



HAL
open science

Amélioration des conditions de production et d'utilisation du triticale dans le cadre d'une agriculture durable

Annaig A. Bouguennec, M. M. Vilariño, E. E. Masson, P. P. Du Cheyron, P. P. Lonnet

► To cite this version:

Annaig A. Bouguennec, M. M. Vilariño, E. E. Masson, P. P. Du Cheyron, P. P. Lonnet. Amélioration des conditions de production et d'utilisation du triticale dans le cadre d'une agriculture durable. *Innovations Agronomiques*, 2013, 27, pp.89-109. hal-00964415

HAL Id: hal-00964415

<https://hal.science/hal-00964415>

Submitted on 28 May 2020

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

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



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

Amélioration des conditions de production et d'utilisation du triticale dans le cadre d'une agriculture durable

Bouguennec A.⁽¹⁾, Vilariño M.⁽²⁾, Masson E.⁽³⁾, du Cheyron P.⁽⁴⁾, Lonnet P.⁽⁵⁾

- (1) INRA-UBP UMR1095 Génétique Diversité et Ecophysiologie des Céréales, 5 chemin de Beaulieu F-63039 CLERMONT-FERRAND Cedex 2
- (2) ARVALIS – Institut du végétal, Pouline F-41100 VILLERABLE
- (3) ARVALIS – Institut du végétal, Centre de Kerguehenec F-56500 BIGNAN
- (4) ARVALIS – Institut du végétal, IBP Rue de Noetzelin – Bât. 630, F-91405 ORSAY CEDEX
- (5) GIE TRITICALE, 7 rue Coq-Héron, 75 PARIS

Correspondance : Annaig.Bouguennec@clermont.inra.fr

Résumé

Ce programme, articulant les travaux d'un organisme de recherche public (INRA), d'un institut technique (ARVALIS - Institut du végétal) et de sélectionneurs (GIE TRITICALE), couvrait à la fois des aspects de production (fertilisation azotée, choix variétal) et d'utilisation (grain et paille) du triticale, à des niveaux quantitatifs et qualitatifs, dans un objectif de révéler et d'accentuer les atouts de la culture du triticale en vue d'une agriculture durable. Il s'est appuyé sur des collections de variétés de triticale cultivées en France et sur du matériel de diversification génétique, issu de nouveaux croisements blé x seigle.

Cette étude confirme que la teneur en protéines, critère important pour l'alimentation animale, est pour le triticale, comme pour le blé, corrélée négativement au rendement. Cependant, elle révèle aussi certains génotypes qui s'écartent positivement de cette relation et notamment plusieurs des nouveaux génotypes évalués. Afin d'augmenter la teneur en protéines, nous montrons que le triticale répond favorablement à un apport fractionné et plus tardif (fin de montaison) et que le besoin en azote du triticale est d'environ 2,6 kg d'azote par quintal de grain, plus faible que celui du blé tendre (3 en moyenne). Enfin, la composition en acides aminés est aussi intéressante chez le triticale, en particulier pour la lysine. Les équations de prédiction de la teneur en lysine par rapport à la matière azotée totale ont été revues et montrent toujours un rapport plus élevé que chez le blé, même si cet avantage a un peu diminué au cours des vingt dernières années. Pour l'alimentation des monogastriques, une forte activité phytasique est importante aussi pour une bonne utilisation du phosphore (majoritairement sous forme d'acide phytique dans les céréales) : meilleure croissance et moindres rejets dans l'environnement. Notre étude souligne l'intérêt des triticales pour l'activité phytasique : des niveaux élevés en moyenne et une importante variabilité (du simple au triple) parmi la collection de triticales ayant été inscrits en France. Elle confirme aussi la prépondérance de la part génétique dans ce caractère.

Enfin, diverses méthodes de mesure de l'importante production de paille du triticale ont été testées. Elles indiquent un fort effet milieu et révèle cependant aussi quelques génotypes à forte biomasse. La décomposition de ce caractère en composantes élémentaires n'est pas aisée et la hauteur est loin d'expliquer tout, notamment.

Mots-clés : Triticale, Fertilisation azotée, Teneur en protéines, Acides aminés, Activité phytasique, Paille

Abstract: Improving conditions for production and use of triticale in a sustainable agriculture

This program, combining efforts of public research institute (INRA), technical institute (Arvalis institut du végétal), and breeders (GIE TRITICALE), studies production (N-fertilization, varietal choice) and utilization (grain and straw) aspects, quantitatively and qualitatively, in order to reveal and increase triticale advantages for sustainable agriculture. It is based on triticale varieties registered in France and genetic diversification material, derived from new wheat x rye crosses.

This study confirms that protein content, important criteria for feeding, is negatively correlated to yield (as for wheat) but underlines some genotypes with high positive deviation from the regression line, especially some new evaluated genitors. Triticale also reacts positively to a late fractionation of N-fertilization and has fewer N-needs (2.6 kg/q) than wheat (mean: 3). Moreover, amino-acid composition of triticale proteins is of interest, especially for lysine. Predictive equation for lysine based on total N matter has been recalculated and still show a higher ratio for triticale than wheat, even if this advantage is slightly decreasing during the two last decades. For monogastric feeding, phytase activity is also of importance for efficient phosphorus (mainly under acid phytic form in cereals) utilization: better animal intakes and lesser environmental pollution. Our study shows triticale interest for this trait: high level and large range (from 1 to 3) for triticale varieties registered in France. It confirms also the preponderant genetic part on this trait.

For triticale high straw production evaluation, diverse methods have been tested. They show a high environmental effect and reveal some high biomass production genotypes. But breakdown of this trait in several components is not easy and plant height is far from being the main factor influencing straw production.

Keywords: Triticale, N-fertilization, Protein content, Amino-acids, phytase activity, Straw

Historique, contexte et objectifs du programme

Le triticale est une espèce récente, assez rustique, s'intégrant très bien dans des systèmes d'exploitation d'élevage, y compris celles situées en zones difficiles. En France, depuis trente ans les surfaces cultivées en triticale augmentent régulièrement pour atteindre en 2012, 430 000 hectares. Cette culture est présente essentiellement dans les zones d'élevage du Grand Ouest et les régions de semi-montagne où elle est majoritairement auto-consommée à la ferme. Elle y est appréciée pour sa productivité en grain et en paille et ses coûts de production modérés (moindres besoins en intrants). Dans le contexte actuel de recherche d'une agriculture plus durable, le triticale possède des atouts indéniables.

De par son origine particulière, le triticale est une espèce qui ne possède pas de ressources génétiques naturelles. Les sélectionneurs français qui travaillent cette espèce se sont regroupés en 1996 dans le GIE TRITICALE : Florimond-Desprez, Lemaire-Deffontaines, RAGT 2n, Serasem (jusqu'en 2011), Agri-Obtentions (depuis 2008), Benoist (jusqu'en 2002). Ce GIE collabore depuis avec l'INRA pour l'élargissement de la diversité génétique de l'espèce notamment en réalisant de nouveaux croisements blé par seigle. Outre ce travail de base, ces partenaires s'associent avec d'autres organismes pour répondre aux besoins qui se font sentir sur l'espèce. Ainsi, en 2005, INRA, GIE TRITICALE et ARVALIS Institut du végétal ont décidé de monter un vaste programme qui inclut à la fois des aspects de production et d'utilisation du triticale, le grain et la paille, quantitativement mais aussi qualitativement. En s'appuyant sur des collections de variétés cultivées en France et sur du matériel de diversification génétique, issu de nouveaux croisements blé x seigle. Le programme vise à établir des références sur le triticale, évaluer la diversité génétique et la part des effets génétique, milieu et interaction sur plusieurs caractères d'intérêt. Même si les progrès considérables réalisés par la sélection sont reconnus

par les agriculteurs, il convient cependant de mieux prendre en compte en sélection d'autres critères importants : rendement en paille, qualité nutritionnelle du grain, besoins modérés en azote afin de conforter la place particulière que cette espèce occupe dans l'assolement chez les agriculteurs-éleveurs. De plus, une meilleure caractérisation des qualités nutritionnelles du grain pourra contribuer à un développement de l'utilisation du triticale par les firmes d'aliments du bétail.

Dans le cadre de l'alimentation animale, le grain intervient le plus souvent en mélange avec d'autres ingrédients. L'utilisation de triticale dont le grain a une forte activité phytasique permet une meilleure utilisation du phosphore de la ration par l'animal, assurant à celui-ci une meilleure santé, une bonne croissance et de moindres rejets dans l'environnement. La teneur du grain en protéines et la composition de celles-ci sont des critères de valeur alimentaire également très importants. L'objectif est d'évaluer la diversité génétique du triticale pour ces différents constituants du grain ainsi que de préciser, à l'aide de notre réseau d'essais, les effets génétiques, environnementaux et d'interaction qui la caractérisent.

Le rendement en paille élevé du triticale est une caractéristique appréciée des éleveurs : le second objectif de ce projet est donc de développer la prise en compte de ce critère dans les programmes de sélection, notamment en affinant la méthodologie de mesure de ce rendement et en recherchant des caractères qui lui seraient liés.

Enfin, les apports d'azote influencent grandement la quantité et la qualité de la récolte tout en n'étant pas neutres vis-à-vis de l'environnement. Faute de référence sur cette espèce, ce sont les valeurs adaptées au blé qui sont utilisées le plus souvent pour guider la fertilisation azotée des cultures de triticale. L'objectif est de mieux connaître les besoins en azote de l'espèce triticale (en précisant notamment le coefficient d'utilisation de l'azote, comparé au coefficient de 3 attribué au blé). Des doses d'azote mieux adaptées permettront d'une part d'éviter des excès préjudiciables à l'environnement mais permettront d'autre part à la plante d'exprimer son potentiel sans présenter une teneur en protéines du grain trop faible pour l'alimentation animale. Par la suite, on évaluera la tolérance vis-à-vis d'un stress azoté modéré et ses conséquences sur la teneur en protéines du grain, ainsi que les effets d'un fractionnement de l'apport.

Seules les parties « qualité des protéines » et « rendement en paille » de ce programme seront développées dans cet article.

