



Valorisation des données des producteurs pour le diagnostic en agriculture de précision

Les Journées Horticoles et Grandes Cultures, 27e édition
26 au 28 novembre 2024

Yacine Bouroubi, Valérie Duchesne, Akram Chibani, Mickaël Germain, Samuel Foucher et Victor Morin

Département de Géomatique Appliquée
Centre d'Applications et de Recherches en Télédétection (CARTEL)
Université de Sherbrooke

Contenu

- Le virage numérique et l'agriculture 5.0
 - Les technologies et leur convergence
 - Dans la recherche
- Valorisation des données des producteurs
 - Projet avec XLKey
 - Objectifs – Sites d'étude – Données – Méthodo – Résultats – Perspectives

Perspective d'un géomaticien

Le virage numérique

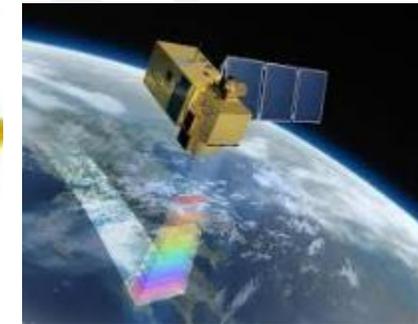
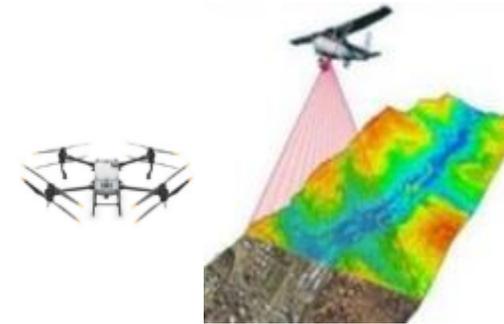
- L'ère numérique - Industrie 5.0
 - Industrie 5.0 : interconnexion des technologies de la 4.0 et coopérations avec les humains
 - Drones, robotique, IoT, infonuagique, mégadonnées, science des données , IA, plateformes web, jumeaux numériques, réalité augmentée → fonctionnement intégré
 - Agriculture de précision : données géospatiales + algorithmes puissants + moyens de communication efficaces
 - Opportunités pour développer des solutions pour plusieurs problématiques de l'AD
 - Services mieux adaptés à chaque parcelle
 - Améliorer adoption → atteindre les objectifs de l'AD → produire des retombées significatives



Le virage numérique Technologies

Géomatique

- Télédétection
 - Imagerie satellitaire: abondance, couverture, gratuité (Sentinel-2), revisite quotidienne (Planet), très haute résolution (WV-3 et Neo)
 - Drones faciles à utiliser
 - Données interprétables
- Plateformes numériques géospatiales
 - Cartes existantes facile d'accès
 - Nouvelles plateformes faciles à réaliser
 - *Quasi* temps-réel → jumeaux numériques
 - Défis: normes, interconnexion, connectivité



Le virage numérique

Technologies - Équipements agricoles et solutions

John Deere (exemples)

- Cartes de rendements → utile pour développer des solutions
- Optimisation des intrants pas vision artificielle

Trimble

- Positionnement, navigation autonome, nivellement
- Cartes de rendement
- Taux variable : semis, intrants, ...
- Connectivité, Infonuagique, SIG



Mapping & GIS



Land preparation



Planting and seeding



Input management



Harvest

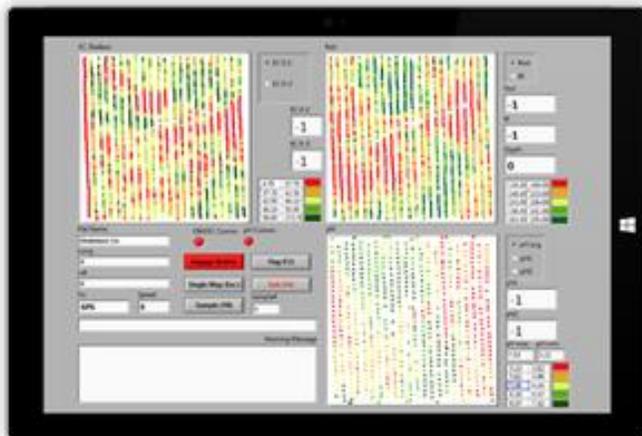
Le virage numérique

Technologies - Équipements agricoles et solutions

Veris technologies

- Capteurs embarqués pour les propriétés du sol (pH, MO, EC, ...)
- Exemples de solutions :

