

Caractérisation des variétés de blé tendre d'hiver vis-à-vis de leur tolérance aux carences azotées précoces et à leur capacité à valoriser des reports importants de dose d'azote en fin de cycle

J.P. Cohan^{1*}, F. Piraux¹, P. Du Cheyron², M. Bonnefoy³ & P. Gate¹

1 : ARVALIS – Institut du végétal / Station expérimentale 91 720 Boigneville

2 : ARVALIS – Institut du végétal / La Minière 78 280 Guyancourt

3 : ARVALIS – Institut du végétal / 45, Voie Romaine BP 23 41240 Ouzouer Le Marché

* : auteur pour correspondance (jp.cohan@arvalisinstitutduvegetal.fr)

Résumé

La caractérisation d'un comportement variétal spécifique du blé tendre vis-à-vis de la nutrition azotée est une question récurrente dans l'optimisation des itinéraires techniques. Des travaux antérieurs sur un nombre restreint de variétés ont permis de conclure qu'une composante variétale vis-à-vis de la tolérance aux carences azotées précoces existe et qu'elle serait reliée à la capacité à valoriser de forts apports d'engrais azotés en fin de montaison. Cette étude a pour objectif de valider ces conclusions sur une large gamme variétale, de définir une méthodologie de caractérisation expérimentale simple et de déterminer les enjeux d'une telle caractérisation.

14 expérimentations ont été mises en place de 2005 à 2008 dans une large moitié nord de la France. Elles comparaient sur une large gamme variétale de blé tendre d'hiver 3 conduites azotées : forte carence précoce, fort report en fin de montaison à la dose bilan, conduite classique à la dose bilan. L'analyse des résultats a permis de valider les conclusions des études précédentes : les variétés présentant le meilleur comportement en situation de carence précoce présentent, en tendance, une bonne capacité à valoriser de gros report en fin de montaison. Une méthodologie simple de caractérisation a été établie. Elle consiste à introduire une modalité carencée précocement en azote introduite dans des essais de screening variétal classiques avec des mesures simples de variables de production et d'indicateur du niveau de nutrition azotée. Des comportements différenciés en terme de tolérance aux carences azotées précoces ont été établis sur 11 variétés représentatives du paysage variétal de la moitié nord de la France à l'époque des essais. Des réflexions sont apportées sur la pertinence d'une telle caractérisation en terme de valorisation et de comportement général des variétés testées, dans la mesure où, en tendance, une variété performante en situation de carence précoce l'est aussi souvent en situation non carencée.

I - Introduction

Dans l'optique d'optimiser d'un point de vue technico-économique les itinéraires techniques de fertilisation azotée du blé tendre d'hiver, la caractérisation d'un comportement variétal spécifique est un sujet qui revient souvent sur le devant de la scène. De précédents travaux réalisés par ARVALIS – Institut du végétal (Gate 2007) ont tiré des conclusions sur un nombre restreint de variétés :

- Il existerait une composante variétale dans la tolérance aux carences azotées précoces
- Il existerait une composante variétale dans la capacité à valoriser des reports importants d'azote fin montaison
- Les variétés tolérantes (en rendement) aux carences azotées précoces seraient aussi celles qui valorisent le mieux des reports importants fin montaison

L'objectif de cette étude est triple :

- Valider les conclusions antérieures sur une large gamme de variétés de blé tendre d'hiver récentes
- Déterminer une méthodologie simple de caractérisation du comportement d'une variété vis-à-vis d'une carence azotée précoce et d'un fort apport en fin de montaison.
- Déterminer les enjeux en terme de production/qualité d'une telle caractérisation.

