

Blés

Pilotage de la fertilisation azotée : bien choisir sa méthode

Mieux piloter la fertilisation azotée de ses blés passe par l'utilisation d'une approche complémentaire à la méthode du bilan afin d'adapter le fractionnement. Pour ajuster la quantité totale d'azote à apporter au plus près des besoins de la culture, différents outils existent. Tour d'horizon.

Piloter les apports d'azote en fin de cycle du blé, d'accord, mais à condition d'avoir au préalable mis en réserve une partie de la dose totale à apporter lors du deuxième apport à épi 1 cm. Dans ce cas, plusieurs outils permettent d'ajuster la quantité d'azote à fournir pour le(s) dernier(s) apport(s) fin montaison (tableau 1).

Profiter des différents flux d'azote dans la plante

Elaborée dès 1992, la teneur en nitrate des jus de base des tiges repose sur l'existence à la base de

la tige d'un stock d'azote nitrique qui se forme lorsque le flux d'absorption dépasse le flux d'assimilation, soit en début de montaison (1 nœud). Au cours de cette étape, la croissance et la capacité d'assimilation s'accroissent. Le stock d'azote nitrique tend donc à diminuer, cela

Une corrélation étroite existe entre l'azote contenu dans les feuilles et la quantité de chlorophylle.

d'autant plus vite que s'installe un déséquilibre entre l'absorption de l'azote, plus ou moins disponible dans le sol, et l'assimilation par la plante. La mesure de la teneur en nitrate du jus de base des tiges peut donc permettre de décider d'un apport complémentaire. C'est sur cette méthode que reposent les outils Jubil®, développé par l'INRA et ARVALIS-Institut du végétal, ainsi que Ramses® d'In-Vivo. Une ou plusieurs analyses de jus de base des tiges à des stades stratégiques (1, 2 nœuds et dernière feuille) permettent de décider d'un apport supplémentaire ou non, ainsi que de la dose à apporter. Principaux atouts de ces outils toujours très utilisés : la rapidité du diagnostic, la faiblesse de leur coût, et surtout l'« autonomie » qu'ils confèrent à l'utilisateur. Inutile d'avoir une connexion internet, mesure et conseil se font directement au champ.

Utiliser la teneur en chlorophylle des feuilles

Plusieurs autres outils faisant appel à des capteurs optiques reposent sur la teneur en chloro-

Un indice pour se situer par rapport à la dose optimale

L'Indice de nutrition azotée (INN) représente la teneur en azote optimale pour la croissance de la plante selon le niveau de matière sèche produite. Il correspond au ratio de la teneur en azote mesuré sur la teneur optimale. Le suivi de cet indicateur offre la possibilité de se situer au plus près de la dose optimale. Lorsque l'INN est inférieur à 1, il traduit un état de carence, sachant qu'un indice inférieur à 0,9 a toutes les chances d'affecter le rendement. Si l'objectif est d'enrichir délibérément la teneur en azote des grains pour atteindre la teneur en protéine requise, il faut se situer en état de surconsommation, c'est-à-dire un INN supérieur à 1 en fin de cycle. Cet indice constitue aujourd'hui la référence en matière de diagnostic d'une carence azotée.

phyllé des feuilles, un bon indicateur de la nutrition azotée de la plante. Explication : l'azote assimilé par la plante est stocké à 80 % dans les feuilles, sous forme de protéines, localisées à environ 75 % dans les chloroplastes. Et une corrélation étroite existe entre l'azote contenu dans les feuilles et la quantité de chlorophylle, elle-même fortement liée à l'indice de

Les capteurs utilisés pour évaluer la teneur en chlorophylle d'un couvert peuvent être embarqués sur le tracteur, comme ici avec le N-Sensor®, situé sur le toit du tracteur.



