

L'ANALYSE DE LA SEVE XYLEMIENNE, POUR PILOTER L'AZOTE ET LES OLIGO-ELEMENTS

Philippe MICHONNEAU⁽¹⁾, Charlotte MERLIN-TERREY⁽¹⁾,

Bruno FELIX-FAURE⁽²⁾, Bernard DUZAN⁽²⁾

(1) Société Coopérative Agricole Région d'Arcis – SCARA – ZI de Villette-Sur-Aube, 10700 Arcis-Sur-Aube.

(2) GALYS SAS – 14 rue André Boulle – 41000 Blois.

Introduction

La fertilisation des céréales est cruciale pour assurer des niveaux de rendement performant et une qualité de récolte répondant aux cahiers des charges des clients. La fertilisation azotée tient une place prédominante sur les aspects rendement et qualité. Parmi les normes de qualité, la teneur en protéines est incontournable. Les marchés français sont très segmentés selon les utilisations et les destinations (Tableau I). Concernant les orges de brasseries la teneur en protéine doit être comprise entre 9,5 et 11,5%. Pour les orges à whisky (distillerie), le taux de protéines doit être inférieur à 9,5%.

Tableau I : Teneurs en protéines requises selon les utilisations et les destinations (Source Arvalis, 2013).

Utilisations France	Biscuit	Pain cru	Brioche	Croissant frais	Croissant surgelé		
Teneur en protéine du grain	<11,0%	10,5 – 11,5%	11,0 – 13,0%	11,0 – 13,0%	12,0 – 14,0%		
Destination / Utilisations	Maroc	Egypte	Italie	Italie	Espagne	Espagne	
			Pain traditionnel	Ciabatta	Pain commun	Chapata	
Teneur en protéine du grain	11,5%	11,0%	11,5%	12,0%	10,0 – 12,0%	>11,0%	

De plus, la gestion de l'azote constitue un levier important pour limiter les impacts environnementaux et sur la santé publique. En champagne Crayeuse, les apports d'azote sont essentiellement réalisés sous forme de solution azotée (39% d'azote composé de : 50% urée ; 25% NH_4^+ ; 25% NO_3^-). Une application de solution azotée, effectuée sur un sol à pH élevé (pH moyen 8,2) favorise la volatilisation sous forme de NH_3 . L'ammoniac est un des éléments qui génère des microparticules impliquées dans des maladies respiratoires, cardiovasculaires... Les nitrates qui ne sont pas exploités par les plantes sont responsables de la pollution des nappes phréatiques par lessivage. Ou bien après un processus de dénitrification forme du protoxyde d'azote qui est un puissant gaz à effet de serre.

L'objectif de notre étude vise à mettre en place une méthode de pilotage de l'azote sur blé tendre d'hiver et orge de printemps, permettant d'assurer un taux de protéines répondant aux cahiers des charges clients tout en respectant l'environnement.

Analyse Bibliographique

Pour répondre à notre objectif, il est nécessaire d'identifier l'ensemble des facteurs impliqués dans l'efficacité de l'utilisation de l'azote.

La méthode simple dont dispose les agronomes pour estimer l'efficacité d'utilisation de l'azote est de calculer la différence entre l'azote disponible pour la culture (azote fourni par le sol + fertilisation organique + fertilisation minérale) et l'azote exportée lors de la récolte (rendement + teneur en protéine du grain + azote contenue dans les pailles exportées). Cependant, une analyse plus fine montre que **l'efficacité d'utilisation de l'azote** dépend de plusieurs facteurs. Le premier est **l'efficacité d'absorption** des composés azotés et de leur transport à l'échelle de la plante entière. Le

second est l'**efficacité d'assimilation** des nitrates et/ou de l'ammonium (biosynthèse des protéines et stockage). Enfin, le dernier est l'**efficacité de remobilisation** des réserves de protéines des feuilles en sénescence vers les grains en formation. L'ensemble de ces facteurs, est lui-même contraint par les conditions pédoclimatiques, la pression sanitaire, la spécificité des variétés.. (Hirel et al., 2007, Masclaux-Daubresse et al., 2010).

L'**absorption racinaire** de l'azote est réalisée au travers de transporteurs de nitrate (NRT) et d'ammonium (AMT). Ces transporteurs ont été identifiés chez *Arabidopsis thaliana*. Concernant les transporteurs de nitrates, on distingue les systèmes de transport à faible affinité (NRT1) (Tsay et al.,) et à haute affinité (NRT2) (Filleur et al., 2001). Ensuite, les nitrates puisés par le système racinaire dans la solution du sol sont pour partie stockés dans les vacuoles des cellules racinaires, mais la majeure partie est **transportée dans les feuilles par la sève xylémienne**. Les travaux de synthèse de Masclaux-Daubresse et al., en 2010 décrivent précisément la phase d'**assimilation** des composés azotés dans les jeunes feuilles et la phase de **remobilisation** des protéines à partir des feuilles en sénescence vers les grains. Dans les jeunes feuilles les nitrates et l'ammonium entrent dans le métabolisme des acides aminés, notamment le glutamate et l'arginine. Ce métabolisme est observé dans les plastides et chloroplastes. Dans les feuilles en sénescence, les protéines stockées dans les chloroplastes subissent une protéolyse, qui aboutit à la formation d'acides aminés. Ces derniers et notamment l'asparagine et la glutamine sont véhiculés via le phloème vers les grains en phase de remplissage, pour constituer les réserves protéiques.

