

INTERETS ET LIMITES DE LA LOCALISATION DES ENGRAIS AZOTES ET PHOSPHATES AU SEMIS DES CEREALES A PAILLE

Damien BRUN ⁽¹⁾, Jean Pierre COHAN ⁽²⁾

⁽¹⁾ ARVALIS-Institut du végétal, Station expérimentale, 91720 BOIGNEVILLE

⁽²⁾ ARVALIS-Institut du végétal, Station expérimentale de la Jaillière, 44370 LA CHAPELLE SAINT-SAUVEUR

Résumé

En dépit d'une évolution récente très importante de l'offre en semoirs céréales permettant de localiser l'engrais au semis, les résultats acquis depuis une quinzaine d'années sur cette thématique ne permettent pas de mettre en évidence des gains significatifs de manière systématique. La localisation d'engrais azoté, majoritairement possible sur orge de printemps présente un effet significatif sur l'efficacité et l'efficience de l'azote apportés en cas de conditions météorologiques rendant difficiles la valorisation d'apport en surface. Pour le phosphore, alors que la localisation est une des solutions possibles pour compenser la faible mobilité de l'élément dans le sol, les résultats sont globalement neutres s'expliquant par un effet date plutôt que positionnement d'apport ou par des sols n'affichant pas une disponibilité en phosphore suffisamment faible pour valoriser des apports sur des céréales. Avec les essais menés jusqu'à aujourd'hui, on peut affirmer que les phénomènes de toxicité se cantonnent principalement à l'urée pour de fortes doses d'apport.

Introduction

La raréfaction de la ressource minière pour certains éléments, l'évolution à tendance haussière des cours des engrais, la volatilité des cours des céréales, le transfert potentiel des éléments dans l'environnement, les à-coups climatiques fréquents pendant la saison végétative, le durcissement de l'encadrement réglementaire de l'usage des engrais... autant d'éléments qui incitent plus que jamais les agriculteurs à maximiser l'efficience de leurs apports d'engrais. Il s'agit de maintenir un haut niveau de rendement et donc un bon état de nutrition des cultures tout en ayant recours à de moindres quantités d'engrais de synthèse. Parmi les différentes solutions existantes, la localisation des engrais au semis est une technique ayant un potentiel pour contribuer à répondre à cet objectif ambitieux.

La localisation de la fertilisation au semis se caractérise par la mise à disposition de l'engrais directement auprès des racines des jeunes plantules. Les éléments minéraux ont besoin d'être dissous dans la solution du sol afin d'être absorbés par les plantes. Par contre, tous les éléments minéraux n'ont pas la même capacité de se mouvoir dans la solution du sol. Ainsi sur ce critère on distingue les éléments en deux grands types. Tout d'abord, ceux se mouvant par diffusion dans la solution du sol selon les gradients de concentration présentent une mobilité sur de courtes distances, . Il s'agit essentiellement du phosphore, du potassium, du magnésium ou encore du calcium (Wiersum L.K. 1962). D'autres éléments se meuvent par convection encore appelée « mass flow », phénomène qui implique une mobilité sur de plus longues distances (de l'ordre du centimètre) sous l'action de la transpiration des plantes. Le nitrate et le sulfate sont concernés par ce mode de déplacement (Wiersum L.K. 1962). L'intérêt d'un positionnement précis de la fertilisation n'a donc pas la même pertinence selon les engrais utilisés. Dans le cas des apports PK, la localisation permettra une mise en contact plus rapide du système racinaire des cultures avec les éléments (Cohan et Le Souder 2012). Cela est d'autant plus important que les besoins des cultures pour ces éléments ont lieu aux stades jeunes du développement. Ensuite, l'action d'enfouissement permis par la localisation peut diminuer les risques de transfert du phosphore par ruissellement. Le positionnement du phosphore à proximité des racines répond parfaitement à la problématique de faible mobilité de cet élément. Ceci étant dit, à la différence du maïs, il y a peu de références probantes sur cette technique pour les

céréales. Sur des sols faiblement pourvus en phosphore (richesse entre 16 et 35 ppm de P Olsen), Karamanos et al. 2003 démontrent par exemple sur 3 années d'essais consécutifs une réponse statistiquement significative du rendement du blé aux apports de phosphore. Sur les deux modes de placement testés, aucune différence significative de rendement n'a été observée. Au-delà de la disponibilité en phosphore du sol, le faible impact attendu de la localisation d'éléments peu mobiles sur céréales est aussi à relier à la bonne performance de leur système racinaire et à leur mode de semis en inter-rang étroit. Ainsi, les cultures réagissant le mieux à la localisation de Phosphore sont généralement des cultures à large inter-rang comme le colza à l'automne ou le maïs au printemps.

En ce qui concerne le cas de l'azote, l'utilisation de la localisation présente surtout l'intérêt d'éviter des phénomènes de pertes en surface sous l'action d'enfouissement de l'engrais (Cohan et Le Souder 2012). En cas d'absorption tardive, en raison d'une période sans pluie par exemple, l'engrais apporté à la surface est susceptible de subir des pertes par volatilisation ammoniacale (cas de forme sensible comme l'urée) ou par organisation dans la matière organique du sol.

