

RAPPORT D'ACTIVITÉS FINAL

Le rapport intermédiaire déjà soumis est une annexe de ce rapport et en fait partie intégrante

Convention n° : D65-7390 + D65-7452

Acronyme : DURATECHFARM

Titre : Plus-values économique et environnementale de Smart Farming au sein d'une exploitation agricole wallonne

Date de démarrage et de fin du projet :

du 01/04/2022 au 30/06/2023 (D65-7390) +

du 01/07/2023 au 31/03/2026 (D65-7452)

Durée du projet : 48 mois : 15 mois (D65-7390) + 33 mois (D65-7452)

Date de soumission du rapport : 09/04/2026

Prénom, NOM du promoteur du projet

Quentin Limbourg

Fonction, titre

Chef de projet

e-mail

g.limbourg@cra.wallonie.be

Téléphone

081/87.53.01

Nom de l'organisation

CRA-W

Adresse de l'organisation

Chaussée de Namur, 146 – B 5030 Gembloux

Prénom, NOM du partenaire 2	Sébastien Lambot
Fonction, titre	Professeur extraordinaire, Directeur de Recherches
e-mail	sebastien.lambot@uclouvain.be
Téléphone	+32 10.47.37.11
Nom de l'organisation	UCLouvain
Adresse de l'organisation	Croix de Sud 2/L7.05.02, 1348 Louvain-la-Neuve

Prénom, NOM du partenaire 3	Sébastien WEYKMANS
Fonction, titre	Administrateur délégué
e-mail	sebastien.weykmans@waldigifarm.be
Téléphone	+32 478 22.27.56
Nom de l'organisation	WalDigiFarm ASBL
Adresse de l'organisation	Avenue Reine Astrid 16, B-5000 Namur

Résumé du programme et objectifs initialement prévus (300 mots maximum)

Les agriculteurs européens en 2025 adoptent des technologies numériques lorsque celles-ci sont accessibles, robustes et utiles. Ainsi, 69 % d'entre eux utilisent déjà au moins trois outils numériques généralistes pour leur travail, principalement des applications de messagerie, de commerce en ligne et de prévision météorologique ([The state of digitalisation in EU agriculture](#)). Ce chiffre diminue à 29 % pour les agriculteurs qui utilisent au moins trois solutions spécifiquement dédiées aux grandes cultures, telles que les logiciels de gestion de l'exploitation, les carnets de champ numériques, la visualisation des parcelles via imagerie satellite ou encore le guidage de précision.

Or, certaines technologies à fort potentiel agronomique peinent encore à s'imposer. En effet, seulement 11 % des agriculteurs déclarent utiliser des technologies d'application à dose variable des intrants, tandis que 15 % ont recours à des stations météorologiques connectées et une proportion similaire à des capteurs de sol. Pourtant, ces outils permettent une gestion plus fine et plus économe des intrants, favorisant le maintien, voire l'amélioration, des rendements dans un contexte de raréfaction des ressources et d'aléas climatiques croissants.

L'objectif du projet était d'intégrer des solutions d'agriculture de précision au sein d'une exploitation, afin d'en évaluer la plus-value réelle pour la ferme. Une attention particulière a été portée à l'identification des freins techniques, économiques et organisationnels à l'adoption de ces outils, afin d'en faciliter la levée. Les méthodes d'agriculture de précision ont également été évaluées pour leur capacité à réduire l'empreinte environnementale de l'exploitation.

1. Synthèse de la totalité des résultats acquis au cours de la recherche

Texte continu de max.10 pages avec éventuellement tableaux, schémas, graphiques

L'exploitation étudiée

La Ferme du Plein Air (FPA), exploitation étudiée dans le cadre de ce projet, représente 148 ha de terres dont 80 % sont cultivés en agriculture conventionnelle et 20 % en agriculture biologique. Les terres en biologique sont principalement dédiées à la production de légumes industriels (haricots, oignons, carottes, épinards et pommes de terre) au sein de rotations comprenant du maïs grain, du froment d'hiver et de l'épeautre. La FPA était équipée pour l'irrigation en début de projet.

Au démarrage du projet, le gérant de la FPA a défini plusieurs priorités agronomiques pour la mise en place de solutions d'agriculture de précision : l'optimisation de l'irrigation, l'amélioration de la teneur en matière organique des sols, la correction des déséquilibres de pH, la gestion des maladies et l'optimisation de la nutrition azotée des cultures.

Afin de structurer les résultats du projet, les essais ont été organisés autour de trois axes thématiques principaux :

- La variabilité intra-parcellaire de la croissance des cultures et des rendements. Cette partie vise à évaluer comment mesurer cette variabilité et dans quelle mesure elle peut être expliquée par les données collectées au cours du projet.
- L'optimisation de l'irrigation, abordée à la fois dans l'espace (amélioration de la répartition des apports), en particulier via l'évaluation du matériel, la coupure de section et l'irrigation à taux variable, et dans le temps (pilotage du déclenchement des irrigations).
- L'optimisation de la fertilité des sols, à travers la mise en place d'applications à taux variable de certains intrants.

1.1. Mesurer et expliquer l'hétérogénéité intra-parcellaire du rendement

Mesurer : Différents indicateurs du rendement et du développement des cultures ont été évalués afin de tester leur capacité à détecter et à quantifier les variations de rendement au sein des parcelles.

Expliquer : Des données topographiques, pédologiques et climatiques, ainsi que des informations relatives à l'occupation et aux usages anciens des sols ont été étudiés. Ceci dans l'objectif de mieux comprendre les facteurs à l'origine des variations de rendement. Ce travail a été réalisé à l'aide de modèles explicatifs.

Mesurer l'hétérogénéité des rendements

Les données issues des capteurs de rendement et d'humidité des moissonneuses montrent que les capteurs embarqués fournissent des estimations globalement fiables pour l'analyse de la variabilité intra-parcellaire des cultures moissonnées.

La comparaison de ces données issues des capteurs de rendements avec des indicateurs issus d'images satellites, à savoir l'indice d'hétérogénéité du développement foliaire (HDF) fournie par Belcam et la production de matière sèche cumulée des cultures (PMSC) fournie par Iriiwatch, montre que ces derniers permettent de diagnostiquer des variabilités significatives de rendement, mais avec un niveau de fiabilité variable (figure 1).