1. Amélioration de la valeur alimentaire du triticale

1.1 Teneur en protéines

Matériel et méthodes

Deux réseaux d'essais ont été impliqués durant plusieurs années :

- le réseau de post-inscription d'ARVALIS (47 essais réalisés de 2001 à 2007 avec 3 à 9 essais par année, 80 variétés différentes dont 70 dans au moins 3 lieux, avec de 12 à 40 variétés par essai, 25 lieux différents dans 15 départements avec 1 à 7 essais par lieu)
- le réseau multilocal GIE TRITICALE - INRA (12 essais réalisés de 2005 à 2007, 5 lieux, environ 10 génotypes originaux issus de croisements octoploïdes (blé x seigle) x hexaploïdes = lignées adt, 3 années).

Ces deux réseaux ont en commun les 3 témoins CTPS. De nouvelles variétés et lignées s'ajoutent chaque année, mais quelques variétés restent communes et permettent ainsi les comparaisons. Compte tenu de la relation qui existe entre teneur en protéines et rendement, bien connue chez le blé et très probablement assez similaire chez le triticale, nous avons étudié conjointement ces deux caractères. En effet, il serait vain d'identifier des génotypes à forte teneur en protéines, s'ils n'ont pas

conjointement un rendement acceptable. Nous cherchons donc à identifier des lignées et variétés présentant une teneur en protéines plus élevée que celle prévisible compte tenu de leur rendement (notées GPD+). Pour ce faire, nous nous sommes appuyés sur les méthodes présentées dans la publication Oury F.X. et Godin C. (2007). Nous avons aussi réalisé des analyses de variance de la teneur en protéines en utilisant un modèle mixte avec co-variable rendement.

Résultats

Les 47 essais Arvalis présentent un rendement moyen de 87,0 q/ha (de 46,9 à 118,9) associé à une teneur en protéines moyenne de 12,0 % (de 9,0 à 15,3%). Les coefficients de corrélation entre ces deux caractères sont en moyenne de -0,34 (de -0,84 à 0,45 ; quartiles 1 et 3 de -0,40 et -0,15).

Les 12 essais GIE-INRA présentent un rendement moyen de 72,2 q/ha (de 52,2 à 94,9) associé à une teneur en protéines moyenne de 11,2 % (de 10,2 à 13,7%). Les coefficients de corrélation entre ces deux caractères sont en moyenne de -0,22 (de -0,89 à 0,46 ; quartiles 1 et 3 de -0,29 et -0,02).

Par rapport au réseau Arvalis, les essais GIE-INRA sont en nombre plus restreint et les effectifs de variétés plus faibles. Le niveau de rendement et de teneur en protéines sont aussi plus faibles. D'une part, il ne s'agit pas des mêmes milieux et d'autre part, les lignées venant de croisements octoploïde x hexaploïde sont en effet généralement d'une valeur agronomique plus faible en tant que telle. En effet, elles ont plus vocation à être utilisées en géniteurs pour introduire de la diversité génétique que comme variété directement. Cependant, les amplitudes de rendement et de teneur en protéines sont du même ordre de grandeur (du fait de l'écart entre les témoins CTPS et les lignées). Ceci est un atout pour mettre en évidence la relation rendement-teneur en protéines. De même que dans des études menées sur le blé (cf Oury *et al* 2003 pour revue ; Oury et Godin 2007), une grande majorité d'essais a bien des coefficients de corrélation négatifs entre rendement et teneur en protéines. Cependant, quelques essais montrent une relation positive : 10 essais sur 47 (21%) et 3 sur 12 (25%), contre 11% sur 72 essais sur blé (Oury *et al*, 2003) ou encore 7% sur 458 essais blés (Oury et Godin 2007). Les coefficients de corrélation moyens sont de -0,34 et -0,22 (contre -0,29 dans Oury *et al*, 2003 ou -0,45 dans Oury et Godin 2007) et les pentes moyennes sont de -0,041 et -0,033 (contre -0,05 dans Oury et Godin 2007). Les résultats vont donc dans le même sens et les corrélations mises en évidence dans ces conditions restent assez faibles. En effet, Oury et Godin (2007) ont montré la nécessité de travailler sur les moyennes de plusieurs environnements pour une même série de génotypes, afin de gommer les effets environnementaux qui masquent la relation. De même, avoir une gamme assez étendue de variation des caractères permet de mieux révéler la relation. Enfin, l'utilisation d'un algorithme écartant les points ayant un très fort résidu permet d'établir la relation et en même temps de repérer des génotypes potentiellement intéressants (Oury et Godin, 2007). Nous avons donc regroupés les essais afin de travailler sur les moyennes, en utilisant l'algorithme, en général au seuil 1,96 (les points écartés du calcul de la régression ont un résidu supérieur à 2,5% de la loi normale). Les listes variétales n'étant pas les mêmes dans chaque lieu, nous pouvons établir en général 2 regroupements par année pour les essais Arvalis. L'un maximise le nombre de lieux (de 6 à 9 lieux pour une quinzaine de variétés communes), l'autre maximise le nombre de variétés (de 24 à 29 variétés pour 5 ou 6 lieux). Les résultats pour tous les regroupements sur les variétés sont présentés dans les tableaux 1 et 2, pour les essais adt et Arvalis.

Nous pouvons remarquer des variétés qui ressortent plusieurs fois. En GPD+, nous trouvons Agrillac, Trimour, Wilfried ; en GPD- : Bellac, Tremplin, Triskell, Rotego ... Parmi les lignées adt, nous n'avons pas mis en évidence de GPD- et certaines GPD+ ont aussi un niveau de rendement acceptable. Malgré ceci, il n'est pas toujours possible de révéler une forte corrélation négative.

Tableau 1 : Analyse de la relation rendement-teneur en protéines sur les moyennes annuelles GIE-INRA

Année	Nombre de lieux	Nombre de variétés	Coefficient de corrélation	Lignée GPD+	Lignée GPD-
2005	4	10	-0,56	97HT12-6t4	
2006	3	9	-0,43	98HT11c4	
2007	5	12	-0,45	99HT9t1	

Tableau 2 : Analyse de la relation rendement-teneur en protéines sur les moyennes annuelles ARVALIS. En gras : au-delà de 3,75%, Entre parenthèse : géotypes révélés avec un seuil d'exclusion plus faible

Année	Nombre de lieux	Nombre de variétés	Coefficient de corrélation	Géotypes GDP+	Géotypes GPD-
2001	3	12	+ 0,33		
2002	3	17	-0,74	-	Auriac Tricolor Bellac
2003	8	16	-0,25	Wilfried	Tremplin Rotego
2003	6	27	-0,11	Trouvère	Tremplin Rotego
2003	5	29	-0,07	Trouvère	Carnac Tremplin Rotego
2004	9	12	-0,12	-	-
2004	5	29	-0,74	Blénio	Morado Midelo Tricolor Bilbao Tremplin
2005	6	15	-0,20	Wilfried Talentro	Maximal Triskell
2006	9	15	-0,77	Trimour	Tremplin Trignac (Triskell)
2006	7	23	-0,77	Benetto	Dinaro Trignac
2006	6	24	-0,70	Agrano	Dinaro Trignac (Tremplin Triskell)
2007	9	15	-0,76	Agrilac Trimour	(Triskell Tremplin Dinaro)
2007	6	23	-0,77	Tritikon Matinal Agrilac	(Bellac Grandval Dinaro)

Etant donné que nous disposons de 2 variétés communes sur la quasi-totalité des essais, nous avons exprimé les rendements et teneurs en protéines en écart par rapport au témoin moyen (Bellac+Tremplin)/2 et repris le même processus, en ne conservant que les géotypes observés dans au moins 8 essais pour ARVALIS. Le coefficient de corrélation est alors de -0,61. Seule la variété Blénio apparaît GPD+ tandis que SW Midelo et Tricolor sont GPD-, ainsi que SW Morado, Dinaro et Bilbao à un moindre degré. Plusieurs des variétés repérées annuellement sont proches des seuils sur le graphique des résidus, notamment Tremplin (GPD-) et Wilfried (GPD+).

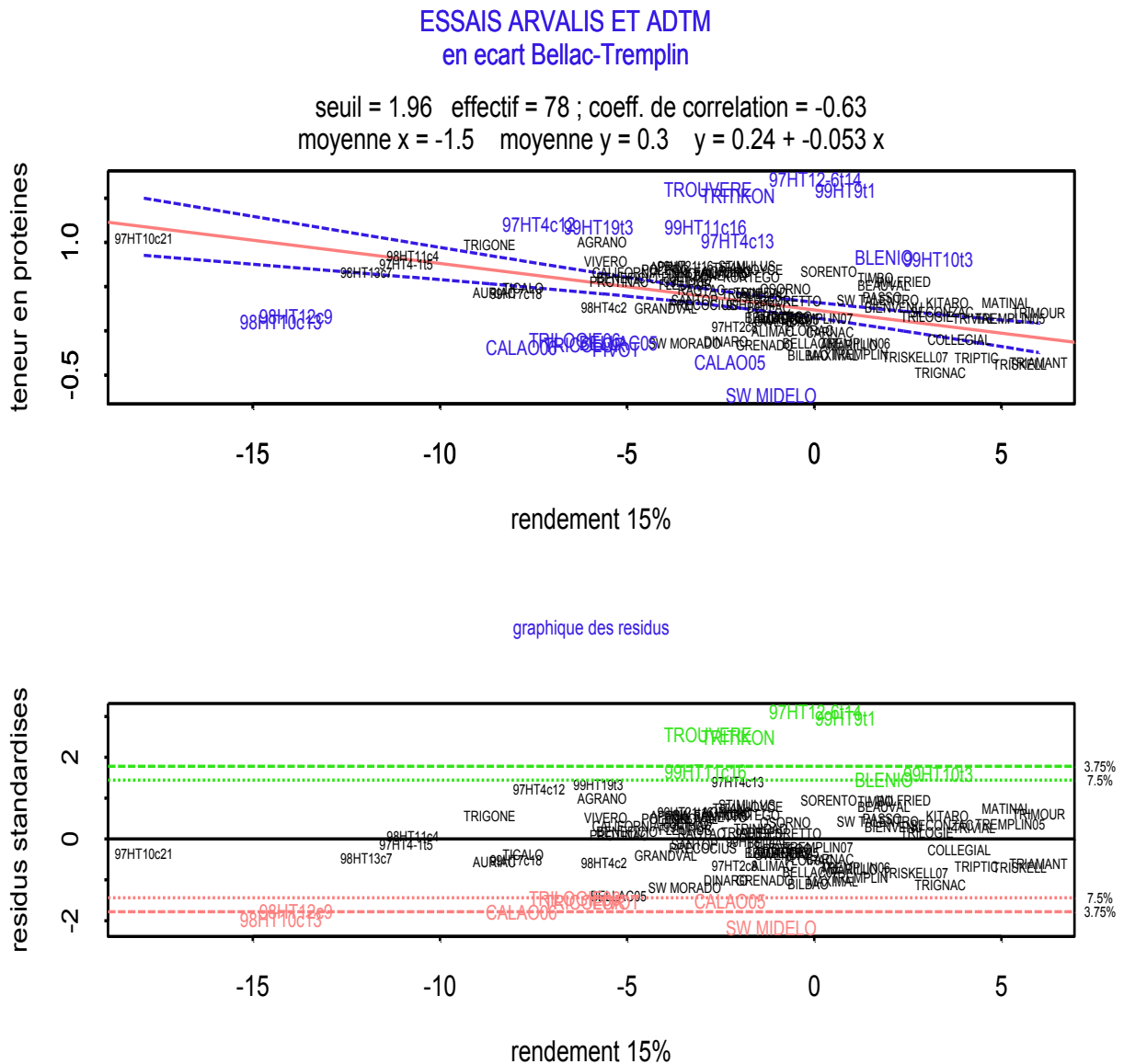
L'analyse de variance réalisée sur les essais Arvalis avec le modèle ci-dessous met en évidence les enjeux indiqués dans le tableau 3 pour chaque facteur : % Protéines = moyenne + facteur variété + facteur lieu + facteur année + Co-variable Rendement + erreur