Neuf outils de pilotage à la loupe

	Produit commercial	Développeur	Prix	Cultures prises en compte	Surfaces de blé pilotées en 2010 (*)	Avantages	Inconvénients
Teneur en nitrate du jus de base des tiges	Jubil®	INRA ARVALIS	500-800 € à l'achat (la malette)	Céréales, maïs, pomme de terre	≈ 130 000 ha	- Autonomie - Facilement démultipliable	- Mesure destructive - Temps nécessaire
	Ramses®	InVivo	≈ 90 €/parcelle/an	Céréales, maïs, pomme de terre	≈ 70 000 ha	- Facilement démultipliable	- Mesure destructive - Temps nécessaire - Dépendance de la coop
Teneur en chlorophylle des feuilles par réflectance	GPN-Pilot®	GPN (AZF)	Prestation (1) ou ≈ 3 500 € à l'achat	Céréales, colza, pomme de terre	≈ 40 000 ha	- Autonomie - Rapidité de la mesure	- Nombre de mesures par appareil non extensible
	N-Sensor®	Yara	Prestation (1) ou ≈ 20 000 à 30 000 € à l'achat	Céréales	≈ 45 000 ha	- Modulation intraparc. - Temps réel - Autonomie	- Prix à l'achat
	Greenseeker®	Trimble (Ntech)	entre 15 000 et 18 000 € à l'achat	Blé, maïs, betterave, coton	Très peu	- Modulation intraparc. - Temps réel - Autonomie	- Prix à l'achat - Pas de diagnostic de carence azotée
	SATscan® (CropCircle®)	SATplan (Holland scientific)	entre 18 000 et 24 000 € à l'achat	Colza, blé, orge	Très peu	- Modulation intraparc. - Temps réel - Autonomie	- Prix à l'achat - Pas de diagnostic de carence azotée
	Farmstar®	ARVALIS Astrium	+/- 10 €/ha/an	Colza, blé, orge	230 000 ha	- Modulation intraparc. - Aucune mesure - Outil polyvalent	- Délai d'attente
Teneur en chlorophylle des feuilles par transmittance	N-Tester®	Yara ARVALIS	Prestation (1) ou 1 450 € à l'achat + 20-30 €/an	Blé, orge, maïs, pomme de terre	130 000 ha	- Rapidité de la mesure - Mesure non destructive	- Internet nécessaire - Nombre de mesures par appareil non extensible
	NS Digitès®	InVivo	-	Blé		- Rapidité de la mesure - Mesure non destructive	- Dépendance vis-à-vis de la coop

Tableau 1

(*) Estimations issues d'enquête ARVALIS - (1) Prix de la prestation dépendant du distributeur (OS ou entreprise privée): de 20 à 50 euros/parcelle

nutrition azotée de la plante (*encadré 1*). La teneur en chlorophylle des feuilles peut être mesurée par des méthodes directes au laboratoire ou indirectes au champ. Ces dernières font appel à la réflectance, à la transmittance ou à la fluorescence (*encadré 2*).

Des pinces qui fonctionnent par transmittance

L'utilisation de la transmittance a abouti à des outils directement utilisables au champ. Ils pincent les feuilles, sans détruire la plante. L'appareil mesure la transmittance à travers la feuille de la lumière émise par deux diodes correspondant respectivement au rouge et à l'infrarouge. Spécifique de la chlorophylle, le rouge permet de caractériser son absorption et donc sa présence. En 1995, la société Konica Minolta a été la première à proposer une pince fondée sur

2

Transmittance et réflectance

Lorsqu'une onde lumineuse rencontre un obstacle liquide, solide ou gazeux, celui-ci en absorbe une partie. Il en réfléchit une autre, ce qui s'appelle la réflectance, et en transmet une troisième, ce qui correspond à la transmittance. Chaque corps possède des propriétés optiques qui lui sont propres : c'est le spectre d'absorption. En ce qui concerne les feuilles, ce spectre est du même type quelle que soit l'espèce car les éléments (eau, protéines...) qui constituent le feuillage sont les mêmes. Seules les amplitudes diffèrent. Ce spectre est en fait très lié au spectre d'absorption de la chlorophylle, composante majeure du végétal.

cette méthode. Le fabricant d'engrais Yara a obtenu l'exclusivité de sa distribution en Europe. Il s'en est servi pour développer un outil d'aide à la décision, le Hydro N Tester®, dont le paramétrage, les règles de décision ainsi que le calage variétal sont remis à jour annuellement en collaboration avec ARVALIS-Institut du végétal. Comme dans le cas du jus de base des tiges, il s'agit de faire un diagnostic de carence azotée de la plante puis de préconiser un apport complémentaire fin montaison. Ce diagnostic est possible durant trois grandes périodes : montaison, sortie dernière feuille et gonflement. La dose finale d'azote est ajustée de 0 à + 80 unités/ha en fonction des besoins réels de la plante. Le groupe InVivo propose à ses coopératives adhérentes un outil sur le même principe, le NS Digitès®.