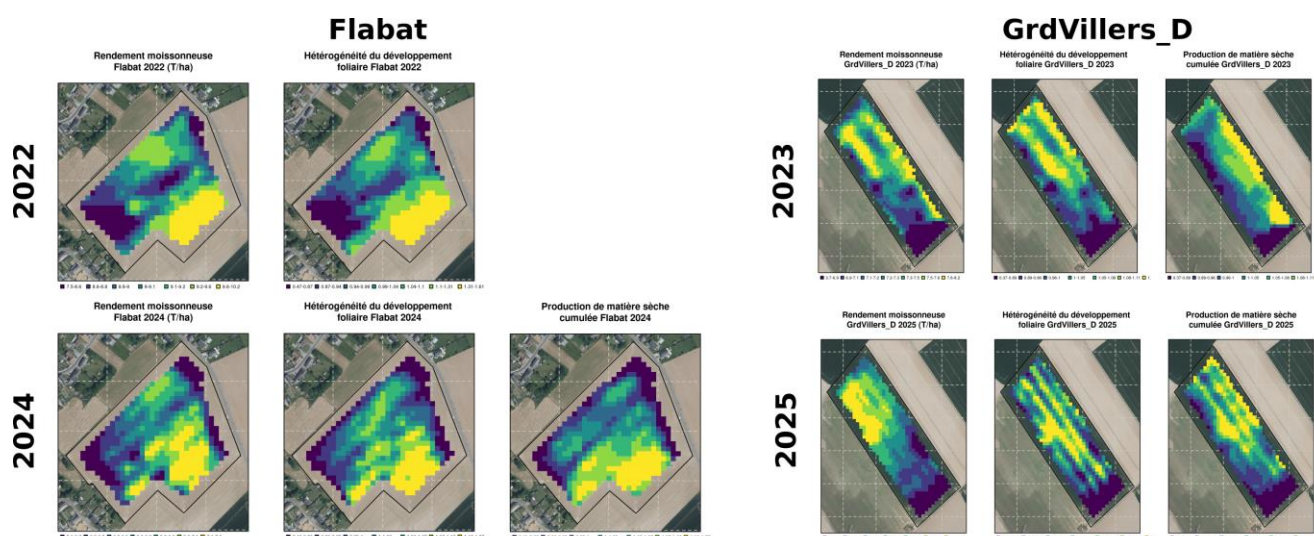


Figure 1. Cartes de rendements, de l'HDF et de la PMSC pour des cultures de froment sur les parcelles Flabat en 2022 et 2024 et GrdVillers_D en 2023 et 2025.

Ces deux indicateurs restent en effet des représentations indirectes du rendement final. Les performances des indicateurs apparaissent globalement meilleures dans les systèmes conventionnels que dans les systèmes biologiques, possiblement en raison d'une plus grande influence de facteurs intra-annuels dans ces derniers.

Expliquer l'hétérogénéité des rendements

Afin de mieux comprendre l'origine de l'hétérogénéité des rendements, différentes données topographiques, pédologiques et climatiques, ainsi que des informations relatives à l'occupation et aux usages anciens des sols, ont été analysées à l'aide de modèles explicatifs. Dix indicateurs potentiellement liés aux variations de rendement ont été étudiés.

Une part importante de ces indicateurs est directement ou indirectement liée aux données issues du modèle numérique de terrain (altitude), ce qui introduit des risques de colinéarité entre variables. Afin de privilégier une approche explicative plutôt que purement prédictive, un modèle basé sur un sous-ensemble restreint de variables faiblement corrélées entre elles a été retenu. Ce modèle intègre principalement le pH du sol, le ratio carbone organique total sur argile (COT/argile) et un indicateur du bilan d'énergie solaire reçu par les cultures.

Parmi les modèles présentant les meilleures performances, le ratio COT/argile apparaît comme la variable la plus influente pour expliquer les variations de rendement. Le pH du sol et l'irradiance solaire contribuent également à l'explication des rendements, mais de manière plus ponctuelle. Ces résultats confirment l'importance des propriétés organiques et texturales du sol dans la structuration de la variabilité des rendements.

1.2. Optimisation de l'irrigation dans l'espace

La FPA étant déjà équipée pour l'irrigation, un premier objectif de cette section était d'évaluer le potentiel d'optimisation du matériel existant. En effet, un matériel d'irrigation défectueux ou mal utilisé peut conduire à une mauvaise répartition des apports d'eau ou à des décalages entre la dose cible et la dose réellement appliquée.

Ensuite, un deuxième objectif, était d'évaluer si une partie du matériel déjà présent sur la FPA pouvait être adapté à des pratiques d'irrigation de précision, notamment via la régulation automatique de l'angle d'arrosage et de la vitesse d'avancement du matériel. Ces deux fonctionnalités permettent la mise en place de la coupure de section et de l'irrigation à taux variable :

- La coupure de section permet d'irriguer des parcelles aux formes complexes tout en évitant d'arroser des zones situées en dehors de la parcelle. Elle permet également de limiter les recouvrements lors de passages d'irrigation successifs.
- L'irrigation à taux variable pourrait constituer un levier agronomique majeur pour optimiser l'usage de l'eau. Cette approche repose sur l'hypothèse que les besoins en eau des cultures varient spatialement au sein des parcelles et qu'une gestion différenciée des apports est nécessaire.

Un dernier objectif était d'évaluer la mise en place de la coupure de sections et de l'irrigation à taux variable, cette dernière nécessitant la disponibilité de cartes d'humidité du sol. Dans ce cadre, le projet a permis le développement d'une solution de cartographie basée sur une technologie radar à pénétration du sol, adaptée à un usage agricole.

Evaluation techniques

Des dispositifs expérimentaux basé sur un maillage de pluviomètres a été mis en place afin d'évaluer les performances du matériel d'irrigation en termes d'exactitude et de précision. L'objectif était de quantifier la capacité du matériel à appliquer une dose d'eau conforme à la consigne cible (exactitude du matériel) et à assurer une répartition spatiale homogène des apports (précision du matériel), y compris dans des situations d'irrigation à dose variable.

Matériel d'irrigation

Les résultats sur l'exactitude et la précision du matériel d'irrigation (pivot, canons, rampe) sont comparés au sein de la figure 2.

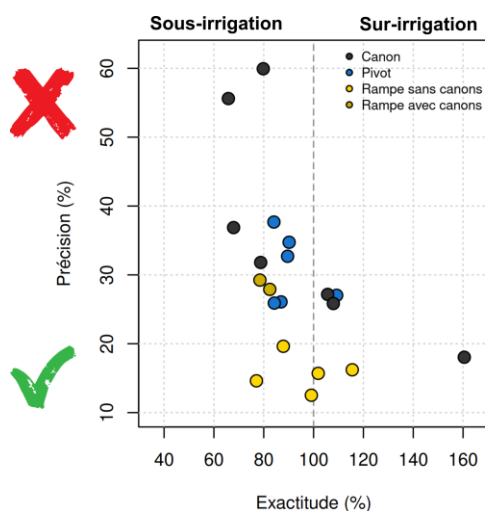


Figure 2. Exactitude et précision des matériels d'irrigation, mesurées à l'aide de pluviomètres pour différents matériels d'irrigation.

Exactitude : L'examen de la figure 2 indique que la FPA se situe majoritairement dans des situations de sous-dosage par rapport à la dose cible. Cette tendance semble principalement liée à des contraintes opérationnelles rencontrées au cours des saisons, telles que des dysfonctionnements des pompes et des problèmes de pression. Ces résultats soulignent que l'exactitude des apports ne dépend pas uniquement des caractéristiques techniques des équipements, mais également de leur réglage et de leurs conditions de fonctionnement.

Précision : Les résultats mettent en évidence deux groupes de matériels présentant des niveaux de précision comparables : d'une part le pivot et les canons, et d'autre part la rampe sans canon, cette dernière se distinguant par la meilleure homogénéité des apports.

La coupure de section

Les interventions réalisées avec la coupure de section n'ont pas fait l'objet d'une évaluation technique formelle. Le fonctionnement du système de coupure de section a été contrôlé visuellement lors de la mise en place des irrigations

Irrigation à taux variable

Un maillage de pluviomètres a été utilisé afin d'évaluer la capacité du matériel à appliquer correctement différentes doses d'irrigation dans le cadre d'un essai d'irrigation à taux variable (figure 3).