Notre stratégie consiste à analyser la sève xylémienne pour comprendre dans des conditions pédoclimatiques données, pour des variétés précises, les mécanismes d'absorption des minéraux par le système racinaire. L'analyse de la sève xylémienne permettra d'identifier les minéraux absorbés, de visualiser leur transport à longue distance dans l'appareil végétatif et d'évaluer la teneur en nitrate et ammonium qui sera en partie source de protéines stockées dans les feuilles. Il a été montré dans de nombreux travaux que 80% des protéines stockées dans le grain ont pour origine les feuilles (40% pour la feuille n°1 ; 20% pour la feuille n°2 ; 20% pour le reste de la plante). Par conséquent, nous envisageons par l'analyse de la sève xylémienne durant la montaison d'évaluer le stade de développement végétatif qui assure un stockage optimum des protéines dans les feuilles.

Conditions expérimentales

Nos travaux ont été effectués sur les variétés d'orge de printemps Odyssey, Sébastien et RGT-Planet. Pour les blés tendres d'hiver, les variétés Arkéos (blé biscuitier), Fructidor, Mathéo (blé panifiable supérieur) et Uli11 (blé améliorant), ont été utilisées. Nos essais ont été réalisés en sol de craie. Les caractéristiques des sols de champagne crayeuse sont décrites dans le Tableau II.

Tableau II : caractéristiques physico-chimiques des sols de craie (teneur en g ou mg d'élément.kg⁻¹ de terre).

Caractéristiques Physico-chimiques des sols de craie	
pH eau	8,3
Calcaire Totale	687 g.kg ⁻¹
CaO	9034 mg.kg ⁻¹
Saturation de la C.E.C.	324%
C.E.C. moyenne	103 meq.kg ⁻¹
P ₂ O ₅ olsen	82 mg.kg ⁻¹
K ₂ O	267 mg.kg ⁻¹
MgO	113 mg.kg ⁻¹
Cu – EDTA	1,49 mg.kg ⁻¹
Zn – EDTA	1,89 mg.kg ⁻¹
Mn – EDTA	9,63 mg.Kg ⁻¹
Fe - EDTA	9,18 mg.kg ⁻¹

Les sols de champagne crayeuse sont peu profonds (30 cm en moyenne), reposant directement sur la craie. Leur valeur agronomique est liée à leur facilité de travail et surtout à la forte rétention en eau de la craie (réserve utile de 180 mm). Les sols de craie se caractérisent par un pH élevé et une teneur en nutriments faible. La concentration importante en calcium induit un fort taux de saturation et une capacité d'échange cationique (C.E.C.) réduite. Par conséquent, la capacité de fixation du phosphore est importante, limitant la disponibilité de cette ressource pour les plantes. D'autre part, les cations sont difficilement retenus par le complexe argilo-humique qui est saturé en calcium. Enfin, en sortie d'hiver/début de printemps, les températures froides des sols et leur réchauffement lent limitent la minéralisation de l'azote. La disponibilité en azote en sortie d'hiver, mesurée au travers des reliquats est en moyenne de 60 kg N.ha⁻¹ (Tableau III).

Tableau III : répartition de l'azote dans les sols de craie en sortie d'hiver.

Horizon	Densité	Humidité (%)	NH ₄ ⁺ kg.ha ⁻¹	NO ₃ ⁻ Kg.ha ⁻¹	Azote minéral utilisable kg.ha ⁻¹
0 – 30 cm	1,20	21	3,10	26,00	29,10
30 – 60 cm	1,40	18	6,10	10,30	13,35
60 – 90 cm	1,50	14	0,30	17,00	17,00
Total	-	-	9,50 kg.ha⁻¹	53,30 kg.ha⁻¹	59,45 kg.ha⁻¹

A noter que sur le nord de l'Aube, le cumul annuel moyen des précipitations est de 650 mm et le cumul des températures moyen est de 3988°C.

Les échantillons de céréales prélevés pour l'extraction et l'analyse de la sève xylémienne sont constitués de 100 plantes entières (feuilles, maître brin, talles, racines). Les prélèvements sont réalisés le matin deux heures après le lever du soleil. Ainsi, la transpiration des plantes est limitée. Les méthodes d'extraction et d'analyse de la sève xylémienne relèvent des savoir-faire du laboratoire GALYS qui sont confidentiels.

