

Analyses végétales

pour une optimisation dynamique des apports de l'azote

Prof. Lhoussaine Moughli, IAV Hassan II, Rabat - l.moughli@iav.ac.ma



Une gestion efficace de l'azote est un défi majeur de l'agriculture moderne. Les recherches permettent de développer des méthodes pour augmenter l'efficacité d'utilisation de l'azote. Les analyses de sols permettent de déterminer les doses d'azote à apporter, mais le caractère dynamique de l'azote du sol (lessivage, dénitrification, volatilisation, ...) nous oblige à chercher des méthodes qui nous permettront d'affiner nos décisions de gestion de cet élément pendant le cycle de la culture pour réagir aux variations du climat et aux conditions des cultures. Plusieurs outils ont été développés pour le suivi l'état nutritionnel azoté des cultures. Dans cet article, nous présentons deux outils que nous avons testés sous les conditions marocaines.

Les recherches ont rapporté de bonnes corrélations entre la teneur de la feuille en chlorophylle et sa teneur en azote.

Utilisation du chlorophylle-mètre au champ

Le concept d'utiliser la culture pour évaluer son état nutritionnel n'est pas nouveau. Les recherches ont rapporté de bonnes corrélations entre la teneur de la feuille en chlorophylle et sa teneur en azote, ce qui est normal puisque la majorité de l'azote est contenue dans les molécules de chlorophylle. Dans ce sens, le chlorophylle-mètre permet de mesurer facilement et rapidement l'activité photosynthétique potentielle liée à la teneur de la feuille en chlorophylle, à l'état azoté de la culture et à la verdure de la feuille.

Le chlorophylle-mètre ou SPAD-mètre est un outil portable de diagnostic qui mesure la verdure ou la teneur relative en chlorophylle des

feuilles. Les lectures sont données en unités appelées SPAD (Soil Plant Analysis Development). Il présente plusieurs avantages par rapport aux autres méthodes d'analyses végétales :

- L'analyse est non destructive: les lectures sont faites tout au long du cycle de la culture directement sur le terrain sur des feuilles sans les enlever de la plante.
 - pas besoin d'envoyer les échantillons au laboratoire, permettant ainsi d'économiser le temps et l'argent ;
 - L'utilisation répétée du chlorophylle-mètre tout au long du cycle peut indiquer suffisamment tôt l'approche d'une carence en azote, afin de la corriger et éviter toute perte de rendement.
- Le chlorophylle-mètre est utilisé de deux manières :

1- Prédiction de la teneur de la feuille en azote

Il existe une bonne corrélation entre le SPAD et la teneur de la feuille en azote. Cette relation linéaire entre les valeurs d'azote et le SPAD a permis l'adaptation du SPAD-mètre pour évaluer l'état nutritionnel azoté des cultures et pour déterminer le besoin supplémentaire d'une culture en azote. Une fois ces relations établies pour différentes cultures, on peut prédire la teneur des feuilles en azote à partir de la lecture du SPAD et ensuite, comparer cette teneur avec les normes pour dire si la nutrition azotée est adéquate avant de décider si un apport supplémentaire d'azote est nécessaire ou non. Des mesures de SPAD effectuées à des stades précis, permettent de prédire le rendement grains dans le cas du blé par exemple.

2- Utilisation de bande de référence

Plusieurs facteurs affectent les lectures du chlorophylle-mètre : la variété ou hybride, le stade de croissance, de même que les conditions environnementales récentes telles que la température, le stress hydrique et l'insolation. Les mala-



fertilisée dans chaque parcelle et chaque année :

Création de bande de référence:

Il est crucial que le chlorophylle-mètre soit calibré pour chaque parcelle, précédant cultural, variétés et type de sol. Une bande de référence (ou plusieurs, si la taille de la parcelle est très grande) bien fertilisée, identique au reste de la parcelle sauf qu'elle a reçu suffisamment d'azote doit être installée dans chaque parcelle. La quantité d'azote apportée à cette bande doit être adéquate de sorte à ce qu'il n'y ait pas de carence en azote. Les travaux de recherche suggèrent que le reste de la parcelle reçoive 50 à 75% de la dose recommandée par le laboratoire (Moins pour les sols sableux). La bande de référence sera créée en faisant un apport supplémentaire de sorte que la dose totale soit légèrement

