

Modulation intraparcellaire de la fertilisation

Autrices et auteurs: Thomas Anken, Annett Latsch, Michael Simmler, Lilia Levy, Juan Manuel Herrera, Nathalie Wuyts, Francesco Argento, Benedikt Kramer, Florian Bachmann, Frank Liebisch

Version: 1 / Mars 2025

La modulation intraparcellaire de la fertilisation azotée a le potentiel de nourrir les plantes en fonction de leurs besoins et d'éviter les excès ou les carences. L'objectif est d'obtenir des rendements et des qualités optimales, de travailler de manière rentable et de réduire les effets négatifs sur l'environnement, tels que les pertes de nitrates ou de protoxyde d'azote. L'utilisation de modèles mathématiques, de données de satellites et de capteurs permet de réaliser des progrès significatifs. Même si ces systèmes sont encore en cours de développement, ils sont déjà utilisés dans la pratique agricole suisse.

Tableau 1: Éléments clés de la mesure

Domaine d'application	Grandes cultures
Niveau de mise en œuvre	Agricultrices et agriculteurs
Échelle d'action	Champ
Rentabilité	Avec des outils gratuits et une commande manuelle de l'épandeur d'engrais, les coûts sont minimales. Si l'épandeur d'engrais est entièrement équipé d'un «ISOBUS», cette mesure n'est rentable que pour une utilisation sur de grandes surfaces. Les « Contributions au système de production » de l'Office fédérale de l'agriculture (OFAG) permet de rentabiliser la mise en œuvre.
Effet visé	Azote (N), phosphore (P) et autres substances auxiliaires possibles
Sous-catégorie visée	Nitrate (NO ₃ ⁻), ammoniac (NH ₃) et protoxyde d'azote (N ₂ O)
Temps de mise en œuvre	Peut être mis en œuvre rapidement et a un effet à long terme
Effet/Potentiel de réduction	Potentiel de réduction (ensemble de la Suisse): élevé (> 1000 t N) en combinaison avec d'autres mesures telles que la détermination des besoins en engrais selon des normes corrigées

Principe d'action: fertiliser les plantes en fonction de leurs besoins

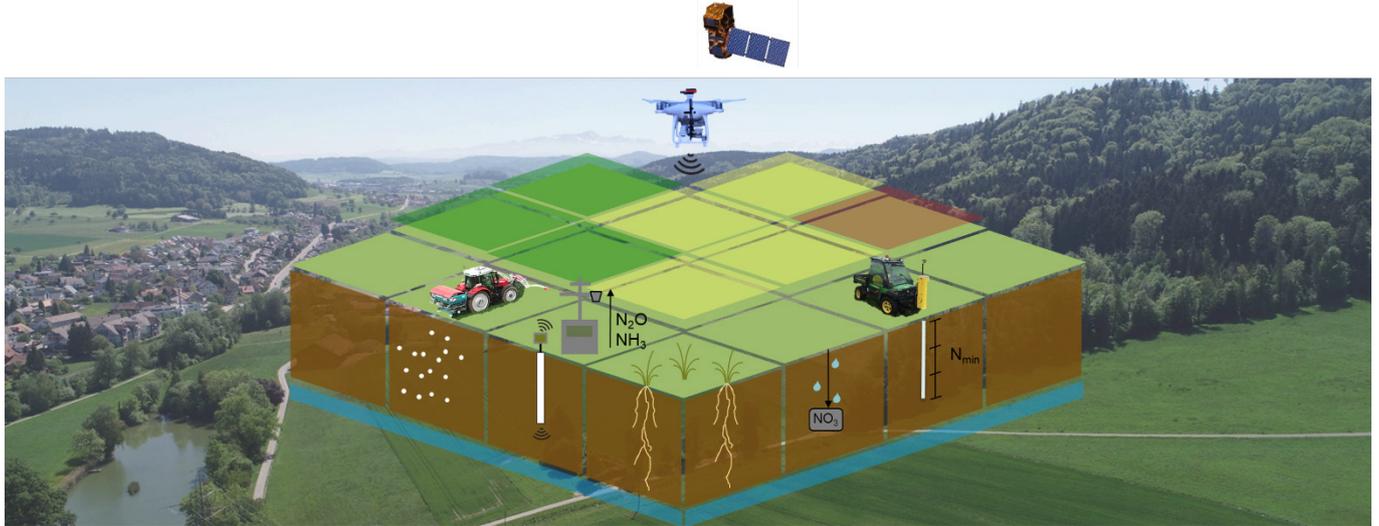
La fertilisation des plantes cultivées en fonction de leurs besoins est une tâche exigeante, car de nombreux facteurs différents doivent être pris en compte: la structure du sol, la minéralisation naturelle de l'azote, les conditions de semis, l'état actuel des peuplements végétaux, les facteurs climatiques et les maladies des plantes sont des facteurs qui influencent le potentiel de rendement et les besoins en azote. L'objectif est de couvrir ces besoins sans apport excessif ou insuffisant. Une carence en azote se traduit par une baisse du rendement et de la qualité, tandis qu'un excès entraîne des pertes, comme un lessivage plus important des nitrates dans les eaux souterraines ou des émissions de protoxyde d'azote dans l'atmosphère. Il faut également garder à l'esprit que la production d'engrais azotés minéraux par le procédé Haber-Bosch est très gourmande en énergie et qu'il convient donc de les utiliser avec parcimonie.