Résultats et discussions

La première étape de nos travaux a consisté à identifier le stade physiologique le plus adapté pour déterminer le taux de protéines pouvant être obtenu à la récolte. Pour les deux céréales (blé et orge), nous avons travaillé aux stades épi 1 cm ; 1^{er} nœud ; gonflement ; post floraison.

Stade physiologie optimale pour piloter la fertilisation azotée.

Des travaux réalisés sur orge de printemps (Odyssey), dans un essai stratégie de fractionnement des apports d'azote, montrent que pour chaque modalité, nous avons des courbes d'absorption des nitrates en fonction du temps qui suivent la loi de Michaelis-Menten. Par conséquent, dans nos conditions expérimentales, il est possible de visualiser l'absorption des nitrates, gérée par des transporteurs (Figure 1).

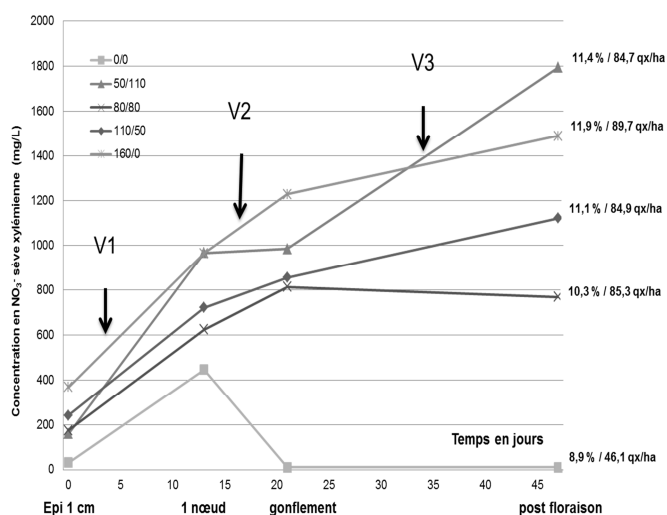


Figure 1 : Teneur en NO₃⁻ dans la sève xylémienne d'orge de printemps en fonction du temps. Essai stratégie de fractionnement des apports d'azote sous forme de solution azotée contenant 39% d'azote. La part azotée est composée de 50% d'urée, 25% de NH₄⁺ et 25% de NO₃⁻. L'ensemble des modalités a été fertilisé avec 160 kg N.ha⁻¹, calculés selon la méthode des bilans. La modalité témoin n'a pas été fertilisée (0 kg N.ha⁻¹). Le reliquat sortie hiver est de 47,5 kg N.ha⁻¹. Les modalités testées sont 100% de la dose au semis ; 2/3 de dose au semis puis 1/3 de dose stade 3 feuilles ; 1/2 dose au semis puis 1/2 dose stade 3 feuilles ; 1/3 de dose au semis puis 2/3 de dose au stade 3 feuilles. Essais réalisés en micro parcelles de 30 m² ; chaque modalité a été répétée 4 fois en randomisation totale.

L'augmentation de la teneur en nitrate dans la sève xylémienne en fonction du temps nous permet de déterminer une vitesse d'absorption. Cette dernière, à un instant t, correspond à la dérivée de la courbe à cet instant t. Graphiquement, cela revient à mesurer la pente de la tangente à la courbe à cet instant t. Le calcul de la vitesse d'absorption des nitrates a été réalisé pour chaque étape de développement de l'orge : épi 1 cm à 1^{er} nœud (V1) ; 1^{er} nœud à gonflement (V2) ; gonflement à post floraison (V3). Nous avons ensuite étudié la corrélation entre les vitesses d'absorption calculées (V1 ; V2 ; V3) et le taux de protéines obtenu lors de la récolte (pour chaque modalité de notre essai fractionnement des apports azotés). La figure 2 indique que la meilleure corrélation ($R^2 = 0,81$) entre la vitesse d'absorption des nitrates et le taux de protéines des grains est obtenu pour l'étape épi 1 cm à 1^{er} nœud.