Tableau 3 : Analyse de variance de la teneur en protéines du triticale

Facteurs	Variance	Ecart-type	Enjeu (qx/ha)
Lieu	0,034627	0,18608	± 0,37
Variété			± 0,80
Année	0,589831	0,76800	± 1,54
Résiduel	0,915012	0,95656	

Enfin, nous avons regroupé les 2 catégories de matériel (variété et adt), grâce aux témoins communs (Figure 1). Les lignées GPD+ seraient 99HT12-6t14, 99HT9t1, Trouvère, Tritikon, et dans une moindre mesure, 99HT11c16, 99HT10t3 et Blenio ; tandis que les lignées GPD- seraient SW Midelo, 99HT10c13, Calao06 (Calao, essais 2006), 98HT12c9 et dans une moindre mesure, Tricolor, Pivot, Calao05 et Trilogie06. Les lignées adt figurent donc en bonne position compte tenu de leur effectif plus réduit.

Figure 1 : Relation rendement – teneur en protéines sur les moyennes centrées des variétés et lignées adt



Conclusions et perspectives

Compte tenu d'un nombre d'essais parfois limité pour certains géotypes, leurs résultats sont à utiliser avec précaution. En effet, la mise en évidence de géotypes présentant vraiment une teneur en protéines plus élevée tout en maintenant un bon niveau de rendement (GDP+) reste délicate (nombres d'essais, gammes de variation suffisantes). Néanmoins, cette étude pluriannuelle, multilocale et sur du matériel diversifié, permet de :

- confirmer un comportement similaire du triticale par rapport au blé tendre pour ce caractère,
- mettre en évidence des variétés et géniteurs qui semblent intéressants pour ce caractère,
- faire l'hypothèse d'un intérêt particulier du matériel venant d'octoploïdes/hexaploïdes pour ce caractère aussi.

1.2 Détermination du besoin en azote du triticale et intérêt du fractionnement de l'apport pour cette espèce

La fertilisation azotée du triticale constitue un élément essentiel de la conduite de la culture, notamment en ce qui concerne la détermination de la dose totale d'azote nécessaire et la mise en œuvre du fractionnement de l'apport.

Matériel et méthodes

En 2005, des essais préliminaires ont été conduits par Arvalis : 5 à 6 traitements pour définir la nature de la courbe de réponse à l'azote sur une variété (Bellac) ; 3 traitements, pour comparer différentes modalités de fractionnement sur 3 variétés (à Bignan (56) : Bellac, Trilogie, Bienvenu ; à Vors (12) : Bellac, Trilogie, Rotego). En 2006 et 2007, 2 types de dispositifs ont été mis en œuvre :

- un dispositif à 5 variétés (Bellac, Tremplin, Triskell, Matinal et Trilogie en 2006 ou Bienvenu en 2007) et 5 doses d'azote avec 4 répétitions, à Clermont-Ferrand (63) par l'INRA et à La Brosse-Montceaux (77) en 2006 ou à Milly-la-Forêt (77) en 2007 par Serasem. Ce dispositif avait pour objectif de déterminer l'efficacité de l'azote absorbé à l'optimum d'azote. Une courbe de réponse à l'azote à 5 doses d'azote est établie pour chaque variété, soit 25 traitements au total.

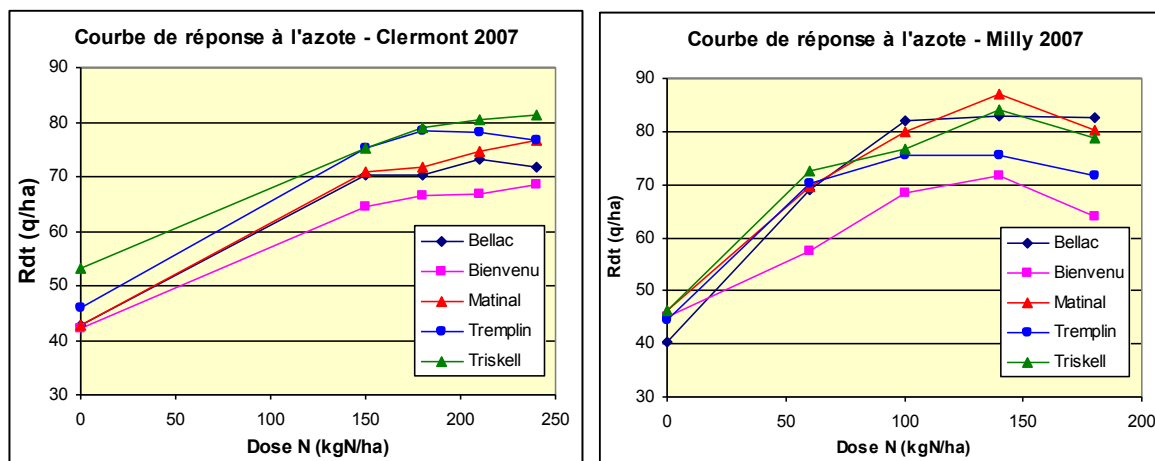
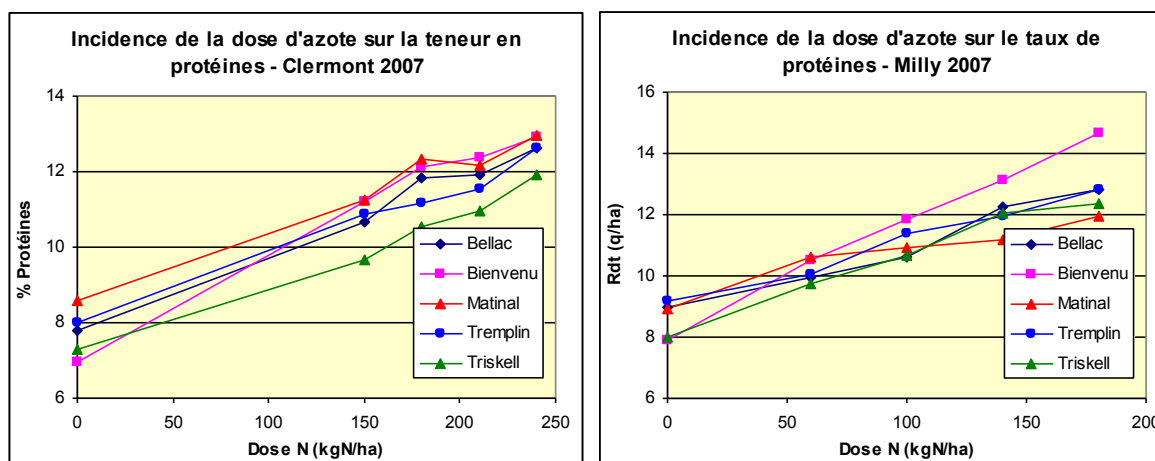
- un dispositif randomisé avec 27 à 32 traitements sans répétition combinant un nombre élevé de niveaux de fertilisation avec plusieurs modes de fractionnement mis en place à Bignan et Vors par ARVALIS (1 courbe de réponse avec 5 à 8 niveaux de fertilisation N par modalité de fractionnement en 2006 et 6 à 10 niveaux en 2007, 3 modalités de fractionnement : 0, 60 et 90 kgN/ha au stade Z 37-38 dernière feuille sortie, à Bignan : Bellac, Bienvenu en 2006 ; Bellac en 2007, à Vors : Trilogie, Rotego ; SW Talentro en 2007). Ce dispositif avait pour objectif d'étudier l'intérêt du fractionnement pour l'ensemble des doses étudiées.

Au total 10 essais ont été réalisés de 2005 à 2007 afin d'évaluer la variabilité du comportement de l'espèce vis-à-vis de la fertilisation azotée.

Résultats

Les figures 2 et 3 illustrent les résultats des essais à 5 variétés en 2007. A Clermont en 2007, les doses optimales d'azote varient de 180 KgN/ha (Bienvenu, Tremplin, Triskell) à 210 KgN/ha (Bellac, Matinal). A ces doses d'azote l'efficacité de l'azote absorbé est proche de 2,5 kg N/ha selon les variétés, ce qui traduit une bonne efficacité de l'azote. Pour l'ensemble des variétés, l'effet de la dose d'azote sur la teneur en protéines des grains est conforme à ce qui est habituellement observé pour les céréales à paille : une augmentation linéaire de la teneur en protéines en fonction de la dose d'azote apportée. A Milly, les conclusions sont similaires (dose optimale de 100 kgN /ha (Bellac, Tremplin) à 140 KgN/ha (Bienvenu, Matinal, Triskell), efficacité de l'azote absorbé pour la production de 2 kgN/ha à 2,5 kgN/ha).

Le triticale montre donc une bonne efficacité en azote, variable selon les variétés mais la forte variabilité intra-variété (lieux et années différentes) ne permet pas de préciser les besoins spécifiques de chaque variété.

Figure 2 : Courbes de réponse à l'azote à Clermont et La Brosse en 2007.**Figure 3 :** Incidence de la dose totale d'azote sur le taux de protéines à Clermont et La Brosse en 2007

Les Figures 4 et 5 illustrent, sur la variété Bellac en 2007 à Bignan, la courbe de réponse à l'azote du triticale lors de divers modes de fractionnement et l'incidence du fractionnement sur le taux de protéines.