Si la localisation de l'engrais au semis présente en théorie un certain nombre d'avantages, l'engrais positionné à proximité des racines peut également présenter un risque de toxicité pour les cultures. Deux phénomènes expliquent l'impact négatif que le contact de l'engrais peut produire sur les jeunes racines : la toxicité ammoniacale et la salinité des engrais. La première intervient lorsqu'une trop grande quantité d'azote sous forme ammoniacale est absorbée par les tissus. Le risque est donc accru lorsque l'engrais apporte de l'azote sous forme d'ammoniac ou d'urée, si celle-ci est rapidement hydrolysée en ammoniac. Le type de sol a aussi son importance : des sols à faibles CEC fixeront temporairement moins l'ion ammonium sur le complexe argilo-humique, accentuant d'autant sa disponibilité pour les racines (Toews, W. H. Soper, R. J. 1978.). Des températures fraîches et des excès d'eau ralentissent la métabolisation de l'ammoniac absorbé, rendant le risque d'intoxication plus aiguë.

La salinité des engrais traduit le caractère plus ou moins important d'un engrais à déplacer l'équilibre ionique du sol. En cas d'épandage d'un engrais à fort indice de salinité (ammonitrate par exemple), une quantité d'eau importante va passer des racines à la solution du sol via le phénomène d'osmose pour créer un nouvel équilibre stable. De tels transferts d'eau peuvent entraîner des dégâts importants pour les cultures allant des simples nécroses racinaires au dessèchement complet de la plantule. En grandes cultures, le phénomène d'intoxication ammoniacale occasionne davantage de dégâts que la salinité des engrais.

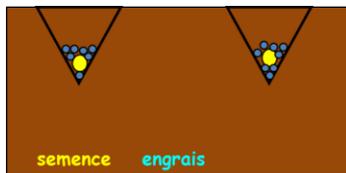
La toxicité affecte directement les stades très jeunes de développement de la culture en survenant dès la germination des graines et jusqu'au stade 3 feuilles. Elle agit principalement sur les taux de levée (O'Donovan et al. 2008, Grant C.A. et Bailey L.D.1999) et cela d'autant plus que la distance engrais/ semence est faible (O'Donovan et al. 2008). Par la suite et selon les conditions climatiques de l'année, des phénomènes de compensation peuvent intervenir via le nombre de talles, la fertilité épis ou encore le PMG. Les écarts de rendements peuvent donc être atténués en comparaison aux écarts de levée de la culture (O'Donovan et al. 2008). En jouant sur la proximité plus ou moindre grande de l'engrais et de la racine, le choix du matériel de positionnement sur le semoir revêt un impact important dans la détermination du risque de toxicité.

Technologies de localisation disponibles sur le marché français (repris et adapté de Brun et Martin 2012)

La localisation de l'engrais au semis peut se faire de plusieurs façons, nous nous intéresserons ici uniquement aux solutions développées par les constructeurs de semoir céréales eux-mêmes, par opposition aux adaptations artisanales qui peuvent être réalisées par des agriculteurs ou par des équipementiers avec de la seconde monte. La quasi-totalité des solutions proposées en France est aujourd'hui destinée aux engrais solides, l'engrais liquide communément utilisé en localisé au semis l'est avant tout destinée au semis de maïs. Les constructeurs proposent cinq modes de

positionnement de l'engrais par rapport à la semence. Pour un semoir donné, le choix du mode positionnement de l'engrais relève du caractère exceptionnel : on opte donc pour une certaine technologie de localisation lors de l'achat d'un semoir équipé. Les différents principes de localisation de l'engrais sont décrits ci-après avec certaines particularités notables.

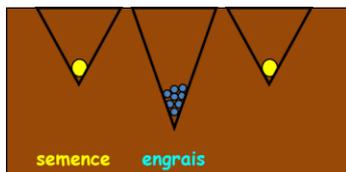
- **Mode de placement A : engrais et semences dans le même sillon**



Il s'agit de la solution technique la plus simple puisqu'elle ne nécessite pas d'éléments spécifiques pour l'engrais. Outre sa simplicité, ce système est très largement répandu car il n'est pas très cher à fabriquer et également plutôt bon marché pour l'acheteur. Selon les semoirs considérés et le mode de transport, il suffit par exemple d'ajouter un tuyau pour l'engrais qui rejoint l'élément semeur pour le

cas de semoir à transport gravitaire et à partir de la trémie compartimentée avec une seconde distribution. Pour ce mode de placement, il n'y a pas de distinction spatiale du positionnement de l'engrais par rapport à la semence entraînant par la même des contacts potentiellement générateur de risque de toxicité.