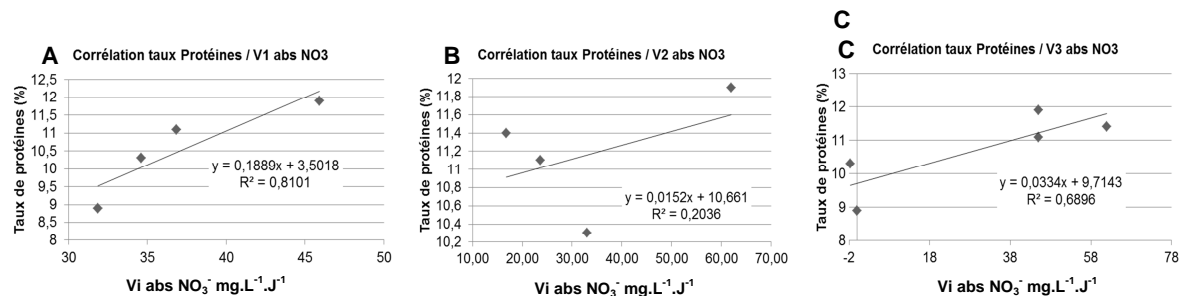


Figure 2 : Corrélation entre la vitesse d'absorption des nitrates et le taux de protéines des grains à la récolte. (A) V1 de épi 1 cm à 1^{er} nœud ; (B) V2 de 1^{er} nœud à gonflement ; (C) V3 de gonflement à post-floraison. Travaux réalisés sur orge de printemps, variété Odyssey.

Pour l'orge de printemps, la phase de développement cruciale pour anticiper le taux de protéines dans les grains semble être le passage de épi 1 cm à 1^{er} nœud. D'ailleurs, au stade épi 1 cm, La figure 3 montre qu'il existe un lien étroit entre la concentration en NO_3^- dans la sève xylémienne et le taux de protéines des grains à la récolte ($R^2 = 0,66$).

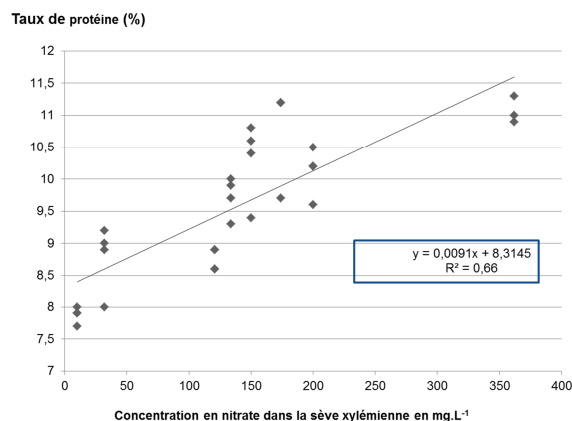


Figure 3 : Relation entre la teneur en nitrate dans la sève xylémienne et la teneur en protéines dans les grains à la récolte. Les mesures ont été réalisées sur 25 parcelles de RGT-Planet.

Pour le blé tendre d'hiver, un travail similaire indique que la phase optimale pour évaluer le taux de protéines à la récolte est plus tardive et correspond au passage de 1^{er} nœud à 2^{ème} nœud. La figure 4, montre, pour la variété de blé tendre Uli11 (blé améliorant), que la quantité de nitrate présente dans la sève xylémienne est très corrélée avec la teneur en protéines des grains ($R^2 = 0,84$).

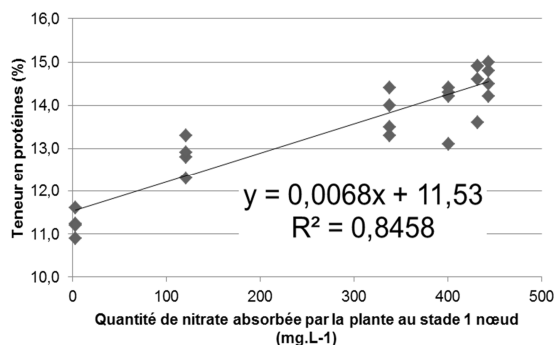


Figure 4 : Relation entre la teneur en nitrate dans la sève xylémienne et la teneur en protéines dans les grains à la récolte. Les mesures ont été réalisées sur 25 parcelles d'Uli11.

L'ensemble des résultats présentés nous amène à conclure qu'il est envisageable d'évaluer le taux de protéine à la récolte en mesurant la quantité de nitrate dans la sève xylémienne au stade épi 1 cm sur orge de printemps et 1^{er} nœud sur blé tendre d'hiver.

L'analyse de la sève xylémienne : outil de pilotage de la fertilisation azotée.

Le tableau IV résume pour les principales variétés de blé tendre d'hiver et d'orge de printemps travaillées dans notre étude, le niveau de corrélation entre les concentrations en nitrates dans la sève xylémienne et le taux de protéines des grains à la récolte.

Tableau IV : corrélation entre la teneur en nitrate dans la sève xylémienne et le taux de protéines.

