

La modulation de la fertilisation et des amendements

Fiche n° 4 - Projet DuratechFarm

L'un des nombreux intérêts de l'agriculture de précision est de parvenir à moduler ses apports au sein même de sa parcelle.

Cette modulation intraparcellaire des intrants permet de mieux cibler les besoins des cultures et ainsi d'éviter tout gaspillage. Les bénéfices sont multiples : agronomiques, économiques et environnementaux.

Le projet DuratechFarm vise l'intégration de l'agriculture de précision au sein d'une exploitation conventionnelle et bio afin d'en évaluer la plus-value. Les recherches ont été menées au sein de la Ferme du Plein Air.



Avec le soutien de :

La modulation de la fertilisation et des amendements

Quels sont les intérêts de la modulation de dose ?

Sur le plan agronomique

La culture reçoit des apports précisément ajustés à ses besoins, ce qui permet d'éviter les carences, tout en réduisant les risques de verse ou de maladies.

Sur le plan économique

L'agriculteur optimise ses investissements en offrant les conditions optimales à sa culture, tout en évitant l'apport inutile d'intrants qui aurait conduit à des dépenses inutiles, voir des pertes de rendement.

Sur le plan environnemental

Seuls les intrants réellement nécessaires aux besoins de la culture sont appliqués, limitant ainsi les pertes par lixiviation et les risques de pollution des sols et des nappes phréatiques.

Toutefois, derrière le dicton simpliste « **la bonne dose au bon endroit** », se cachent des prescriptions bien plus complexes, qui nécessitent une compréhension fine de la variabilité des sols, des cultures et des facteurs limitants.

Comment mettre en place une stratégie de modulation ?

- **Étape 1 :** Définir une carte de potentiel de rendement sur la parcelle
- **Étape 2 :** Identifier les facteurs limitants de chaque zone de potentiel de rendement
- **Étape 3 :** Apporter les éléments limitants à la juste dose

La **fiche technique n°2** du projet DuratechFarm - intitulée « Hétérogénéité intraparcellaire des rendements » - explique les **différentes étapes suivies** par les équipes du CRA-W : depuis la collecte des données sur le terrain jusqu'à la création de cartes de biomasse et de rendement, en passant par l'analyse des facteurs qui influencent ces rendements à l'aide d'un modèle informatique.

Comment moduler ses intrants ?

Prérequis : système de géolocalisation avec précision minimum de ± 30 cm (EGNOS).

En supplément pour la modulation automatique : système de régulation de dose automatique (ISOBUS TC-GEO. Cette fonctionnalité permet d'obtenir et de planifier des tâches géoréférencées).

Modulation automatique

Pour obtenir une carte de modulation, il est nécessaire de transformer les cartes d'hétérogénéités en cartes de préconisation.

Pour ce faire, il faut passer par un logiciel de traitement des cartes comme par exemple CropMap, Xarvio, Spotifarm, etc. Il suffit d'importer la cartographie des parcelles dans le logiciel ou de les retracer manuellement si les délimitations ne vous conviennent pas. Sélectionnez ensuite la parcelle sur laquelle vous souhaitez réaliser la modulation et paramétrez la dose d'intrant à apporter. Au terme de cette opération, il ne vous reste plus qu'à télécharger votre carte et à la transférer vers la console de votre tracteur via une clé USB.

Modulation manuelle

Malgré tout, il est possible de déjà réaliser la modulation de dose sans système de modulation automatique. Le CRA-W a entre autres fait l'expérience de cette modulation manuelle. Cette méthode demande de l'investissement en temps pour l'agriculteur afin de mener à bien cette modulation.

Cette méthode dépend de :

- la géométrie des différentes zones ;
- des doses à apporter ;
- de la possibilité du matériel de modifier ses réglages en cours de travail.

La modulation manuelle se réalise soit en un seul passage et la dose est modifiée manuellement en fonction de sa position, soit en plusieurs passages et l'outil est activé en fonction de sa position (on/off).

Quelles expérimentations ont été réalisées par le CRA-W ?