En 2007 comme en 2006, différer une fraction de 60 ou 90 kg N/ha au voisinage de la dose optimale a permis l'obtention d'une augmentation de la productivité (figure 4) ainsi qu'une teneur en protéines plus élevée (figure 5). Pour une dose totale d'azote supérieure à l'optimum, le fractionnement est sans incidence notable sur la teneur en protéines. L'efficacité de l'azote absorbé (comprenant la part forfaitaire de 25% de la quantité d'azote accumulé dans les parties aériennes, attribuée aux racines) caractérisée par la quantité nécessaire à l'optimum pour produire 1 quintal de grain aux normes d'humidité (15% H₂O) diffère notablement selon le mode de fractionnement. L'efficacité de l'azote est sensiblement améliorée par le fractionnement de l'azote. Sans apport différé d'azote l'efficacité est proche de 2,5 kg N/q.

Conclusions et perspectives

La variabilité de l'efficacité de l'azote absorbé pour la production de grain a été très variable entre lieux et variétés. Cela ne permet pas de préciser le besoin spécifique de chaque variété, cependant, ces résultats combinés à d'autres résultats d'Arvalis ont permis d'évaluer le besoin moyen de l'espèce à 2,6kg N/q (Masson et al 2011), ce qui traduit une bonne efficacité de l'azote.

Il a aussi été démontré que le report d'une fraction de la dose N totale en fin de montaison permet l'obtention de teneurs en protéines élevées, sans pénaliser le rendement.

Figure 4 : Courbe de réponse à l'azote à Bignan (56)

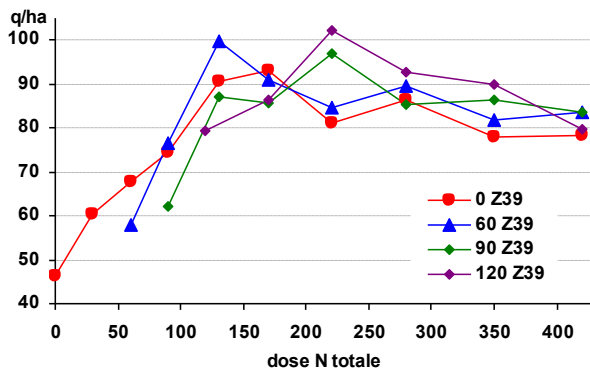
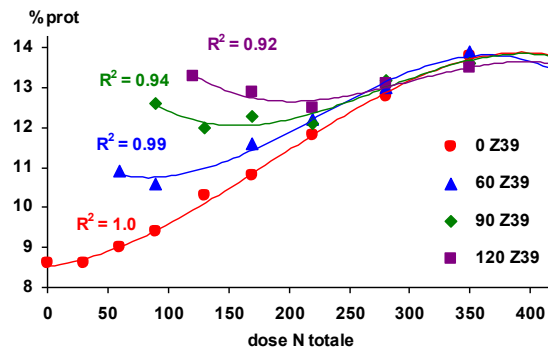


Figure 5 : Incidence du fractionnement sur le taux de protéines à Bignan (56)



1.3 Qualité des protéines

Les protéines du triticale sont réputées pour avoir une composition en acides aminés plus intéressante que celle du blé tendre : supérieure en lysine, légèrement supérieure en thréonine et équivalente en cystine, tryptophane. Cependant, les valeurs acquises par ARVALIS montrent que les équations de Mossé établies vers 1984 (publiées en 1988), utilisées jusqu'alors, surestiment les teneurs actuellement mesurées de certains acides aminés des triticales et spécialement de la lysine. De nouvelles équations ont été publiées par ARVALIS en 2004 (News@lim n°3 de mai 2004 et brochure « Utilisation du triticale pour l'alimentation des porcs et des volailles »). Il s'agit donc de vérifier si ces modifications de la composition en acides aminés, en particulier de la lysine et du tryptophane sont ou non expliquées par une évolution génétique des triticales, et cela par l'observation de variétés de triticale anciennes et plus récentes.

Matériel et méthodes

Un essai de 15 variétés de triticale, parmi les plus cultivées ces 20 dernières années, a été conduit dans 5 lieux par ARVALIS, l'INRA et le GIE TRITICALE en 2004. Les 60 échantillons ainsi produits ont été analysés pour leur composition en acides aminés par le laboratoire d'Ajinomoto-Eurolysine : les acides aminés totaux (tryptophane compris) pour les lieux Bignan (56, Arvalis) et La Brosse-Montceaux (77, Serasem), la lysine uniquement pour les lieux Clermont-Fd (63, INRA), Cappelle-en-Pévèle (59, Florimond-Desprez) et Druelle (12, R2n).

Résultats

La teneur en matières azotées totales (MAT) est dans une plage assez étendue sans pour autant présenter des valeurs aberrantes. Elle va de 9,8 % à 14,4 % avec une moyenne de 11,5 %. L'analyse de variance révèle une différence significative attribuée au lieu de culture mais aucune différence liée à la variété (figure 1). Cette variabilité n'aura pas d'influence sur les comparaisons des acides aminés car les valeurs seront exprimées en % de la matière azotée.

Seuls deux sites ont été analysés pour le profil complet d'acides aminés : « Bignan » et « Serasem ». Il n'existe pas de différences significatives entre les lieux pour la somme des acides aminés. Ces profils

sont identiques sur les deux sites et pour tous les acides aminés, exprimés en % de la MAT. L'année d'inscription ne semble pas avoir d'effet clair sur le profil des principaux acides aminés, tout du moins pour la thréonine et les acides aminés sulfurés (méthionine/cystine).

Les valeurs mesurées dans cette étude se rapprochent des valeurs prédites par les équations d'ARVALIS (2004). Le graphique ci-dessous (figure 2) montre, pour les principaux acides aminés, ces écarts, exprimé en pourcentage. A partir des calculs : $(AA \text{ mesuré} - AA \text{ prédit (Mossé ou ARVALIS)}) / AA \text{ mesuré} * 100$, pour chaque acide aminé nous observons d'une part, que les écarts plus importants concernent ceux de la lysine, la cystéine et l'arginine à partir des équations de Mossé, qui les surestiment (valeur prédite plus élevée que la valeur mesurée). Les valeurs prédites par les équations de Mossé sont surestimées entre 4 et 17 % selon l'acide aminé. Les valeurs prédites par les équations d'ARVALIS sur ces mêmes acides aminés sont assez proches des valeurs mesurées sauf pour la lysine et le tryptophane (sous-estimé de 7%).

Figure 1 : Matière Azotée Totale par lieu et par variété

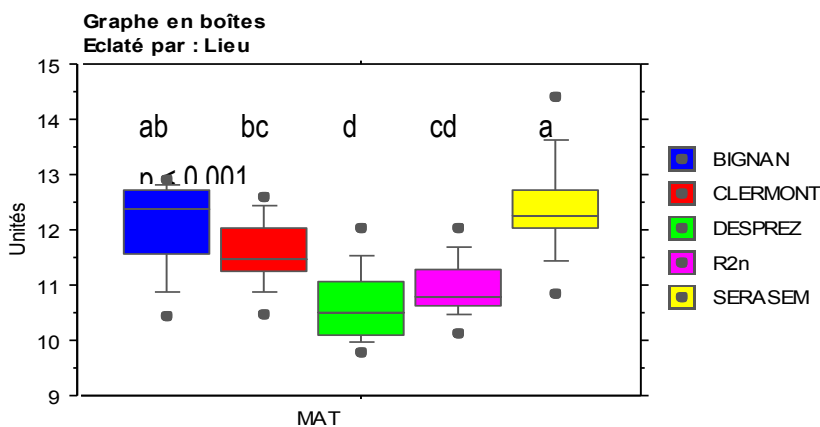
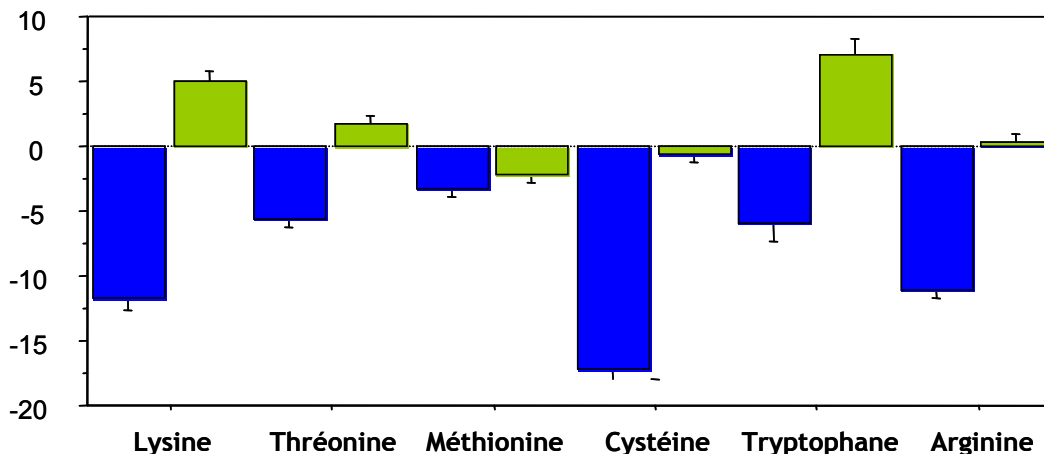


Figure 2 :

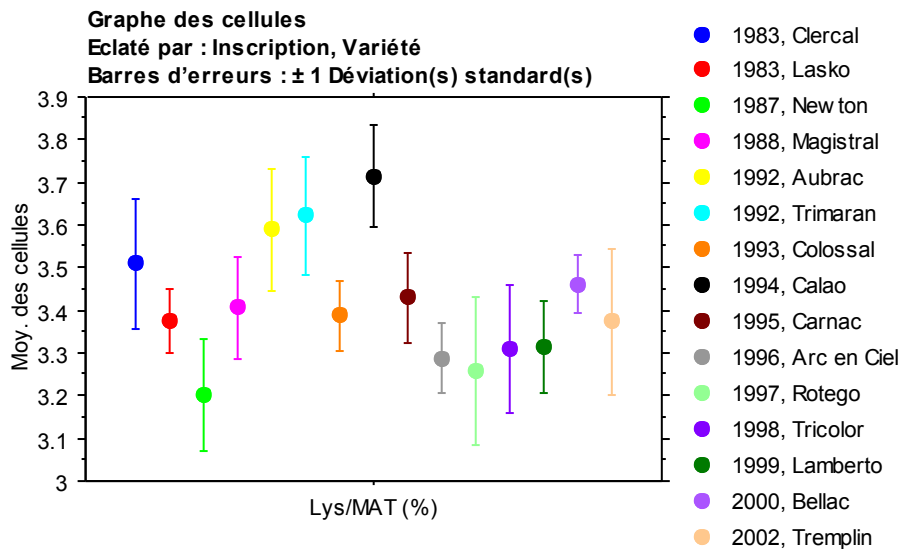
Écarts (%) entre les valeurs mesurées et les valeurs prédites avec les équations de Mossé (1988) ou d'ARVALIS (2004) des principaux acides aminés



La teneur en lysine, exprimée en % de la MAT, est dans une plage qui va de 2,99 % à 3,86 % avec une moyenne de 3,42 %, tous lieux et variétés confondus (figure 3). A la différence de la teneur en MAT,

l'analyse de variance révèle des différences significatives aussi bien attribuées au lieu de culture ($p < 0,05$) qu'à la variété ($p < 0,001$). Les différences entre les lieux de culture sont attribuées aux résultats sur deux sites : les résultats de « R2n » avec la teneur en lys/MAT la plus élevée et « Clermont » avec la plus basse. Les autres sites sont intermédiaires et statistiquement similaires aux deux extrêmes.