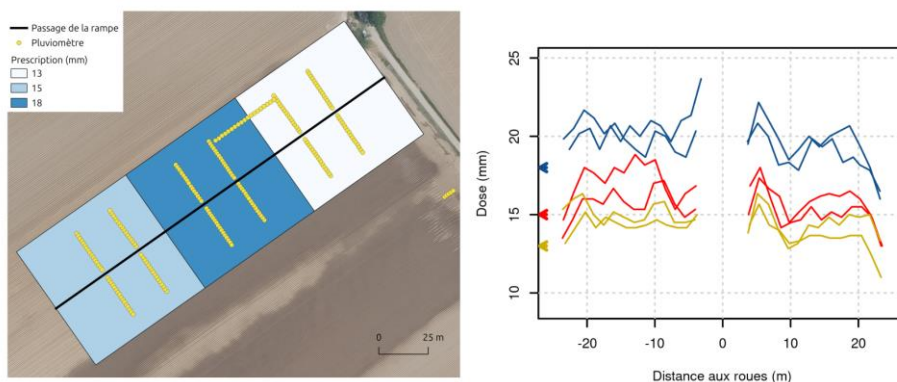


Figure 3. À gauche : carte de prescription utilisée pour l'irrigation à taux variable, avec la localisation des pluviomètres installés pour évaluer les apports d'eau. À droite : répartition des apports d'eau mesurés lors d'un essai d'irrigation à taux variable ; six lignes de pluviomètres ont été installées transversalement à la parcelle, avec deux lignes par dose cible.

Les mesures présentaient une précision satisfaisante ($\approx 13\%$), cohérente avec les résultats précédemment obtenus sur ce matériel d'irrigation. Les courbes de répartition de l'eau montraient que les doses cibles étaient bien distinctes, sans chevauchement entre elles.

Évaluation économique et environnemental

L'analyse économique a consisté à comparer les volumes d'eau prescrits aux volumes réellement appliqués lors des irrigations, puis à estimer les économies d'eau ou les gains de rendement potentiels liés à une amélioration de l'exactitude et de la précision du matériel, ainsi qu'à la mise en œuvre de la coupure de sections et de l'irrigation à taux variable.

Matériel d'irrigation

Selon le matériel, la dose d'eau réellement appliquée a pu s'écarter de la dose cible de ± 11 à $33 \text{ m}^3/\text{ha}$ par tour d'irrigation sur les essais mis en place au cours du projet.

En moyenne sur l'ensemble des essais, la proportion de la parcelle correctement irriguée atteignait 75 % pour la rampe, 61 % pour le canon et seulement 42 % pour le pivot, laissant ainsi respectivement 25 %, 39 % et 58 % des surfaces en situation de sur- ou sous-irrigation, avec un impact potentiel sur les rendements.

La coupure de section

Éviter les chevauchements de l'irrigation : L'évaluation technique du matériel d'irrigation a montré que le bon espacement entre deux passages de canon est difficile à respecter en pratique, ce qui entraîne des recouvrements et un gaspillage d'eau. Les situations étudiées dans le projet ont montré que ces chevauchements pouvaient entraîner un surdosage des volumes d'eau à l'échelle de la parcelle de l'ordre de $11,3$ à $15,8 \text{ m}^3/\text{ha}$. Un positionnement plus précis des passages, ou l'utilisation de la coupure de sections, aurait pu permettre des économies d'eau potentielles de l'ordre de 124 à 174 m^3 à chaque tour d'irrigation sur la parcelle étudiée ($\sim 10\text{ha}$).

Compléter le pivot : Sur la parcelle Pivot_Pont, un canon équipé d'une coupure de section a été utilisé afin de compléter l'irrigation apportée par le pivot. Les tours de canon complémentaires, constitués de deux passages, ont permis d'augmenter la proportion de surface irriguée de 72 % à 91 % de la parcelle (Figure 4).

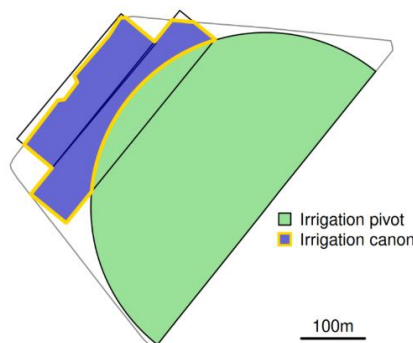


Figure 4. Carte de la parcelle Pivot_Pont sur laquelle les zones irriguées par le pivot et par le canon sont représentées. Le canon étant équipé d'une coupure de section, les zones de recouvrement avec le pivot ainsi que les zones situées à l'extérieur du champ n'ont pas été irriguées.

Pour estimer les gains de rendement potentiels liés à l'utilisation de la coupure de sections, des données sur la croissance d'une culture d'épinard implantée durant la saison 2022 ont été utilisées. Au cours de cette saison, aucun canon n'a été utilisé en complément du pivot. Le développement des épinards hors de la zone couverte par le pivot a pu donc être impacté par le manque d'eau. L'indice d'HDF fourni par Belcam, a été utilisé pour comparer ces deux zones. L'indice HDF était en moyenne de 110 % dans la zone couverte par le pivot et de 83 % dans la zone qui sera par la suite couverte par le canon équipé d'une coupure de section.

L'irrigation à taux variable

Les simulations réalisées comparent différentes stratégies d'irrigation basées sur des cartes d'humidité du sol à différentes résolutions à une approche homogène classique. Les résultats montrent qu'une irrigation à dose variable basée sur des cartes à haute résolution permet de réduire les volumes apportés de plus de 10 %, et jusqu'à 40 % selon les parcelles et les hypothèses retenues. À l'inverse, lorsque l'irrigation homogène est basée sur l'humidité moyenne de la parcelle, environ 50 % de la surface reste en situation de sous-irrigation, quelle que soit la résolution de la carte utilisée. Au-delà des économies d'eau, l'irrigation différenciée permet également de limiter simultanément les zones en déficit et en excès hydrique, réduisant ainsi les risques de stress racinaire, de maladies et de pertes d'efficacité des nutriments — un levier particulièrement pertinent dans un contexte de ressource en eau contrainte.

Evaluation organisationnelle

La coupure de section réduit les contraintes liées au positionnement des passages de canon en autorisant un placement plus flexible, sans nécessiter un alignement précis pour éviter les recouvrements. L'agriculteur peut ainsi organiser les tours d'irrigation plus facilement et gagner du temps dans la planification et la mise en place de l'irrigation. Elle facilite également l'adaptation à la forme irrégulière des parcelles, limite les risques d'irrigation sur les routes ou à proximité des habitations, et permet ainsi de réduire les conflits.

La mise en place de l'irrigation à taux variable nécessite plusieurs étapes : la production de cartes de prescription à partir d'indicateurs agronomiques ou environnementaux, la conversion dans un format compatible avec le matériel et l'intégration des cartes dans l'application de pilotage ; l'absence de solutions "tout-en-un" constituent des freins majeurs à une utilisation opérationnelle.