La modulation intraparcellaire de la fertilisation, qui consiste à varier les apports d'engrais dans un champ afin de tenir compte des différentes propriétés du sol et des plantes, s'est fortement développée ces dernières années et représente depuis des décennies l'un des progrès majeurs en matière de fertilisation azotée (Lorenz et Münchhoff, 2018).



Des capteurs pour enregistrer le développement des plantes

Des capteurs installés sur les tracteurs, des drones ou des satellites fournissent des informations sur l'approvisionnement actuel en azote des plantes cultivées. Ils indiquent où les plantes sont moins développées et où elles le sont davantage. En divisant les champs en différentes parcelles, appelées zones de modulation, il est possible d'optimiser l'apport d'engrais dans le champ. La répartition des engrais est représentée sur des cartes de modulation qui sont transférées au tracteur et utilisées lors de la fertilisation. Souvent, lorsque les conditions de croissance sont favorables, les zones peu développées sont un peu plus fertilisées et les zones bien développées un peu moins. En revanche, lorsque les conditions sont mauvaises, par exemple dans les zones humides, l'apport d'engrais doit être réduit, car les plantes ne peuvent pas utiliser l'azote supplémentaire. Pour déterminer la quantité moyenne d'azote à apporter, on utilise encore actuellement des méthodes traditionnelles de calcul des besoins en engrais, telles que les normes de fertilisation corrigées ou le N_{min} (www.prif.ch). Cependant, de nouvelles solutions basées sur des modèles sont en cours d'élaboration.



La modulation intraparcellaire de la fertilisation permet d'obtenir à la fois des rendements optimaux et une réduction du lessivage des nitrates et des émissions de protoxyde d'azote.

L'avantage des systèmes par satellites est le faible coût des cartes de modulation, qui peuvent être soit créées gratuitement soit proposées par des fournisseurs commerciaux (prix à l'hectare). Les systèmes de capteurs embarqués sur tracteur, tels que ceux de Yara ou d'Isaria, coûtent jusqu'à plusieurs dizaines de milliers de francs selon le modèle, ce qui rend leur amortissement difficile pour les petites surfaces agricoles en Suisse. Ils ont cependant pour avantage de mesurer pendant le survol sans être perturbés par les nuages, ce qui n'est pas le cas des satellites. Les drones sont peu coûteux, fournissent des données détaillées et, contrairement aux satellites, ne sont pas perturbés par les nuages élevés. L'inconvénient est la charge de travail supplémentaire nécessaire pour effectuer les vols. Pour la fertilisation azotée cependant, différents systèmes de capteurs, s'ils sont correctement étalonnés et utilisés, fournissent souvent des recommandations d'une qualité similaire (Argento et al., 2025).

