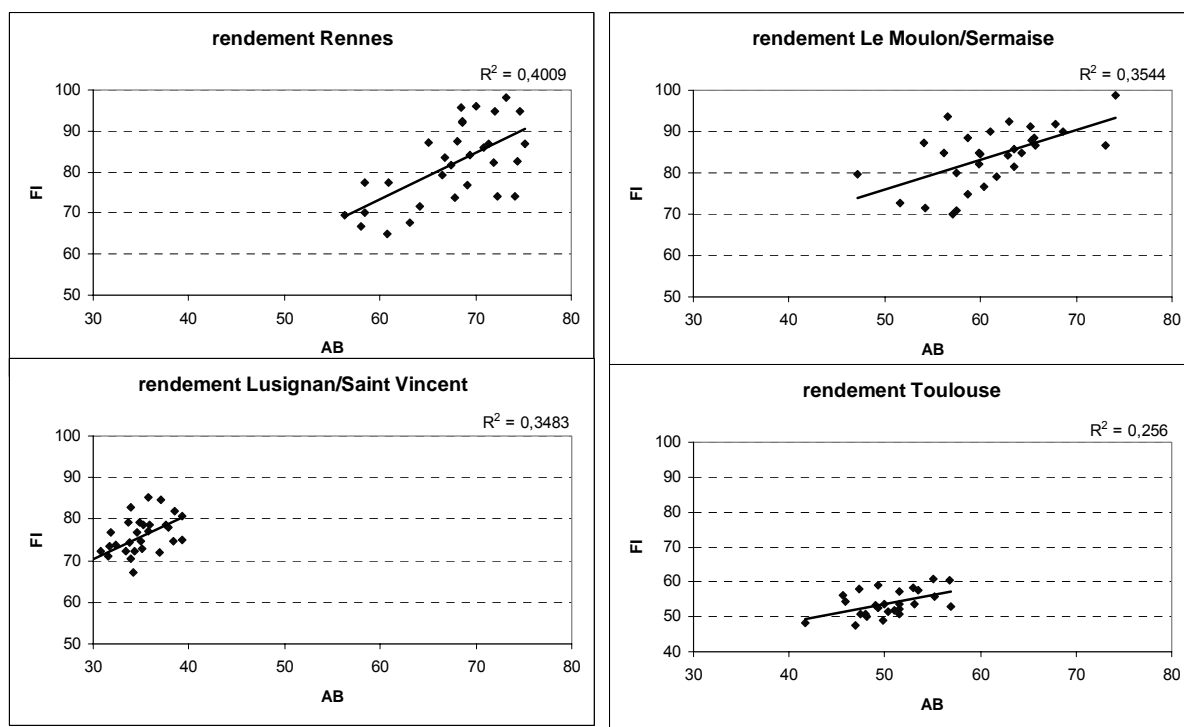


Figure 3. Corrélations entre rendement en agriculture biologique (AB) et rendement en (FI) pour chaque site en 2004

En 2005, les conditions de milieu très favorables (forts reliquats azotés après l'hiver sec, puis fin de cycle chaud et sec) ont permis de très bons résultats tant pour les teneurs en protéines, partout supérieures à 10 %, que pour les rendements (de 60 à 70 q/ha), sauf à Toulouse. Les écarts entre les conduites sont faibles (fig. 4). Dans ces conditions les classements variétaux sont très proches, pour le rendement, avec des coefficients de détermination supérieurs à 0,93 dans 3 des 4 sites (fig. 5).