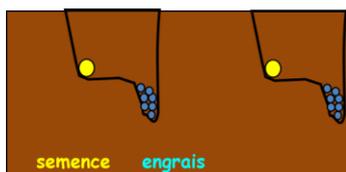
- **Mode de placement B : engrais localisé entre deux lignes de semence**



C'est un principe devenu très classique pour les semoirs européens de semis simplifié à disques avec un module de préparation. Equipant notamment le Rapid Combi de Väderstad, ce principe se distingue notamment par l'ajout d'une rangée de disques supplémentaires entre le module de préparation et les éléments semeurs. L'engrais n'est distribué qu'un rang sur deux afin de limiter notamment le surcout de

l'équipement. L'écartement entre éléments semeurs étant relativement étroits (de 12,5 à 16,7cm), l'engrais ne se trouvera jamais à moins de 6cm de la ligne de semis. Ce mode de placement offre l'avantage d'éviter tout contact entre semence et engrais tout en permettant un réglage de la profondeur du dépôt de celui-ci. L'investissement nécessaire est, par contre, relativement important.

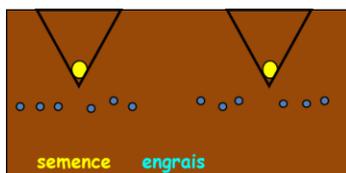
- **Mode de placement C : engrais localisé à côté et en dessous de la semence**



D'origine ou d'inspiration nord-américaine, le positionnement de l'engrais à côté et en dessous de la ligne de semis est principalement utilisé sur des semoirs à dents pour semis direct. Pour ces matériels, les écartements entre lignes de semis étant relativement élevés (25 à 30cm), à chaque ligne de semis correspond une ligne d'engrais contrairement au système précédent. Réglable en profondeur, le dépôt

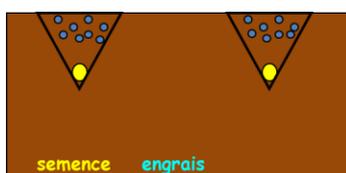
d'engrais se trouve à 3cm à côté de la semence, cela rend donc les contacts peu probables.

Mode de placement D : engrais mélangé dans le lit de semences



Apparu il y a 2 ans, ce positionnement d'engrais se veut moins couteux que le mode B pour des semoirs de semis simplifié avec module de préparation. En effet, dans ce cas de figure, on met à profit des pièces travaillantes existantes dont le rôle premier est de faire de la terre fine. Suivant les constructeurs, le granule est positionné par une ou deux rangées de disques. Il est ensuite recouvert par le flux de terre, le semoir travaillant à des vitesses relativement élevées. L'engrais se trouve donc positionné sous les lignes de semis.

Mode de placement E : engrais au-dessus de la ligne de semis



Seul un constructeur (Sulky aujourd'hui commercialisé sous la marque Sky Agriculture) positionne l'engrais au-dessus de la ligne de semis et

au niveau du futur plateau de tallage de la céréale. Pour y parvenir, un coultre spécifique en plastique dépose l'engrais dans le flux de terre lors de la fermeture du sillon. L'engrais est appliqué à chaque ligne de semis et il n'y a pas de contact direct engrais avec semence. Cependant, pour le cas de céréales à paille, les distances entre la ligne de semis et l'engrais restent faibles de l'ordre de quelques centimètres.

Expérimentations sur céréales à paille de 1996 à 2012

1. Localisation de la fertilisation azotée sur orge de printemps

Une synthèse des 6 essais menés entre 1996 et 2012 a été conduite de façon à pouvoir tirer des grandes tendances : le caractère annuel de chaque essai pris indépendamment l'un de l'autre est certes très fort, une vision pluri annuelle permet de mieux quantifier l'intérêt de la technique en vue de pouvoir conseiller un agriculteur. Sur la base de dispositifs en courbes de réponses à des doses croissantes d'engrais azotés, plusieurs variables de sortie ont été calculées : le rendement à 15% d'humidité, la teneur en protéines des grains à la récolte, le coefficient apparent d'utilisation de l'engrais (CAU) à la récolte. La réalisation des courbes de réponse permet également de chiffrer, pour un essai donné avec un type d'engrais, la différence ou non de rendement optimal et de dose d'azote optimale. Le dernier essai conduit en 2012, sera plus axé sur les éventuels problèmes de toxicité de l'engrais sur l'orge de printemps. En dehors de l'aspect rendement de la culture, la seconde variable d'intérêt étudiée sera le pourcentage des levées par type et dose d'engrais.

Tableau 1 : Caractérisation des six essais sur la localisation des engrais azotés

Année de récolte	1996	1999	2005	2009	2010	2012
Commune (département)	Nangeville (45)	Limey (54)	Nangeville (45)	Echilleuses (45)	Echilleuses (45)	Echilleuses (45)
Type de sol	Limon argileux	Argilo calcaire	Limon argileux	Argilo calcaire assez profond	Limon argileux	Limon argileux
Type de travail du sol			Labour	Travail superficiel	Travail superficiel	Semis direct
Variété	Nevada	Nevada	Scarlett	Sebastian	Sebastian	Sebastian
Date de semis	14/03/1996	18/03/1999	21/03/2005	24/02/2009	18/03/2010	12/03/2012
Semoir utilisé	Väderstad Rapid Combi	Väderstad Rapid Combi	Väderstad Rapid Combi	Sulky Easydrill Fertisem	Sulky Easydrill Fertisem	Sulky Easydrill Fertisem
Mode de positionnement de l'engrais	B	B	B	E	E	E et A
Forme engrais N	Ammonitrate 33.5% et Perlurée	Ammonitrate 33.5%				Ammonitrate 33,5%, Perlurée et DAP
Modalités d'apports testées	Apport unique au semis en surface ou en localisé	Apport unique au semis en localisé et à la levée en surface	Fractionnement en 2 apports ('semis et tallage) avec l'apport au semis en surface ou en localisé	Apport unique au semis en surface ou en localisé	Apport unique au semis en surface ou en localisé	Apport unique au semis en surface ou en localisé (positionnement E et A)