Des indices de végétation calculés grâce à la réflectance

La teneur en chlorophylle du couvert peut également être mesurée par réflectance, à l'aide de capteurs, soit embarqués sur le tracteur ou le pulvérisateur, soit portés par l'homme. Les données de réflectance servent en général à calculer des indices de végétation. Ils traduisent numériquement le fait qu'un sol nu présente une faible différence de réflectance entre le rouge et l'infrarouge, alors que l'écart est fort au sein d'un couvert végétal dense. Le NDVI (Indice normalisé de différence de végétation) est le plus couramment utilisé. Son avantage : il peut être calculé grâce à des capteurs relativement simples, ne travaillant que sur quelques longueurs d'onde. Son inconvénient : très mal corrélé à la teneur en chlorophylle, il ne permet pas de faire un diagnostic de carence azotée. C'est pourquoi d'autres outils emploient d'autres types d'indice, comme le NDRE (Indice de différences des rouges), mieux corrélés à la teneur en chlorophylle... Mais également plus coûteux à obtenir car exigeant des capteurs plus sophistiqués.

Surtout de la modulation

Comme ils reposent pour partie sur une approche empirique, les indices de végétation, pourtant très utilisés, peuvent difficilement servir à faire un diagnostic de carence et à délivrer une préconisation d'apport complémentaire. Seuls quelques outils le permettent comme le GPN-Pilot® d'AZF et l'Isaria® de Fritzmeier. La plupart module de façon intra-parcellaire une dose complémentaire préalablement renseignée par l'utilisateur ou déterminée par un outil de diagnostic et de préconisation (par exemple le Hydro N Tester® dans le cas du N-Sensor®). Le Greenseeker® de Trimble, le SatScan® de SatPlan et le CropSensor® d'Agrocom sont dans ce cas.



Un certain nombre d'outils de pilotage de l'azote ne permettent pas de diagnostiquer une carence mais seulement de moduler une dose.

La bande double densité pour déclencher le premier apport

La bande double densité compte également parmi les outils de pilotage de la fertilisation azotée. Mais elle n'a qu'un seul but : déterminer le meilleur moment pour déclencher le premier apport. Cette méthode, simple sur le principe, consiste à semer dans la parcelle une bande en double densité pour induire une surconsommation d'azote. Ce qui permet de déceler à l'œil nu un début de carence en azote : dans ce cas, cette bande plus dense pâlit comparativement au reste de la parcelle. Mise au point à partir de 1994, cette méthode est diffusée depuis 1999. Pas forcément très précise, elle a néanmoins prouvé son efficacité.

Les données de réflectance servent en général à calculer des indices de végétation.

Fiabiliser la mesure de la teneur en chlorophylle

Parce qu'il fait en plus appel à de la modélisation, un outil permet d'aller plus loin : Farmstar, développé par Astrium et ARVALIS-Institut du végétal. Il s'appuie sur des mesures de réflectance réalisées par des capteurs portés par des satellites ou embarqués sur des avions. Ceux-ci sont bien plus précis : ils travaillent sur des largeurs spectrales beaucoup plus importantes. Les données

recueillies sont ensuite injectées dans un modèle « inversé ». Dans sa version normale, ce modèle calcule le spectre de réflectance du couvert à partir des données physiologiques, qui incluent entre autres la teneur en chlorophylle. L'inversion permet de faire le contraire, soit de retrouver la teneur en chlorophylle à partir de la réflectance. Ce type d'approche permet une mesure précise de la quantité de chlorophylle du couvert. En découle un diagnostic de carence azotée, puis une préconisation et une modulation intra-parcellaire de la dose préconisée.

La fluorescence : un investissement lourd

Autre méthode pour évaluer la teneur en chlorophylle des plantes : la fluorescence. Elle se fonde sur l'une des propriétés de la chlorophylle, qui consiste à absorber de l'énergie lumineuse puis à la restituer rapidement sous forme de lumière fluorescente. Un rayon lumineux d'une longueur d'onde précise est envoyé vers le feuillage. Il pénètre jusque dans la chlorophylle. Des capteurs mesurent ensuite la quantité de fluorescence émise dans le rouge et l'infrarouge. Le dispositif peut également fournir la teneur en polyphénols du feuillage. Il est alors possible de calculer le ratio chlorophylle/flavonols, qui s'apparente au rapport carbone/azote de la plante. En fonctionnement optimal, la plante synthétise surtout des protéines (molécules azotées) contenant la chlorophylle, et peu de flavonols (composés carbonés), l'inverse se produisant en cas de carence azotée. Cet indicateur permet ainsi un diagnostic précoce et pertinent de la nutrition azotée des cultures. La société Force A a été la première à développer ce type d'approche, avec le Dualex® puis le Multiplex®. Si les résultats sont d'une grande pertinence, l'investissement reste néanmoins très lourd et demeure essentiellement réservé à la recherche. ■

Baptiste Soenen
ARVALIS-Institut du végétal
b.soenen@arvalisinstitutduvegetal.fr