

# Caractérisation des sols in-situ par spectroscopie en proche infrarouge pour moduler la fertilisation à l'intérieur des parcelles

**Auteurs:** Konrad Metzger, Thomas Guillaume, Frank Liebisch, Luca Bragazza

**Version:** 1 / Mars 2025

À l'aide de spectromètres proche infrarouge portables, il est désormais possible, sur la base de modèles de prévision établis, de déterminer rapidement et à moindre coût les paramètres du sol essentiels à sa fertilité. Cette approche permet de réduire le nombre d'analyses de laboratoire coûteuses et d'évaluer en temps réel, avec une meilleure résolution spatiale, les propriétés du sol spécifiques à un site, afin de déterminer les besoins en engrais (p. ex., norme corrigée ou  $N_{min}$ ). Étant donné que les appareils et les modèles de prévision sont encore en phase de développement, on peut s'attendre à ce que des instruments de mesure économiques, rapides et précis, adaptés à cette application apparaissent sur le marché.

Tableau 1: Éléments clés de la mesure

<b>Domaine d'application</b>	En particulier les grandes cultures et les cultures maraîchères, mais aussi toutes les autres cultures agricoles
<b>Niveau de mise en œuvre</b>	Conseil, agriculteurs/agricultrices, organisations des filières et de la distribution
<b>Échelle d'action</b>	Échelle de la parcelle dans les exploitations, minéralisation de l'azote pour une année donnée dans une région
<b>Rentabilité</b>	<b>Variable/incertain, pas de déclaration générale possible</b> Ces instruments de mesure permettent d'optimiser la fertilisation et les rendements, ce qui améliore la rentabilité. De plus, les analyses de sol in situ sont beaucoup plus économiques que celles réalisées en laboratoire.
<b>Effet visé</b>	Azote (N), phosphore (P) et carbone (C), également potassium (K) et magnésium (Mg)
<b>Sous-catégorie visée</b>	Nitrate, ammonium, phosphate, mais aussi humus, pH et autres éléments nutritifs
<b>Temps de mise en œuvre</b>	A court terme (fertilisation optimisée), à moyen et à long terme (> 5 ans, fertilité du sol)
<b>Effet/Potentiel de réduction</b>	Meilleure connaissance des propriétés du sol grâce à des analyses de sol moins coûteuses et plus rapides. Fertilisation plus efficace, modulée à l'intérieur des parcelles et amélioration du sol

## Principe d'action

L'évaluation des besoins en engrais adaptée à chaque parcelle et à chaque site améliore l'efficacité des éléments nutritifs utilisés. Les méthodes d'évaluation des besoins en engrais modulés à l'intérieur des parcelles, telles que la [norme corrigée](#) ou la méthode [N<sub>min</sub> pour le N](#), ou les analyses de sol requises par les PER pour le P, le K, le Mg et le Ca, nécessitent des informations sur la nature du sol (teneur en humus et en argile ou pH). Aujourd'hui, les coûts et le temps nécessaires à ces analyses limitent souvent leur utilisation. En outre, les analyses de sol qui prennent en compte l'hétérogénéité d'une parcelle, p. ex. pour la modulation intraparcelle de la fertilisation, multiplieraient encore les coûts.

La caractérisation des sols in situ à l'aide d'appareils portables, comme la spectroscopie en proche infrarouge (NIR), constitue donc une approche prometteuse pour réduire considérablement les dépenses et le temps nécessaires à l'estimation des paramètres pédologiques. Elle pourrait favoriser la mise en œuvre de recommandations de fertilisation modulées en fonction du site pour une large gamme d'éléments nutritifs et de paramètres d'amélioration des sols (Lorenz et al., 2023; Piccini et al., 2023).



### Avantages/Synergies

La spectroscopie NIR permet de mesurer les propriétés du sol avec une grande résolution temporelle et spatiale. La mesure est rapide et le coût reste stable quel que soit le nombre de mesures effectuées. Une fois qu'un modèle d'étalonnage a été développé et intégré dans l'application, les résultats des mesures peuvent être fournis immédiatement. En outre, plusieurs propriétés du sol peuvent être déterminées à partir du même spectre.