Avantages

- Les différences dans le développement des plantes sont prises en compte lors de la fertilisation.
- Une plus grande partie de l'engrais azoté épandu est absorbée par les plantes.
- Les effets négatifs sur l'environnement, tels que le lessivage des nitrates et les émissions de protoxyde d'azote, sont réduits, tout comme les besoins en énergie pour la production d'engrais.
- Les effets négatifs de la surfertilisation, tels que la verse, les pertes de qualité ou l'augmentation des cas de maladies, sont réduits.
- Dans de nombreux cas, il est possible de réduire les coûts liés aux engrais et d'atteindre ainsi une grande efficacité de fertilisation sans pertes de rendement ni de qualité.
- Les exploitations disposent de données précieuses pour optimiser la production dans les grandes cultures et peuvent ainsi comparer les résultats d'une année à l'autre.

Inconvénients

- Temps supplémentaire nécessaire à la mise en œuvre, par exemple pour la création et le transfert de la carte de modulation au tracteur.
- Des obstacles et des problèmes techniques peuvent survenir lors de la mise en place et nécessitent un savoir-faire approprié.
- Selon l'équipement, les coûts peuvent parfois être élevés et doivent être amortis. Pour améliorer le taux d'utilisation, il est souvent judicieux de recourir à une utilisation commune (communauté de machines, entreprise de travaux agricoles).
- Le calcul de la quantité moyenne d'azote à épandre dépend généralement de l'expérience et de l'évaluation des besoins en engrais; il n'existe pas encore de solution automatisée.

Tableau 2. Aperçu des principaux systèmes pour la modulation intraparcellaire de la fertilisation (énumération incomplète); d'autres exemples et une comparaison fonctionnelle basée sur la fertilisation azotée se trouvent dans Argento et al. (2025).

Système	Exemples de produits et de fournisseurs	Fonctionnalité
Images satellites	www.talkingfields.de (Vista.); www.barto.ch (Cropview); onesoil.ai ; www.terrazo.at (gratuit); earthdailyagro.com ; www.spacenus.com , nutriguide.com , terensis.io , cropsat.com , www.solorrow.com , www.koralabs.ch	La plupart des outils permettent de définir des zones de modulation et aident à créer des cartes de modulation. Des services payants fournissent également des recommandations sur les quantités d'engrais à appliquer dans les différentes zones, quantité que l'agriculteur peut encore adapter si nécessaire
Capteurs montés sur tracteur	www.agricon.de (YaraN-Sensor), www.farmof-fice.ch/index.php/produkte/next-greenseeker (NEXT Greenseeker), www.isaria-digitalfarming.com (Isaria Crop Sensor)	Adaptation de la quantité d'engrais pendant l'épandage en fonction des données visuelles des peuplements de plantes
Drones	Des drones tels que www.wingtra.com , ageagle.com , www.dji.com , www.parrot.com , www.xa.com sont équipés de caméras multispectrales	Génération d'images multispectrales et de cartes de modulation à l'aide de solutions logicielles telles que www.pix4d.com , www.applikationskarte.de

Interactions

Les informations disponibles peuvent également être utilisées pour la gestion des peuplements (régulateurs de croissance) et la protection des plantes. Outre l'azote, d'autres éléments nutritifs tels que le phosphore et les amendements du sol, de type calcaïque par exemple, peuvent être appliqués de manière intraparcellaire.