Développement du capteur radar

Les travaux menés dans ce projet ont permis de démontrer la faisabilité et la pertinence de la cartographie spatiale de l'humidité des sols en zone racinaire à l'aide d'un radar à pénétration de sol embarqué sur drone. Le système gprSense® a fortement évolué au cours du projet, passant d'un prototype encombrant monté sur quad à une solution allégée, intégrée sur plateforme drone (Figure 5), capable de réaliser des acquisitions automatisées à haute résolution spatiale, sans contact avec le sol ni perturbation des cultures.



Figure 5. Système radar gprSense® monté sur drone pour la cartographie de l'humidité de la zone racinaire dans le cadre du projet DuraTechFarm.

Les campagnes de mesure réalisées ont montré que le système permet de caractériser l'humidité du sol sur une profondeur effective d'environ 35 à 40 cm, correspondant à la zone racinaire active de nombreuses cultures. Les

cartes produites présentent une bonne cohérence avec les mesures de référence, en particulier avec les sondes TDR implantées à 30 cm de profondeur, avec des coefficients de corrélation élevés ($r \approx 0,77$). Les résultats mettent également en évidence une structuration spatiale de l'humidité fortement liée à la topographie, ainsi qu'aux pratiques d'irrigation, notamment la localisation des bandes irriguées, les recouvrements entre passages et les effets de dérive liés au vent.

Le suivi temporel réalisé sur une parcelle de référence, à travers plusieurs acquisitions drone au cours d'une même saison culturale, a permis de démontrer la capacité du radar à capter finement la dynamique hydrique du sol. Les variations observées entre dates sont cohérentes avec les apports de pluie et d'irrigation mesurés, confirmant que la technologie fournit une information intégrée et spatialement continue sur l'état hydrique de la zone racinaire.

Sur le plan opérationnel, les développements réalisés ont abouti à des versions logicielles et matérielles stabilisées, intégrant une calibration automatisée avec correction thermique, des outils de traitement spatial (krigeage, clustering) et la génération de cartes d'irrigation exploitables. Les simulations menées montrent que l'utilisation de cartes d'humidité à haute résolution permet, dans certaines configurations, de réduire significativement les volumes d'eau appliqués par rapport à une irrigation homogène, tout en limitant les zones sous-irriguées. Les gains potentiels dépendent fortement de la variabilité intra-parcellaire et de la capacité du matériel d'irrigation à moduler les apports.

Dans l'ensemble, les résultats obtenus confirment que la cartographie radar permet une caractérisation fine, cohérente et spatialement continue de l'humidité des sols, constituant une base technique solide pour le pilotage spatial de l'irrigation en agriculture de précision.

1.3. Optimisation de l'irrigation dans le temps

Evaluation technique

L'évaluation technique vise à comparer les performances des solutions de pilotage de l'irrigation (bilan hydrique, sondes tensiométriques et capacitives) à une méthode de référence, en analysant la capacité des outils à caractériser correctement l'état hydrique du sol et à déclencher l'irrigation au bon moment.

Les solutions basées sur le bilan hydrique (Sencrop, Abelio) ont montré une bonne capacité à suivre la dynamique de l'eau accessible dans le sol et à identifier les périodes de stress hydrique, avec une cohérence globale par rapport au conseil du service de référence (CPL-Végémar).

Les écarts observés entre solutions concernent principalement le positionnement temporel précis du déclenchement, certaines solutions ayant tendance à proposer des interventions légèrement plus précoces ou plus tardives selon les cultures et les conditions climatiques.

Les sondes tensiométriques fournissent une information fiable et directement liée au statut hydrique du sol, mais leur interprétation dépend fortement de la profondeur d'implantation et peut varier entre horizons.

Les sondes capacitives permettent un suivi continu du profil hydrique, mais nécessitent une calibration rigoureuse et une bonne connaissance des sols pour garantir la fiabilité des données fournies.

Dans l'ensemble, les écarts entre solutions sont davantage liés à des choix de modélisation, de paramétrage des sols et des cultures, qu'à des défaillances majeures des capteurs ou des systèmes.

Evaluation organisationnelle

La FPA souligne qu'il ne souhaiterait plus travailler sans station météo ni sondes. Les sondes permettent de réduire les estimations du besoin d'irrigation sur l'intuition et de prendre des décisions fondées sur des données fiables, notamment grâce à une meilleure perception de l'évapotranspiration des plantes et des remontées capillaires.

Les stations météo permettent également un gain de temps, car l'agriculteur n'a plus besoin de se déplacer pour vérifier si une pluie très localisée a eu lieu reportant la mise en place d'une irrigation.

La FPA insiste toutefois sur la nécessité d'une expertise pour le positionnement des sondes et préférerait confier cette tâche à un prestataire.

Concernant les interfaces, le besoin exprimé est celui de simplicité et de clarté : des codes couleur et des seuils explicites. L'interprétation des courbes est jugée facile pour les sondes tensiométriques (une ou deux courbes) et pour les bilans hydriques (une seule courbe). En revanche, les sondes capacitatives sont plus complexes à lire, car elles enregistrent l'humidité du sol à différentes profondeurs, ce qui multiplie les courbes et rend l'analyse moins intuitive.

1.4. Optimisation de la fertilité des sols

Les parcelles du projet proviennent d'un système de culture intensif et environ 80 % d'entre elles ont récemment été converties à l'agriculture biologique. Ces deux types de pratiques peuvent exercer des pressions importantes sur la structure des sols et sur leur teneur en matière organique. Ensuite, le pH, essentiel au bon fonctionnement de la nutrition minérale des plantes, a également été mentionné parmi les paramètres dont la gestion devait être optimisée. Dans ce contexte, la mise en place d'applications d'intrants à doses variables constitue un levier potentiel pour optimiser ces paramètres (pH, matière organique). La mise en place d'applications d'intrants à doses variables se déroule généralement en plusieurs étapes : la cartographie des paramètres physico-chimiques du sol, la génération et la réception de cartes de prescription, puis l'application des intrants à doses variables au champ.

Deux solutions de cartographie des propriétés physico-chimiques des sols ont été évaluées dans le cadre du projet : la solution Veris MSP3 mesurant la conductivité électrique, la matière organique et le pH du sol, et la solution TerraScan, utilisant la détection passive des rayonnements gamma pour cartographier 27 paramètres du sol, incluant le pH, la texture, la matière et le carbone organique, la capacité d'échange cationique, la teneur en eau disponible, et divers éléments chimiques (B, Ca, Cu, Fe, K, Mg, Mn, Mo, Na, P, S). Ces solutions de cartographie fournissent aussi sur demande des cartes d'applications pour différents intrants.

Evaluation technique

L'objectif de cette évaluation est, dans un premier temps, de comparer les cartographies des propriétés du sol (TerraScan, Veris MSP3) à des analyses de laboratoire afin de juger de la fiabilité des cartes fournies, et, dans un second temps, de tester concrètement l'effet de la mise en œuvre des applications à taux variable sur l'évolution des paramètres du sol de l'exploitation.

Cartographie des propriétés physico-chimique du sol

Comparaisons entre laboratoires : Les résultats montrent que la robustesse des comparaisons dépend fortement du degré d'hétérogénéité des paramètres du sol au sein des parcelles, ainsi que de l'incertitude

associée aux analyses de laboratoire elles-mêmes. La cohérence des résultats entre laboratoires varie selon les paramètres étudiés : elle est élevée pour le pH, mais plus limitée pour le carbone organique, en particulier à l'échelle de la parcelle. Bien que les deux laboratoires utilisent une méthode directe de quantification dérivée de la norme EN 15936, des écarts significatifs ont été observés entre leurs mesures.