a. Intérêts d'apports de l'engrais sous forme localisée

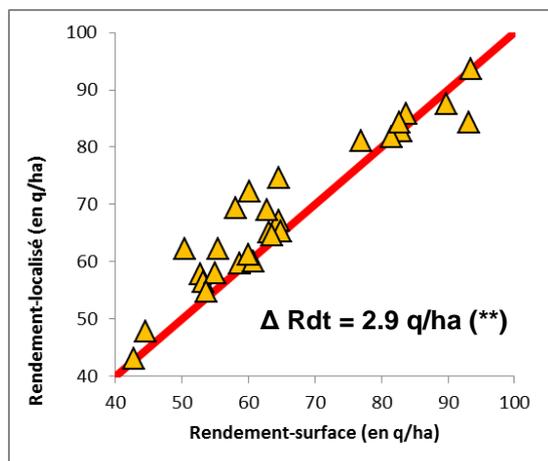


Figure 1 : Comparaison, à dose totale d'engrais apporté équivalente, des rendements obtenus avec la fertilisation localisée ou avec les apports de surface. 6 essais ARVALIS 1996-2012. Différence moyenne significative de 2.9 q/ha en faveur de la localisation. ** = différence significative à 5 % selon un test de comparaison de moyennes appariées. Droite rouge = bissectrice.

Dans un premier temps, la confrontation des rendements entre les deux techniques d'apport d'engrais se traduit un léger avantage à la technique de fertilisation localisée. Le traitement statistique de tous ces points fait apparaître une différence de 2.9 q/ha en faveur de la localisation de l'engrais (figure 1). Le traitement statistique de ces données avec un test de Student de comparaison de moyennes appariées est significatif au seuil de 5%.

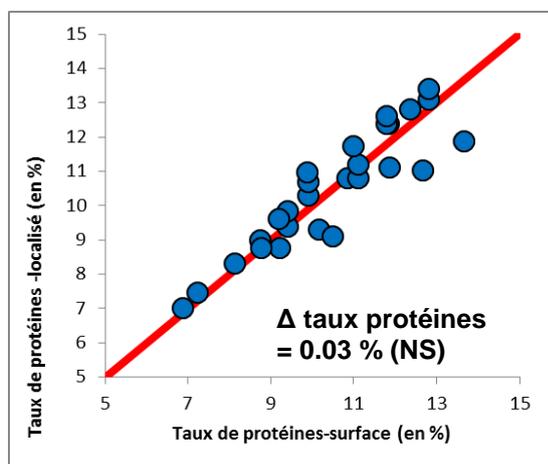


Figure 2 : Comparaison, à dose d'engrais apporté équivalente, des teneurs en protéines des grains obtenus avec la fertilisation localisée ou avec les apports de surface. 6 essais ARVALIS 1996-2012. Différence moyenne non significative (NS selon un test de comparaison de moyennes appariées). Droite rouge = bissectrice.

Concernant la teneur en protéines des grains, les analyses statistiques équivalentes montrent un écart de 0,03%, non significatif, en faveur de la localisation de la fertilisation (figure 2).

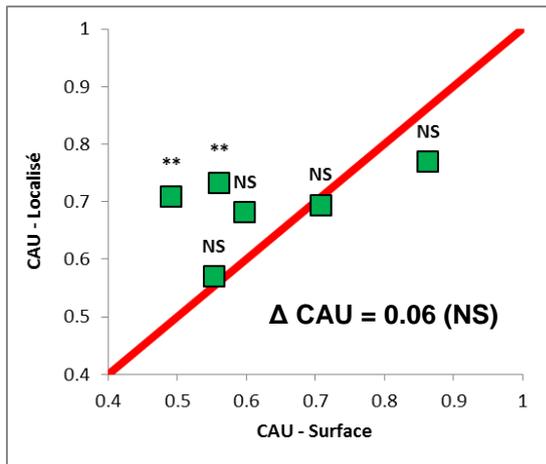


Figure 3 : Comparaison, à dose d'engrais apporté équivalente, des coefficients apparents d'utilisation de l'azote (CAU) obtenus avec la fertilisation localisée ou avec les apports de surface. 6 essais ARVALIS 1996-2012. Test statistique par essai selon des modèles emboîtés : ** = différence significative à 5 % ; NS = différence non significative. Droite rouge = bissectrice.