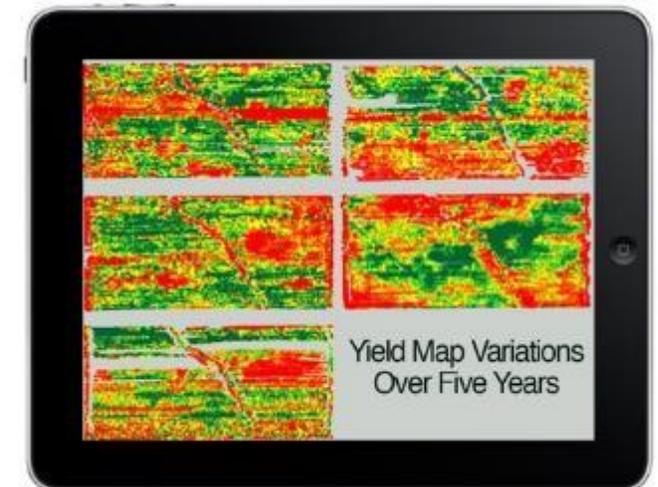
Cartographie du sol (variabilité)



Fusion multi-capteurs (zones de gestion)



Comprendre la variabilité du rendement



Le virage numérique

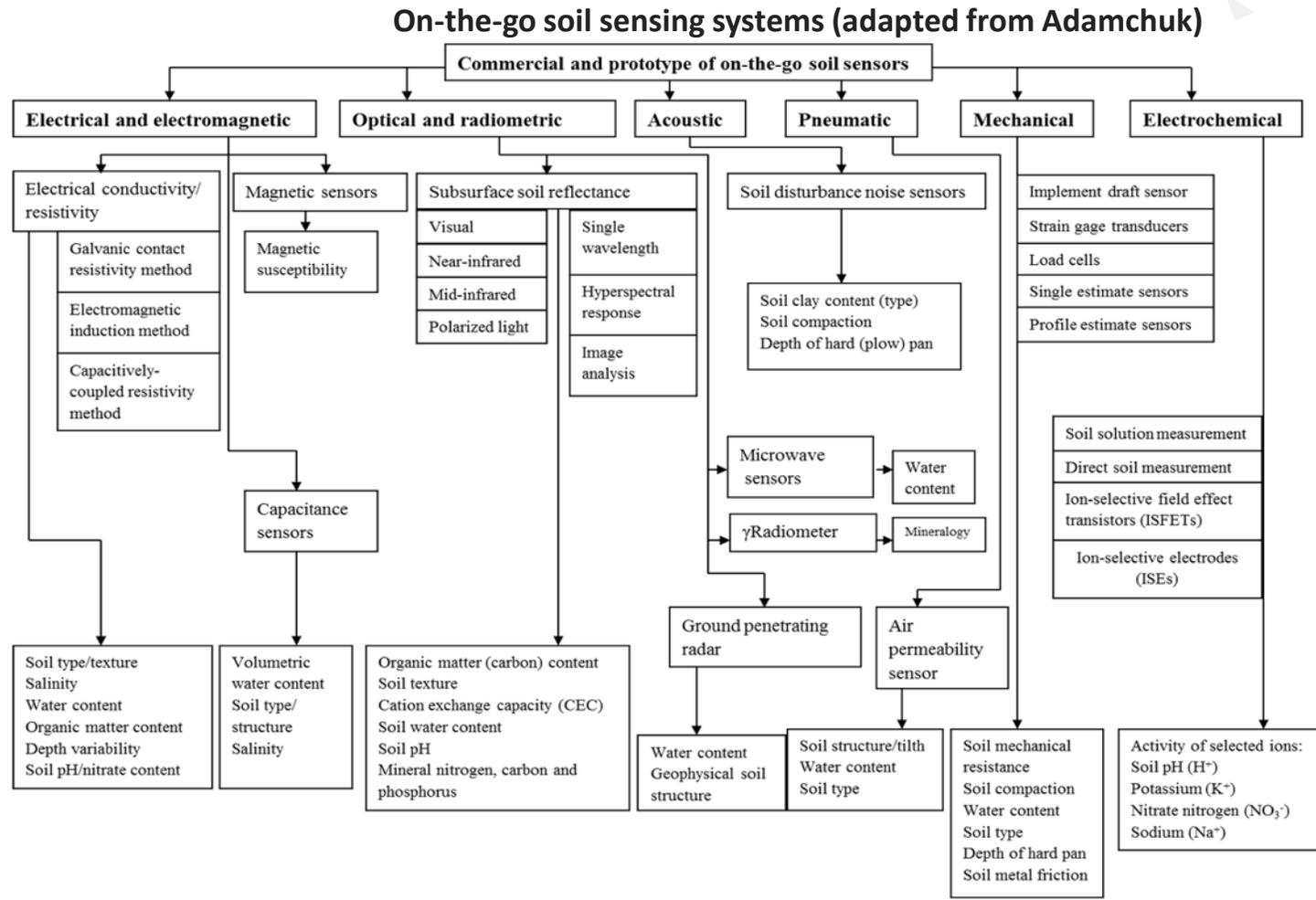
Technologies - D'après la littérature scientifique