Comparaisons laboratoires et solutions de cartographie : Les comparaisons entre analyses de laboratoire et solutions de cartographie mettent en évidence des performances contrastées selon les paramètres considérés. Pour le **carbone organique**, les variations intra-parcellaires étaient généralement faibles et du même ordre de grandeur que l'erreur de mesure, rendant impossible la distinction entre variabilité réelle et bruit de mesure ; aucune conclusion fiable n'a pu être tirée quant aux performances des solutions de cartographie pour ce paramètre.

Pour le **taux d'argile**, les résultats sont plus concluants. Sur les parcelles présentant une hétérogénéité significative, le Veris MSP3 affiche des précisions fortes à très fortes, confirmant que la conductivité électrique constitue un proxy fiable de la texture du sol dans le contexte de ce projet. Les performances d'InterraScan sont plus contrastées, mais globalement satisfaisantes, avec des précisions fortes à très fortes pour 43 % des parcelles et modérées pour 57 % d'entre elles.

Pour le **pH**, les résultats diffèrent sensiblement selon la solution considérée. En se concentrant sur les parcelles les plus hétérogènes et présentant une concordance inter-laboratoires satisfaisante, le Veris MSP3 obtient des précisions faibles ou négligeables pour 14 % des parcelles, modérées pour 57 % et fortes à très fortes pour 29 %. InterraScan, en revanche, affiche des précisions faibles ou négligeables sur l'ensemble des parcelles analysées.

Effets des applications à taux variable sur les propriétés du sol

Matière organique : Les vérifications réalisées après les applications de matière organique à taux variable montrent que les zones ciblées par les cartes de prescription ont globalement été respectées. L'effet agronomique des applications à taux variables de matière organique a pu être analysé sur quatre parcelles du projet en comparant les analyses de sol réalisées avant et après interventions (figure 6).

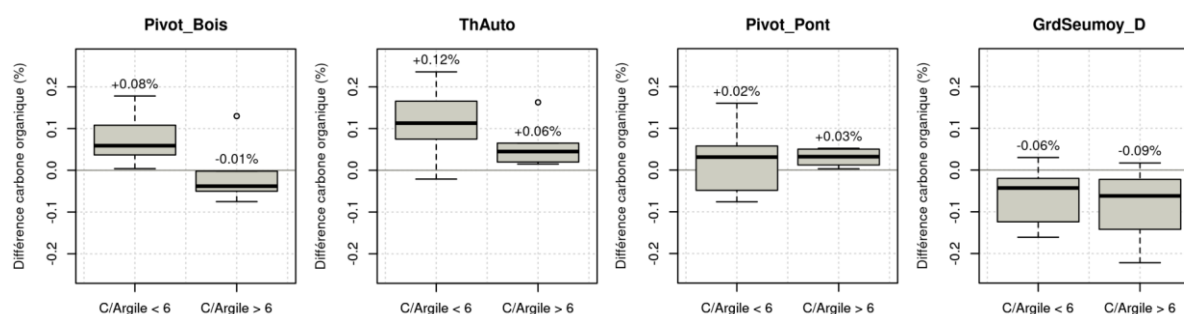


Figure 6. Évolution du carbone organique (%) du sol avant et après modulation. Les distributions ont été établies séparément pour les zones défavorables (ratio C/argile < 6) et pour les zones plus favorables (ratio C/argile > 6), telles que définies par les cartes de prescription utilisées pour les applications à taux variables de matière organique. Le pourcentage de perte/gain moyen en carbone organique est indiqué au sommet de chaque boîte à moustache.

Les résultats indiquent que les apports variables permettent d'augmenter le carbone organique dans les zones les plus défavorables, en particulier lorsque les apports sont répétés. À l'inverse, lorsque les apports sont ponctuels, les effets sur le carbone organique sont plus limités, voire négatifs, et dépendent de la nature de

l'amendement utilisé ainsi que de la gestion globale du carbone organique à l'échelle de la parcelle. Ces résultats confirment l'intérêt des applications à taux variable pour cibler efficacement les zones déficitaires en carbone, tout en soulignant la nécessité de stratégies d'apports régulières et adaptées à la stabilité du carbone des intrants afin d'obtenir des effets durables.

Ecume de sucrerie : L'effet agronomique des applications à taux variables d'écume de sucrerie a pu être analysé sur une parcelle du projet en comparaison les analyses de sol réalisées avant et après intervention. Les résultats montrent une augmentation marquée du pH moyen de la parcelle accompagnée d'une forte diminution de l'hétérogénéité intra-parcellaire, le coefficient de variation du pH KCl étant réduit de 5,43 % à 1,98 %. Ces éléments témoignent d'un effet positif de la modulation sur l'homogénéisation du pH à l'échelle de la parcelle.

Evaluation économique et environnemental

La référence économique correspond à la situation où l'agriculteur détermine les quantités à épandre sans tenir compte des hétérogénéités intra-parcellaires, reflétant les pratiques antérieures au projet.

La principale différence de coût entre les deux situations réside dans le surcoût lié au service de cartographie des sols : 202,5 € HT/an pour les analyses conventionnelles, contre 5 692,5 € HT/an pour la solution Veris MSP3 sur 148 ha et pour une rotation de 4 ans. Cette comparaison doit toutefois être nuancée, car la cartographie de ses sols constitue davantage un investissement ponctuel que récurrent, certaines propriétés comme la texture ou le pH évoluant lentement dans le temps.

Pour estimer les bénéfices potentiels de l'utilisation de service de cartographie des sols, plusieurs scénarios simulant une homogénéisation du pH et du ratio COT/argile à l'échelle de la parcelle ont été construits. Les effets sur le rendement ont été évalués à partir des modèles explicatifs développés dans la partie « Expliquer les variations du rendement ». Les simulations indiquent un gain moyen potentiel de 54,65 € HT/ha/an, à comparer à un surcoût estimé à 40,5 € HT/ha/an, suggérant la rentabilité de la solution dans les conditions étudiées.

Ces résultats doivent toutefois être interprétés avec prudence. Les simulations reposent sur des hypothèses optimistes quant à l'évolution du ratio COT/argile, alors que les gains en carbone organique peuvent être transitoires selon les pratiques de gestion.

Au contraire, l'analyse portant sur du froment fourrager, culture à faible valeur ajoutée, conduit vraisemblablement à sous-estimer le potentiel des applications à taux variables dans des systèmes à plus forte valeur ajoutée, tels que les cultures légumières biologiques. De plus, le recours à des outils d'analyse de l'hétérogénéité intra-parcellaire de la croissance ou des rendements constitue une piste pour cibler les parcelles les plus susceptibles d'avoir besoin de correction et ainsi réduire le coût global de la démarche.

Evaluation organisationnelle

Plusieurs contraintes organisationnelles ont été identifiées. La faible disponibilité de prestataires et de capteurs en Région wallonne limite l'accessibilité aux technologies de cartographie des sols. Par ailleurs, les échanges nécessaires entre l'agriculteur et les prestataires, ainsi que les délais liés à l'interprétation des données et à la production de conseils agronomiques, peuvent compliquer l'organisation des travaux et la gestion des stocks.