Le CAU traduit une meilleure efficacité de l'azote apporté . Au global, l'écart n'est que de 0.06 au profit de la localisation mais pas suffisamment important pour être statistiquement significatif (figure 3). Parmi les six essais étudiés, deux situations sont en faveur de la localisation. L'essai d'Echilleuses 2010 se traduit par une différence de CAU de 0,16 alors que l'essai de Nangeville 1995 sous forme perlurée dépasse les 0,2.

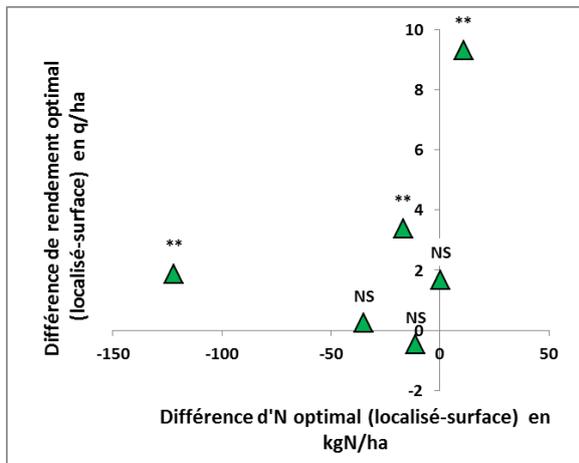


Figure 4 : Performance en termes de rendement optimal et de dose d'azote optimale de la localisation d'engrais par rapport à une stratégie d'apport en surface. 5 essais ARVALIS 1996-2011. Comparaisons statistiques selon des ajustements de courbes de réponses en modèles emboîtés : ** = différence significative à 5 % ; NS = différence non significative.

Si on s'intéresse aux différences de rendement et de dose d'azote optimale accessibles pour les 2 techniques (figure 4), trois essais se distinguent par une dose optimale d'azote plus faible ou un rendement optimal plus important en apports localisés par rapport à une stratégie d'apports en surface. Une fois encore, on retrouve l'essai de Nangeville 1996 sous forme urée avec un rendement optimal supérieur de 10 q/ha. L'essai Echilleuses 2010 se solde par un rendement optimal supérieur de 3 q/ha et une dose d'azote optimale inférieure de 17 kg d'N/ha. Enfin, Nangeville 1996 sous forme ammonitrate est assez atypique : on obtient, mathématiquement, une réduction très importante de 122 kg d'N/ha de la dose d'N optimale pour un rendement optimal supérieur de seulement 2 q/ha. Dans ce

dernier cas, l'ajustement statistique a probablement tendance à extrêmiser les différences et il faut surtout retenir la tendance générale à une meilleure performance de la localisation.

b. Interaction entre le mode de positionnement, le type et la dose d'engrais sur l'orge de printemps

L'essai d'Echilleuses 2012 a étudié de façon plus précise les risques agronomiques associés à la localisation de la fertilisation. Trois facteurs ont été croisés : forme de l'engrais azoté, dose d'azote apporté et positionnement de la fertilisation (en surface ou en localisé avec les modes A et E). Le comptage de levée finale doit permettre de mieux rendre compte de la première composante du rendement impacté, il s'agit du nombre de pieds/m² (figure 5).