Capteurs embarqués – propriétés du sol

The Scope for Using Proximal Soil Sensing by the Farmers of India

- by Sanjib Kumar Behera, Viacheslav I. Adamchuk
 Arvind Kumar Shukla, Punyavrat Suvimalendu Pandey
 Pardeep Kumar, Vimal Shukla, Chitdeshwari Thiyagarajan
 Hitendra Kumar Rai, Sandeep Hadole, Anil Kumar Sachan
 Pooja Singh, Vivok Trivodi, Aehutoeh Miehra
 Nagender Pal Butail, Praveen Kumar
 Rahul Prajapati Kshitij Tiwari
 Deepika Suri and Munish Sharma

<https://www.mdpi.com/2071-1050/14/14/8561>



Le virage numérique

Recherches - Dans la littérature



<https://ispag.org/Communities/On-Farm>



Interest

On-Farm Experimentation Community

The OFE-C is a community gathering OFE researchers and practitioners interested in sharing and compiling existing resources or e.g.:

- guidelines to implement OFE with farmers
- examples of OFE, experiences and lessons learnt
- statistical solutions to analyze OFE data
- best practices to solve specific OFE problems

Community Leaders

Leader:

Louis Longchamps ←

Cornell University

ofec@ispag.org

On-Farm Experimentation Community

Communauté rassemblant des chercheurs et des praticiens pour le partage des ressources :

- Directives pour mettre en œuvre l'OFE avec les agriculteurs
- Exemples, expériences et leçons apprises
- Solutions statistiques pour analyser les données de l'OFE
- Meilleures pratiques pour résoudre des problèmes spécifiques à l'OFE

OFE-C Infos / Newsletters

- On-Farm Experimentation Community Info No. 25
- On-Farm Experimentation Community Info No. 24
- On-Farm Experimentation Community Info No. 23



Le virage numérique

Recherches - Dans la littérature



ELSEVIER

Contents lists available at [ScienceDirect](https://www.sciencedirect.com)

Field Crops Research

journal homepage: www.elsevier.com/locate/fcr

Successful approaches for on-farm experimentation

Susie E. Roques^{a,*}, Daniel R. Kindred^a, Pete Berry^b, Jonathan Helliwell^c

^a ADAS Boxworth, Cambridge CB23 4NN, UK

^b ADAS High Mowthorpe, Duggleby, Malton, North Yorkshire YO17 8BP, UK

^c BASF plc, 4th & 5th floors, 2 Stockport Exchange, Railway Road, Stockport SK1 3GG, UK

Field Crops Research 287 (2022)