La mise en œuvre opérationnelle des applications à doses variables fait également apparaître des freins, notamment liés au transfert des cartes de prescription vers le matériel agricole et à la difficulté d'accès à des équipements agricoles capable d'épandre en faisant varier la dose.

Enfin, le projet met en lumière des besoins en formation des agriculteurs, notamment en cartographie et en SIG, mais surtout un manque d'interopérabilité entre les plateformes numériques et les équipements agricoles, qui constitue aujourd'hui l'un des principaux freins à la généralisation des pratiques d'application à taux variables des intrants.

2. Conclusions exhaustives d'interprétation des résultats

Texte continu de max.5 pages avec éventuellement tableaux, schémas, graphiques

1.1. Mesurer et expliquer l'hétérogénéité intra-parcellaire du rendement

Mesurer

Les données issues des capteurs de rendement et d'humidité embarqués sur les moissonneuses, ainsi que certains indicateurs dérivés de l'imagerie satellite décrivant le développement des cultures, permettent de caractériser les variations de rendement au sein des parcelles. L'analyse répétée de ces cartes sur plusieurs saisons permet d'identifier des motifs de variabilité récurrents. Lorsque ces motifs se répètent dans le temps, ils suggèrent l'existence de facteurs sous-jacents relativement stables susceptibles d'expliquer ces différences de rendement. Plutôt que de considérer cette variabilité intra-parcellaire comme une fatalité propre à ses terres, l'agriculteur peut y voir une opportunité d'adapter finement ses interventions aux besoins réels de chaque zone, en s'appuyant sur les pratiques d'agriculture de précision.

Expliquer

Le facteur revenant le plus fréquemment pour expliquer les variations de rendement du froment et du maïs est le ratio COT/argile, les zones présentant un ratio plus favorable étant associées à des rendements plus élevés. Ces résultats s'inscrivent dans un contexte particulier, caractérisé par des parcelles à la topographie contrastée et des sols dont la structure peut être dégradée, ce qui invite à nuancer leur portée générale. Ils restent néanmoins transposables à des situations aux caractéristiques similaires, et la démarche elle-même présente un réel potentiel de reproductibilité : les indicateurs topographiques utilisés sont disponibles gratuitement via le Géoportail de la Wallonie, et des solutions commerciales matures existent pour la cartographie de la conductivité électrique et de la texture des sols.

1.2. Optimisation de l'irrigation dans l'espace

Un premier enseignement concerne les performances du matériel d'irrigation utilisé pour optimiser l'irrigation. Les résultats montrent que des niveaux de précision du matériel constitue une source importante de variabilité intra-parcellaire des apports d'eau et, par conséquent, des rendements. Dans ce contexte, chercher à mettre en œuvre des variations fines des doses (par exemple $\pm 20\%$) à l'aide d'un équipement dont la précision est du même ordre de grandeur, voire inférieure, apparaît peu pertinent sur le plan technique. Ces constats soulignent que l'entrée dans l'irrigation de précision passe nécessairement par une réflexion préalable sur l'investissement et la fiabilisation du matériel, afin de disposer d'un socle technique suffisamment robuste avant d'envisager des stratégies d'irrigation de précision avancées.

La coupure de section apparaît, comme une solution particulièrement intéressante à court terme. Les résultats montrent qu'elle est relativement simple à mettre en œuvre, compatible avec le matériel existant, et qu'elle peut générer des bénéfices immédiats, tant sur le plan économique, environnemental, qu'organisationnel. En limitant les recouvrements et l'irrigation hors parcelle, la coupure de section permet de réduire les volumes d'eau appliqués, tout en simplifiant l'organisation des passages et en offrant une plus grande flexibilité dans le positionnement du matériel. À ce titre, elle constitue une première étape pragmatique et réaliste vers une irrigation plus précise.

Enfin, l'irrigation à taux variable ressort comme la solution présentant le potentiel le plus élevé en termes d'économies d'eau et d'optimisation spatiale des apports. Les scénarios analysés montrent qu'une gestion différenciée de l'irrigation, basée sur des cartes de sols ou d'humidité, permet de réduire significativement les volumes appliqués. Toutefois, cette approche se révèle également la plus exigeante sur le plan organisationnel. Elle nécessite la mobilisation de plusieurs briques technologiques (cartographie, interprétation agronomique, conversion et transfert des cartes de prescription, compatibilité avec le matériel), ainsi qu'un niveau d'investissement technique, humain et financier plus élevé. À ce stade, sa mise en œuvre opérationnelle demeure donc réservée aux exploitations disposant des ressources et des compétences nécessaires, ou bénéficiant d'un accompagnement externe.

Dans l'ensemble, ces résultats montrent que la transition vers l'irrigation de précision ne repose pas sur une solution unique, mais sur une progression par étapes, tenant compte des performances du matériel existant, des contraintes organisationnelles et des objectifs de l'exploitation. La réussite de cette transition dépend autant des investissements matériels que de la simplicité d'intégration des solutions dans le travail quotidien de l'agriculteur.

1.3. Optimisation de l'irrigation dans le temps

Ce travail montre que les différentes solutions de pilotage du déclenchement de l'irrigation présentent des approches complémentaires, chacune avec ses avantages et ses limites, et qu'aucune ne constitue une solution universelle à elle seule.

Les solutions basées sur le bilan hydrique se distinguent par leur simplicité de mise en œuvre et leur faible niveau d'investissement. L'installation d'une station météorologique, combinée à un modèle de bilan hydrique, permet déjà de structurer efficacement la prise de décision. Cette approche fournit une vision synthétique des besoins en eau des cultures et constitue une porte d'entrée pertinente vers le smart farming, en particulier pour des exploitations souhaitant progressivement intégrer des outils d'aide à la décision.

Les sondes tensiométriques offrent une information directement liée au ressenti hydrique de la plante, en mesurant l'effort que celle-ci doit fournir pour extraire l'eau du sol. Elles permettent ainsi d'appréhender finement les situations de stress hydrique, à condition d'être correctement positionnées dans le sol. Leur principal inconvénient réside dans la sensibilité de l'interprétation à la profondeur d'installation et à l'hétérogénéité verticale du sol.

Les sondes capacitatives fournissent quant à elles une information plus détaillée sur l'ensemble du profil racinaire, en mesurant l'humidité du sol à différentes profondeurs. Elles permettent de suivre l'évolution de la réserve en eau au cours du développement de la culture et d'observer la dynamique d'enracinement. Cette richesse d'information s'accompagne toutefois d'une complexité accrue en termes de calibration, d'interprétation des données et d'intégration dans la prise de décision quotidienne.

En conclusion, le choix d'une solution doit être guidé par les objectifs de l'exploitation, le niveau d'investissement acceptable et la capacité à interpréter les données. Le bilan hydrique apparaît comme une solution robuste et accessible, tandis que les sondes permettent d'affiner l'analyse hydrique lorsque le contexte agronomique et l'organisation de l'exploitation le justifient.

1.4. Optimisation de la fertilité des sols

Les bénéfices liés à une homogénéisation du pH et de la teneur en matière organique du sol au sein d'une parcelle peuvent être significatifs à long terme. Bien que la mise en place d'applications d'intrants à taux variable puisse impliquer certains freins financiers (coût de la cartographie des sols), organisationnels (accès à du matériel permettant les applications à doses variables ou à un prestataire équipé) et techniques (niveau de maturité variable des technologies de cartographie des sols), ces contraintes doivent être mises en perspective avec les gains potentiels. L'analyse économique présentée dans ce rapport montre que, pour une exploitation de 148 ha spécialisée dans la production industrielle de légumes biologiques, la mise en place d'applications à taux variable peut s'avérer économiquement rentable, en particulier lorsque les parcelles présentent de fortes hétérogénéités liées au pH ou à la matière organique, notamment dans des contextes de remembrement récent.