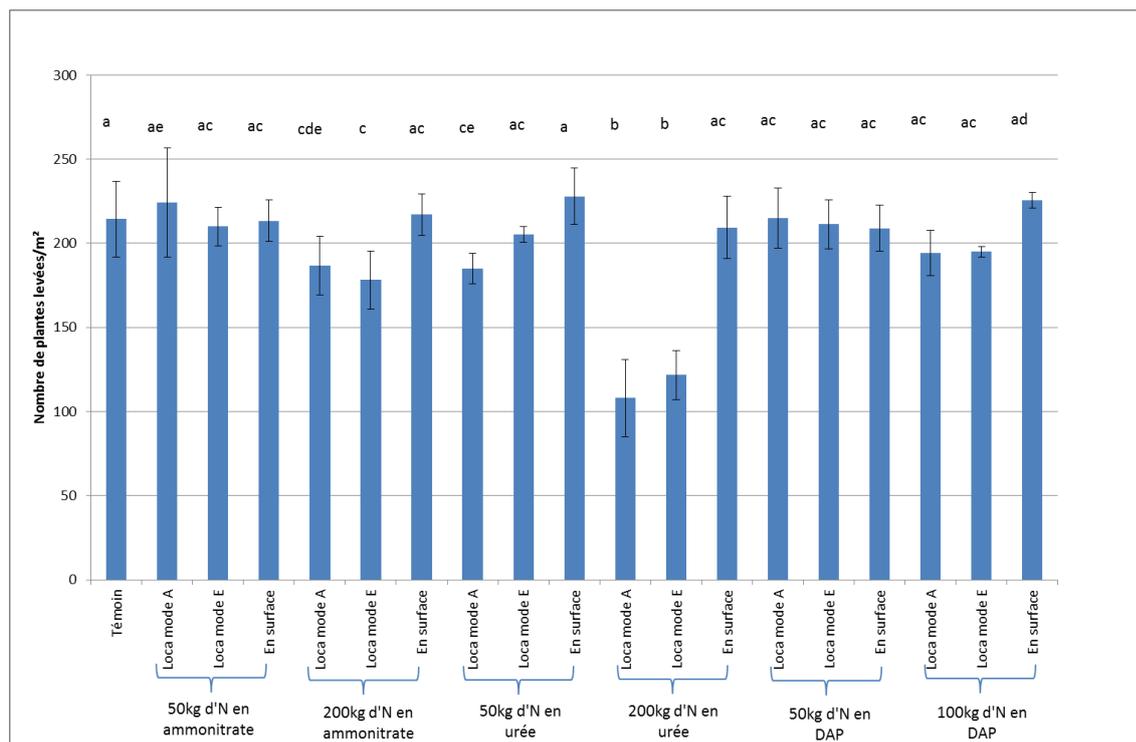


Figure 5 : Levées moyennes de l'orge de printemps pour les différentes modalités de l'essai d'Echilleuses 2012. Lettre = groupes statistiques selon une analyse de variance (ETR = 13 pl/m²).

Cet essai est riche d'informations et permet de tirer plusieurs enseignements. On note un fort impact de la localisation d'engrais pour la modalité 200kg d'N/ha en urée avec une diminution de moitié de la qualité des levées par rapport à la même dose en surface. On retrouve là probablement le phénomène de toxicité ammoniacale. Avec un apport de 50 kg d'N/ha en urée, la tendance est similaire mais l'amplitude est bien moins importante. Pour les engrais ammonitrate 33,5% et DAP, on observe quelques pertes à la levée pour les fortes doses mais de façon non statistiquement significative. Ce résultat semble cohérent puisque 200kg d'N/ha d'ammonitrate apportent la même quantité d'azote ammoniacal que 100kg d'N/ha de DAP. Enfin, des apports localisés de 50 kg d'N/ha sous forme ammonitrate et de DAP n'ont aucun impact significatif sur le taux de levée.

Le rendement moyen de l'essai s'est élevé à 85 q/ha avec une modalité témoin à 62 q/ha. Cela cache des écarts non statistiquement différents entre modalités ayant reçu 50 kg d'N/ha. Par contre, il y a un écart significatif pour les deux modalités localisés avec la dose de 200kg d'N/ha en urée : de 10 à 15 q/ha en moins alors qu'il manquait la moitié des pieds/m². Les conditions climatiques ont donc permis de compenser les pertes à la levée jusqu'à une certaine mesure, pas suffisamment néanmoins pour compenser les plus importantes causées par la localisation de 200 kgN/ha sous forme urée. Retenons

aussi que c'est essentiellement la dose et la forme d'engrais qui ont impacté la toxicité car aucune différence significative entre les deux modes de localisation A et E n'a été mise en évidence.

2. Localisation de la fertilisation phosphatée sur orge de printemps

Tableau 2 : Caractérisation des trois essais sur la localisation des engrais phosphatés sur blé dur, blé tendre d'hiver et orge de printemps

Année de récolte	Commune (département)	Type de sol	Type de travail du sol	Teneur en P Olsen de la parcelle	Espèce	Variété	Date de semis	Semoir utilisé	Mode de positionnement de l'engrais	Forme engrais	Modalités d'apports testées
1996	Montans (81)	Limoneux	Labour	20 ppm	Blé tendre d'hiver	Soissons	08/11/1995	Väderstad Rapid Combi	B	TSP	Apport unique avant labour, au semis en localisé ou au stade 4 feuilles (17/01/1996)
2012	Echilleuses (45)	Limon argileux	Semis direct	112 ppm sur 0-10cm	Orge de printemps	Sebastian	12/03/2012	Sulky Easydrill Fertisem	E	TSP et DAP	Apport unique au semis en surface ou en localisé
2013	Echilleuses (45)	Limon argileux	Travail superficiel	70ppm sur 0-10cm	Blé dur d'hiver	Mélange variétal	14/11/2012	Sulky Easydrill Fertisem	E	TSP	Apport unique en surface avant semis, au semis en localisé ou en surface à en sortie hiver (19/02/2013)

Trois essais ont été réalisés sur la problématique phosphore : deux essais sur respectivement blé tendre et blé dur d'hiver où des courbes de réponse au phosphore ont été réalisées : avant semis, localisé au semis et en végétation. L'essai sur orge de printemps n'a testé qu'une seule dose de phosphore.

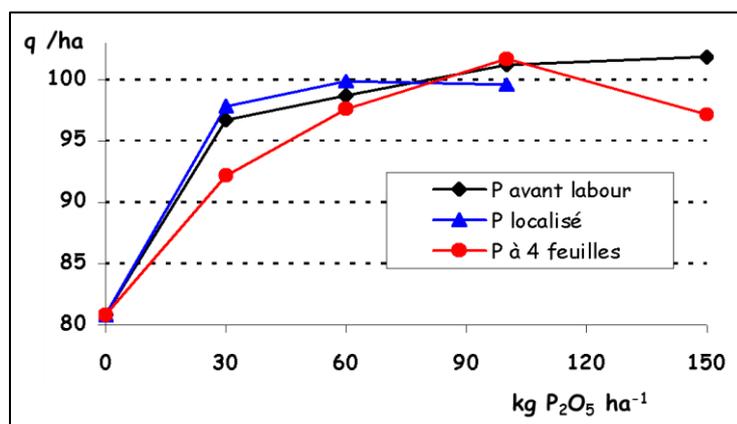


Figure 6 : Essai de Montans 1996 : courbe de réponse au phosphore en fonction du positionnement de l'engrais : avant labour, localisé au semis et en surface à 4 feuilles.