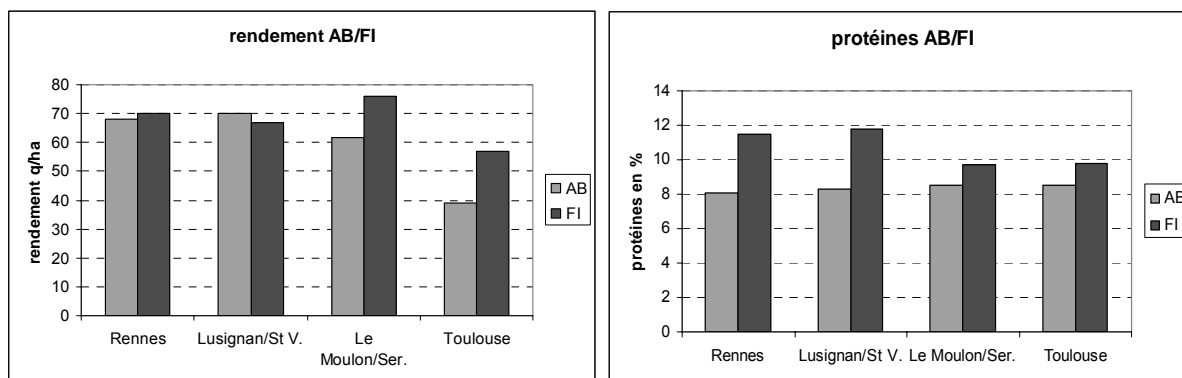


Figure 4. Rendements et teneurs en protéines pour les conduites AB et faibles intrants (FI) en 2005

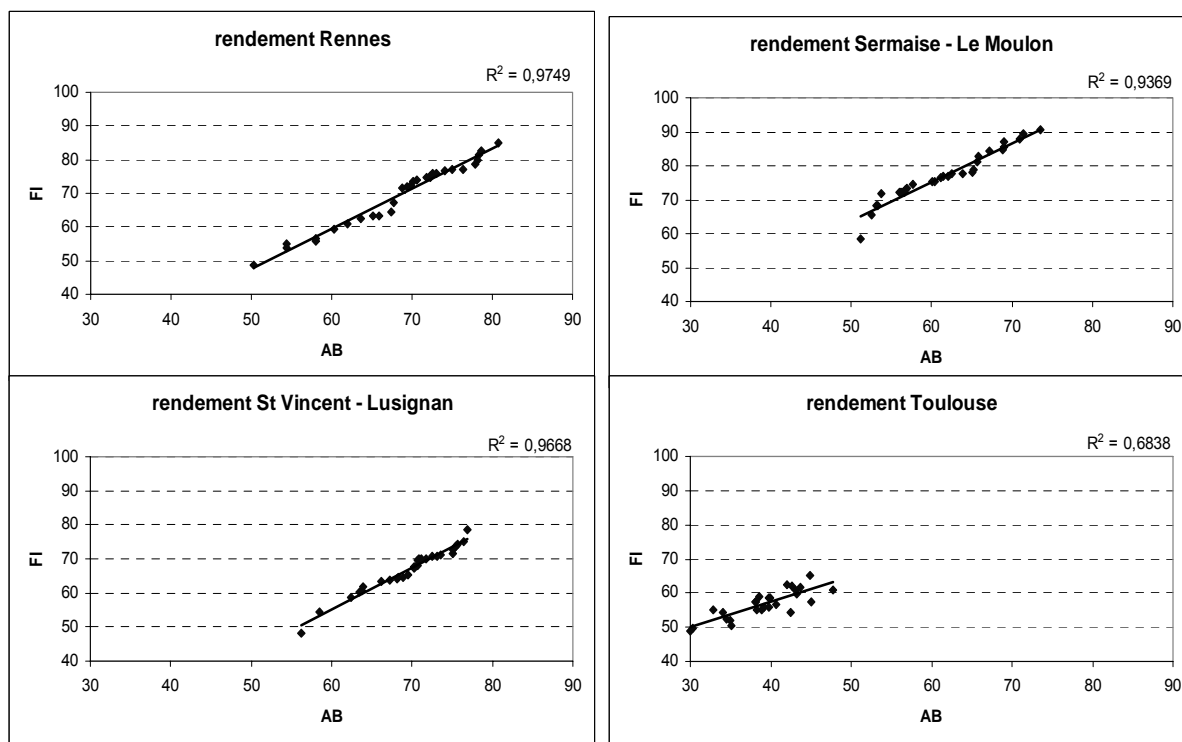


Figure 5. Corrélations entre rendement en AB et rendement en FI pour chaque site en 2005