Modulation de chaux

Cette première expérimentation, décrite ci-dessous, a été réalisée dans le cadre d'un autre projet : le projet VISA (*Valorisation en temps réel des Informations génériques et géolocalisées pour le développement de Stratégies Agronomiques de précision*). Ce dernier a également été mené par le CRA-W, sous la responsabilité de Quentin Limbourg entre 2015 et 2020.

Une carte d'hétérogénéité du pH a été fournie par l'outil de scanning de sol, Veris MSP3. Cette méthode d'acquisition de données est présentée dans la fiche technique n°3 du projet DuratechFarm : « La technique du scanning de sol ».

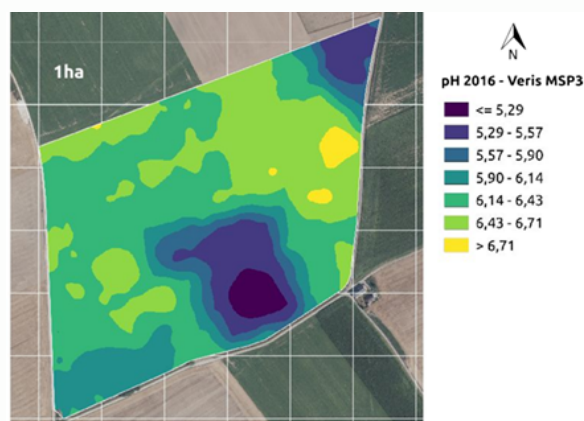


Figure 1 : Carte d'hétérogénéité intraparcellaire du pH réalisée à partir des données du Veris MSP3 (CRA-W, 2024).

Il est nécessaire de transformer cette carte de préconisation d'intrants à appliquer. Le pH est un paramètre qui nécessite une longue période pour être corrigé en cas d'importantes variations comme ce fut le cas sur cette parcelle. Il a été nécessaire de réaliser une seconde correction après deux ans. Au-delà de la modulation de cet apport, une correction de pH est une étape qui se prévoit à l'avance, car il est nécessaire de prévoir les quantités de chaux à apporter et d'avoir le matériel nécessaire.

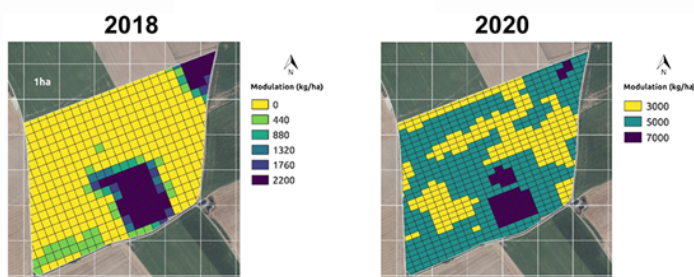


Figure 2 : Cartes de préconisations des deux apports de chaux (CRA-W, 2024).

Au terme de ce second apport, une analyse du pH du sol a été réalisée en 2021. Les résultats ont permis de démontrer la justesse des apports de correction sur le pH.

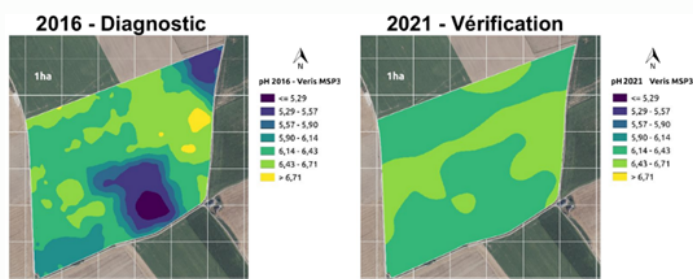


Figure 3 : Evolution du pH avant et après le double apport de chaux grâce aux données du Veris MSP3 (CRA-W, 2024).

Comment moduler sans matériel de modulation automatique ?

La modulation de dose peut également se réaliser de façon manuelle. Les équipes du CRA-W ont réalisé l'expérience avec un apport d'écumes.

Les outils de scanning du sol ont fourni une carte de l'hétérogénéité intraparcellaire du pH.