En 1^{er} lieu, l'essai réalisé à Montans (81) en 1996 sur blé tendre d'hiver sur un sol peu pourvu (teneur en P Olsen de 20 ppm) met uniquement en évidence un effet date d'apport : la localisation n'apporte pas d'effets positifs supplémentaires au phosphore positionné avant labour.

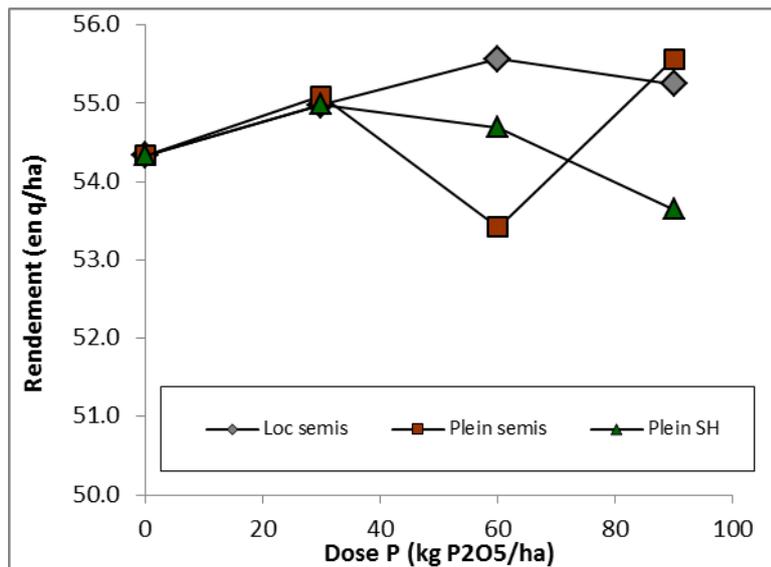


Figure 7 : Essai d'Echilleuses 2013 : courbe de réponse au phosphore pour plusieurs positionnements de l'engrais : en surface avant semis, localisé au semis et en plein à la sortie de l'hiver. Ecarts non statistiquement significatifs selon une analyse de variance et de tests par contrastes (ETR = 2.2 q/ha).

Cet essai sur blé dur d'hiver additionné à l'essai d'Echilleuses 2012 sur orge de printemps constitue deux situations de sols moyennement à fortement pourvu en phosphore (teneur respective de 70 et 112 ppm de P Olsen). Dans ces situations, aucun effet phosphore n'a été mis en évidence pour le blé dur d'hiver (figure 7). Dans l'essai d'Echilleuses 2012 réalisé sur orge de printemps, un apport de 256 kg de P/ha n'a apporté aucun rendement statistiquement différent du témoin sans de phosphore (figure non montrée).

Intérêts économiques de recourir à la fertilisation localisée

Afin de déterminer l'intérêt d'investir dans un semoir équipé d'un dispositif de fertilisation localisé, il faut se poser la question du surcoût engendré par rapport aux bénéfices apportés. On a vu que les résultats d'essais étaient variables avec des gains principalement sur le volet de la fertilisation azotée. Compte tenu des systèmes de culture français, nous ne considérerons donc cette fertilisation localisée que sur la culture de l'orge de printemps.

Trois principaux facteurs vont entrer en compte dans le calcul de rentabilité : le surcoût lié à l'équipement du semoir, l'écart de rendement par rapport à un épandage classique de surface et la surface d'orge de printemps sur laquelle sera déployée la localisation de la fertilisation. Le surcoût du matériel présente une variabilité importante : elle est de +5 à +25% selon le principe de localisation considéré, la largeur de la machine et le constructeur.

La méthode employée consiste à considérer une ferme type sur laquelle la puissance de traction est définie selon la surface agricole utile. La largeur du semoir a été optimisée en fonction de la surface à planter et le nombre d'heures de traction a été estimé à partir de données réelles moyennes. Volontairement et pour être représentatif de la réalité, le surcoût du semoir varie énormément entre la ferme type et B : ce sont des chiffres réels issus des bases de données outils Arvalis choisis pour présenter une hypothèse haute et basse (tableau 3). La puissance de traction est adaptée à la largeur du semoir et elle permet de prendre en compte un coût standard correspondant à la plage de puissance.

	Ferme type A	Ferme type B
SAU (en ha)	200	500
Nombre d'h de traction/an pour le tracteur attelé au semoir	300	500
Puissance de traction	120	300
Largeur du semoir considéré (en m)	3	6
Surcôt de l'équipement (en %)	13%	24%
Débit de chantier lors du semis (en ha/h)	2,5	4,5

Tableau 3 : Données techniques constituant chaque ferme type pour les calculs de surcôt.