II - Matériels et méthodes

• Sites d'essais

14 expérimentations croisant une série variétale de blé tendre d'hiver avec différentes modalités de fertilisation azotées ont été conduites par les équipes expérimentales d'ARVALIS – Institut du végétal sur 4 années (récoltes 2005 à 2008) dans une grande moitié Nord de la France. Le tableau 1 récapitule les principales caractéristiques des sites d'essais. Le dispositif expérimental utilisé fut un split-plot (2 à 4 blocs) avec les modalités de fertilisation azotée en sous-blocs. La parcelle élémentaire représente une surface récoltée de xx m² avec 2 rangs de bordures non récoltés de part et d'autres.

Id_Essai	Année de récolte	Lieu	Dpt	Type de sol	Précédent	Date semis	Date récolte	Nb variétés testées	Dose N1 kgN/ha	Dose N2 kgN/ha	Dose N3 kgN/ha	Forme engrais N
CESSE (27) - 2005	2005	CESSEVILLE	27	Limon épais	Lin	13/10/2004	10/08/2005	16	70	200	200	Sol 390
BOULA (77) - 2005	2005	BOULANCOURT	77	Limon argileux	Pois protéagineux	23/10/2004	22/07/2005	12	40	170	170	Ammo 33.5
SAINT (17) - 2005	2005	SAINT-GEORGES-DU-BOIS	17	Argilo-calcaire superficiel - Groie	Tournesol	22/10/2004	12/07/2005	11	80	210	210	Ammo 33.5
ROTS (14) - 2005	2005	ROTS	14	Limons argileux (limons profonds)	Lin	26/10/2004	11/08/2005	16	50	150	150	Ammo 33.5
THIZA (36) - 2005	2005	THIZAY	36	Argilo-calcaire caillouteux	Colza	18/10/2004	12/07/2005	16	50	180	180	Ammo 33.5
MENAI (41) - 2005	2005	MENAINVILLE	41	Argile limonseuse	Colza	13/10/2004	26/07/2005	38	80		190	Ammo 33.5
CESSE (27) - 2006	2006	CESSEVILLE	27	Limon épais	Lin	14/10/2005	09/08/2006	10	0	130	130	Sol 390
MANCH (45) - 2006	2006	MANCHECOURT (Villiers-Martin)	45	Limons argileux	Pois protéagineux	20/10/2005	17/07/2006	15	0	140	140	Ammo 33.5
SAINT (17) - 2006	2006	SAINT-GEORGES-DU-BOIS	17	Argilo-calcaire superficiel - Groie profonde	Pois protéagineux	21/10/2005	05/07/2006	8	60	190	190	Ammo 33.5
THIZA (36) - 2006	2006	THIZAY	36	Argilo-calcaire superficiel	Colza	14/10/2005	09/07/2006	15	50	180	180	Ammo 33.5
CESSE (27) - 2007	2007	CESSEVILLE	27	Limon épais	Lin	16/10/2006	03/08/2007	12	0	140	140	Sol 390
MANCH (45) - 2007	2007	MANCHECOURT (Villiers-Martin)	45	Limon argileux profond	Pois protéagineux	26/10/2006	18/07/2007	12	30	160	160	Ammo 33.5
OUZOU (41) - 2007	2007	OUZOUER-LE-MARCHE (Doublainville)	41	Limon argileux profond	Colza	26/10/2006	18/07/2007	12	0	96	94	Ammo 33.5
CESSE (27) - 2008	2008	CESSEVILLE	27	Limon épais	Colza	19/10/2007	11/08/2008	12	0		160	Sol 390

Tableau 1 : principales caractéristiques des sites d'essais

• Modalités de fertilisation azotée

3 conduites de fertilisation azotée ont été comparées. Elles sont détaillées dans le tableau 2. N1 correspond à la modalité « carence azotée précoce sévère ». N2 correspond à la modalité « fort report en fin de cycle ». N3 est le témoin « conduite standard sur blé tendre d'hiver ». Pour permettre la prise en compte des différences de précocité des variétés (et donc des dates d'applications d'engrais azotés) sans pour autant alourdir les interventions expérimentales, les apports à Z30 et Z39 ont été divisés en 2 : demi-dose à la date du stade des variétés précoces, demi-dose à la date du stade des variétés tardives. La comparaison des résultats entre N3 et N1 caractérise la capacité des variétés à tolérer une carence azotée précoce. La comparaison des résultats N3 et N2 caractérise la capacité des variétés à valoriser un fort report d'azote en fin de montaison. Enfin, la mise en vis-à-vis des résultats des 2 comparaisons nous permet de valider ou pas l'équivalence capacité à tolérer une carence précoce = capacité à valoriser un fort report en fin de montaison.