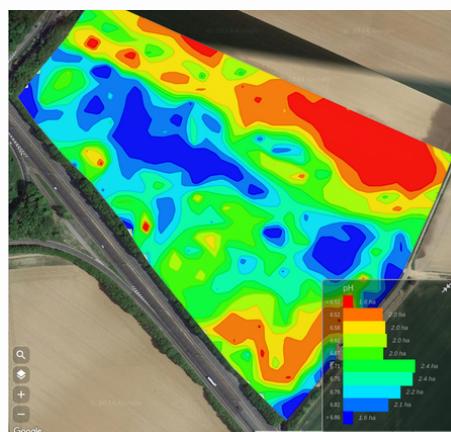


Figure 4 : Carte d'hétérogénéité intraparcellaire du pH réalisée à partir des données du Veris MSP3 (CRA-W, 2024).

Encore une fois cette carte est convertie en carte de préconisation. Malheureusement, le matériel adapté pour moduler cet apport n'est pas disponible et la fenêtre météo pour réaliser cet apport est assez courte. Sur cette carte de préconisation, un paterne/une structure se distingue. La zone qui nécessitait le moins d'apport se trouvait au centre, alors que les zones supérieures et inférieures de la carte nécessitaient un apport d'écumes supérieurs. Ces 3 zones correspondent au parcellaire fantôme de la parcelle.

La modulation de la fertilisation et des amendements

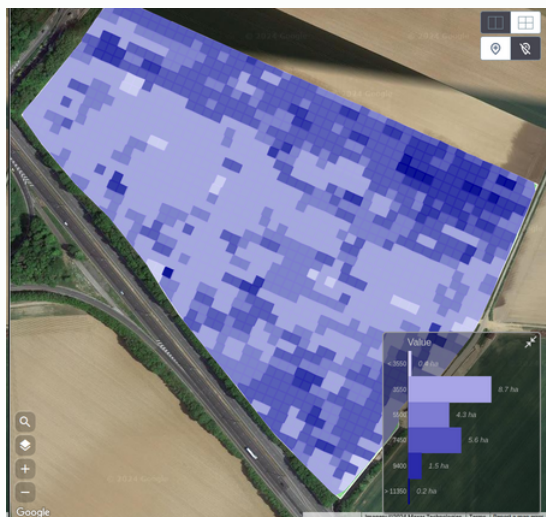


Figure 5 : Carte de préconisation automatique (CRA-W, 2024).

Il est dès lors possible de réaliser une carte de préconisation simplifiée en affectant une dose d'intrant à des grandes zones de la parcelle dont l'hétérogénéité est relativement similaire. La création de ces zones est fonction de la minutie de l'agriculteur, de l'hétérogénéité de la parcelle et de la précision du matériel.

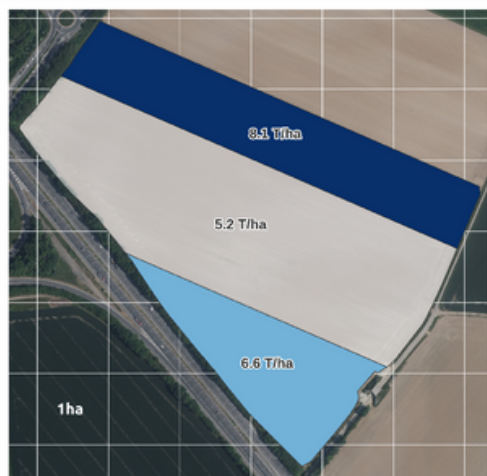


Figure 6 : Carte de préconisation réalisée manuellement par le CRA-W (CRA-W, 2024).

Dans ce cas, les équipes du CRA-W ont proposé une séparation de la parcelle en 3 sous-unités ayant chacune une dose d'intrants lui étant propre. Il a été décidé d'apporter 5,2 t/ha, 6,6 t/ha et 8,1 t/ha d'écumes sur ces sous-parcelles.

Cet exemple démontre que même si on n'a pas le bon matériel, on peut rapidement mettre en place des modulations relativement simples et qui corrigent les plus fortes hétérogénéités de vos parcelles.