Blé tendre d'hiver stade 1^{er} nœud	
Fructidor	$R^2 = 0,99$
Mathéo	$R^2 = 0,92$
Arkéos	$R^2 = 0,68$
Auckland	$R^2 = 0,84$
Uli11	$R^2 = 0,85$
Orge de printemps stade épi 1 cm	
Odyssey	$R^2 = 0,66$
RGT Planet	$R^2 = 0,76$
Sébastien	$R^2 = 0,98$

L'analyse de la sève xylémienne s'avère être une solution intéressante pour piloter les derniers apports d'azote en blé ou ajuster la dose d'azote sur orge de printemps. L'analyse est réalisée précocement dans le cycle de développement des plantes assurant une marge de manœuvre précieuse pour maîtriser le taux de protéines des cultures céréalières. Pour le blé tendre d'hiver, l'évaluation de la teneur en protéines des grains au stade 1^{er} nœud permet d'anticiper les derniers apports d'azote au stade 2 nœuds pour favoriser le stockage des protéines dans les feuilles. Sur orge de printemps, une évaluation dès le stade épi 1 cm de la quantité de protéines permet d'ajuster la dose d'azote en début de montaison pour obtenir la qualité requise.

L'analyse de la sève xylémienne : outil de caractérisation des variétés.

L'analyse de sève s'avère un outil efficace pour caractériser les blés. Il est en effet possible pour chaque variété de blé selon son stade de développement de mesurer les besoins en azote. Pour les variétés de blé produites à la SCARA, la figure 5 montre les variations des besoins en azote selon le stade physiologique : épi 1 cm (**A**), et 1^{er} nœud (**B**).

Au stade épi 1 cm, les blés améliorant (Uli11) absorbent plus de 300 mg.L⁻¹ de nitrates. La variété Fructidor est présente dans un second groupe avec une teneur en NO₃⁻ de plus de 175 mg.L⁻¹. Arkéos, variété biscuitière présente une teneur en NO₃⁻ de 125 mg.L⁻¹. Enfin la sève xylémienne de la variété Auckland ne contient que 65 mg.L⁻¹ de NO₃⁻. A noter que l'absorption de NH₄⁺ est observée au stade épi 1 cm notamment pour les variétés ayant une demande en azote importante. La teneur en NH₄⁺ mesurée est d'environ 50 mg.L⁻¹.

Au stade 1^{er} nœud, la situation est différente. Arkéos et Auckland, font partie des variétés qui véhiculent le plus de NO₃⁻ (1200 mg.L⁻¹). Pour Uli11 et Fructidor la sève xylémienne ne contient que 750 à 650 mg.L⁻¹ de NO₃⁻. Nos résultats montrent que les besoins en azote sont spécifiques des variétés et du stade de développement. Ces résultats peuvent être utiles pour adapter le fractionnement des apports, les doses et les formes d'azotes selon le besoin de la culture. Par

exemple, il est possible d'envisager sur les variétés à forte demande en nitrates en début de cycle d'apporter l'azote sous forme d'ammonitrate rapidement assimilable.