- OFE sont de plus en plus utilisées en recherche agricole → aide à l'adoption des pratiques
- Mais, elles peuvent comporter des incertitudes par rapport aux expérimentations réalisées par les chercheurs dans les parcelles expérimentales
 - Implication des producteurs, erreurs dans les traitements ou la récolte, perte des données
- Le papier donne des recommandations pour les OFE :
 - Capteurs, protocoles expérimentaux, répétitions
 - Implication des producteurs, agronomes et chercheurs
 - Partage des données et échanges

On-Farm Experimentation



Le virage numérique

Recherches – Mon expérience à AAC

Projets AAC (N. Tremblay et équipe)

- AAC St-Jean-sur-Richelieu (2003-2017)
- Parcelles commerciales + rigueur des protocoles de recherche (fertilisation N)
- Articles :

Guidelines for in-season nitrogen application for maize (*Zea mays* L.) based on soil and terrain properties

Nicolas Tremblay, Mohamed Yacine Bouroubi, Philippe Vigneault, Carl Bélec

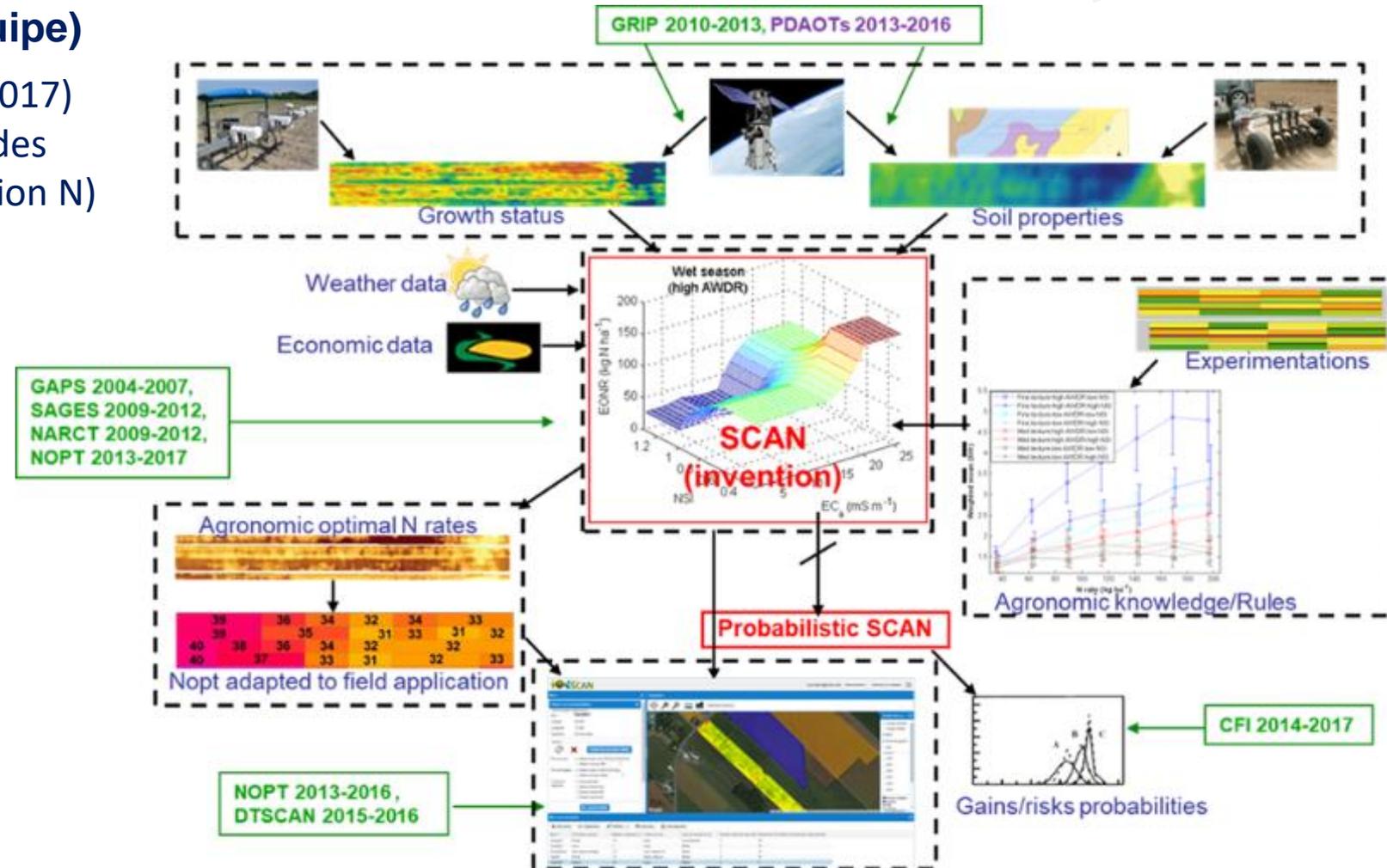
Fuzzy Logic Approach for Spatially Variable Nitrogen Fertilization of Corn Based on Soil, Crop and Precipitation Information