Apports de MO

Le ratio MO/argile

Le ratio carbone organique total (COT) / argile est entre-autre utilisé par la MR14 pour classer les parcelles en zone favorable / en transition / défavorable.

Cette mesure agro-environnementale et climatique (MAEC) « sol » a été introduite en 2024 dans le cadre de la Politique agricole commune (PAC) pour maintenir et améliorer le taux de carbone organique dans les sols agricoles (SPW Agriculture, Ressources naturelles et Environnement. 2024.).

Les analyses des différentes parcelles révèlent que la majorité des parcelles possède un ratio défavorable. La Figure 7 montre que l'ensemble des analyses menées sur la parcelle ThMaison se trouve dans la zone défavorable.

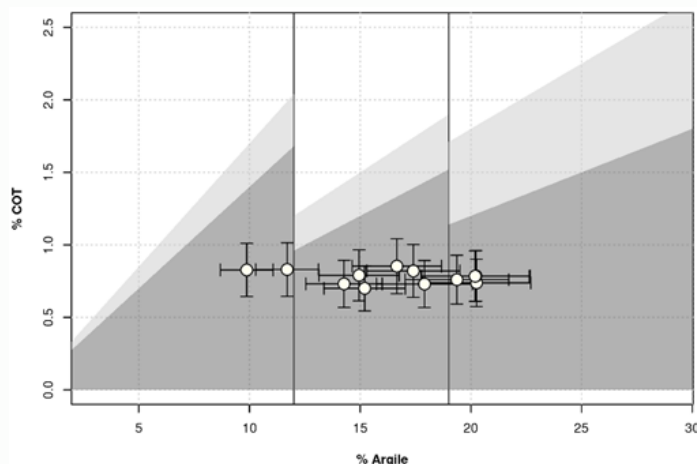


Figure 7 : Graphique du pourcentage d'argile et du pourcentage de COT des analyses pour la parcelle ThMaison (CRA-W, 2025).

Partant de ce constat, les équipes du CRA-W ont choisi de mettre en œuvre un apport différencié de matière organique, avec pour objectif d'augmenter le pourcentage de carbone organique total (COT) dans les zones très défavorables, et ainsi améliorer le ratio COT/argile.

Cette approche repose sur l'hypothèse que l'hétérogénéité intraparcélaire de la matière organique est relativement faible (de l'ordre de 1 à 2 %), contrairement à celle de l'argile, qui varie entre 10 et 26 %.

En conséquence, une dose plus élevée de matière organique a été appliquée dans les zones les plus riches en argile. Ces zones ont pu être identifiées grâce aux analyses de texture du sol réalisées à l'aide de l'outil de scanning Veris, qui a mis en évidence que les secteurs argileux se trouvent généralement sur les « bosses » des parcelles.