En année favorable et dans les milieux fertiles à faible pression d'adventices (conditions des comparaisons variétales en 2005), les résultats obtenus sont proches de ceux observés en Suisse par le RAC Changins : la hiérarchie variétale n'est pas modifiée entre conduite faibles intrants (dite « *extenso* » en Suisse) et agriculture biologique (Fossati *et al.*, article dans ce dossier, p. 91).

Mais les différences observées entre les résultats 2004 et 2005 confirment la forte variabilité spatiale et interannuelle observée en culture céréalière dans les conditions de l'agriculture biologique (Niggli, 2005). Ces premiers éléments de réflexion devront être étoffés par la poursuite des expérimentations, en vue de tirer des conclusions sur les modalités de sélection.

5. Vers un progrès génétique au service de l'agriculture durable

Concernant l'adaptation ou l'inadaptation de l'offre variétale aux besoins de l'agriculture durable, la situation est très différente selon les espèces ou les groupes d'espèces, du fait de l'histoire du processus de sélection, de la biologie de la plante⁷ et du niveau d'intensification. Dans le cas des céréales à paille, et plus particulièrement du blé tendre, les résultats prometteurs obtenus par les variétés rustiques modernes en itinéraires à intrants réduits démontrent qu'il existe des voies intéressantes à explorer en matière de sélection variétale pour répondre aux attentes de l'agriculture durable.

Depuis plus de cinquante ans, la sélection a amené un progrès génétique constant et régulier estimé à 0,4 q/ha/an pour la productivité, quand celle-ci est mesurée dans des itinéraires techniques intensifs ou à intrants réduits (Brancourt-Humel *et al.*, 2003).

Mais si l'offre variétale blé tendre est large et diversifiée, elle présente toutefois deux défauts majeurs : elle correspond à des blés peu compétitifs vis-à-vis des adventices et exigeants en azote. Dans un contexte d'engrais azoté minéral peu cher, la sélection des variétés de blé au cours des dernières décennies, par l'introduction des gènes de nanisme, a privilégié l'aptitude à valoriser des fertilisations azotées de plus en plus élevées en limitant la sensibilité à la verse. Ainsi, dans les conditions du bassin rennais, les blés plus anciens mesurent plus de 1,40 mètre alors que les cultivars récents mesurent 50 centimètres de moins (INRA Rennes, essai AB 2005).

D'autre part, dans le même processus d'artificialisation du milieu, la lutte contre les adventices a été exclusivement envisagée sous l'angle chimique et la compétitivité des génotypes n'a pas été du tout prise en compte dans les schémas de sélection. Lecomte *et al.* (2000) observent ainsi une corrélation négative entre la perte de rendement occasionnée par les adventices et la date d'inscription. Les variétés les plus récemment sélectionnées sont parmi les plus fragiles en situation de compétition. La sélection du blé en condition de forts intrants a entraîné une diminution de la hauteur des plantes et une augmentation du nombre de grains par plante et, donc corrélativement, une diminution de la biomasse des tiges et des feuilles (Austin *et al.*, 1980 ; Brancourt-Hulmel *et al.*, 2003). Or, on sait que ces caractères variétaux sont liés à une plus faible aptitude des variétés à bien tolérer les situations de concurrence avec les adventices (Caussanel, 1997).

L'autre conséquence de la sélection en condition d'alimentation azotée non limitante est l'inadaptation de nombreux génotypes aux milieux plus pauvres : en situation de carence azotée, leur teneur en protéines chute et, bien que classés BPS (blé panifiable supérieur) par le CTPS, ils deviennent, comme Apache ou Cézanne, souvent impropres à la panification en agriculture biologique (Rolland *et al.*, 2005).