Yacine Bouroubi^{1,*}, Nicolas Tremblay¹, Philippe Vigneault¹, Carl Bélec¹, Bernard Panneton¹, and Serge Guillaume²

Response to Nitrogen is Influenced by Texture and Weather

Tremblay,* Yacine M. Bouroubi, Carl Bélec, Robert William Mullen, L. Kitchen, Wade E. Thomason, Steve Ebelhar, David B. Mengel, R. Raun, Dennis D. Francis, Earl D. Vories, and Ivan Ortiz-Monasterio

Facile de « faire parler » ces données ...



Le virage numérique

Recherches – Notre expérience avec XLKey

<https://xlkey.ca/>

- Aide à l'adoption de l'agriculture de précision
- Exploitation/valorisation des données des producteurs
- Cartes de rendement, EC, texture, pH, MO
- Développement de connaissances agronomiques
- Développement de solutions adaptées à la ferme/parcelle
- **Projet MSc de Valérie Duchesne, Akram Chibani, ...**



Diagnostic à partir des données des producteurs (XLKey)

Projet XLKey - MSc de Valérie Duchesne

Objectifs

Aide au diagnostic en agriculture de précision en utilisant les cartes de rendement (maïs, soya) provenant des producteurs agricoles de la région de Chaudière-Appalaches → lien entre les rendements et les propriétés des parcelles (texture, MOS, MNT, etc.).

Plus spécifiquement :

- Trouver des relations entre le rendement et ces propriétés à l'aide d'un modèle de ML
- Comprendre la variation (intra-parcelle et inter-parcelles) du rendement
- Diagnostiquer les faibles rendements

Par conséquent :

- Valoriser les données des producteurs → chaîne de valorisation « acquisition, prétraitement, analyse, connaissance-décision » à l'échelle de la parcelle

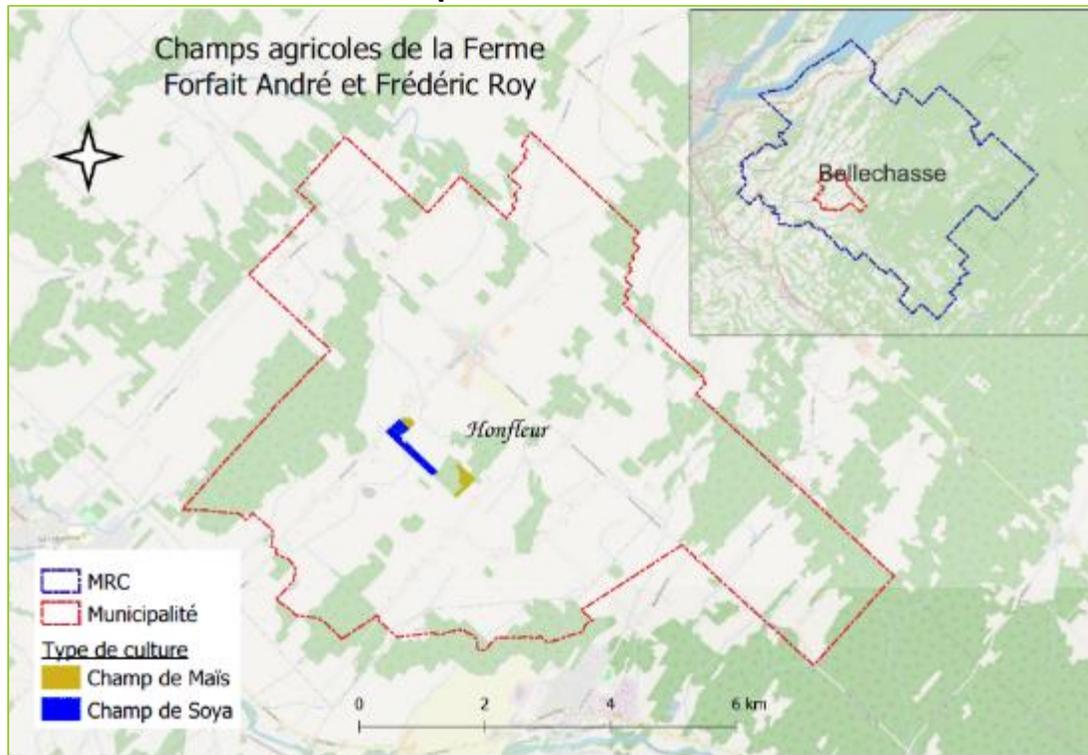
Diagnostic à partir des données des producteurs (XLKey)