La modulation de la fertilisation et des amendements

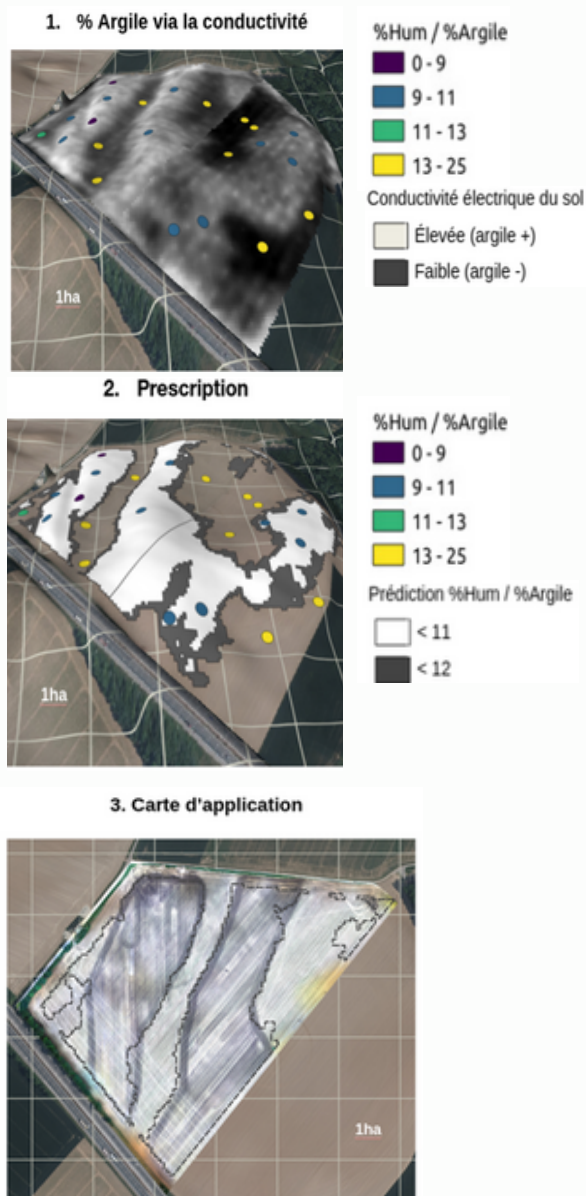


Figure 8 : Carte du pourcentage d'argile déterminé par le Veris MSP3 et la carte de préconisation pour l'apport de MO (CRA-W, 2024).

Pour observer la répartition de la MO réellement appliquée, un vol de drone a été effectué. Ce vol a permis de constater une hétérogénéité visible de la répartition des apports lors de l'épandage de la MO. Cette variation est visible au début et à la fin de l'épandage d'un épandeur ainsi que lors de l'un ou l'autre épandage plus lent ou plus rapide.

Il est important de tenir compte de la **précision du matériel** avant de se lancer dans la modulation de dose. Il faut prioriser un matériel facilement réglable permettant un travail régulier. Il est nécessaire que la précision du matériel soit supérieure à la variation de dose appliquée lors de la modulation. Cette réflexion est abordée plus en détail dans la Fiche technique n°1.

Avec le soutien de :

Comment évaluer la performance théorique de la modulation pour une exploitation wallonne ?

La modulation de dose permet d'apporter les quantités nécessaires d'intrants en évitant les sous-dosage et les surdosages. Les équipes du CRA-W ont voulu comparer les quantités d'intrants nécessaires entre deux modèles agricoles, à savoir l'agriculture de précision et l'agriculture raisonnée.

Sur l'exploitation étudiée, une grande majorité des points analysés (près de 70%) se trouvaient initialement en situation défavorable vis-à-vis du ratio MO/argile. La correction est réalisée par un apport de matière organique sous forme de compost. L'objectif est d'atteindre une situation favorable sur l'ensemble des points analysés.

Deux approches ont été comparées: l'agriculture de précision, qui ajuste les apports à chaque point du champ, et l'agriculture raisonnée, qui applique une dose moyenne par parcelle.

Par définition, l'agriculture de précision permet de corriger la totalité des points alors que l'agriculture raisonnée permet d'en corriger la moitié (puisque basée sur la moyenne). Et cela en utilisant la même quantité de compost. Cela signifie qu'une partie du compost, qui aurait pu être utilisée pour corriger des zones défavorables, a été épandue sur des zones qui se situent déjà en situation favorable.

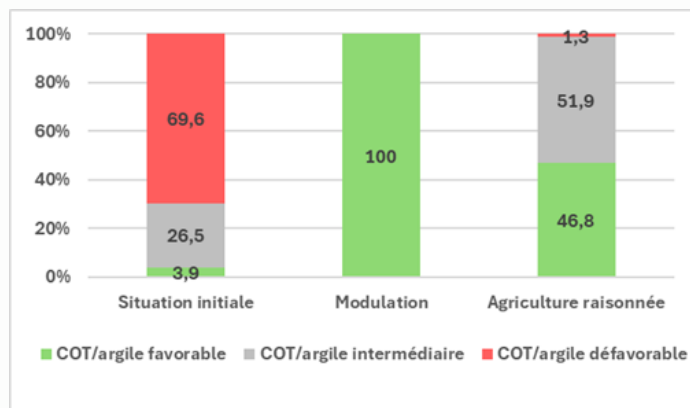


Figure 9 : Graphique de la répartition de la surface arable des parcelles selon leur ratio MO/argile (CRA-W, 2025).

