



NATAE
North African Transition
to AgroEcology

Techniques de suivi des besoins minéraux des cultures en Méditerranée

Zones agroécologiques

Périurbain

Plaine céréalière

Montagne

Irrigué

Oasis

Introduction

Dans les systèmes agroécologiques, analyser les besoins spécifiques des cultures en minéraux permet d'optimiser l'utilisation des éléments nutritifs en réduisant ou supprimant le recours aux intrants chimiques tout en préservant la fertilité des sols à long terme. En Méditerranée, région semi-aride aux sols souvent fragiles, ce suivi est particulièrement important. Plusieurs techniques sont disponibles. En agroécologie, il est recommandé de combiner plusieurs approches. Certaines techniques récentes sont encore limitées par l'absence de référentiels adaptés à la Méditerranée, mais pourraient devenir efficaces dans les années à venir.



Photo : laboratoire mobile d'analyse des sols « Sol Mobile » (projet PROSOL, Tunisie)



Photo : sonde de contrôle de l'irrigation couplée à une station météo à Kébili (Tunisie)

Les Techniques classiques

a. Les analyses de sol en laboratoire

Des analyses régulières du sol permettent d'évaluer les stocks d'éléments minéraux présents dans le sol et ceux qui sont biodisponibles pour les plantes.

Les échantillons de sol doivent être collectés à différentes profondeurs en fonction de la culture (0-20 cm et parfois 20-40 cm pour les plantes annuelles, et 3 profondeurs 0-20, 20-40 et 40-60 cm pour la plupart des arbres fruitiers). L'échantillon doit être représentatif de la parcelle et il est préférable de faire 3 prélèvements pour constituer un échantillon.

Les échantillons sont ensuite analysés au laboratoire pour déterminer les niveaux de nutriments disponibles : nutriments primaires (azote, phosphore et potassium), nutriments secondaires et oligoéléments (calcium, magnésium, soufre, zinc, fer, cuivre, manganèse, etc.).

Des analyses régulières (tous les deux ou trois ans) permettent d'identifier les tendances. Pour cela, les prélèvements doivent être réalisés au même endroit, à la même profondeur et à la même époque de l'année. Au-delà des éléments minéraux, ces analyses sont aussi l'occasion d'évaluer le taux de matière organique, la conductivité électrique, le pH, la capacité d'échange cationique, le taux de calcaire actif et la texture du sol, informations qui permettent d'ajuster les pratiques de fertilisation et de culture.

b. Les observations visuelles des plantes

L'observation des plantes permet d'identifier des symptômes visuels de carence ou toxicité nutritionnelles, tels que le jaunissement ou la rougeur des feuilles, la déformation, les tiges cassantes... Une déficience en azote se manifeste par un jaunissement des feuilles (chlorose). Une carence en phosphore peut entraîner un retard de croissance et des feuilles d'aspect violet... Les symptômes visuels varient en fonction de la culture et il est préférable de combiner ces observations avec des analyses pour un diagnostic fiable. Des problèmes d'absorption, de condition du sol (température, humidité...), d'attaques phytosanitaires peuvent faire apparaître des symptômes identiques à ceux de carences ou excès de minéraux ce qui peut entraîner des erreurs de diagnostic. Combinée à des analyses de sol, l'apparition de symptômes visuels indique que l'élément manquant est devenu limitant, entraînant une baisse du rendement potentiel de la parcelle.

c. Le suivi de la productivité et de la qualité des produits

Des baisses de rendements inexplicables par le climat, des fruits petits ou à faible teneur en sucres peuvent être liés à une insuffisance d'éléments nutritionnels.

d. Le diagnostic rapide

Des **kits de test rapide** sont utilisés pour évaluer le niveau de certains nutriments dans le sol ou les plantes. Le diagnostic rapide est souvent basé sur des tests colorimétriques qui peuvent être effectués directement sur le terrain. Ces tests sont faciles d'utilisation mais sont utilisés généralement à titre indicatif et ne concernent pas tous les éléments minéraux.

e. Les analyses des plantes

Des échantillons de feuilles peuvent être prélevés pour évaluer de manière rigoureuse les concentrations en éléments minéraux de la culture. Pour chaque espèce, il existe des périodes précises de prélèvement à respecter pour comparer les valeurs à des seuils de carence et de toxicité

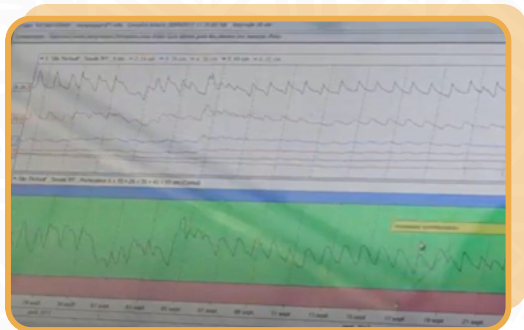
pour chaque élément minéral. Ces périodes sont définies par espèce (de mi-juin à mi-juillet soit 105 jours après floraison pour la plupart des espèces fruitières sauf les agrumes et le palmier dattier pour lesquels le prélèvement sont fait en octobre ; lors de la 1^e floraison pour la majorité des espèces maraîchères, etc.). Les feuilles prélevées doivent être entières, bien développées, et prises sur des plants représentatifs de la parcelle. Les résultats obtenus sont comparés à des normes spécifiques par élément et par espèce.