Projet XLKey - MSc de Valérie Duchesne

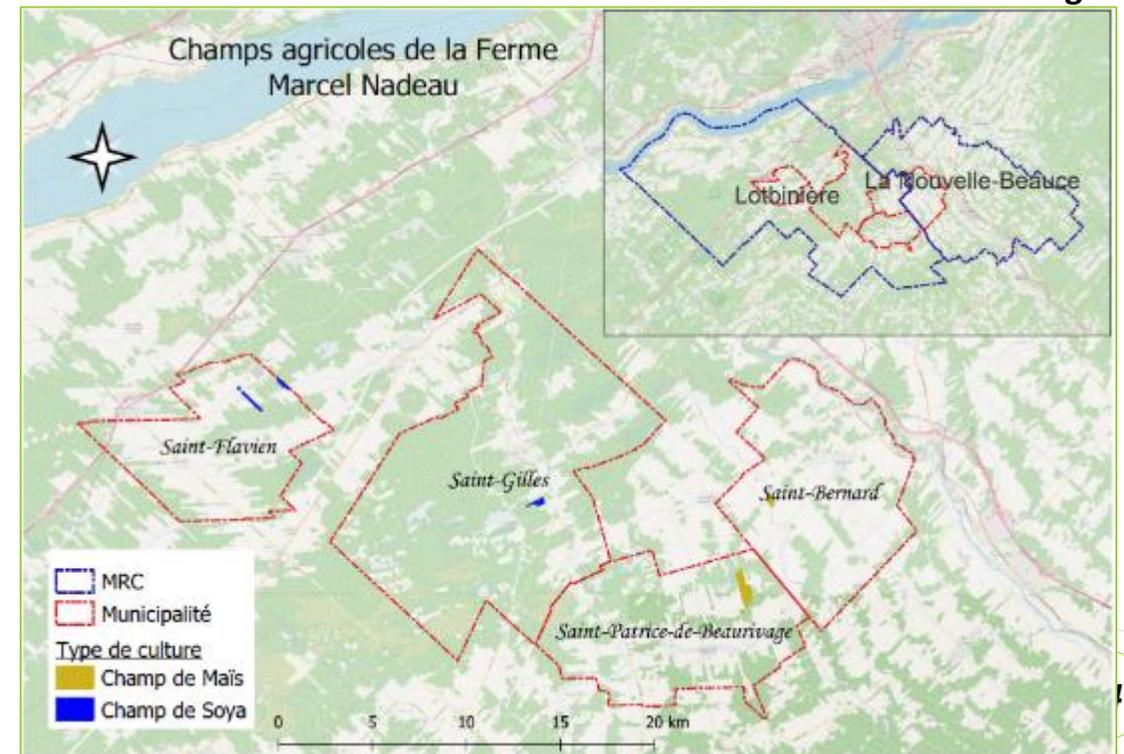
Sites d'études

- Région de Chaudière-Appalaches : 3 exploitations agricoles; 5 + 9 + 26 parcelles de maïs/soya
- Texture de sol variant de très fine à très grossière; topographie variable