Conduite	Apports d'engrais azotés (kgN/Ha)			
	Dose totale	Z25 (plein tallage)	Z30 (Epi 1 cm)	Z39 (Dernière feuille étalée)
N1	X-130	0	X-130	0
N2	X	0 ou 30*	Solde	100
N3	X	0 ou 30*	Solde	50

La dose X correspond à la dose optimale a priori calculée à partir de la méthode du bilan de masse

* 0 si X < 150 kgN/ha

Tableau 2 : modalités de fertilisation azotée testées

- **Séries variétales étudiées**

Les séries variétales de blé tendre d'hiver étudiées dans chaque essai ont été constituées afin de représenter un large éventail génétique adapté aux conditions pédoclimatiques de chaque site. Au total, 49 variétés ont été testées (8 à 16 variétés par essai).

- **Mesures et observations**

Afin de disposer d'un indicateur simple permettant de caractériser les différences induites par les différentes modalités de fertilisation sur le statut azoté du blé tendre, des mesures N-Tester (Yara) ont été réalisées aux stades Z39 et Z65. Le PMG (comptage sur échantillon machine), le rendement en grain (récolté à la moissonneuse batteuse expérimentale ramené à la norme de 15% d'humidité) et la concentration en azote du grain (taux de protéines – mesures Ntotal DUMAS ou Infrarouge) ont été mesurés. Le nombre de grains/m² et la quantité d'azote contenu dans le grain sont calculés à partir des variables mesurées.

- **Analyses statistiques**

Chaque essai a fait l'objet d'une analyse de variance individuelle réalisée sous STATBOX 6.5 (Grimmer Logiciels 2002). Le regroupement des essais a été analysé par le biais d'un modèle linéaire mixte sous SAS (SAS Institute).

III - Résultats-discussion

- **Analyses statistiques**

Les analyses de variances par essai (résultats non présentés) nous indiquent 1) que la précision des expérimentations est moyenne à bonne (les écarts types résiduels sur le rendement en grain à 15 % d'humidité s'échelonnent de 1.7 à 4.4 q/ha) et 2) que les effets des facteurs conduites azotées, variétés et interaction des 2 facteurs sont hautement significatifs sur les variables rendement et nombre de grains/m².

L'analyse avec un modèle linéaire mixte a été réalisée en considérant séparément les comparaisons N3 & N1 et N3 & N2. Les facteurs « conduite azotée » et « variété » sont considérés comme fixes, ainsi que l'interaction « conduite azotée & variété ». Le « lieu de l'essai » a été étudié en tant que facteur aléatoire, ainsi que les interactions « conduite azotée & lieu d'essai », « variété & lieu d'essai » et « conduite azotée & variété & lieu d'essai ». Les résultats de l'analyse pour les variables rendements en grain à 15% d'humidité, nombre de grain/m², PMG et taux de protéines du grain sont présentés dans le tableau 3.