Mise en œuvre: charges/déroulement/application/faisabilité

Des applications gratuites aux offres commerciales, en passant par les solutions de capteurs «High-End», le champ des possibilités est vaste. L'utilisation des applications ne présente en principe pas de grands obstacles. Il est également possible de créer des cartes d'application de manière autonome à l'aide d'un logiciel SIG, mais cette solution nécessite des connaissances en matière de traitement des données spatiales et de logiciels appropriés. Dans le cadre du projet Smart-N ([Technologies intelligentes](#)), sept exploitations agricoles ont procédé à une modulation intraparcellaire de la fertilisation sur certaines parcelles cultivées en blé d'automne, ce qui a permis de recueillir des expériences dans la pratique avec différentes technologies.

Conditions d'application

- Une modulation intraparcellaire de la fertilisation entièrement automatique, dans laquelle l'épandeur d'engrais adapte en permanence ses réglages ([DLG-Merkblatt 410](#)), nécessite un équipement technique approprié et peut entraîner des coûts supplémentaires de plus de cinq mille francs. Les solutions de mise à niveau de l'équipement proposées par différents fabricants ou par des prestataires indépendants tels que www.tellnet-ag.ch peuvent constituer une alternative moins onéreuse. Lors d'un nouvel achat, il est possible de tenir compte des possibilités techniques, ce qui est souvent moins coûteux qu'une mise à niveau de l'équipement.
- Il est possible de régler manuellement la quantité d'engrais pendant l'épandage, par exemple à l'aide d'une tablette et du logiciel gratuit [Terrazo](#). Cependant, cette méthode est beaucoup moins précise et, selon la situation, très compliquée. En revanche, elle peut être mise en œuvre presque sans frais supplémentaires.
- L'exploitation doit disposer du savoir-faire nécessaire à l'utilisation des systèmes.

Évaluations

Rentabilité

L'Office fédéral de l'agriculture (OFAG) verse des « Contributions au système de production » de 100 francs par hectare pour une utilisation efficace de l'azote dans les grandes cultures (OFAG, 2024). Celle-ci permet de compenser les coûts supplémentaires liés à la modulation intraparcellaire de la fertilisation, coûts qui sont souvent difficile à contrebalancer en raison du prix relativement bas des engrais (Argento et al., 2022). L'objectif requis de 90 % au maximum de la quantité d'azote pouvant être épandue selon Suisse-Bilanz peut être atteint dans la plupart des cas sans pertes de rendement grâce à la modulation intraparcellaire de la fertilisation. Une meilleure gestion des peuplements et l'absence de surfertilisation permettent également une fertilisation plus efficace et adaptée aux conditions locales et de réduire les effets négatifs tels que la verse. Les coûts de mise en œuvre varient considérablement en fonction du niveau. Avec une tablette ou un smartphone installé sur le tracteur et un réglage manuel de la quantité d'engrais pendant l'épandage, les coûts sont très faibles. Un épandeur d'engrais entièrement électronique entraîne rapidement des coûts supplémentaires de plusieurs milliers de francs, qui doivent être amortis au fil des ans.

Potentiel de réduction

Dans les essais réalisés dans la pratique pendant six ans par la station d'essais «Technologies intelligentes» sur des parcelles cultivées en blé d'automne avec l'application Vista en combinaison avec N_{min} , les excédents d'azote ont pu être réduits d'au moins 20 % sans pertes de rendement ni de qualité, ce qui montre le grand potentiel de réduction réalisable avec cette mesure (Latsch et Kramer, 2023).

Critères de qualité/de réussite

- Les excédents d'azote sont réduits sans pertes de rendement ni de qualité et l'efficacité en termes d'utilisation des éléments nutritifs est augmentée.
- Les grandes différences de croissance dans les cultures sont gérées de manière adéquate.