5 parcelles à Honfleur



9 parcelles à St-Flavien, St-Gilles, St-Bernard et St-Patrice-de-Beaurivage



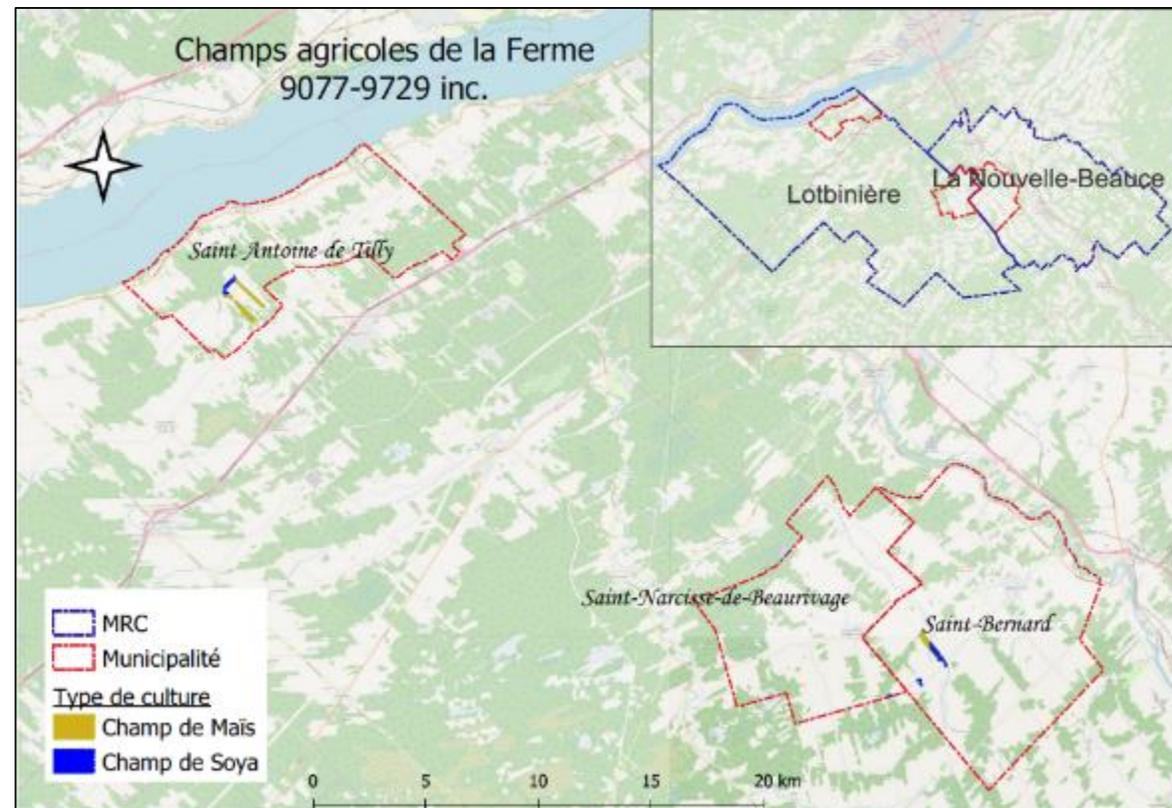
Diagnostic à partir des données des producteurs (XLKey)

Projet XLKey - MSc de Valérie Duchesne

Sites d'études

- Région de Chaudière-Appalaches : 3 exploitations agricoles; 5 + 9 + 26 parcelles de maïs/soya
- Texture de sol variant de très fine à très grossière; topographie variable

**26 parcelles à St-Bernard,
St-Narcisse de Beaurivage
et St-Antoine de Tilly**



Diagnostic à partir des données des producteurs (XLKey)

Projet XLKey - MSc de Valérie Duchesne

Données utilisées

- Veris MSP3 (données ponctuelles) : conductivité électrique (EC), pH et réflectances (PIR et R) du sol → la matière organique (OM) et la texture sont dérivés de ces données
- MNT LiDAR du MRNF → topographie TPI (accumulation d'eau)
- Rendement sec et humide (données ponctuelles) : moissonneuse-batteuse (années 2021 et 2022)