Conduite N comparées	Variables	Conduite N	Variété	Cond. N x variété	Cond. N x essai	Cond. N x var. x essai
N3 & N1	Rdt grain 15%	HS	HS	HS	THS	S
	Nb grain/m ²	HS	HS	HS	THS	HS
	PMG	NS	HS	HS	HS	HS
	Tx protéines grain	HS	HS	HS	THS	HS
N3 & N2	Rdt grain 15%	NS	HS	NS	NS	S
	Nb grain/m ²	HS	HS	NS	NS	S
	PMG	HS	HS	HS	NS	S
	Tx protéines grain	HS	HS	NS	S	NS

THS : Très Hautement Significatif (proba < 0.001) / HS : Hautement Significatif (0.001<proba < 0.01) / S : Significatif (0.01<proba<0.05) / NS : Non Significatif (proba > 0.05)

Tableau 3 : résultats de l'analyse statistique en modèle linéaire mixte

Concernant la comparaison N3 & N1 (caractérisation de la tolérance à une carence azotée précoce), nous constatons que 1) il existe bien une composante variétale des résultats sous différentes conduites azotées (interaction N x variété significative) et 2) les interactions avec le site d'essai ne peuvent être négligées. Ce 2^{ème} constat entraîne la nécessité de caractériser les sites d'essais en terme d'intensité de la carence azotée induite en N1 par rapport à N3.

Concernant la comparaison N3 & N2 (caractérisation de la capacité à valoriser un fort report en fin de montaison), nous constatons que, excepté pour la variable PMG, l'interaction N x variété n'est pas significative.

- **Caractérisation des sites d'expérimentation**

Afin de caractériser les sites d'essais en terme d'intensité de carence azotée induite par la conduite N1, nous avons mis en relation les indices N-Tester mesuré à Z65 et la variable nb grain/m² pour 2 variétés témoins CHARGER et CAPHORN (résultats non montrés). Il en résulte un classement des essais en 3 catégories d'intensité de carence induite en N1 : 7 essais en carence forte (BOULA (77) –

2005 ; CESSE (27) – 2008 ; MANCH (45) – 2006 ; MANCH (45) – 2007 ; OUZOU (41) – 2007 ; THIZA (36) – 2005 ; THIZA (36) – 2006), 5 essais en carence moyenne (CESSE (27) – 2006 ; CESSE (27) – 2007 ; MENAI (41) – 2005 ; SAINT (17) – 2005 ; SAINT (17) – 2006), et 2 essais en carence faible (CESSE (27) – 2005 ; ROTS (14) – 2005).

Afin de permettre une meilleure mise en évidence des caractéristiques de comportement vis-à-vis des conduites azotées appliquées, nous avons écarté de l'analyse les 2 essais en carence azotée faible (CESSE (27) – 2005 ; ROTS (14) – 2005).

- **Relation tolérance vis-à-vis d'une carence précoce et capacité à valoriser un fort report d'azote**

Afin de valider la relation tolérance vis-à-vis d'une carence azotée précoce et capacité à valoriser un fort report d'azote en fin de montaison, nous avons établi la relation entre le rendement sous N1 et le rendement sous N2 (figure 1). Pour permettre de regrouper les essais présentant des productivités différentes, les rendements ont été exprimés en % de la conduite N3. On constate qu'il existe bien une relation entre les 2 caractéristiques que nous cherchons à caractériser. Etant donné que les effets statistiques de la conduite N1 sont plus significatifs que ceux de la conduite N2, la suite des analyses ne portera que sur les résultats sous N1.