A partir de ces hypothèses de travail, on calcule le surcôt du semis dû à l'équipement de fertilisation localisée et également le coût de passage de l'épandage en plein que l'on économisera. Pour chaque ferme type, on considère une surface d'orge de printemps plutôt moyenne de 25% et une autre plus importante de 30% et plus.

Ferme type A		Ferme type B	
Surface considérée	Surcôt total	Surface considérée	Surcôt total
50 ha d'orge de printemps	5,1 €/ha	125 ha d'orge de printemps	8,9 €/ha
75 ha d'orge de printemps	2,4 €/ha	150 ha d'orge de printemps	7,4 €/ha

Tableau 4 : Résultat de calcul du surcôt total engendré par l'achat d'un semoir sur une ferme type

Quelle que soit la ferme type considérée, les surcoûts engendrés (tableau 4) sont relativement faibles compte tenu des gains potentiels sur la culture de l'orge de printemps (cf partie 1a). Par contre, il ne faut pas perdre de vue l'adéquation nécessaire entre la largeur des outils et la surface déployée. Que l'on traduise et compare ces chiffres en quintaux de céréales ou en kgN/ha sous une forme donnée, on se rend compte rapidement que les frais supplémentaires engendrés sont facilement amortissables.

Conclusion

Malgré un coût d'achat important, le surcôt d'utilisation d'un semoir permettant de localiser la fertilisation est relativement modéré, de l'ordre d'une dizaine d'€/ha. Même si les gains de rendements ou économie d'azote ne sont pas toujours très significatifs sur orge de printemps, la technique permet de faire, dans les situations les plus problématiques du point de vue de la valorisation des apports d'engrais azotés, aussi bien que la technique traditionnelle réalisée en bonnes conditions. Ces conclusions seront complétées par des essais supplémentaires réalisés dans des conditions agroclimatiques différentes (sols de craie). A côté de ces aspects de fertilisation localisée, ce type de semoir avec une double trémie peut être utile pour diverses applications agricoles : semis de mélange d'espèce comportant des graines de tailles très différentes (méteil, association de couverts végétaux, association de colza avec des légumineuses,...). Par contre, comme tout investissement, l'achat de ce type de matériel est à raisonner correctement afin de bien dimensionner la largeur du semoir et donc son coût par rapport à la surface d'utilisation envisagée.

Concernant la valorisation des apports de phosphore, les quelques résultats acquis jusqu'à maintenant dans nos essais ne mettent pas en évidence de gains significatifs sur céréales à paille. Des investigations supplémentaires sont en cours pour préciser cela dans des contextes de production plus spécifiques.

Remerciements

Cette synthèse n'aurait pu se faire sans le gros travail de terrain des techniciens d'expérimentations entre 1996 et aujourd'hui : Daniel Couture, Pascal Boillet, Françoise Lancelot, Camille Fleury, Damien Gaudillat, Sylvain Bureau et Aurélie Geille. Nous remercions également tous les agriculteurs qui ont accepté d'accueillir ces expérimentations. Enfin, la mise à disposition des matériels de semis par les sociétés Väderstad et Sulky nous est précieuse, merci pour leur collaboration.

Bibliographie

Brun D., Martin M., 2012. Dossier Localisation au semis : assurer l'absorption des engrais -2- Matériels : Cinq modes de localisation de l'engrais. Perspectives Agricoles, 385 (janvier), 22-24.

Castillon P., Cohan J.P., 2012. Dossier Localisation au semis : assurer l'absorption des engrais -4- Maïs : le phosphore au semis apporte un "plus". Perspectives Agricoles, 385 (janvier), 28-29.

Cohan J.P., Le Souder C., 2012. Dossier Localisation au semis : assurer l'absorption des engrais -1- NPK : Localiser l'engrais pour optimiser son absorption par les cultures. Perspectives Agricoles, 385 (janvier), 20-21.

Grant, C. A., & Bailey, L. D. (1999). Effect of seed-placed urea fertilizer and N-(n-butyl) thiophosphoric triamide (NBPT) on emergence and grain yield of barley. *Canadian Journal of Plant Science*, 79(4), 491-496.

Karamanos, R. E., Stonehouse, T. A. and Flore, N. A. 2003. Response of winter wheat to nitrogen and phosphate fertilizer placement and time of application. *Can. J. Plant Sci.* 83: 483–488

O'Donovan, J. T., Clayton, G. W., Grant, C. A., Harker, K. N., Turkington, T. K., & Lupwayi, N. Z. (2008). Effect of nitrogen rate and placement and seeding rate on barley productivity and wild oat fecundity in a zero tillage system. *Crop Science*, 48(4), 1569-1574.

Toews, W. H., & Soper, R. J. (1978). Effects of nitrogen source, method of placement and soil type on seedling emergence and barley crop yields. *Canadian Journal of Soil Science*, 58(3), 311-320.

Wiersum L.K. (1962). Uptake of nitrogen and phosphorous in relation to soil structure and nutrient mobility. *Plant and soil*, 16, Issue 1, pp.62-70