3. Liste des livrables du projet acquis pendant la recherche

[Description des livrables, conditions d'accessibilité, lien vers la ressource, mode d'emploi, ...](#)

WP2 - Liste des Fiches DTF des solutions

Catalogue des différentes applications du SMART FARMING déjà mises en œuvre dans des exploitations de grandes cultures conventionnelles et biologique.

WP3 - Finalisation du capteur d'humidité des sols avec la technologie radar

Ce livrable décrit le développement, la calibration, la validation scientifique et le potentiel économique d'un capteur radar (gprSense®) embarqué sur drone ou tracteur, destiné à cartographier l'humidité du sol dans la zone racinaire afin d'optimiser l'irrigation de précision. Ce rapport est en libre accès et disponible sur la page du projet.

WP4 - Mesurer et expliquer l'hétérogénéité intra-parcellaire du rendement

Ce livrable analyse comment mesurer, expliquer et simuler l'hétérogénéité intra-parcellaire des rendements, en combinant cartes de rendement de moissonneuses, données satellitaires, données de sol, topographie et modèles statistiques, afin d'identifier les facteurs agronomiques clés permettant d'expliquer une part des rendements. Ce rapport est en libre accès et disponible sur la page du projet.

WP2/WP4/WP5 - Rapport de mise en place et d'évaluation d'une solution

Dans le cadre du projet, plusieurs livrables sont attendus au sein des différents Work Packages (WP2, WP4 et WP5). Afin d'assurer une présentation cohérente et intégrée des résultats, il a été choisi de ne pas transmettre ces livrables sous forme de documents distincts, mais de les regrouper au sein de trois rapports thématiques. Les trois rapports thématiques sont organisés comme suit :

- Optimisation de la fertilité des sols
- Optimisation de l'irrigation dans l'espace
- Optimisation de l'irrigation dans le temps

Chaque rapport intègre des éléments issus de plusieurs WP, et comprend notamment :

- La définition des objectifs d'utilisation du Smart Farming (WP2), établis au démarrage du projet sur base des priorités exprimées par le gérant de la Ferme du Plein Air ;
- La mise en œuvre opérationnelle des solutions de Smart Farming sur l'exploitation (WP4), incluant l'acquisition des données, leur interprétation et l'application d'actions ciblées sur les leviers agronomiques identifiés ;
- Les évaluations technique, économique, environnementale et organisationnelle (WP5) des solutions mises en place.

Ces rapports sont en libre accès et disponible sur la page du projet.

4. Vulgarisation

Liste des actions de vulgarisation entreprises (projets de développement, formation des acteurs d'encadrement, communications vers le secteur, ...)

4.1. Organisation d'un évènement :

Synthèse de tous les évènements organisés / coorganisés / animés par WalDigiFarm dans le cadre du projet DuratechFarm, pour un total de 490 participants :

Début	Lieu	Coorganisation	Type	Sous-type	Titre / contexte event	Sujets spécifiques	Orateurs / intervenants principaux	Réel live
20-02-2024	Houtain-le-Val (Ferme de la Hagouille)	/	FORMA	AMPTC	Correction des signaux GNSS et autoguidage : une après-midi pour tout capter !	Expérience Arvalis	DESBOURDES Caroline	60
23-02-2024	Evere	Fedagrim	FORMA	CECOF	Réunion groupe importateurs machines	Transformation numérique productions végétales IA générative	WEYKMAN Sébastien LOFFET Benoît	30
13-03-2024	En ligne	/	FORMA	L4SPR	Les 4 Saisons de la Précision - Printemps	Suivre l'évolution et les besoins de ses cultures par satellite grâce à BELCAM	DEFOURNY Pierre	45
30-05-2024	Meux	CRA-W	FORMA	AMPTC	Irrigation connectée : une après-midi pour tout capter !	Irrigation : bases et pilotage Gestion de l'irrigation Oscar : présentation du robot d'irrigation Oscar Gestion de l'irrigation assistée par le Smart Farming	HEENS Benoît FRAIPONT Guillaume CARLIER Alexis TOURNEUR Denis	50
3-09-2024	En ligne	CRA-W (projet DuratechFarm)	FORMA	L4SPR	Les 4 Saisons de la Précision - Automne	Scanner son sol : retour de pratiques	TOURNEUR Denis ARTOIS Jean	30
3-12-2024	Saint-Ghislain	SCAM	FORMA	CECOF	Séminaire technique annuel SCAM	Nouvelles technologies numériques et phytoprotection	WEYKMAN Sébastien	25
10-02-2025	Awans	CETA / Comice agricole Basse-Hesbaye	FORMA	CECOF	/	Nouvelles technos numériques : quels impacts aujourd'hui et demain sur les productions végétales en Wallonie ?	WEYKMAN Sébastien	25
19-02-2025	Braine-le-Château	CETA d'Ophain	FORMA	CECOF	/	Nouvelles technos numériques : quels impacts aujourd'hui et demain sur les productions végétales en Wallonie ?	WEYKMAN Sébastien	15
20-02-2025	Celles	CETA de Tournai	FORMA	CECOF	/	Nouvelles technos numériques : quels impacts aujourd'hui et demain sur les productions végétales en Wallonie ?	WEYKMAN Sébastien	10
12-03-2025	Ciney (HEPN)	EPASC	FORMA	SEMIN	Nouvelles technos numériques : quels impacts aujourd'hui et demain sur les grandes cultures en Wallonie	/	WEYKMAN Sébastien	90
10-06-2025	En ligne	SPW OPW	FORMA	L4SPR	Les 4 Saisons de la Précision - Eté	Aide à l'installation ou à l'investissement : comment les activer pour les derniers matériels innovants ?	BARTEL Youri	20
30-06-2025	Les Isnes	PROTECT'eau	FORMA	CECOF	PROTECT'all	Nouvelles technos numériques : quels impacts aujourd'hui et demain sur les productions végétales en Wallonie ?	WEYKMAN Sébastien	25
3-07-2025	Thisnes (Hannut)	CPL Végémar / CRA-W	COMM U	FOSAL	Journée interprofessionnelle du Bio	Stand Smart Farming (DuratechFarm) Stand Agrométéorologie (Agromet) Parcours nouvelles technologies	TOURNEUR Denis ARTOIS Jean ROSILLON Damien MICHAUD Valéry	65

Parmi ces événements, plusieurs ont été organisés par le CRA-W ou en collaboration directe avec celui-ci :

- Les 4 saisons de la précision (06-09-2024) : Les solutions de cartographie du sol
- Les 4 saisons de la précision (04-06-2026) : L'irrigation de précision
- Irrigation connectée (30-05-2024) : une après-midi pour tout capter. Réalisation d'une capsule vidéo présente sur la page web du projet.
- Journée interprofessionnelle du Bio (03-07-2025). Réalisation d'une capsule vidéo présente sur la page web du projet.
- Animation à la foire de Libramont (25-07-2025)
- Animation à la foire d'Agribex (06-12-2025)