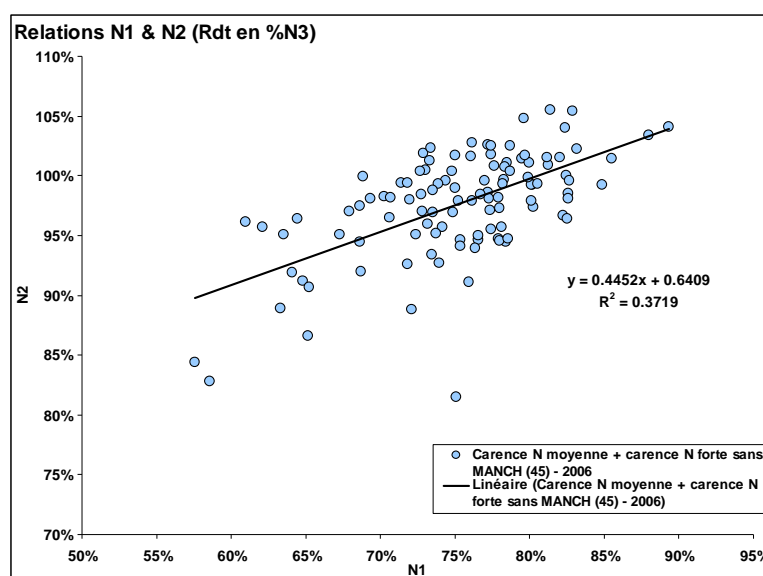


Figure 1 : relation entre le rendement (exprimé en %N3) sous les conduites N1 et N2. Pour des raisons de mauvaises valorisation des apports à Z30, l'essai MANCH (46)_2006 est exclu de cette partie d'analyse.

- **Caractérisation des variétés vis-à-vis d'une carence azotée précoce**

Etant donné que les listes variétales ne sont pas constantes d'un essai à l'autre, il a été décidé de travailler sur une liste restreinte comportant les variétés présentes dans la plupart voire dans les 12 essais en carences azotées moyenne et forte : ALIXAN, ANDALOU, ATTLASS, CAPHORN, CHARGER, MENDEL, ORVANTIS, QUEBON, RECITAL, SANKARA, TOISONDOR. Elles constituent un panel de variétés représentatives du paysage variétal de la moitié nord de la France à l'époque des essais. Pour estimer la « dispersion » des résultats, il est proposé de les exprimer sous forme de la médiane accompagnée des 2^{ème} et 8^{ème} déciles. Les résultats pour chaque variable sont exprimés en % de la conduite N3.

Concernant le nb grains/m² (figure 2), les variétés qui affichent les meilleures performances sont ANDALOU, ATTLASS, RECITAL et TOISONDOR. ALIXAN et SANKARA présentent les plus mauvais résultats.

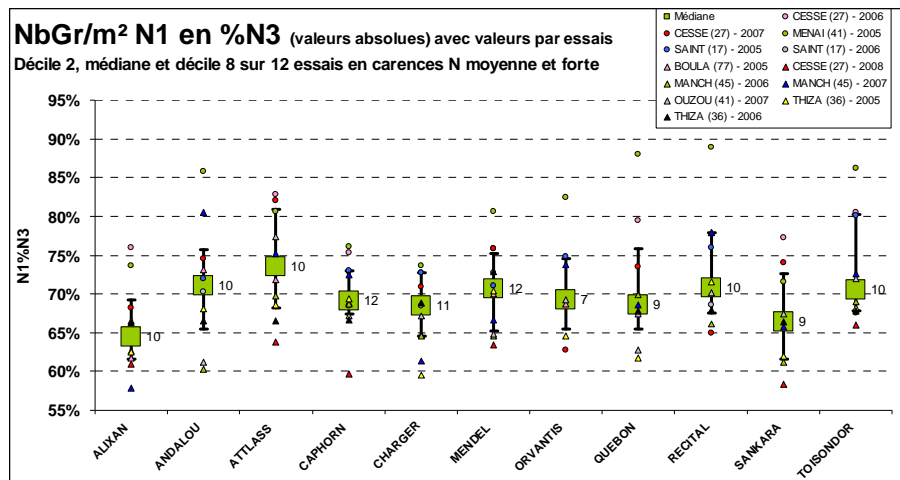


Figure 2 : caractérisation du comportement sous N1 pour la variable nb grains/m² (les chiffres indiquent le nombre d'essais disponibles pour caractériser la variété).

Concernant le PMG, les variétés qui affichent les meilleures performances sont ALIXAN, CHARGER et SANKARA. Logiquement, les variétés pénalisées en nb grains/m² compensent sur le remplissage du grain. Sur cet aspect, CHARGER affiche une performance exceptionnelle. Elle confirme sa grande capacité à compenser sur le PMG un défaut de nb grains/m². Ici le défaut est induit par la carence azotée.