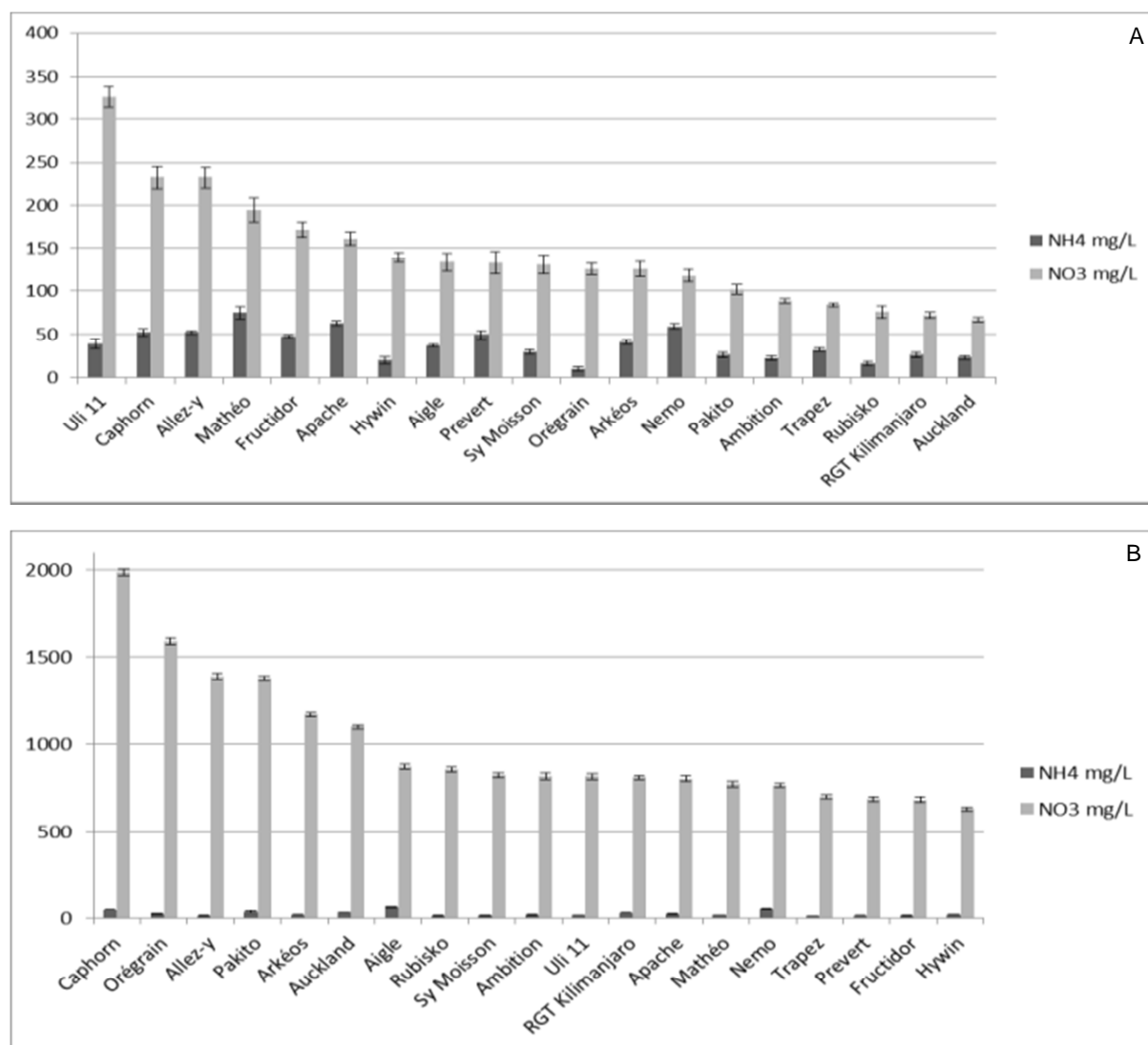


Figure 5 : Concentrations en NO_3^- et NH_4^+ , mesurées dans la sève xylémienne selon les variétés et en fonction du stade de développement : épi 1 cm (A) et 1^{er} nœud (B). Les barres représentent la moyenne de 4 répétitions \pm écart type.

Le même type d'analyse peut être réalisé sur les oligo-éléments. L'analyse de la sève pour chaque variété peut déterminer le stade de développement végétatif le mieux approprié pour valoriser des applications d'oligo-éléments. Pour le blé tendre d'hiver, nos résultats montrent que le fer est véhiculé au stade épi 1 cm. La concentration mesurée à épi 1cm, varie de 6,60 à 0,25 mg.L^{-1} de fer. De manière générale au stade 1^{er} nœud la teneur en fer est inférieure à 1 mg.L^{-1} . A ce stade, seules les variétés Mathéo, Uli11 et Trapez contiennent 2 mg.L^{-1} de fer. Dans des situations où la teneur en fer dans le sol est déficitaire (en sol de craie, inférieure à 15 mg.kg^{-1} de terre) il est possible d'envisager une correction en foliaire au stade épi 1 cm.

L'analyse de la sève xylémienne : outil de pilotage des oligo-éléments.

L'analyse du besoin de la plante en oligo-éléments est un axe encore trop peu travaillé de manière précise. Nous nous sommes intéressés, en particulier, au fer et au manganèse. Ces éléments sont des catalyseurs des enzymes impliquées dans la biosynthèse des protéines (Figure 6).