Perspectives des parties prenantes

Les essais réalisés dans la station d'essais «Technologies intelligentes» et les expériences de la pratique ont montré que les agriculteurs et agricultrices ont besoin d'outils faciles à utiliser. La technologie doit fonctionner, les informations les plus importantes doivent être disponibles en quelques clics et les cartes de modulation doivent pouvoir être transférées du PC ou du smartphone au tracteur. Une grande fiabilité est attendue, car il n'y a que peu de tolérance dans la pratique vis-à-vis de pertes éventuelles de rendement, les pertes économiques pouvant rapidement être élevées. Dans le contexte international, la technologie est bien établie. Pour la Suisse, il manque cependant des recommandations détaillées sur la manière dont elle peut être mise en œuvre en combinaison avec la mesure des besoins en engrais fournie par les [PRIF](#) en fonction de la situation.

Conclusion

La modulation intraparcellaire de la fertilisation azotée est une mesure très efficace pour réduire les excédents d'azote dans l'agriculture. Elle permet non seulement aux spécialistes, mais aussi aux exploitants agricoles, d'adapter plus précisément les apports d'engrais aux besoins des plantes. C'est une clé précieuse pour optimiser les rendements et réduire les effets négatifs sur l'environnement dans les grandes cultures.

Informations complémentaires

Contenus dans...

themes.agripedia.ch/teilflaechenspezifische-bewirtschaftung

<https://www.agroscope.admin.ch/agroscope/fr/home/themes/economie-technique/smart-farming.html>

www.swissfuturefarm.ch

<https://www.swissgranum.ch/fr/>

www.dlg-verlag.de/shop/teilflachen-bewirtschaften.html

Bibliographie

Argento F., Liebisch F., Anken T., Walter A., & El Benni N. (2022). Investigating two solutions to balance revenues and N surplus in Swiss winter wheat. *Agricultural systems*, 201, 103451. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2022.103451>

Argento F., Merz Q., Perich G., Anken T., Walter A., Liebisch F. (2025) A comparison of proximal and remote optical sensor platforms for N status estimation in winter wheat. *Computers and Electronics in Agriculture* 232 (2025) 110110. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2025.110110>

DLG-Ausschuss für Technik in der Pflanzenproduktion, Scheufler B., Uppenkamp N. (2017). Technik zur Ausbringung fester Mineraldünger. DLG-Merkblatt 410. https://www.dlg.org/fileadmin/downloads/Merkblaetter/dlg-merkblatt_410.pdf (seul. en d)

Latsch A. et Kramer B. (2023). Fumure par modulation intraparcellaire – est-ce viable? *Revue UFA* 2, <https://www.ufarevue.ch/fre/production-vegetale/fumure-par-modulation-intraparcellaire-est-ce-viable>

Lorenz F. et Münchhoff K. (2018). Teilflächenspezifische Bodenprobenahme und Düngung, DLG-Merkblatt 407, https://www.dlg.org/fileadmin/downloads/Merkblaetter/dlg-merkblatt_407.pdf (seul. en d)

OFAG (2024). Contribution au système de production pour une utilisation efficace de l'azote dans les grandes cultures (Fr. 100.-/ha). Office fédéral de l'agriculture (OFAG), Berne. <https://backend.blw.admin.ch/fileservice/sdweb-docs-prod-blwch-files/files/2024/11/08/61595e98-eb3d-460c-b505-bbc4c426cff9.pdf> (05.03.2025)

Petter G., Greiner L., Liebisch F., Schorro A. (2025). Mehrwert von Bodeninformationen für die Landwirtschaft: Teilflächenspezifische Stickstoffdüngung anhand von Bodenkarten. KOB-Merkblatt. BFH-HAFL, CH-3052 Zollikofen-Bern. <https://ccsols.ch/de/downloads/teilflaechenspezifische-stickstoffduengung-anhand-von-bodenkarten-merkblattreihe-mehrwert-von-bodeninformationen-fuer-die-landwirtschaft/>

Impressum

Éditeur	Agroscope Tänikon 1 8356 Ettenhausen www.agroscope.ch
Series Editor	Frank Liebisch
Téléchargement	www.agroscope.ch/perteselementsnutritifs
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.