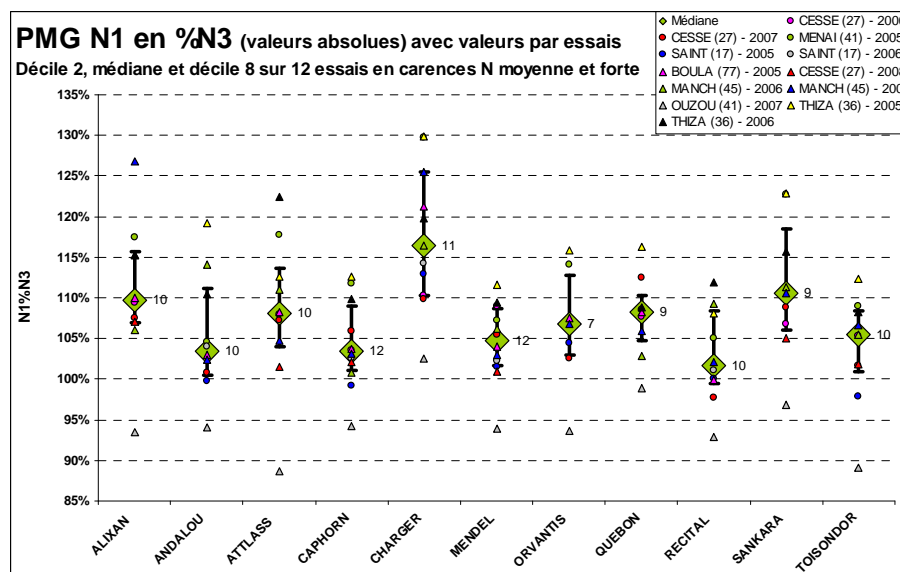


Figure 3 : caractérisation du comportement sous N1 pour la variable PMG (les chiffres indiquent le nombre d'essais disponibles pour caractériser la variété).

Concernant le rendement en grain (figure 4), les variétés qui affichent les meilleures performances sont ATTLASS et CHARGER. La 1^{ère} assure avec une très bonne tolérance en NbGr/m² alors que la 2^{de} se repose sur une forte compensation PMG. Dans une moindre mesure, ORVANTIS, RECITAL et TOISONDOR ne sont pas trop pénalisées. Du côté des plus pénalisées, on retrouve ALIXAN (compensation PMG pas suffisante au regard des pertes en NbGr/m²), CAPHORN (pertes en NbGr/m² et peu de compensation PMG) et QUEBON (attention grande irrégularité de résultats sur cette variété). Notons que CAPHORN confirme son peu d'aptitude à tolérer une carence azotée précoce.