Figure 3 : Profil lysine/MAT par variété



La figure 4 montre les valeurs de lysines attendues à partir de la teneur en MAT en utilisant les équations de prédiction de Mossé et d'ARVALIS d'une part, et les valeurs réellement mesurées dans cette étude d'autre part. Nous confirmons les résultats de l'étude faite par ARVALIS (cf. brochure Triticale, 2004), dans laquelle les équations proposées par Mossé en 1988 surestiment les valeurs mesurées sur des triticales plus récentes. La question était alors de savoir si cette surestimation s'expliquait par une évolution uniquement génétique. Si tel était le cas, les valeurs des variétés les plus anciennes, utilisées par Mossé à l'époque (Newton, Clercal, ..) auraient dû donner des résultats similaires à la valeur calculée. Le graphique montre cependant que tous les triticales, quelle que soit la variété et quel que soit le lieu de production, ont des teneurs en lysine plus faibles que ceux prédits par l'équation de Mossé. Par contre, ils sont plus proches des valeurs obtenues avec l'équation de prédiction proposée par ARVALIS (2004), malgré une plage de variation assez étendue et une corrélation avec la teneur en MAT légèrement plus faible ($r^2 = 0,61$) que celle obtenue lors de l'établissement de l'équation d'ARVALIS 2004 à partir de 55 valeurs ($r^2=0,67$).

Les valeurs de lysine les plus élevées sont toutefois celles des variétés inscrites avant 1996, bien que la séparation entre les deux nuages de points ne soit pas très nette (figure 5) et que l'écart entre les 2 droites (0,16 g/kgMS) soit très inférieur de celui observé avec les valeurs prédites par l'équation de Mossé (0,54 g/kgMS).

En termes pratiques, la différence entre « avant 1996 » et « après 1996 » serait d'environ 7% pour des triticales à 10 % de protéines : on aurait en effet des teneurs en lysine de 3,70 gLys/kgMS pour les triticales « avant 1996 » et de 3,45 gLys/kgMS pour les triticales « après 1996 ». Les mêmes triticales selon l'équation de Mossé auraient été estimés à 4,42 gLys/kgMS. Il faut toutefois signaler que le triticale présente encore un avantage par rapport au blé pour cet acide aminé. Un triticale à 10% de protéines apporte la même quantité de lysine qu'un blé à 12 % de protéines.

Figure 4 : Teneur en lysine en fonction de Matière Azotée Totale (mesurée et prédites par les équations de Mossé et d'ARVALIS)

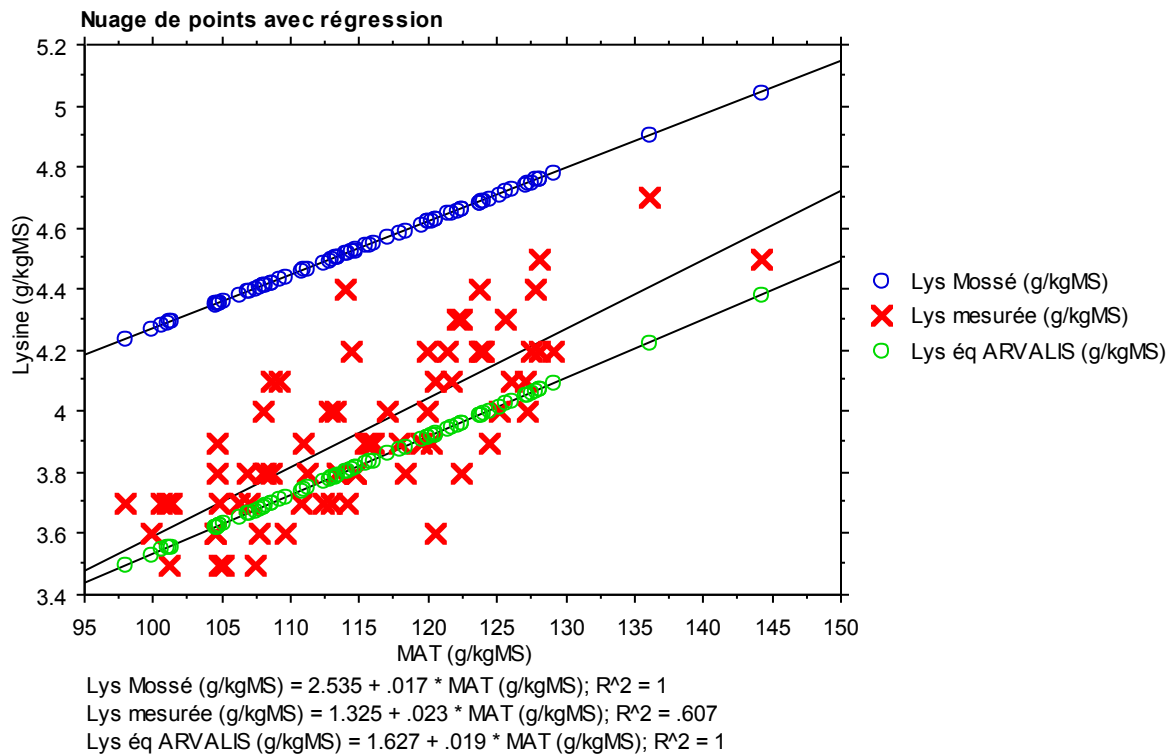
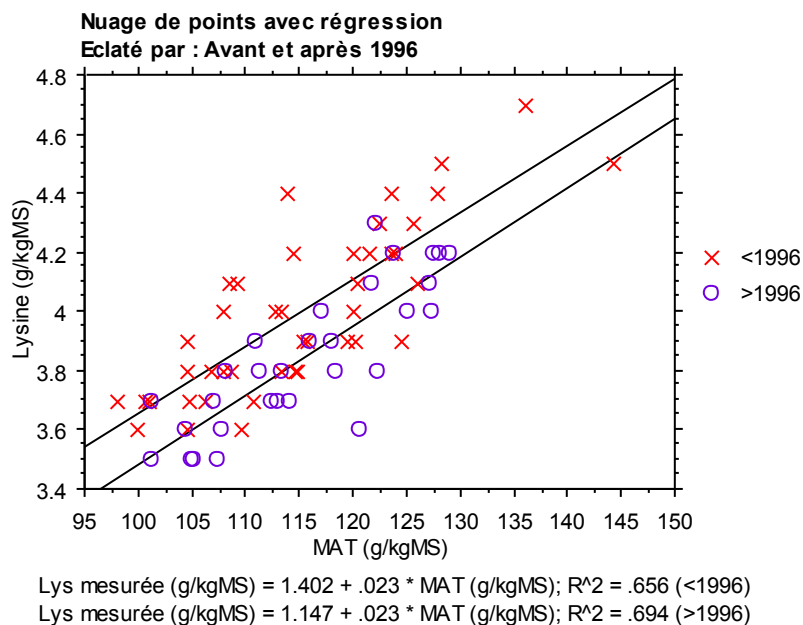


Figure 5 : Régressions Lysine fonction de Matière Azotée Totale selon date d'inscription des variétés



Conclusions

L'analyse des résultats confirme l'observation faite par ARVALIS en 2004 sur la surestimation de la teneur de certains acides aminés des triticales à partir des équations établies par Mossé, la différence la plus importante étant celle de la lysine. La mesure de la lysine sur des variétés anciennes, telles que celles qui ont servi à l'établissement de l'équation de Mossé, ne change pas cette conclusion. Les

équations de Mossé surestiment la teneur en lysine, quelle que soit la variété et le lieu de production. Il est donc vraisemblable qu'il ne s'agisse pas d'une évolution génétique (ou pas uniquement) mais des différences qui peuvent être liées à la précision des mesures. Il existe néanmoins, pour les variétés présentes dans cette étude, une tendance des variétés inscrites avant 1996 à se rapprocher plus des valeurs mesurées par Mossé que celles inscrites après 1996. Les équations établies par ARVALIS en 2004 sont plus pertinentes que celles de Mossé *et al.* (1988) pour prédire la teneur en acides aminés à partir de la teneur en MAT.

Ces travaux ont été présentés dans la revue New@lim n°16 de janvier 2008, lettre d'information du pôle Valeurs Nutritionnelles d'ARVALIS – Institut du végétal, revue diffusée par courrier électronique à la filière (Organismes stockeurs, firmes services, Fabricants d'aliments, Instituts, chambres d'agriculture, etc.).

1.4 *Activité phytasique*

Matériel et méthodes

En 2005 et en 2006, les échantillons collectés provenaient d'une part d'une collection de triticales inscrits ou ayant été inscrits au catalogue français, implantée en parcelles d'essai à Clermont-Fd en 2005 et en 2006 (41 variétés communes et une vingtaine de variétés spécifiques à chaque année), visant à explorer la diversité génétique cultivée pour ce caractère, et d'autre part de 2 essais d'une dizaine de lignées chaque année, dont 3 témoins CTPS et la variété Calao, implantées dans le réseau multilocal GIE TRITICALE – INRA en 2005 et 2006 (adt), avec des répétitions, permettant d'évaluer les effets génétiques et environnementaux ainsi que leurs interactions. Les échantillons des essais multilocaux sont les mêmes que pour la partie teneur en protéines (cf 1.1).