### Inconvénients, limitations et conflits d'intérêts:

Les modèles doivent être créés et validés pour les conditions locales, ce qui nécessite des spectres et des analyses de laboratoire correspondantes. La modélisation quant à elle nécessite des connaissances en chimiométrie et en mathématiques.

Chaque modèle comporte une marge d'erreur. Celle-ci doit être quantifiée et le rapport coût-bénéfice doit pencher en faveur de la spectroscopie. Pour cela, le nombre de répétitions de mesures doit également être défini (l'erreur doit être inférieure ou égale à celle de l'échantillon de sol de référence avec analyse).

Les instruments sont parfois chers à l'achat. Là encore, il convient d'évaluer le rapport coût-bénéfice par rapport à l'échantillon de sol suivi d'une analyse en laboratoire.

La spectroscopie NIR ne permet pas de déterminer directement la teneur en N<sub>min</sub> ou en macroéléments disponibles (P, K, Mg), mais uniquement des covariables (humus, texture, pH, azote total ou teneurs totales en P, K, Mg).

### Interactions

Afin d'améliorer durablement la gestion des éléments nutritifs dans une exploitation et d'optimiser ainsi son bilan, cette méthode de mesure devrait être utilisée en complément d'outils de planification de la fertilisation prenant en compte les propriétés du sol, comme la méthode de la norme corrigée ou des outils numériques (cf. Fiche technique Agroscope N° 219).

### Mise en œuvre: charges/déroulement/application/faisabilité:

L'enregistrement des spectres est simple et peut être effectué après une courte formation. Si des modèles de prévision et des logiciels d'analyse de données faciles à utiliser sont disponibles, l'analyse peut également être effectuée sans connaissances spécifiques.

La création de modèles d'étalonnage, p. ex. avec le recours à des consultants ou à des entreprises spécialisées, nécessite des connaissances en modélisation et une compréhension de base des modèles chimiométriques. A cet effet, les échantillons doivent être analysés parallèlement en laboratoire. Pour obtenir des modèles fiables, il faut plus de 100 échantillons, ce qui peut encore être influencé par l'hétérogénéité régionale des sols.

Cette technique est encore en phase d'étude et de développement (Lonzano Fondón et al., 2024; Najdenko et al., 2024). Elle n'est que partiellement prête pour une application commerciale dans l'agriculture. Cependant, certains capteurs et produits sont déjà largement utilisés. Par exemple, la spectroscopie NIR est utilisée dans les capteurs Veris ([CoreScan™](#)) pour mesurer l'argile et le carbone. En Europe, ce sont surtout les agro-entrepreneurs et les entreprises spécialisées dans les mesures qui utilisent aujourd'hui ces nouvelles techniques pour l'analyse et la cartographie des sols (p. ex. [Vantage Agrometius](#) ou [AgroCares](#)).

### Conditions d'application:

La mesure spectrale nécessite l'utilisation d'un spectromètre et d'un modèle d'étalonnage. Ces modèles doivent être capables de reproduire les conditions locales. Les modèles globaux ou les modèles provenant d'autres régions peuvent être moins précis s'ils n'ont pas été vérifiés et éventuellement adaptés à la région concernée. Il est essentiel de valider périodiquement les prévisions du modèle. Pour ce faire, on a souvent recours à des analyses de laboratoire portant sur environ 10 % des points de mesure.

## Évaluations

### Rentabilité

Actuellement, aucune évaluation quantitative de la rentabilité de cette mesure n'est disponible pour le contexte suisse. C'est pourquoi les auteurs de cette fiche ont mené une évaluation qualitative.

Les spectrophotomètres NIR à haute résolution sont très chers et il est peu probable qu'ils soient rentables pour une utilisation courante par les agricultrices et les agriculteurs. En revanche, une nouvelle génération de mini-spectromètres est relativement bon marché. Bien que leur résolution soit inférieure et leur plage de mesure plus limitée, ces instruments fournissent des résultats fiables (Metzger et al., 2023; Metzger et al., 2024; Mitu et al., 2024), ce qui pourrait améliorer la rentabilité.

Même si les coûts de mesure sont très faibles, l'analyse des données doit être effectuée par des spécialistes (notamment pour la création et la maintenance du modèle d'étalonnage).