Certes, en 150 ans, le progrès génétique nous a permis de passer de Rouge de Bordeaux à Caphorn en réalisant de très importants gains de productivité, mais des auteurs ont montré que ce progrès génétique est associé à un contexte d'intensification et qu'il a été plus faible à N- qu'à N+ (Brancourt-Hulmel *et al.*, 2003). Ces potentialités de la sélection végétale peuvent être réorientées pour dynamiser les capacités de production et progresser vers des systèmes « allant dans le sens d'une incorporation de valeur ajoutée biologique maximale dans les résultats agronomiques obtenus » comme le préconisait le rapport Poly dès 1978.⁸

Ce nouveau défi pour la sélection végétale nécessitera une approche globale de la rusticité pour la création de génotypes valorisant des ressources contingentées en azote (pour le rendement et la qualité boulangère), concurrentiels vis-à-vis des adventices et de meilleure valeur nutritionnelle. Ceci ne

⁷ Le retour sur investissement est important et rapide dans le cas des allogames pour lesquelles sont produites des semences hybrides.

⁸ Rapport Poly « Pour une agriculture plus économe et plus autonome », INRA 1978.

pourra s'envisager que dans une démarche systémique et pluridisciplinaire, dans le cadre d'un partenariat largement ouvert. La réduction des intrants ne sera soutenable que si l'agronomie (au sens large) est placée au cœur des problématiques.

Un tel programme innovant de création variétale pour la sélection de variétés de blé tendre et d'autres céréales à paille rustiques (orge et triticale) recherchera l'amélioration de la productivité (et non le productivisme) en s'attachant à :

– *Identifier les objectifs prioritaires de sélection pour une agriculture économe et autonome, respectueuse de l'environnement.* C'est le continuum entre systèmes désintensifiés qui sera étudié, de l'agriculture intégrée au prototype de réduction des intrants qu'est l'agriculture biologique. À terme, l'ensemble de l'agriculture pourra tirer des bénéfices de cette démarche qui assure la compatibilité entre économie et environnement. Cette phase devrait associer chercheurs du secteur public, sélectionneurs privés⁹ et agriculteurs, dont les représentants du Réseau agriculture durable (RAD), pionniers sur cette problématique.

– *Choisir une structure génétique :* on privilégiera, *a priori*, dans la continuité de nos savoir-faire, la sélection de variétés lignées adaptées à de vastes zones pédo-climatiques. Dans un contexte où les moyens mobilisables par l'activité de sélection végétale sont limités, il conviendra de trouver, dans un souci d'optimisation, le point d'équilibre entre l'élargissement de la gamme des milieux associée à la réduction des intrants (qui impose une meilleure prise en compte des interactions géotypes-milieux) et la définition du périmètre des zones pédoclimatiques.

– *Définir la méthodologie de sélection pour atteindre les cibles définies :* on pourra proposer une sélection multicaractère sur index, prenant en compte le rendement, la qualité technologique, la valeur nutritionnelle, la résistance aux maladies, la valorisation de l'azote, la concurrence vis-à-vis des adventices, etc.

– *Optimiser la capacité à s'adapter à des milieux pauvres en phosphore.* En effet, dans des régions de sols pauvres (limons, limons sableux, voire certains argilo-calcaires), le problème risque de se poser rapidement, car les ressources en phosphore ne sont pas inépuisables. Pour cela, on pourra faire appel à la qualité et la structure des racines, à la faculté à s'associer avec des mycorhizes, etc.

– *Proposer une étude comparative des performances des cultivars sur des bases économiques et environnementales* (marges brutes et bilans environnementaux), pour substituer au "produire plus" le "produire mieux". La durabilité des systèmes céréaliers en agriculture biologique sera également discutée (Nigli, 2005).

– *Étudier les processus d'adoption des nouveaux systèmes par les partenaires de la filière.* On s'intéressera à des scénarios, au niveau des dimensions économiques et environnementales, permettant de tester la sensibilité des choix des producteurs, soit aux variations de prix, soit aux politiques incitatives ou coercitives destinées à valoriser économiquement les nouvelles combinaisons « variétés \times itinéraires techniques » bénéfiques pour l'environnement.