Les déterminations de l'activité phytasique sur ces échantillons ont été réalisées par le laboratoire INZO.

Résultats

Sur la collection de variétés, chaque année, on peut observer une variation du simple au triple. Cependant, l'année 2006 montre des valeurs d'un niveau légèrement plus faible qu'en 2005 (de 497 à 1642 U/kg avec une moyenne de 944 en 2006 au lieu de 584 à 1810 avec une moyenne de 1140U/kg en 2005). Cette baisse est due à un effet année (et non un biais dû à l'échantillon de variétés comme en témoignent la figure 13 (réduit aux variétés communes aux 2 années) et l'analyse de variance (données non présentées).

Sans répétitions, nous ne pouvons tester les interactions variété x année, cependant l'observation de représentations graphiques nous indique que des interactions variétés x année existent bien mais cependant, on peut distinguer des variétés à plutôt fortes activités phytasiques (Alamo, Tricolor, Calao ...) et d'autres plutôt faibles (Kortego), dans le contexte de Clermont-Ferrand, ces 2 années. Le coefficient de corrélation linéaire (Pearson) entre 2005 et 2007 est de 0,7. Il semble qu'on puisse distinguer 2 types de variétés : des variétés assez stables (peu de variations entre 2005 et 2006) et des variétés qui ont baissé en 2006, plus ou moins fortement.

Figure 13 : Activités phytasiques (en U/kg) mesurées sur la collection à Clermont en 2006 en fonction de celles de 2005 (41 variétés communes)

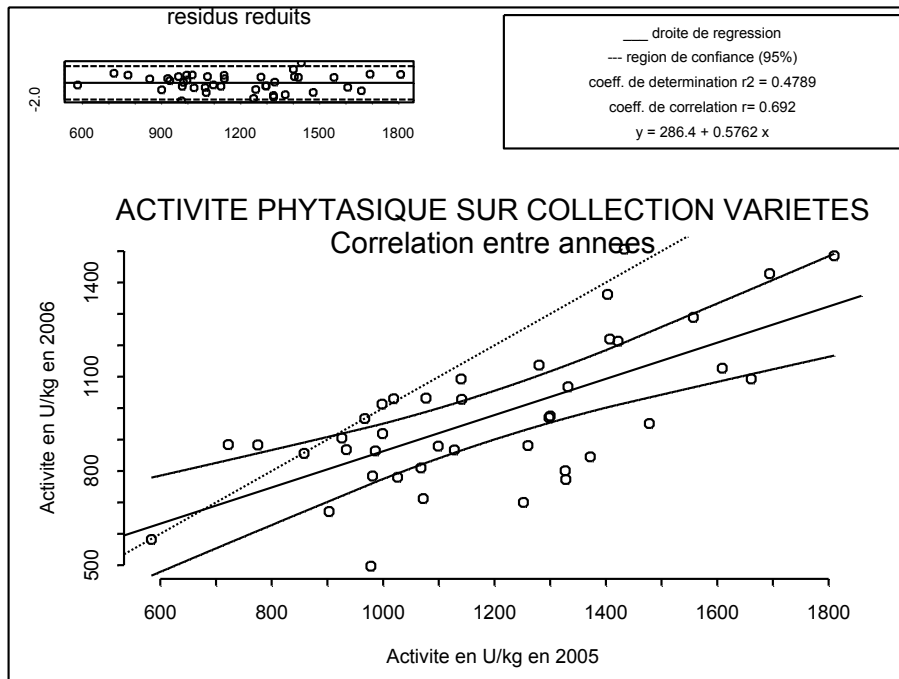
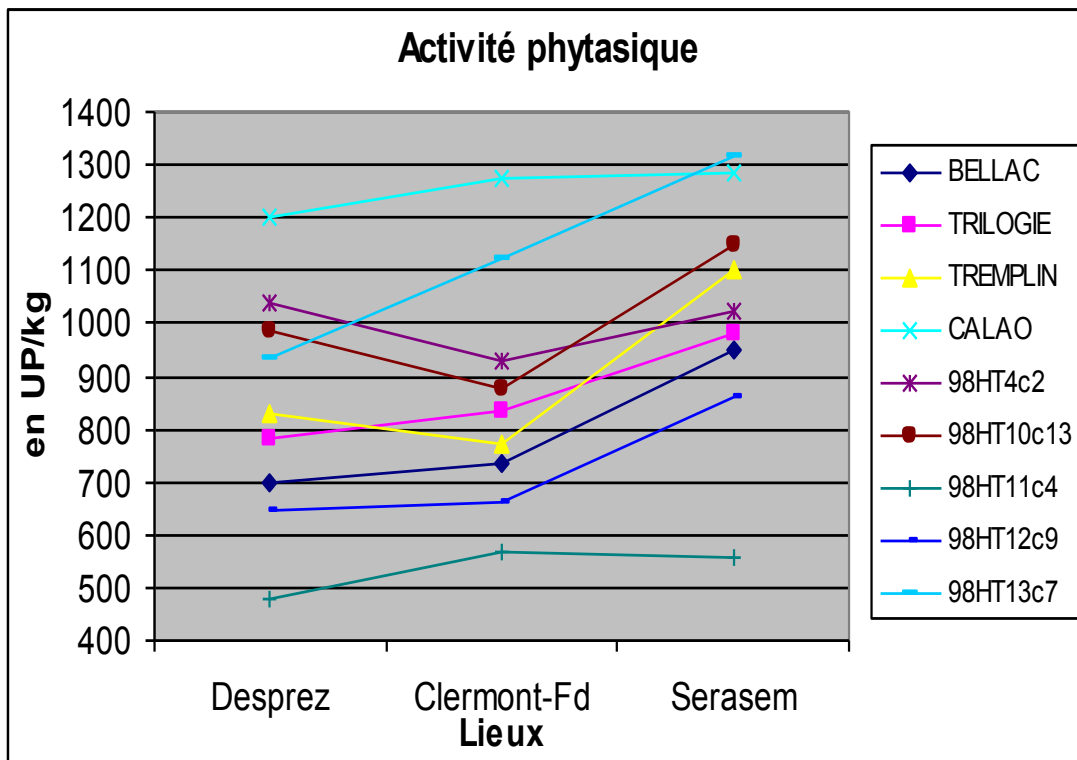


Figure 14 : Activités phytasiques (en U/kg) mesurées sur l'essai adt multilocal en 2006



Les essais multilocaux et pluriannuels avec répétitions ont pour objectif de préciser les parts respectives des effets variétaux et environnementaux sur ce caractère et d'évaluer les lignées originales provenant de croisement entre triticales primaires octoploïdes et triticales adaptés hexaploïdes. La figure 14 illustre les résultats obtenus en 2006. Que ce soit en 2005 ou en 2006, on remarque des génotypes plutôt forts quel que soit le lieu (Calao et 97HT10c21 en 2005 ; Calao et 98HT13c7 en 2006) ou à l'inverse régulièrement faibles (Bellac en 2005 ; 98HT12c9 et surtout 98HT11c4 toujours inférieur à 600 U/kg en 2006). Pour les génotypes intermédiaires, le classement est plus fluctuant selon les lieux en 2005 mais assez conservé en 2006 (figure 14). Ceci est confirmé par les corrélations entre lieux : en effet, elles sont élevées en 2006 (de 0,86 à 0,90, significatives au seuil $p < 0,001$) mais plus faibles en 2005 selon les lieux comparés (de 0,36 non significative à 0,87 significative au seuil $p < 0,01$).

En 2005 comme en 2006, les analyses de variance montrent qu'il existe à la fois un effet lieu et un effet génotype. L'effet lieu est cependant assez modéré en 2005 (amplitude de d'environ 300 U/kg entre les lieux extrêmes) et surtout en 2006 (amplitude d'environ 150 U/kg), tandis que les amplitudes génotypiques sont plus fortes, allant d'environ 650 et 700 U/kg respectivement en 2005 et 2006.

L'effet génotype est assez marqué les deux années, et des génotypes se distinguent clairement comme déjà évoqué précédemment. On confirme, en 2005 et en 2006, la forte activité phytasique de Calao, déjà connue d'après des études précédentes (et raison de sa présence dans cet essai).

La présence de Bellac et Tremplin dans les deux séries d'essais (collection ou adt) nous a permis de comparer ces 2 catégories de matériel mais il ne semble pas y avoir de différence notable entre les deux groupes (observations graphiques et analyse de variance).

Conclusions et perspectives

Nous montrons par ces expérimentations que la variabilité pour l'activité phytasique est importante parmi les triticales ayant été inscrits en France, allant du simple au triple. Cette étude confirme aussi que l'activité phytasique est un caractère ayant une part génétique importante, pour lequel des génotypes à forte activité ou au contraire à faible activité peuvent être identifiés par des essais multilocaux et pluriannuels. Cependant, les effets milieu existent aussi avec des interactions génotype x milieu possibles. Le matériel issu de croisements entre octoploïdes et hexaploïdes ne se distingue pas particulièrement des variétés cultivées mais il montre une assez grande variabilité, même sur un nombre restreint de lignées et ayant des géniteurs peu nombreux.

La poursuite des travaux sur ce caractère devrait s'orienter vers une étude génétique plus approfondie à partir de croisements entre les génotypes contrastés repérés dans cette étude (par exemple : Calao x Kortego).

2. Production de paille

Le rendement en paille est un aspect important de la production du triticale, cependant il reste assez peu étudié, notamment du fait de difficultés méthodologiques. Dans un premier temps, nous nous sommes attachés à cet aspect méthodologique, puis nous avons regroupé l'ensemble des données disponibles (mesures directes ou indirectes) pour dégager les éléments importants concernant la diversité génétique de ce caractère, ses parts génétiques et environnementales et ses liens avec d'autres caractères importants (précocité, hauteur, rendement en grain) pouvant avoir des conséquences sur l'utilisation du triticale.