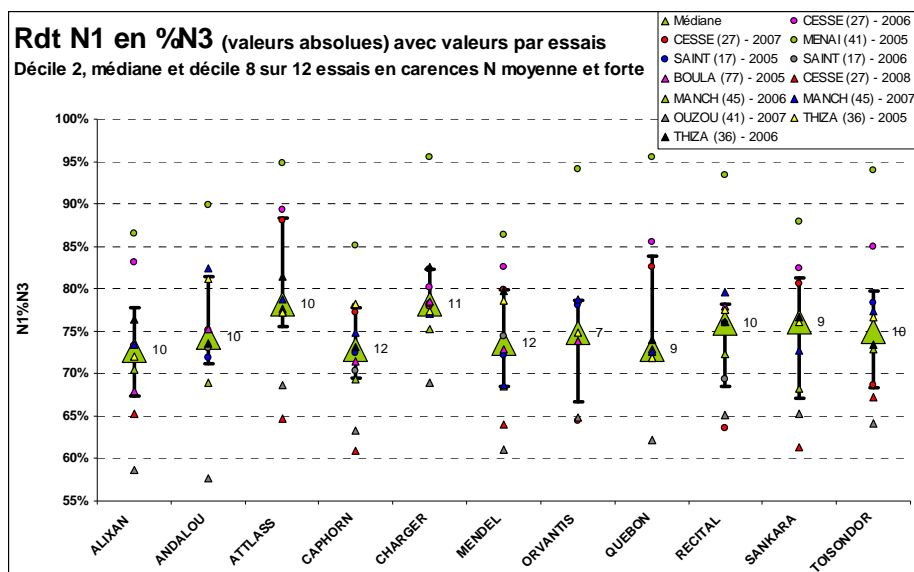


Figure 4 : caractérisation du comportement sous N1 pour la variable rendement en grain à 15% d'humidité (les chiffres indiquent le nombre d'essais disponibles pour caractériser la variété).

En lieu et place d'une analyse sur le taux de protéines des grains qui serait biaisée par le phénomène de concentration/dilution lié au rendement, il est proposé d'analyser la variable quantité d'azote présente dans le grain (figure 5). CHARGER, QUEBON et RECITAL affichent les meilleures performances.

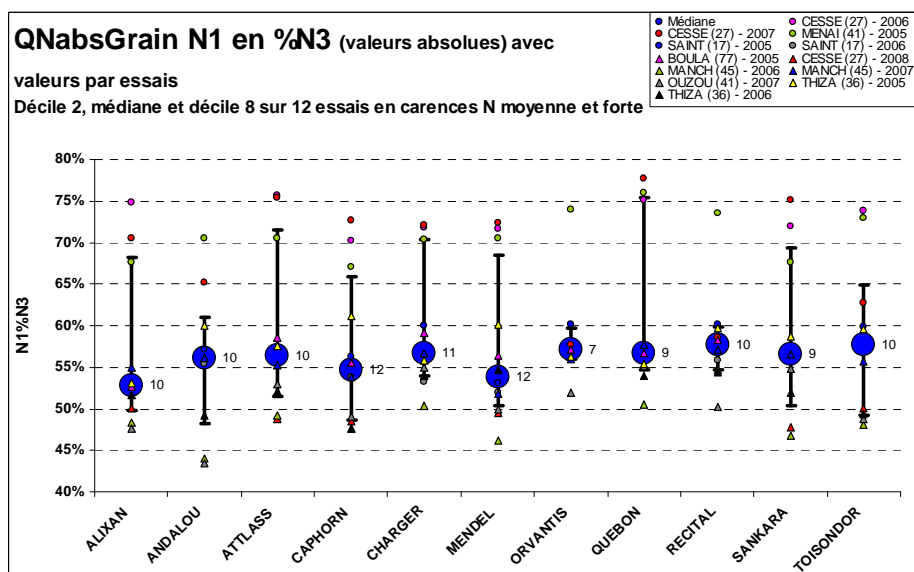


Figure 5 : caractérisation du comportement sous N1 pour la variable quantité d'azote absorbé par le grain (les chiffres indiquent le nombre d'essais disponibles pour caractériser la variété).

IV - Conclusions/préconisations méthodologiques

Les résultats présentés dans cette étude permettent de tirer les conclusions suivantes :

- Il existe une composante variétale dans la tolérance aux carences azotées précoces
- Il existe une composante variétale dans la capacité à valoriser des reports importants d'azote en fin de montaison
- Les variétés tolérantes (en rendement) aux carences azotées précoces sont aussi celles qui valorisent le mieux des reports importants fin montaison
- Le panel de variétés testées a permis de caractériser 3 groupes de comportement : variétés très sensibles aux carences précoces (ALIXAN, CAPHORN, QUEBON), variétés

moyennement sensibles (ANDALOU, MENDEL, RECITAL, SANKARA, ORVANTIS, TOISONDOR), et variétés peu sensibles (ATTLASS et CHARGER).