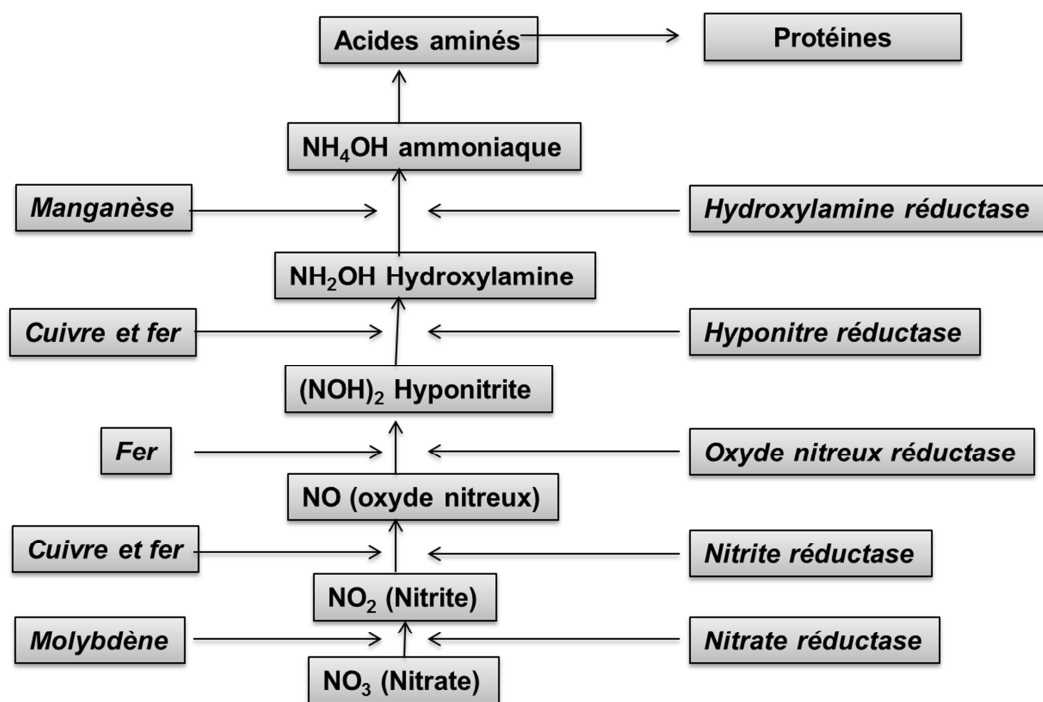


Figure 6 : rôle des enzymes et des métaux catalyseurs impliqués dans la voie de biosynthèse des protéines à partir des nitrates.

Sur orge de printemps, les analyses de sève xylémienne nous permettent de piloter précisément les apports de deux éléments antagonistes le fer et le manganèse. Pour ces deux ions, les mécanismes d'antagonismes sont bien décrits. Le Mn pénètre prioritairement dans les cellules de plus il prend place sur des sites métaboliques normalement occupés par le fer. Nos résultats montrent que le fer est transporté dans le xylème au stade épi 1 cm puis à partir du stade 1^{er} nœud on observe essentiellement la présence du manganèse (Tableau V).

Tableau V : Suivi de la teneur en fer et manganèse dans la sève xylémienne d'orge de printemps (Sébastien). Mesures réalisées sur 4 répétitions \pm écart-type.

Stade développement	3 feuilles	Epi 1 cm	1 ^{er} nœud	Post floraison
Fer mg.L⁻¹	0,14 \pm 0,05	2,69 \pm 0,15	0,50 \pm 0,05	0,55 \pm 0,05
Manganèse mg.L⁻¹	0,89 \pm 0,04	1,24 \pm 0,10	3,50 \pm 0,18	2,84 \pm 0,012

L'analyse de sève permet de réaliser les apports d'oligo-éléments (Fe⁺⁺ et Mn⁺⁺) lorsque la plante est capable de les transporter. L'apport de fer est effectué au stade épi 1 cm et l'apport de manganèse au stade 1 à 2 nœuds.

Tableau VI : Impact des oligo-éléments sur le taux de protéines de l'orge de printemps (RGT-Planet). Apport de 1 L.ha⁻¹ de Fer-EDTA dosé à 100 g.L⁻¹. Apport de 3 L.ha⁻¹ Mn-EDTA dosé 150 g.L⁻¹.

Traitements	Taux de protéines (%)
Témoin	9,8 %
Manganèse à épi 1 cm	10,0% (+ 0,2% de protéines Vs témoin)
Fer à épi 1 cm	10,2% (+ 0,4% de protéines Vs témoin)
Fer épi 1 cm – Manganèse 2 Nœuds	10,1% (+ 0,3% de protéines Vs témoin)

Le pilotage précis des oligo-éléments comme le fer et le manganèse permet sur Odyssey d'obtenir une augmentation de rendement de 10 qx.ha⁻¹, en 2014 et 2015. Sur Sébastien, une hausse de rendement de 5 qx.ha⁻¹ en moyenne est observée (2016). Enfin sur RGT-Planet, variété d'orge performante en rendement mais dont la teneur en protéines du grain est faible voir parfois inférieure à 9,5%, le fer permet une augmentation de 0,3 à 0,4% du taux de protéines (Tableau VI). Une étude similaire est en cours sur le blé.

Conclusion et perspectives

Pour la récolte 2017, l'ensemble des travaux et des résultats présentés dans cet article ont permis de piloter la fertilisation de 1 800 ha de céréales, répartis sur 169 parcelles (88 de blé et 81 d'orge de printemps), au sein de 70 exploitations.

Pour les blés, au stade 1^{er} nœud notre modèle indiquait un taux de protéines à la récolte de 11,32%. Nous avons conseillé aux agriculteurs des apports d'azote pour obtenir un taux de 12,00% selon les demandes clients. Le taux moyen obtenu à la récolte a été de 12,10%.

Les plans prévisionnels de fumure indiquaient une dose moyenne d'azote de 220 kg.ha⁻¹, en solution azotée. En moyenne, les agriculteurs avaient apporté 171 kg N.ha⁻¹ (1^{er} + 2^{ème} apport). La mise en application de notre modèle, a abouti à un conseil moyen pour le troisième apport de 43 kg N.ha⁻¹ (allant de 0 à 80 kg N.ha⁻¹). Les parcelles que nous avons pilotées à l'aide de l'analyse de la sève xylémienne ont donc reçu au total 214 kg N.ha⁻¹. Le tableau VII montre le détail des pratiques suite à nos conseils, pour les principales variétés de blé panifiable supérieur.