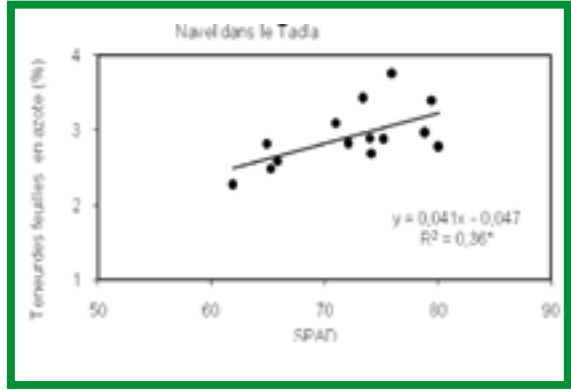
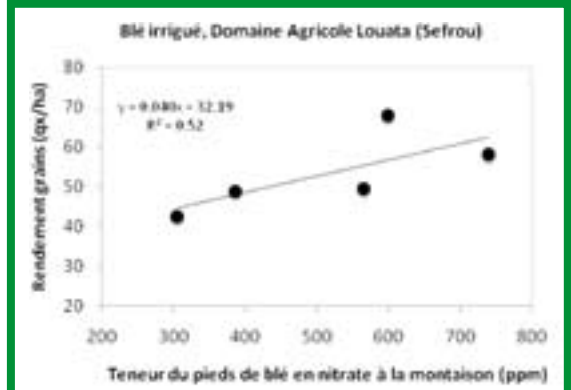
Le chlorophylle-mètre permet de mesurer facilement et rapidement l'activité photosynthétique potentielle liée à la teneur de la feuille en chlorophylle, à l'état azoté de la culture et à la verdure de la feuille.

verdure de la feuille. Parce que le chlorophylle-mètre est affecté par plusieurs facteurs, il n'est pas possible de dire que telle valeur indique une carence ou une richesse de la feuille en azote. Les valeurs du chlorophylle-mètre ne veulent pas dire grand-chose elle-même, et donc elles doivent être calibrées pour chaque parcelle, sol, hybride et environnement pour pouvoir les utiliser. La meilleure manière pour calibrer et de créer une bande bien

être installée dans chaque parcelle. La quantité d'azote apportée à cette bande doit être adéquate de sorte à ce qu'il n'y ait pas de carence en azote. Les travaux de recherche suggèrent que le reste de la parcelle reçoive 50 à 75% de la dose recommandée par le laboratoire (Moins pour les sols sableux). La bande de référence sera créée en faisant un apport supplémentaire de sorte que la dose totale soit légèrement

dies, les carences nutritionnelles et tout autre type de stress de la plante peuvent affecter la capacité de la plante à produire de la chlorophylle, affectant ainsi la

Analyses végétales



Il existe une relation étroite entre le SPAD et la teneur de la feuille en azote illustrée par les figures.

supérieure à la dose recommandée mais pas trop car ça peut réduire le rendement. En comparant la valeur moyenne du chlorophylle-mètre de la bande de référence avec celle du reste de la parcelle, on peut déterminer l'état nutritionnel azoté de la culture et le besoin supplémentaire en azote.

Comment échantillonner et interpréter le SPAD :

Le chlorophylle-mètre peut stocker jusqu'à 30 lectures et calculer la moyenne automatiquement. Des lectures doivent être faites sur 30 plantes chaque semaine, durant la période de grand besoin de la culture en azote, dans différentes parties de la bande de référence et du reste de la parcelle. Les moyennes doivent être comparées. Il faut surtout éviter d'utiliser des plantes qui ne sont pas représentatives. Après avoir calculé la moyenne des 30 plantes de la bande de référence et des 30 plantes du reste de la parcelle, on peut calculer l'indice de suffisance en azote :

Indice de suffisance azote = (Moyenne de la parcelle / Moyenne de la bande de référence) x 100%

Exemple :

- La valeur moyenne de la bande de référence est de 54,4
- La valeur moyenne du reste de la parcelle est de 51,3
- L'indice de suffisance en azote est égal à $(51,3 \times 100) / 54,4 = 94,3$. Dans ce cas, l'indice de suffisance est de 94,3 %. Un indice inférieur à 85% indique une carence en azote qui doit être corrigée pour éviter

une réduction du rendement. Une lecture doit être refaite quatre à six jours après l'apport de l'azote pour s'assurer que la carence a été corrigée ou en cours de correction.

Enfin, on peut dire que le chlorophylle-mètre améliore la capacité de l'agriculteur à prendre des décisions de gestion de l'azote mais ne remplace pas les autres aspects de bonnes pratiques de management de l'azote. Une gestion environnementalement et économiquement correcte de l'azote doit commencer par une bonne analyse de sol et un rendement objectif réaliste.

L'utilisation du chlorophylle-mètre pour piloter la fertigation permet des ajustements tout au long de la saison basés sur la quantité d'azote minéralisée de la matière organique du sol ou des amendements organiques apportés. Quand le besoin d'apport supplémentaire d'azote est indiqué par le chlorophylle-mètre (l'indice de suffisance en azote inférieur à 95%), un apport additionnel sera fait par fertigation. La technique du chlorophylle-mètre permet de peaufiner la gestion de l'azote aux conditions du champ et réduit les risques de réduction du rendement due à une carence en azote. On doit reconnaître que c'est un outil qui complète mais ne remplace pas les autres aspects de bonne gestion de l'azote. En résumé, on peut dire : "Utiliser le chlorophylle-mètre pour programmer vos apports d'azote pendant le cycle et pas au début. Il sert aussi à détecter et corriger les variabilités de croissance de la culture dans une parcelle.