2.1 Méthodologie

Matériel et méthodes

Les mesures directes ont été réalisées 2005, 2006 et même 2007 sur plusieurs lieux du réseau multilocal GIE TRITICALE – INRA (nommé adt, déjà décrit précédemment 1.1 et 1.4) sur

respectivement 10, 9 et 12 lignées et variétés témoins et avec des données exploitables dans 2-3 lieux chaque année. Elles ont été aussi réalisées sur 10 variétés de la collection de variétés INRA en 2005 et 2006 et une répétition de l'essai azote (sur 2 modalités N) à Clermont-Fd en 2006. Parallèlement, sur les mêmes micro-parcelles à Clermont-Ferrand, des mesures indirectes ont été testées, principalement de 2 types : en utilisant classiquement le rapport grain/paille issu d'un bottillon et le rendement grain de l'ensemble de la parcelle ; en utilisant une estimation du nombre de tiges de la parcelle et le poids moyen d'une tige. De plus, de nombreuses autres mesures ont été réalisées sur l'essai adt Clermont-Ferrand en 2005, par une stagiaire, notamment en tentant d'utiliser des composantes du rendement en paille et d'évaluer les effets de différents paramètres (hauteur de coupe, balles et rachis, effet bordures, humidité ...) : ceci ne sera pas détaillé dans cet article. Des mesures de rendement en paille ont aussi été réalisées sur l'essai fertilisation INRA (cf 1.2), nommé « azote ».

Le rendement en paille est exprimé en matière sèche et nous avons gardé l'unité q/ha de même que pour le grain.

Résultats

Le tableau 4 présente les coefficients de corrélation calculés entre les rendements en paille mesurés directement et les différentes estimations envisagées, sur les différents dispositifs. La figure 6 en illustre un des meilleurs résultats.

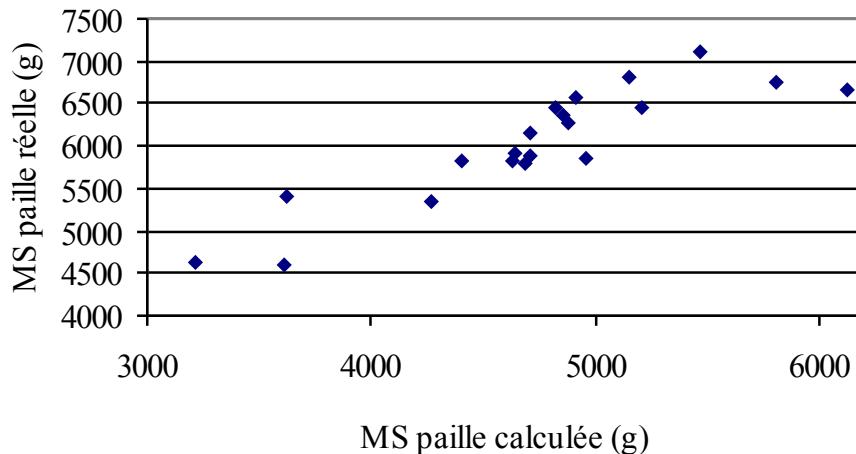
Tableau 4 : Coefficient de corrélation r avec le rendement en paille mesuré directement

Dispositif	Effectif	Estimation « tiges »	Estimation « rapport »	Estimation « composantes »	Rendement grain
adtm CF 2004	9 x 2	0,80***	0,86***	0,02 NS	0,84 ***
adtm CF 2005	10 x 2	0,58 **	0,56**	0,18 NS	0,27 NS
adtm CF 2005	10 moy.	0,77 **	0,78 **	0,27 NS	0,28 NS
Collection CF 2005	10	0,90 ***	0,90 ***	-	0,74 **
adtm+Coll.CF 2005	20	0,90	0,84	0,71	0,61 **
adtm CF 2006	9	0,87	0,62	-	0,25 NS
Collection CF 2006	10	0,88 ***	0,62 *	-	0,40 NS
« azote » CF 2006	10	0,35 NS	0,79 **	-	0,92 ***
adtm CF 2007	12	-	-	-	0,25 NS

adtm : essai multilocaux sur lignées adt, Collection : essais sur variétés inscrites en France, « azote » : essai fertilisation Clermont-Ferrand, CF : essai mené à Clermont-Ferrand

Ce tableau récapitulatif montre une assez grande variabilité des résultats. Cependant, on peut en déduire que lorsque la gamme de variabilité est assez large, et d'autant mieux estimée qu'on dispose de répétitions permettant de travailler sur des moyennes par génotype, on obtient des corrélations satisfaisantes souvent supérieures à 0,8 et pouvant atteindre 0,9. Les estimations « tiges » et « rapport » sont souvent proches avec le plus souvent un léger avantage à l'estimation « tiges ». L'estimation « composante » n'est pas aisée à utiliser (encore moins en paille que sur le grain !) même si en 2005, en utilisant un mode de décomposition simplifié pour la paille par rapport à celui de 2004, on obtient de meilleurs résultats notamment sur la gamme adtm+collection. Dans le cas de l'essai azote, nous avons à la fois une variabilité génotypique (5 variétés) mais aussi 2 doses d'azote très contrastées qui ont eu encore plus d'effet, tant sur la paille que sur le grain, et ceci rend la corrélation rendement grain-paille très élevée. Par ailleurs, dans cet essai, un semoir différent avait été utilisé (8 rang sur 1,5m au lieu de 5 rangs sur 1,5m) et cela a peut-être aussi modifié les résultats. Ces résultats ne sont donc pas forcément extrapolables à tout type de micro-parcelles.

Figure 6 : Relation entre la quantité de Matière Sèche paille estimée par le nombre de tiges et la quantité récoltée (en 2006 sur l'essai adtm, moyenne de 2 répétitions, et la collection)



Conclusions et perspectives

Les estimations « tiges » et « rapport » sont en général suffisamment performantes pour estimer le rendement paille. Enfin, la corrélation avec le rendement grain s'est montrée toujours positive indiquant une bonne production de biomasse générale de certains génotypes.

2.2 Etude du rendement en paille

Matériel et méthode

Outre les travaux prévus par le contrat, d'autres dispositifs expérimentaux ont été exploités en supplément. Au total, les travaux concernant la paille ont eu pour supports expérimentaux :

- les essais multilocaux GIE TRITICALE – INRA « adtm » déjà évoqués précédemment comme prévu, auxquels s'ajoutent des données préliminaires de 2003 et 2004 aussi (mesure directe),
- la collection de variété de triticales ayant été inscrites en France, implantée 2 années successives à l'INRA Clermont-Ferrand (2005 et 2006), mise en place pour l'étude de l'activité phytasique (en plus des travaux prévus par le contrat) (mesure « tige »)
- l'essai INRA de Clermont-Ferrand, destiné à la partie azote de ce contrat, en 2006 (en plus des travaux prévus par le contrat) (mesure « tige »)
- des essais multilocaux sur variétés commerciales menée par ARVALIS (2 années : 2006 et 2007, 3 lieux) (mesure « rapport »)

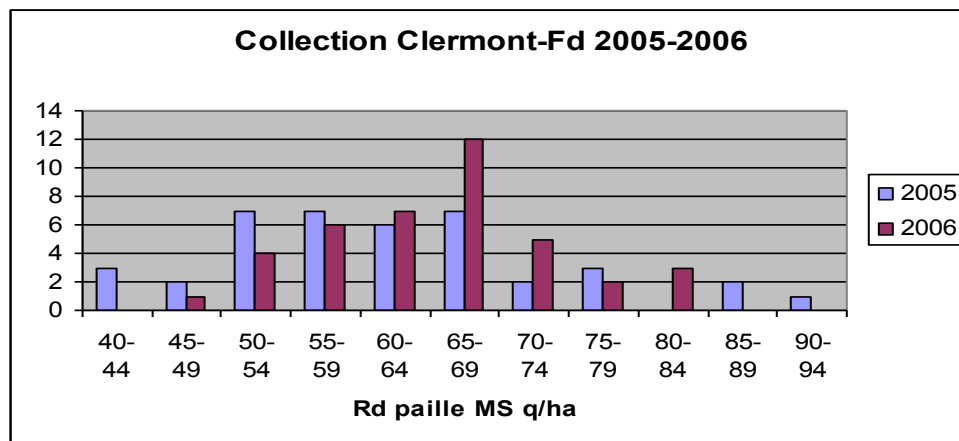
Résultats

En 2005 et 2006, les résultats montrent une amplitude de variation importante pour le rendement en paille sur la collection de variété : du simple au double. La figure 7 rassemble les données pour 40 variétés communes.

On note en 2005 une plus grande étendue de la variation (de 41,7 à 90,5 q/ha) qu'en 2006 (de 45,6 à 83,2). En 2006 par contre, la moyenne est un peu plus élevée (64,8 contre 61,5) et surtout la distribution est décalée vers des valeurs plus fortes (1e quartile à 59,5 contre 50,8). Ces variations sont assez similaires à celle du rendement grain, avec cependant une étendue légèrement plus grande pour la paille. Les niveaux sont aussi assez voisins, mais nous avons vu précédemment que l'estimation indirecte avait tendance à sous-estimer le rendement paille. La variation observée reflète la variabilité

génétique mais dans un lieu seulement, d'autres lieux plus productifs peuvent conduire à de plus forts rendements de paille.

Figure 7 : Histogramme des rendements paille, estimation « tiges » sur 40 variétés communes, en 2005 et 2006 à Clermont-Ferrand



Les effets génétiques, environnementaux et interactions ont été étudiés sur les essais multilocaux adtm INRA-GIE TRITICALE (octoploïdes x hexaploïdes) en 2005, 2006 et 2007. Le tableau 2 récapitule les analyses de variance réalisées ces 3 années. On note que l'effet lieu est souvent bien plus important que l'effet génotype, ce dernier n'étant pas toujours mis en évidence. Des interactions Génotypes x Lieu peuvent aussi être révélées parfois.

Tableau 5 : Récapitulation des analyses de variances par année, sur le rendement paille mesuré directement

Année	Nb de lieux	Moyenne	CV	ETR	Lieu	Rep(lieu)	Génotype	Génotype x Lieu
2004								
2005	3	74,1	6,4	4,8	***	***	*	*
2006	3	85,0	10,8	9,1	***	*	NS	NS
2007	2	60,7	5,5	3,3	***	NS	***	NS

Les liaisons entre rendements paille et divers caractères ont été étudiées (tableaux 3 et 4). Comme nous l'avons déjà noté précédemment, la liaison avec le rendement grain est positive en général, mais elle est d'un niveau plus ou moins élevé selon les conditions. Les cas de corrélations négatives entre rendement paille et rendement grain restent exceptionnels et non significatifs (2 cas sur 10 essais adtm). La relation rendement paille – hauteur n'est pas aussi forte que l'on aurait pu s'y attendre *a priori*, ou du moins elle n'est peut-être pas linéaire. Un graphique réalisé en 2004 montrait plutôt une répartition des points dans une moitié du plan, montrant que si les lignées hautes donnent en effet plutôt de forts rendements paille, le même niveau de rendement peut aussi être atteint par des lignées courtes (plus de tallage et/ou paille plus épaisse). Le graphique d'Arvalis (figure 8) va dans le même sens. Une corrélation avec la précocité apparue dans les essais Arvalis semble surtout due à des points

extrêmes et ne se retrouvent pas non dans les essais adtm (moins de géotypes et gamme plus restreinte cependant).