Tableau VII : Impact de notre modèle sur la consommation d'azote, pour la fertilisation des blés.

Variétés	Conseil PPF	Apport N 1 ^{er} + 2 ^{ème}	% protéines évalué à 1 ^{er} nœud	Conseil moyen 3 ^{ème} apport N	% protéines récolte	Dose totale N kg N.ha ⁻¹
Auckland	244	180	11,60	30	11,98	210
Fructidor	235	184	11,44	40	11,86	224
Mathéo	225	176	11,27	50	12,48	225

Dans les situations les plus favorables, notre méthode a permis une économie allant jusqu'à environ 30 kg N.ha⁻¹, par rapport au plan de fumure. En moyenne, sur l'ensemble des parcelles de blé l'économie d'azote est de 6 kg.ha⁻¹.

Pour les orges de printemps, la correction de la fertilisation azotée a été pratiquée au stade épi 1 cm. Notre modèle indiquait alors un taux de protéines potentiel à la récolte de 10,51%. Après utilisation de l'analyse de sève xylémienne, nous avons obtenu un taux de protéines de 10,48%.

Les plans prévisionnels de fumure donnaient un conseil moyen de 156 kg N.ha⁻¹, en solution azotée. Le cumul des apports d'azote réalisés au semis puis au stade 3 feuilles était de 134 kg N.ha⁻¹. L'application de notre modèle a abouti à un conseil moyen de 10 kg N.ha⁻¹ (nombreuse parcelles sans apport – apport maximum 30 kg N.ha⁻¹). Par conséquent, les parcelles d'orge de printemps que nous avons pilotées à l'aide de notre méthode ont reçu au total 137 kg N.ha⁻¹. Le tableau VIII montre le détail des pratiques de fertilisation sur la base de nos conseils, pour les principales variétés d'orges de brasserie.

Tableau VIII : Impact de notre modèle sur la consommation d'azote, pour la fertilisation des orges de printemps.

Variétés	Conseil PPF	Apport N 1 ^{er} + 2 ^{ème}	% protéines évalué à 1 ^{er} nœud	Conseil moyen 3 ^{ème} apport N	% protéines récolte	Dose totale N kg N.ha ⁻¹
Explorer	143	110	9,98	20	11,15	130
Sébastien	160	130	10,53	10	10,88	140
RGT-Planet	157	135	10,69	10	10,50	145

Sur orge de printemps, en comparaison avec les plans prévisionnels de fumure, l'analyse de sève permet d'économiser en moyenne 20 kg N.ha⁻¹.

En utilisant le logiciel SYSTERRE® développé par Arvalis-institut du végétal, il est possible d'estimer la réduction des émissions de gaz à effet de serre (E.G.E.S.), entre le conseil plan de fumure prévisionnel et l'analyse de sève. La SCARA chaque année analyse les indicateurs environnementaux de plus de 7 000 ha de céréales à l'aide de l'outil SYSTERRE. L'application de l'analyse de la sève Xylémienne, sur les blés tendre d'hiver a permis une réduction des EGES de 69 kg eqCO₂.ha⁻¹. Pour les cultures d'orge de printemps cette réduction des EGES est de 230 kg eqCO₂.ha⁻¹.

L'utilisation d'un outil tel que l'analyse de la sève xylémienne, dans les conditions pédoclimatiques de la champagne crayeuse, semble être efficace pour piloter la fertilisation azotée et gérer les apports d'oligo-éléments. A l'aide de notre méthode, nous avons évalué précocement le taux de protéines potentiellement atteignable à la récolte. Cette évaluation a été utilisée pour obtenir la qualité requise par nos clients en limitant les apports d'azotes et en réduisant les émissions de gaz à effet de serre.

Références bibliographiques

Filleur S, Dorbe M, Cerezo M, 2001. An *arabidopsis* T-DNA mutant affected in Nrt2 genes is impaired in nitrate uptake. FEBS letter **489**: 220-224.

Hirel B, Le Gouis J, Ney B, Gallais A, 2007. The challenge of improving nitrogen use efficiency in crop plants: towards a more central role for genetic variability and quantitative genetics within integrated approaches. Journal of experimental Botany **58**: 2369-2387.

Masclaux-Daubresse C, Daniel-Vedele F, Dechorgnat J, Chardon F, Gaufichon L, Suzuki A, 2010. Nitrogen uptake, assimilation and remobilization in plants: challenges for sustainable and productive agriculture. Annals of botany **1093**: 1-17.

Service communication ARVALIS – Institut du végétal (2013), Teneur en protéines des blés : Relever le double défi agronomique et économique. Réf 2180 – ISBN. 978-2-8179-0218-0.

Tay YF, Chiu CC, Tsai CB, Ho CH, Hsu PK, 2007. Nitrate transporter and peptide transporters. FEBS letters **581**: 2290-2300.