Quant à la question de l'environnement de sélection, la diversification des milieux appellera celle des variétés. Mais la sélection dans des milieux à faibles niveaux d'intrants rend l'interprétation des résultats d'essais plus délicate. En effet, en réduisant les intrants, les facteurs limitants sont plus nombreux et plus divers (stress azoté, maladies) d'un lieu à l'autre et d'une année à l'autre (Meynard et Jeuffroy, 2002 ; Jeuffroy, 2005). L'efficacité de la sélection en sera diminuée du fait d'interactions géotype \times milieu plus nombreuses et d'une héritabilité plus faible : il faudrait donc trouver des critères de sélection liés au rendement, mais moins affectés par le milieu.

L'interaction géotype \times environnement a été largement observée dans le milieu animal comme végétal (Ceccarelli, 1996). Le système de culture, qu'il soit biologique, intégré ou conventionnel intensif, appartient aussi à l'environnement. Parmi une multitude d'exemples, on pourra retenir les résultats de Lafitte et Edmeades (1994) sur l'interaction géotype \times fertilisation azotée chez le maïs (tab. 5). Ils ont sélectionné des cultivars de maïs dans deux milieux de sélection : l'un avec un niveau de fertilisation azotée optimal (milieu N+) et l'autre dans des conditions de stress azoté (milieu N-). Les cultivars sélectionnés dans le milieu N- obtiennent les meilleurs rendements dans les conditions de stress azoté. Par contre, dans le milieu N+, les cultivars issus d'une sélection en condition d'azote optimal s'en sortent le mieux.

⁹ La société Lemaire-Deffontaines conduit depuis dix ans un programme de sélection en AB pour l'AB.

Tableau 5. Rendement (t/ha) pour deux niveaux de fertilisation azotée (faible, N- et optimale, N+) de cultivars de maïs sélectionnés dans des milieux N- ou N+

	Sélection N+	Sélection N-
Culture N-	1,89	2,22
Culture N+	6,20	5,70

Le progrès génétique passé montre la puissance des méthodes de sélection « phénotypiques », sans recours aux biotechnologies, pour améliorer des caractères complexes par l'accumulation d'un grand nombre de cycles de sélection (Gallais, 2005). Dans le cadre d'une agriculture durable, la mise au point de variétés adaptées à une culture à niveaux d'intrants réduits (azote et fongicides, en particulier) devient une priorité. L'agriculture biologique, prototype extrême de la réduction des intrants, pourrait constituer un milieu de sélection particulièrement bien adapté à cet objectif. Pour ces conditions, Kopke (2005) propose une approche globale pour la définition d'idéotypes de céréales adaptés.

Les travaux de recherche, tant sur le blé que sur le maïs, montrent une variabilité génétique importante dans la valorisation de la fumure azotée (Le Gouis *et al.*, 2004). Cependant, dans ces conditions, la variation due au milieu devient très forte et rend la sélection beaucoup moins efficace. La sélection, même seulement phénotypique, sera plus coûteuse, car il faudra faire plus de répétitions. Selon Gallais (2005), une solution, pour augmenter la réponse à la sélection, serait de trouver des critères de sélection plus efficaces que la seule mesure du rendement (qui est très sensible aux variations du milieu), comme la durée de vie des feuilles qui peut être suivie par la mesure de la teneur en chlorophylle. Pour Lecomte (2005), la solution réside dans l'utilisation du diagnostic agronomique, qui permet de mieux comprendre les variations de rendement entre milieux. Par ailleurs, la prise en compte de la compétitivité des génotypes vis-à-vis des adventices pourrait donner des résultats en 1 ou 2 cycles de sélection (Lecomte *et al.*, 2000).