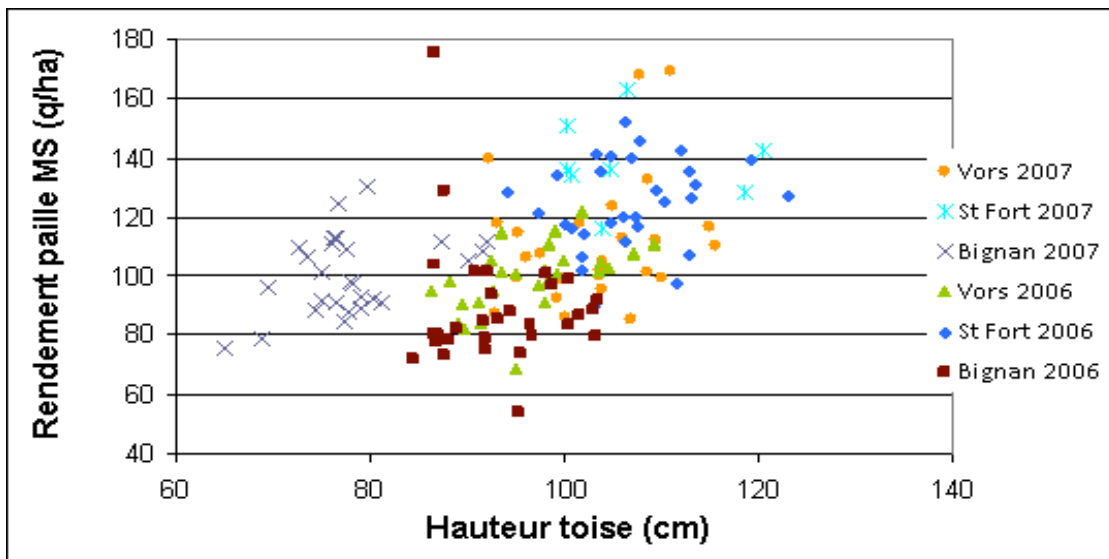
Tableau 6 : Corrélations entre le rendement MS paille et la date d'épiaison, la hauteur et le rendement grain sur les moyennes de 2 à 4 lieux chaque année 2005, 2006 et 2007 avec respectivement : 9, 10 et 12 lignées pour les adtm et 10 variétés pour la collection

	Epiaison	Hauteur	Rendement grain
adtm 2005	-0,16 NS (de -0,19 à 0,12)	0,10 NS (de 0,03 à 0,70)	0,45 NS (de -0,13 à 0,65)
Collection 2005	0,40 NS	0,32 NS	0,74 **
Collection+adtm 2005	0,33 NS	0,32 NS	0,61 **
adtm 2006	0,23 NS (-0,15 ; 0,5)	0,61 * (0,56 ; 0,57)	0,57 NS (0,25 ; 0,79)
Collection 2006	0,57 *	0,47 NS	0,40 NS
adtm 2007	0,32 NS (de 0,02 à 0,37)	0,32 NS (de 0,12 à 0,33)	0,26 NS (de -0,15 à 0,36)

Tableau 7 : Corrélations entre biomasse non grain et divers caractères par lieu (Arvalis)

R ²	Vors	Bignan	Saint Fort	Moyenne
Rendement grain	-	28 %	7 %	0% (sur 2 essais)
Biomètre	42 % (récolte)	0 % (grain laiteux)	5 % (récolte)	21 %
Hauteur	18 % (récolte)	0 % (grain laiteux)	8 % (récolte)	7 %
Date épiaison	40 %	30 %	52 %	67 %

Figure 8 : Liaison hauteur – rendement paille (essais Arvalis)



Conclusions et perspectives

On peut utiliser des méthodes indirectes de mesures du rendement en paille mais elles demeurent délicates et mieux vaut les tester auparavant sur son propre dispositif expérimental. Quelle que soit la méthode, il est important de bien mesurer l'humidité de la paille, celle-ci pouvant fluctuer beaucoup plus que celle du grain. Les effets géotypiques existent bien et l'enjeu variétal est d'environ 30 q/ha mais les effets environnementaux sont souvent plus importants et l'imprécision des mesures sur ce caractère rend difficile le classement variétal. Les liaisons avec les autres caractères ne sont pas très nettes, ni

très simples. Le point positif est que la liaison avec le rendement grain, même si elle n'est pas toujours forte, reste positive et une sélection sur le rendement grain va dans le sens d'une bonne production de paille aussi.

Conclusion générale

Ce programme a permis de préciser de nombreux points concernant le triticale, culture présentant de nombreux atouts pour une agriculture durable.

Il existe une corrélation négative **teneur en protéines** - rendement, comme chez le blé, mais qu'on peut identifier certains génotypes qui s'écartent significativement de la droite de régression. Les effets ne sont pas toujours faciles à mettre en évidence, c'est pourquoi les essais multilocaux sont nécessaires.

La **fertilisation azotée** du triticale doit tenir compte de besoins moindres que le blé (2,6kg N/q) et le fractionnement de la dose (report d'une partie en fin de montaison) permet d'augmenter la teneur en protéines sans pénaliser le rendement mais aussi de limiter des accidents tels que la verse par exemple.

La composition du triticale en **acides aminés** présente un intérêt, surtout pour la lysine. Les nouvelles équations d'ARVALIS - Institut du végétal sont plus proches des valeurs mesurées que les anciennes équations de Mossé pour la plupart des acides aminés, même pour les anciennes variétés. Les variétés inscrites avant 1996 semblent globalement présenter des teneurs en lysines légèrement supérieures à celles inscrites ultérieurement, mais l'évolution génétique n'est pas nette. Le triticale garde un intérêt pour la lysine en comparaison au blé tendre à teneur en protéines similaire.

L'**activité phytasique** est un caractère principalement sous contrôle génétique, avec cependant des effets milieu mais assez peu d'interactions génotype x milieu. La variabilité existante chez le triticale est importante. Ceci en fait un caractère possible à travailler en sélection.

La **production de paille** peut être mesurée indirectement (corrélations suffisantes) mais les mesures sont souvent imprécises et comme le rendement en grain, ce caractère est très influencé par les interactions génotype x milieu, ce qui en fait un caractère assez difficile à étudier. Le rendement paille est lié positivement au rendement grain (production de biomasse globale) même si certains génotypes peuvent aussi s'écarter de la droite de régression. Le lien avec la hauteur existe mais n'est pas aussi simple : une forte hauteur conduit logiquement le plus souvent à un fort rendement en paille mais certains triticales courts peuvent aussi être très productifs.

La plupart de ces travaux ont été diffusés auprès de la communauté scientifique et des utilisateurs. Certains mériteraient une poursuite des études.

Remerciements

Ce programme a bénéficié du financement du Ministère de l'Agriculture. Ce travail n'a pu être réalisé que par l'implication de chacun des sélectionneurs du GIE TRITICALE, en particulier Pierre Blanc (Florimond-Desprez), Jean-Paul Le Goff (RAGT 2n), Jean-Michel Delhaye (Lemaire-Deffontaines) et Hubert Havegeer (Serasesm), qu'ils en soient tous chaleureusement remerciés ainsi que tout le personnel technique INRA, ARVALIS - Institut du végétal et des membres du GIE TRITICALE. Marie-Hélène Bernicot (Arvalis) a aussi participé à la mise en place de ce projet. Plusieurs stagiaires ont aussi contribué à ce travail à l'INRA : Didier Alberganti, Stéphanie Drusch, Medhi Aït-Abbas.

Références bibliographiques

- ARVALIS – Institut du végétal, 2004. Utilisation du triticale pour l'alimentation des porcs et des volailles. Brochure ARVALIS – Institut du végétal, 2004. 8p.
- Aït-Abbas M., 2006. Impact de la fertilisation azotée et du génotype sur la production de grain et de paille du triticale. Rapport de stage de BTS du lycée agricole de Croix-Rivail (Martinique)
- Alberganti D., 2004. Triticale et paille : y a-t-il un effet génotype ? Rapport de stage de BTS du lycée agricole de Châteauroux.
- Bouguennec A., Vilariño M., Blanc P., Delhaye J.M., Havegeer H., Le Goff J.P., Lonnet P., Balfourier F., 2009. Phytase activity in Triticale. Poster 7th international Triticale Symposium 23-26 mars 2009 Ciudad Obregon, Mexico
- Drusch S., 2005. Evaluation quantitative et qualitative de la production de paille par le triticale. Rapport de stage de maîtrise IUP Productions végétales UFR des Sciences d'Angers.
- Masson E., Castillon P., 2011. Fertilisation azotée du triticale : réserver une part de la dose pour la fin de montaison. Perspectives Agricoles n°377, 62-64
- Mossé J., Huet J.C. Baudet J., 1988. The amino acid composition of triticale grain as a function of nitrogen content: comparison with wheat and rye. *Journal of cereal sciences* 7, 49-60
- Oury F.X., Berard P., Brancourt-Hulmel M., Depatureaux C., Doussinault G., Galic N., Giraud A., Heumez E., Lecomte C., Pluchard P., Rolland B., Rousset M., Trottet M., 2003. Yield and grain protein concentration in bread wheat: a review and a study of multi-annual data from a French breeding program. *Journal of Genetics & Breeding* 57, 59-68
- Oury F.X., Godin C., 2007. Yield and grain protein concentration in bread wheat: how to use the negative relationship between the two characters to identify favourable genotypes? *Euphytica* 157, 45-57
- Vilariño M., 2004. Des nouvelles équations de prédiction des acides aminés pour les triticales français. *News@lim* n°3, mai 2004. Newsletter électronique d'ARVALIS – Institut du végétal).
- Vilariño M., 2008. L'évolution du rapport lysine / protéines des triticales est-elle expliquée par la sélection génétique ? *News@lim* n°16, janvier 2008 (Newsletter électronique d'ARVALIS – Institut du végétal).