4.2. Revue de presse :

Revue de presse des articles publiés dans le cadre du projet DuratechFarm :

Date	Media	Titre	Lien web
29-02-2024	Sillon Belge	Fertilisation azotée : Quand les outils numériques sont des aides à la décision	https://www.sillonbelge.be/12435/article/2024-02-29/quand-les-outils-numeriques-sont-des-aides-la-decision-en-fertilisation-azotee
26-04-2024	Sillon Belge	Le spot-spraying (1/2): «L'importante économie d'intrants est atteinte»	https://www.sillonbelge.be/12793/article/2024-05-01/le-spot-spraying-12-limportante-economie-dintrants-est-atteinte
26-04-2024	Sillon Belge	Le spot-spraying (2/2): une technique de pointe pour répondre aux problèmes de demain	https://www.sillonbelge.be/12794/article/2024-05-01/le-spot-spraying-22-une-technique-de-pointe-pour-repondre-aux-problemes-de
6-06-2024	Sillon Belge	Robots en bio (1/2) : L'investissement semble raisonnable, surtout quand la main-d'œuvre est hors de prix	https://www.sillonbelge.be/12983/article/2024-06-07/les-robots-en-bio-linvestissement-sembles-raisonnable-surtout-quand-la-main
6-06-2024	Sillon Belge	Robots en bio (2/2) : Au travail 7 jours sur 7, 24 h sur 24, pour gagner en sérénité	https://www.sillonbelge.be/12984/article/2024-06-07/les-robots-en-bio-22-au-travail-7-jours-sur-7-24-h-sur-24-pour-gagner-en
14-06-2024	Chaîne WalDigiFarm	Irrigation connectée : aftermovie	https://www.youtube.com/watch?v=04qlsUwXxo0&t=0s

18-07-2024	Sillon Belge	Une nouvelle ère d'innovation et de durabilité s'ouvre	https://www.sillonbelge.be/13216/article/2024-07-26/une-nouvelle-ere-dinnovation-et-de-durabilite-souvre
27-07-2024	RTBF	Foire de Libramont : l'agriculture du futur sera-t-elle numérique ?	https://www.rtbf.be/article/foire-de-libramont-l-agriculture-du-futur-sera-t-elle-numerique-11410442
9-08-2024	La Libre	Les nombreuses innovations qui vont révolutionner l'agriculture de demain	https://www.lalibre.be/economie/entreprises-startup/2024/08/09/les-nombreuses-innovations-vont-revolutionner-lagriculture-de-demain-KDJYJPM6UJELVALXMNL2HBHPLI/
29-08-2024	Sillon Belge	Scanning du sol et hétérogénéité parcellaire (1/2)	https://www.sillonbelge.be/13379/article/2024-08-30/scanning-du-sol-et-heterogeneite-parcellaire-12-le-veris-ma-permis-de-voir
29-08-2024	Sillon Belge	Scanning du sol et hétérogénéité parcellaire (2/2)	https://www.sillonbelge.be/13380/article/2024-08-30/scanning-du-sol-et-heterogeneite-parcellaire-22-une-technique-davenir-jen-suis
14-11-2024	Sillon Belge	Interpom 2024 Stations météo connectées : un outil indispensable au même titre qu'un tracteur	https://www.sillonbelge.be/13742/article/2024-11-16/meteo-et-pommes-de-terre-12-un-outil-indispensable-au-meme-titre-quun-tracteur
14-11-2024	Sillon Belge	Interpom 2024 Stations météo connectées : Prouver que l'eau est utilisée au mieux	https://www.sillonbelge.be/13743/article/2024-11-17/meteo-et-pommes-de-terre-22-prouver-que-leau-est-utilisee-au-mieux
6-02-2025	Sillon Belge	Centipede, le signal de correction RTK gratuit : rendre l'agriculture de précision accessible	https://www.sillonbelge.be/14196/article/2025-02-05/pour-integrer-le-reseau-centipede-rtk
6-02-2025	Sillon Belge	Le signal fourni par Centipede fonctionne parfaitement	https://www.sillonbelge.be/14197/article/2025-02-05/le-signal-fourni-par-centipede-fonctionne-parfaitement

6-05-2025	Sillon Belge	Les cultivateurs bio sont les précurseurs de l'agriculture de précision	https://www.sillonbelge.be/15019/article/2025-06-18/les-cultivateurs-bio-sont-les-precurseurs-de-lagriculture-de-precision
3-05-2025	Athena	Agriculture 4.0: quand la technologie cultive la durabilité	https://athena-magazine.be/magazine/le-magazine-n372/agriculture-4-0-quand-la-technologie-cultive-la-durabilite/

4.3. Fiches de vulgarisation :

Six fiches de vulgarisation ont été produites à destination du grand public pour Journée Interprofessionnelle du Bio 2025, couvrant les différentes thématiques du projet : les prérequis au smart farming, l'hétérogénéité intra-parcellaire du rendement, les solutions de cartographie des sols, les applications à taux variables, l'optimisation de l'irrigation dans le temps et l'optimisation de l'irrigation dans l'espace. L'ensemble de ces fiches sont librement accessible sur la page web du projet.

5. Brevets - Publications

[Références des brevets en préparation / déposés / étendus...](#)

[Références des communications scientifiques écrites \(articles, poster...\) ou orales \(congrès...\)](#)

5.1. Article scientifique à comité de lecture

Wu, K., Artois, J., Tourneur, D., Mareschal, M., Henrion, M., Pathirana, S., ... & Lambot, S. (2026). Automated drone-borne GPR mapping of root-zone soil moisture for precision irrigation. *Remote Sensing of Environment*, 333, 115110.

Wu, K., Desesquelles, H., Cockenpot, R., Guyard, L., Cuisiniez, V., & Lambot, S. (2022). Ground-penetrating radar full-wave inversion for soil moisture mapping in trench-hill potato fields for precise irrigation. *Remote Sensing*, 14(23), 6046.

5.2. Communications scientifiques écrites

Tourneur, D., Lambot, S., Weykmans, S., Artois, J., Wu, K., Servais, T., Privé, C., Lizon, A., Berger, G., Ben Abdallad, F., Jadin, M., & Limbourg, Q. (2025). DTF - Suivi de l'intégration du Smart Farming dans une exploitation agricole wallonne [Poster]. Journée interprofessionnelle du bio 2025.

5.3. Communications scientifiques orales

Communication de M. Lambot intitulé “*Drone-Borne GPR Innovations for Soil Moisture Monitoring*” au The Sixth Global Proximal Soil Sensing Workshop

Communication de M. Artois intitulé “*Smart farming in practice: integrating in a fully operational walloon farm*” à l’événement Smart Farming Innovation Mission

6. Perspectives de valorisation

Situation par rapport aux perspectives initiales (décrites dans la convention)
Evolutions / modifications compte tenu des résultats acquis pendant le projet.

Diffusion des livrables et rapports et mises en ligne des informations nécessaires sur Walakis et la page du projet DTF

7. Problèmes rencontrés et actions correctives éventuellement prises

Synthétiser les problèmes d’ordre technique / scientifique mais aussi organisationnels (calendrier) / managériaux que vous avez rencontrés au cours de l’entièreté de la recherche, ainsi que les solutions apportées pour y remédier.