Comme ce service est encore peu commercialisé, il est difficile d'estimer la réduction des coûts par rapport aux analyses de laboratoire classiques. Cependant, des études récentes et des essais dans la pratique montrent clairement les avantages en termes de coûts. La situation devrait donc encore s'améliorer à l'avenir (Li et al., 2021; Lonzano Fondón et al., 2024).

La spectroscopie du sol peut rendre les analyses de sol plus rapides et moins chères pour certaines données de base du sol (comme la texture, l'humus, le pH, l'azote total) et plus fiables par rapport aux tests tactiles (Hirte et al., 2022). Sur la base de ces données, des cartes pédologiques plus détaillées peuvent alors être établies à moindre coût, ce qui permet d'estimer plus précisément les besoins en engrais.

### Potentiel de réduction

Si cette méthode facilite la modélisation intraparcellaire de la fertilisation et, le cas échéant, la rend plus fiable, elle présente un potentiel de réduction relativement important (voir les fiches techniques sur la méthode  $N_{\min}$  et la norme corrigée). La réduction de la fertilisation pour des teneurs en humus et en argile connues peut atteindre 40 kg N/ha/an dans une parcelle à teneur en humus moyenne à élevée.

### Critères de qualité/de réussite

Pour les agricultrices et les agriculteurs, cette méthode simplifie l'application de la modélisation intraparcellaire de la fertilisation. Elle permet de mesurer les teneurs en paramètres clés du sol et de gérer ainsi la fertilisation avec davantage d'efficacité et d'améliorer la fertilité du sol de manière ciblée.

### Perspectives des parties prenantes

L'utilisation de spectromètres portables pour l'analyse in situ des sols peut constituer un complément utile pour les agricultrices et agriculteurs ainsi que les conseillères et conseillers intéressés, en particulier si des mesures périodiques doivent être effectuées et si des modèles validés existent pour la zone d'étude ou ont été créés par les utilisatrices et les utilisateurs eux-mêmes.

Pour les entreprises de travaux agricoles et celles spécialisées dans l'échantillonnage des sols, cette méthode de mesure constitue un complément très précieux aux techniques de mesure traditionnelles.

## Conclusions

La spectroscopie du sol est une technologie qui promet des analyses de sol plus rapides, avec une résolution plus élevée et, dans certains cas, une fiabilité accrue. Le nombre croissant d'études scientifiques témoigne de l'intérêt grandissant pour une application plus large de cette technique à l'avenir (Barra et al., 2021; Mitu et al., 2024; Najdenko et al., 2024; Piccini et al., 2023). Des instruments plus abordables et des modèles d'étalonnage accessibles permettraient de réaliser des prélèvements plus rapidement et avec une plus grande résolution dans les parcelles. Cette méthode favorisera donc également l'utilisation de la modulation interparcellaire de la fertilisation et la rendra plus accessible à un plus grand nombre d'utilisatrices et d'utilisateurs. En outre, la spectroscopie permet de mesurer un grand nombre d'autres paramètres du sol, qui sont également utiles pour les décisions relatives à sa fertilisation et à sa gestion (Metzger & Bragazza, 2024).

## Informations complémentaires

### Contenues dans ...

Projet [Proximal Sensing](#) du programme de recherche d'Agroscope «Indicate» ([indicate.agroscope.ch](http://indicate.agroscope.ch))

Projet [ProbeField](#) du European Joint Programme EJP Soil ([ejpsoil.eu](http://ejpsoil.eu))