Les techniques récentes

Plusieurs outils et technologies ont été développés plus récemment. Ces outils sont souvent couplés à des analyses du niveau de développement du couvert végétal, de l'état hydrique de la plante ou encore des niveaux de saturation du sol en eau. L'intégration de ces données, parfois à travers des plateformes comprenant une interface mobile, permet de raisonner et optimiser la fertilisation et la conduite des cultures.

a. Capteurs de sol

Des capteurs mesurant l'**humidité**, la **température** et les **niveaux de nutriments** dans le sol peuvent fournir des données en temps réel et permettre une gestion précise des apports en minéraux. Ces capteurs peuvent être liés à des applications mobiles ou interfaces web pour la transmission automatique des données. Les **sondes capacitatives** permettent de suivre en temps réel l'humidité du sol et sa conductivité totale. Des capteurs spécifiques aux éléments minéraux majeurs apparaissent sur le marché, notamment pour suivre la teneur en azote.



Source : INAT, Tunisie



Source : INAT, Tunisie

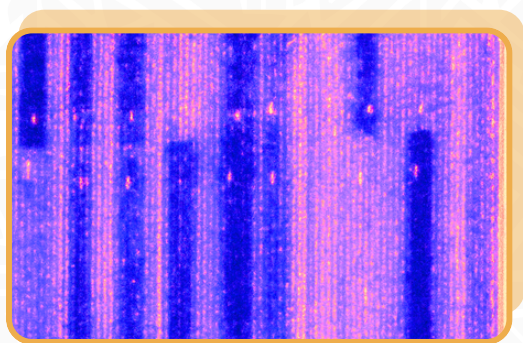
b. Spectrométrie proximale

Cette méthode s'appuie sur l'utilisation de spectromètres portables tels que le *Greenseeker* qui estime la vitalité et donc l'état nutritionnel d'un couvert végétal, permettant d'ajuster les apports notamment en azote. Cette technique est non destructive, rapide et moins chère que des analyses de laboratoire, mais est parfois approximative, notamment en début de culture. Par ailleurs elle n'est calibrée que pour les cultures les plus courantes.

c. Télédétection et imagerie satellitaire

L'utilisation de satellites ou de drones équipés de capteurs thermiques, hyperspectraux ou multispectraux combinée à des algorithmes issus des données spatiales et temporelles permettent de

cartographier l'état minéral des cultures et d'identifier les zones nécessitant des apports minéraux supplémentaires. Ces techniques et leur calibrage se développent.



Cette image a été créée à l'aide de l'intelligence artificielle (DALL-E 3).



Cette image a été créée à l'aide de l'intelligence artificielle (DALL-E 3).

Utilisation des résultats d'analyse

Dans les systèmes agroécologiques, l'objectif n'est pas d'apporter ponctuellement des éléments minéraux, mais de construire progressivement une fertilité durable grâce à la gestion intégrée des nutriments, à l'amélioration de la structure et de la santé biologique du sol et du stock de carbone dans le sol. Les analyses décrites ci-dessus permettent d'évaluer l'état nutritionnel des plantes et de moduler et d'ajuster les programmes de fertilisation, de rotation et de travail du sol. Ainsi un déficit en azote peut justifier l'introduction de légumineuses en rotation; compost et engrais vert enrichissent le sol en azote tout en améliorant sa structure, sa capacité de rétention d'eau et son activité microbienne; le fumier apporte de l'azote, du potassium et enrichit le sol en matière organique, etc.

Défis et limites

- Les analyses du sol et des plantes nécessitent des laboratoires bien équipés et fiables.
- Les normes spécifiques par espèce et par zone de production sont rarement établies en Afrique du Nord, à l'exception des agrumes et du palmier dattier.
- Les techniques d'imagerie et de spectrométrie nécessitent une base de données importante par culture et parfois par variété pour une bonne interprétation des résultats ce qui fait encore défaut.



Financé par l'Union européenne dans le cadre de la convention de subvention n° 101084647. Les points de vue et opinions exprimés n'engagent toutefois que leur(s) auteur(s) et ne reflètent pas nécessairement ceux de l'Union européenne ou de l'Agence exécutive européenne pour la recherche (REA). Ni l'Union européenne ni l'autorité de subvention ne peuvent en être tenues responsables. Pour le partenaire associé du projet NATAE, ce travail a reçu un financement du Secrétariat d'État suisse à la formation, à la recherche et à l'innovation (SEFRI)

Project funded by



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Swiss Confederation

Federal Department of Economic Affairs,
Education and Research EAER
State Secretariat for Education,
Research and Innovation SERI