Pour obtenir les mêmes résultats que l'agriculture de précision avec une seule dose par parcelle, il aurait fallu augmenter considérablement les apports, avec un volume supplémentaire de 8.240t soit un surcoût estimé à plus de 32 000 €, en prenant un prix d'achat de 4€/t. Ce coût excède à lui seul celui de la cartographie de précision, rendant cette dernière rentable rien qu'en intrants économisés.

La modulation de la fertilisation et des amendements

Le même constat est possible pour le pH du sol.

Lors de la situation initiale, seuls 52% des points analysés présentaient un pH dans la zone favorable (entre 6,7 et 7,3), tandis que 37% étaient en carence (pH trop bas) et 12% en excès (pH trop élevé).

Contrairement au ratio MO/argile, une valeur trop élevée du pH devient également problématique, car elle peut réduire le potentiel de rendement. L'objectif était donc d'augmenter la part des zones dans la bonne fourchette, tout en évitant les excès.

La modulation de dose appliquée à l'ensemble des parcelles de l'exploitation a permis de corriger l'ensemble des carences en pH alors que l'application d'une dose unique en agriculture raisonnée nécessite presque 50 % d'écumes en plus alors que le nombre de zones en excès à augmenter.

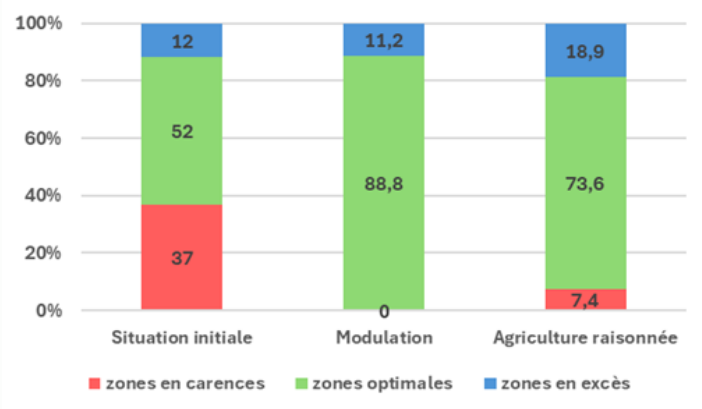


Figure 10 : Graphique de la répartition de la surface arable des parcelles selon leur pH (CRA-W, 2025).

Pour une correction de pH d'une parcelle hétérogène, il est impossible de corriger les zones carencées sans augmenter le nombre de zones en excès. Seule l'agriculture de précision permet de faire cela.



La modulation de la fertilisation et des amendements

Témoignage de Manu JADIN
de La Ferme du Plein Air

Manu JADIN et **Caroline DEVILLIERS** exploitent 175 ha, dont la majorité en bio. L'exploitation possède deux zones d'activités : Thorembais-Saint-Trond dans le Brabant-Wallon et Meux dans le Namurois.

**Qu'est-ce qui vous a motivé à tester la modulation intraparcellaire à l'échelle de votre exploitation ?**

Mes parcelles présentent une microtopographie assez typique de la région et je suis souvent impressionné de constater les différences de développement des cultures entre les bosses et les fonds. Au vu de ces différences, je me disais que la modulation intraparcellaire devait présenter un intérêt. Et pourtant, en pratique, cette pratique est très peu répandue. J'ai donc voulu essayer de comprendre en le testant sur mon exploitation.

Moduliez-vous déjà vos apports avant la mise en place du projet DuratechFarm sur votre exploitation ?

Oui, je le faisais parfois au feeling. La topographie est un facteur impactant fortement la structure du sol et la minéralisation. La MO se concentre dans les fonds suite au phénomène d'érosion, l'azote minéralisé et rendue disponible y est donc plus importante pour les végétaux. On voit donc souvent des cultures plus développées dans les fonds que sur les bosses. Pour contrer ce phénomène, dans certaines cultures, j'apporte parfois plus d'azote sur les bosses. Cette opération très simple est également de la modulation. Cette pratique me permet de positionner au mieux les apports azotés et de limiter les fuites vers les nappes phréatiques à cause du phénomène de lixiviation.