Enfin, le triticale, qui peut, en conduite à intrants réduits, avoir une productivité très élevée tant en paille qu'en grain, pourrait constituer le « prototype » de la réduction d'intrants. Assez curieusement, peut-être par mimétisme avec la conduite culturale du blé, cette céréale fourragère est cultivée de manière semi-intensive (fongicide, herbicide et azote). En Bretagne, avec 50 000 hectares (12,5 % des superficies céréalières), la démonstration concrète des intérêts d'un système de culture alternatif pour le triticale pourrait être très pédagogique et utile pour la reconquête de la qualité de l'eau. Une expérimentation pilote, comparant itinéraire technique classique et itinéraire à « zéro pesticide », faisant l'impasse sur le désherbage (chimique et mécanique) et ne permettant que l'engrais azoté minéral, est à envisager.

Conclusion

Devant les nouveaux et incontournables défis posés à l'agriculture, en réponse au dilemme entre adapter l'existant ou opter pour une totale rupture, pourquoi ne pas parier sur la mise en œuvre du progrès génétique procuré 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 de tous ?

Après accord sur les objectifs de sélection à atteindre et les moyens nécessaires pour satisfaire les besoins de l'agriculture durable, une délégation de l'activité de création variétale aux obtenteurs ne serait-il pas le meilleur choix ? C'est ainsi que procèdent les pays européens bien plus avancés que la France dans le domaine des agricultures alternatives, avec des établissements de sélection publics (RAC Changins, en Suisse) ou privés (Saatzucht Donau, en Autriche).

Au-delà des seules céréales, la question de la diversification des systèmes imposera la culture de différentes espèces (réintroduction d'anciennes et/ou ouverture vers de nouvelles) et sollicitera l'amélioration des plantes qui saura y répondre si elle évite l'impasse de la recherche par une approche moléculaire de « gènes de rendement » ■

Remerciements

Les auteurs remercient l'ensemble des partenaires du réseau ITK variétés rustiques 2003-2005, notamment les chambres d'agriculture de Bretagne, de Poitou-Charentes, des Pays-de-Loire, d'Eure, d'Ile-de-France, de Seine-et-Marne, du Loiret et d'Indre-et-Loire pour leur contribution à ce travail. Nous remercions également les partenaires du réseau INRA de variétés de céréales à paille en agriculture biologique, les personnels des unités de recherche et unités expérimentales, les stagiaires, et les agriculteurs qui accueillent les expérimentations.