Utilisation des nitrates de la sève

Une fois absorbé par les racines, l'azote est transporté sous forme de nitrates jusqu'aux feuilles où il est transformé et incorporé à la matière vivante. La teneur en nitrates des organes aériens de la plante indique assez bien si l'alimentation azotée de la plante est adéquate. L'analyse de la sève est une métho-

Analyses végétales



Cardy-mètre Horiba, méthode rapide pour vérifier la teneur en nitrates de la sève ou du sol.

de efficace pour l'évaluation de la nutrition azotée. Pour le blé et l'orge, la concentration en N-NO₃ dans la partie inférieure de la tige est un bon indicateur pour la gestion de la fertilisation azotée. On peut donc utiliser la teneur de la sève en NO₃ pour évaluer la nutrition azotée et dans des délais plus courts que pour l'azote total.

Du fait de la variabilité des sites de réduction des nitrates, l'échantillonnage de l'espèce, l'échantillonnage de l'organe, à analyser des sites pour chaque espèce est primordiale pour interpréter la composition de la sève. Par exemple, pour la pomme de terre, l'essentiel de la réduction a lieu au niveau des feuilles. Ceci signifie que les NO₃ de la sève représentent bien la quantité d'azote récemment absorbé. Par contre, le blé pour lequel la réduction est partagée entre les feuilles et les racines, la teneur de la sève en NO₃ ne renseigne pas sur la part absorbée et réduite au niveau des racines.

Estimer la teneur

Il existe plusieurs techniques pour estimer la teneur en nitrates de la sève : Bandelettes et réflectométrie, électrodes à membrane sélective. Par contre, le blé pour lequel la rapidité du test grâce à la lecture directe de la concentration nitrrique de la sève. Une autre méthode rapide pour vérifier la teneur en nitrates de la sève ou du sol fait appel à une électrode recouverte d'une membrane perméable à un ion particulier, dans le cas présent, à

l'ion nitrate. Plusieurs modèles sont actuellement commercialisés. Les cardy-mètres Horiba sont les plus répandus du fait qu'ils sont faciles à manier et le prix du kit est relativement réduit. Les résultats obtenus à l'aide d'électrodes à membrane sélective est étroitement corrélés à ceux obtenus en laboratoire. Plusieurs travaux ont comparé le N-NO₃ de la sève des pétioles déterminée par une électrode portable avec l'analyse des tissus (matière sèche) pour plusieurs cultures. Il est important de déterminer les régressions établies entre les nitrates de la sève et l'azote des tissus pour chacune des cultures. Une étude sur l'évaluation de la précision des tests de détermination des nitrates des pétioles sur le chou-fleur et le brocoli, a comparé cette méthode aux analyses classiques de la matière sèche des tissus. La relation entre les nitrates de la sève et les nitrates de la matière sèche du pétiole n'est pas affectée par l'alimentation hydrique (régime d'irrigation). Les problèmes potentiels du cardy-mètre proviendraient d'une mauvaise calibration, des conditions environnementales et de la conservation de l'appareil. Les cardy-mètres sont très sensibles à la température et à la luminosité. La longévité de ces appareils dépend donc de l'entretien et de l'environnement. L'extraction consiste en un prélèvement d'une trentaine de pieds par parcelle élémentaire (choisis aléatoirement) et ce, dans la matinée, tout en essayant de sélectionner des pieds sains pour éviter les

effets de contamination. Les échantillons sont conservés au frais sans être congelés avant l'extraction qui doit se faire le plus rapidement possible (au plus tard le lendemain). Par la suite, les parties basales des tiges sont découpées (dépourvues de chlorophylle), de préférence des brins-maîtres. L'extraction de la sève se fait à l'aide d'un mortier et est suivie d'une filtration. Les extraits obtenus sont conservés au frais.

La détermination des nitrates de la sève a été faite par la méthode de colorimétrie, qui est une méthode de référence qui permet d'évaluer la fiabilité des appareils. Le cardy-mètre a donné de très bonnes corrélations entre la teneur de la base de la tige du blé en nitrate à la moisson et le rendement en blé dans différents domaines agricoles.

Outils d'aide à la décision

L'analyse des nitrates de la base de la tige du blé, combiné au chlorophylle-mètre, est un indicateur pertinent pour le suivi de l'état nutritionnel de la plante, notamment durant la phase décisive allant du stade B jusqu'à la mi-maturation. Cela sera utile pour tout ajustement d'apport azoté et également pour juger la possibilité d'un 3^{ème} apport lorsque les conditions du milieu sont favorables. Les travaux sont en cours pour évaluer les différences entre différents génotypes et l'effet du climat sur ces analyses.

Les outils présentés permettent de suivre l'état nutritionnel des cultures sur le terrain et sans destruction majeure des plantes. Ils permettent d'agir rapidement pour éviter toute conséquence négative d'une carence en azote. Mais, il est important de souligner que ces outils ne doivent être utilisés que par des personnes initiées et capables d'interpréter correctement les résultats.

Nous tenons à remercier les Domaines Agricoles pour leur contribution dans ce programme de recherche-développement