L'intérêt de caractériser les variétés de blé tendre d'hiver vis-à-vis de la tolérance à une carence azotée précoce se résume à disposer d'un critère de choix d'une variété dans un milieu dont la disponibilité précoce de l'azote est limitante (milieux séchant, terres argileuses interdisant les apports précoces en année pluvieuse, itinéraires culturels volontairement en bas intrants...).

L'intérêt d'utiliser la caractérisation concernant la valorisation d'un fort apport en fin de montaison se heurte à 2 aspects :

- Le comportement peut être invalidé par de nombreux autres facteurs, en particuliers par les conditions de remplissage du grain (échaudage de fin de cycle)
- Cette caractérisation est partiellement redondante avec l'utilisation des outils de pilotage de l'azote qui permettent d'ajuster en fin de montaison la dose complémentaire à apporter pour assurer les objectifs de production et/ou de qualité requis par l'agriculteur.

D'un point de vue méthodologique, retenons 2 points :

- Le dispositif employé est relativement simple et permet l'intégration de la caractérisation de la capacité à tolérer une carence azotée précoce dans les essais de screening variétal classiques par ajout d'un ou plusieurs blocs conduits en N1.
- Quand on met en relation le classement des variétés sous N1 et sous N3 en % de la moyenne de l'essai pour chaque conduite azotée (figure 6), on constate, qu'à quelques exceptions près, le classement variétal n'est pas bouleversé en profondeur. Cela voudrait dire que dans le panel génétique testé, une variété performante sous N3 l'est aussi très souvent sous N1 ; et donc qu'une caractérisation d'une tolérance à une carence azotée précoce avec un dispositif expérimental dédié se résumerait à la recherche « d'exceptions » qui s'éloignent du nuage de points.

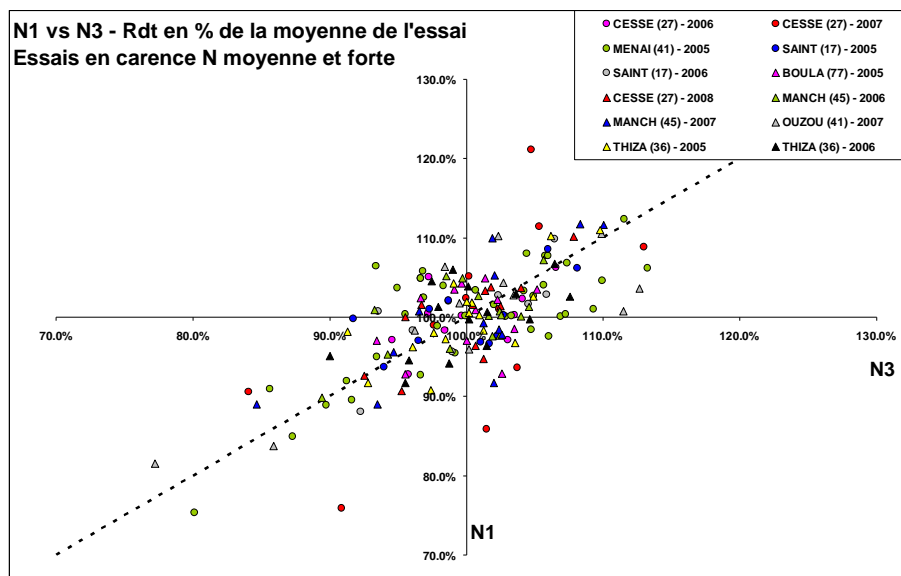


Figure 6 : classement relatif du rendement des variétés sous N1 et N3 (% de la moyenne de la conduite N de l'essai)

Remerciements

Nous remercions les équipes expérimentales des stations ARVALIS – Institut du végétal d'Ile de France, de Haute-Normandie, de Basse-Normandie, du Centre, du Berry et du Poitou-Charentes qui ont réalisé ces essais.

Références bibliographiques

Gate P., 2007. Physiologie du blé - Les variétés de blé se comportent-elles de la même façon face à l'alimentation azotée ? Perspectives Agricoles, 332 (Mars), 48-51.