Quels sont les freins que vous avez rencontrés lors des travaux de modulation ?

C'est souvent le temps (ou la patience) qui manque. La priorité restera toujours de réaliser les travaux au bon moment, quand les conditions sont bonnes. Et en pratique, les fenêtres météo sont souvent très courtes, ce qui fait qu'on est toujours pressés durant les travaux. Quand on arrive sur le champ, pas le temps de chipoter, il faut que ça avance !

La ressource temps est donc un point important dont il faut tenir compte. On a beaucoup de temps en hiver ou durant les périodes pluvieuses et il faut par contre être efficace durant la réalisation des travaux.

Il faut donc anticiper chacun de ses travaux longtemps à l'avance. Par exemple pour un apport de chaux, il peut être judicieux de réaliser le scan du pH du sol et de seulement corriger ce paramètre l'année suivante.

L'importation des cartes de modulation sur la console du tracteur est relativement simple, bien que cette opération nécessite un contact de l'agriculteur avec le chauffeur pour transmettre le support physique.

Au cours du projet, il est arrivé plusieurs fois que le matériel équipé pour la modulation ne soit pas disponible à cause de pannes ou de problèmes de compatibilité entre les consoles. Une limite au développement de ces technologies est donc la disponibilité de matériel agricole répondant aux exigences ISOBUS pour permettre la modulation automatique.

Quelles pistes peuvent améliorer l'introduction des outils de modulation ?

Outre l'anticipation, la maîtrise des outils par les agriculteurs et les chauffeurs de tracteur. Les chauffeurs en entreprises agricoles ne sont pas assez formés à utiliser l'ensemble des fonctionnalités des consoles. Généralement seul l'autoguidage est maîtrisé. Proposer un service de modulation de dose n'est pas encore une priorité pour les entreprises.

Quant aux connaissances nécessaires aux agriculteurs pour réaliser les manipulations pour créer eux-mêmes une carte de préconisation, aucune formation n'existe dans ce sens. Les équipes du CRA-W ont dû passer par un logiciel géospatial (QGIS) pour modifier les cartes.

La modulation de la fertilisation et des amendements

Comment appliquer ces résultats
sur mon exploitation ?

Les essais réalisés dans le cadre du projet DuratechFarm ont montré que les solutions de modulation de dose disponibles sur le marché wallon permettent de corriger efficacement les hétérogénéités au sein des parcelles.

Toutefois, la mise en œuvre de la modulation de dose repose sur certains prérequis, notamment :

- un système de géolocalisation avec une précision minimale de ± 30 cm (type EGNOS),
- et, pour la modulation automatique, un système de régulation de dose compatible ISOBUS TC-GEO, permettant de recevoir et planifier des tâches géoréférencées.

Il est possible de moduler ses intrants sans système de modulation automatique. Mais, le CRA-W tient à faire remarquer que cette méthode demande un investissement important en temps et en organisation de la part de l'agriculteur. Par conséquent, cette solution de modulation n'est pas destinée à toutes les exploitations agricoles.

**Source :**

SPW Agriculture, Ressources naturelles et Environnement. 2024. MAEC Sol – MR14.

D'autres fiches techniques

Le projet DuratechFarm met en évidence qu'il faut tenir compte du potentiel de la parcelle : il n'est pas intéressant d'apporter trop d'intrants dans une zone à faible potentiel. Ces informations sur le potentiel de la parcelle ont été présentées au sein des **fiches techniques n°2 et n°3**.

**Contacts :**

CRA-W – Denis Tourneur : d.tourneur@cra.wallonie.be

CRA-W – Quentin Limbourg : q.limbourg@cra.wallonie.be

CRA-W – Jean Artois : j.artois@cra.wallonie.be

Ferme du Plein Air – Manu Jadin : emmanuel.jadin@ardo.com

UCLouvain – Sébastien Lambot : sebastien.lambot@uclouvain.be

WalDigiFarm – Sébastien Weykmans : contact@waldigifarm.be