Références bibliographiques

- AUSTIN R.B., BINGHAM J., BLACKWELL R.D., EVANS L.T., FORD M.A., MORGAN C.L., TAYLOR M., 1980. Genetic improvement in winter wheat yields since 1900 and associated physiological changes. *Journal of Agricultural Science*, 94, 675-689.
- 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.
- CAUSSANEL J.P., 1997. *Effets variétaux dans la concurrence entre le blé et différents types de mauvaises herbes*. Journées scientifiques du groupe céréales à paille INRA, Estrées-Mons, 2-3 avril 1997, 32-40.
- CECCARELLI S., 1996. Adaptation to low/high input cultivation. *Euphytica*, 92, 203-214.
- FÉLIX I., BERNICOT M.H., ROLLAND B., LONNET P., BOUCHARD C., 2005. Jouer la carte des variétés rustiques. *Perspectives Agricoles*, 312, 34-38.
- FOSSATI D., KELLERHALLS M., SPRING J. L., MASCHER F., 2006. Sélection de variétés pour une agriculture durable : 3 exemples suisses. *Les Dossiers de l'environnement de l'INRA*, n° 30, 91-100.
- GALLAIS A., 2005. *Progrès réalisés en amélioration des plantes et agriculture durable*. Séance du 1^{er} juin 2005 « Amélioration des plantes et agriculture durable », Académie d'Agriculture de France, Paris.
- JEUFFROY M.H., 2005. *Conséquences de l'évolution de l'agriculture sur les objectifs de la sélection végétale*. Séance du 1^{er} juin 2005 « Amélioration des plantes et agriculture durable », Académie d'Agriculture de France, Paris.
- KOPKE U., 2005. Crop ideotypes for organic cereal cropping system. In E.T. Lammerts van Bueren, I. Goldringer & H. Ostergard H. (eds) : *Proceedings of the COST SUSVAR/ECO-PB Workshop on Organic Breeding Strategies and the Use of Molecular Markers*, 17 -19 January 2005, Driebergen (NL), .13-16.
- LAFITTE H.R., EDMEADES G.O., 1994. Improvement for tolerance to low soil nitrogen in tropical maize: selection criteria. *Field Crop Research*, 39, 1-14.
- LECOMTE C., HEUMEZ E., PLUCHARD P., 2000. Identification de différences génotypiques dans la réponse aux contraintes environnementales : cas de la concurrence due aux mauvaises herbes dans une culture de blé tendre d'hiver. In : *Fonctionnement des peuplements végétaux sous contraintes environnementales*. INRA Editions (Les Colloques), Paris, n° 93, 539-558.
- LECOMTE C., 2005. *L'évaluation expérimentale des innovations variétales. Proposition d'outils d'analyse de l'interaction génotype - milieu adaptés à la diversité des besoins et des contraintes des acteurs de la filière semences*. Thèse de docteur ingénieur de l'INA-PG, 174 p. + Annexes.
- LE GOUIS J., PLUCHARD P., 1996. Genetic variation for nitrogen use efficiency in winter wheat (*Triticum aestivum* L.). *Euphytica*, 92, 221-224.
- LE GOUIS J., BRANCOURT-HULMEL M., GALLAIS A., 2004. Variations génétiques et possibilités de sélection pour la valorisation de l'azote chez le blé et chez le maïs. *Le sélectionneur Français*, 54, 37-44.
- LEROUX P., GREDT M., WALKER A.S., COULEAUD G., MOINARD J., LE HÉNAFF G., 2005. La septoriose du blé en France en 2004. Les strobilurines en péril ? *Phytoma*, 579, 7-12.
- MEYNARD J.M., JEUFFROY M.H., 2002. Progrès génétique et agriculture durable. *Le Sélectionneur Français*, 53, 69-82.
- NIGGLI U., 2005. *La Recherche sur l'Agriculture biologique en Suisse et en Europe*. [en ligne] Séminaire sur les recherches en agriculture biologique INRA- ACTA, Draveil 20-21 novembre 2003, 16 p. Disponible sur www.inra.fr/internet/Projets/ciab/pdf/rechershuisse.pdf (consulté le 26 juin 2006)
- ONIC, 2005. *Enquête ONIC ARVALIS-Institut du Végétal sur la répartition variétale des blés*.
- PETERSEN P. H., 2003. *Danish Farmers in plan to cut pesticide use*. [en ligne]. Disponible sur www.pan-uk.org/pestnews/pn63/pn63p10.htm (consulté le 26 juin 2006)
- RABAUD V., 2003. L'utilisation des produits phytosanitaires sur blé et maïs en 2001. Davantage de traitements mais réduction des doses. *Agreste-Primeur*, 137.

- RABAUD V., 2005. Gestion de l'azote sur le blé : une affaire de spécialistes. *Agreste-Primeur*, 159.
- ROLLAND B., BOUCHARD C., LOYCE C., DOCTEUR INGÉNIEUR 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. *Le Courrier de l'environnement de l'INRA*, 49, 47-62.
Les Dossiers de l'Environnement de l'INRA, 24, 63-79.
- ROLLAND B., FÉLIX I., LONNET P., BLONDEL R., LOYCE C., 2005. *Un exemple d'agriculture profitable avec des intrants réduits : la culture des blés multirésistants aux maladies*. Séance du 1^{er} juin 2005 « Amélioration des plantes et agriculture durable », Académie d'Agriculture de France, Paris.
- VIAUX, P., 1999. *Une troisième voie en grande culture : Environnement, Qualité, Rentabilité*. Editions Agridécisions, 211 p.