### Bibliographie

- Barra I., Haefele S.M., Sakrabani R., Kebede F. (2021). Soil spectroscopy with the use of chemometrics, machine learning and pre-processing techniques in soil diagnosis: Recent advances – A review. *TrAC Trends in Analytical Chemistry* 135, 116166. <https://doi.org/10.1016/j.trac.2020.116166>
- Gilgen A., Meyer Y., Anken T., Keck M., Liebisch F. (2024). Utilisation de logiciels agricoles pour la gestion d'éléments nutritifs. Agroscope, Zurich. Fiche technique Agroscope N° 219, 4 p. <https://ira.agroscope.ch/fr-CH/Page/Publikation/Index/57124>
- Guillaume T., Carlen C., Gilgen A., Liebisch F. (2023). Détermination des besoins des cultures en fertilisants selon les normes corrigées. Agroscope, Zürich. Fiche technique Agroscope N° 201, 4 p. <https://ira.agroscope.ch/fr-CH/Page/Publikation/Index/54957>
- Hirte J., Liebisch F., Heller O., Weisskopf P., Weyermann I., Baumann P., Keller A., Bürge D. (2022). Die Schweizer Bestimmungsmethoden für pflanzenverfügbare Gehalte an Phosphor, Kalium, Magnesium und Calcium im Boden. Möglichkeiten, Grenzen und Entwicklungspotential. Agroscope, Zurich. <https://ira.agroscope.ch/de-CH/publication/49221>
- Li S., Viscarra Rossel R.A., Webster R. (2021). The cost-effectiveness of reflectance spectroscopy for estimating soil organic carbon. *European Journal of Soil Science* 73 (1). <https://doi.org/10.1111/ejss.13202>
- Lorenz F., Liebisch F., Lohr D., Olf H.-W. (2023). Vor-Ort Methoden zur Bodenuntersuchung. VDLUFA-Verlag, Darmstadt.
- Metzger K., Bragazza L. (2024). Prediction of nitrogen, active carbon, and organic carbon-to-clay ratio in agricultural soils by in-situ spectroscopy. *European Journal of Soil Science* 75 (3). <https://doi.org/10.1111/ejss.13508>
- Metzger K., Liebisch F., Herrera J.M., Guillaume T., Bragazza L. (2024). Prediction Accuracy of Soil Chemical Parameters by Field- and Laboratory-Obtained vis-NIR Spectra after External Parameter Orthogonalization. *Sensors* 24 (11). <https://doi.org/10.3390/s24113556>
- Metzger K., Liebisch F., Herrera J.M., Guillaume T., Walder F., Bragazza L. (2023). The use of visible and near-infrared spectroscopy for in situ characterization of agricultural soil fertility: a proposition of best practice by comparing scanning positions and spectrometers. *Soil Use and Management* 40 (1). <https://doi.org/10.1111/sum.12952>
- Mitu S.M., Smith C., Sanderman J., Ferguson R.R., Shepherd K., Ge Y. (2024). Evaluating consistency across multiple NeoSpectra (compact Fourier transform near-infrared) spectrometers for estimating common soil properties. *Soil Science Society of America Journal* 88, 1324–1339. <https://doi.org/10.1002/saj2.20678>
- Najdenko E., Lorenz F., Dittert K., Olf H.-W. (2024). Rapid in-field soil analysis of plant-available nutrients and pH for precision agriculture – a review. *Precision Agriculture* 25, 3189–3218. <https://doi.org/10.1007/s11119-024-10181-6>
- Neuweiler R., Huguen-Elie O., Schöneberg T., Guillaume T., Liebisch F. (2023). Méthode N<sub>min</sub> de détermination des besoins en fertilisants azotés. Agroscope, Zürich. Fiche technique Agroscope N° 194, 4 S. <https://ira.agroscope.ch/fr-CH/Page/Publikation/Index/54721>
- Piccini C., Metzger K., Debaene G., Stenberg B., Götzinger S., Borůvka L., Sandén T., Bragazza L., Liebisch F. (2024). In-field soil spectroscopy in Vis–NIR range for fast and reliable soil analysis: A review. *European Journal of Soil Science* 75 (2). <https://doi.org/10.1111/ejss.13481>
- AgroCares Nutrient Scanner, <https://agrocared.com/scanners/>, accessed 12.11.2024
- Vantage agrometius, <https://www.vantage-agrometius.nl/en/company-information/>, accessed 12.11.2024
- Veris CoreScan <https://www.veristech.com/corescan>, accessed 12.11.2024

### Impressum

Éditeur	Agroscope Route de Duillier 60 1260 Nyon <a href="http://www.agroscope.ch">www.agroscope.ch</a>
Series Editor	Frank Liebisch
Téléchargement	<a href="http://www.agroscope.ch/perteselementsnutritifs">www.agroscope.ch/perteselementsnutritifs</a>
Copyright	© Agroscope 2025

### Exclusion de responsabilité

Agroscope décline toute responsabilité pour d'éventuels dommages en lien avec la mise en œuvre d'informations contenues ici. La jurisprudence suisse actuelle est applicable.