Prétraitements

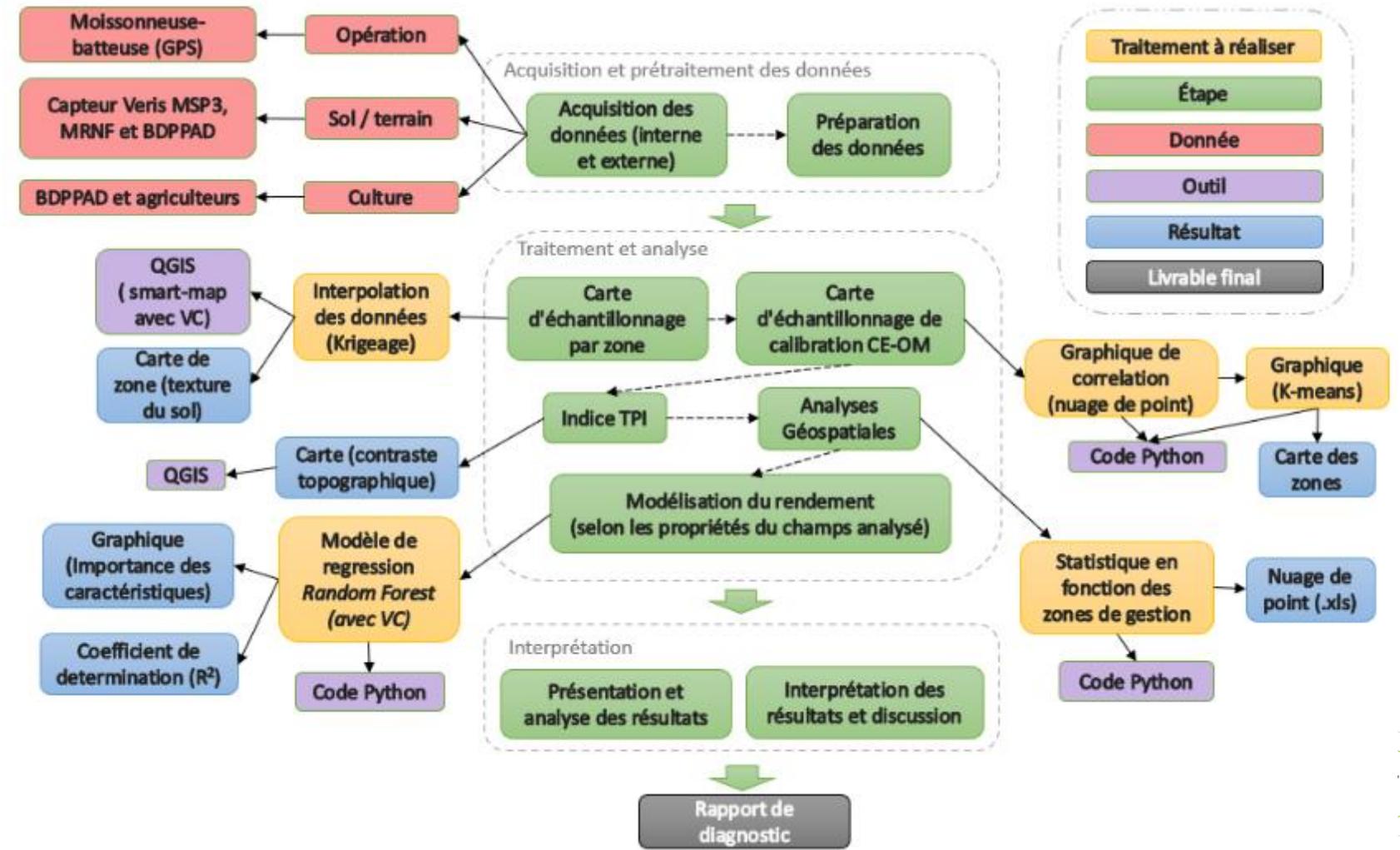
- Élimination des données aberrantes et des parcelles aux données incomplètes
- Interpolations (krigeage) : superposition des couches de données rasters
- Calibration des données : conversion donnée-propriété



Diagnostic à partir des données des producteurs (XLKey)

Projet XLKey - MSc de Valérie Duchesne

Méthodologie générale



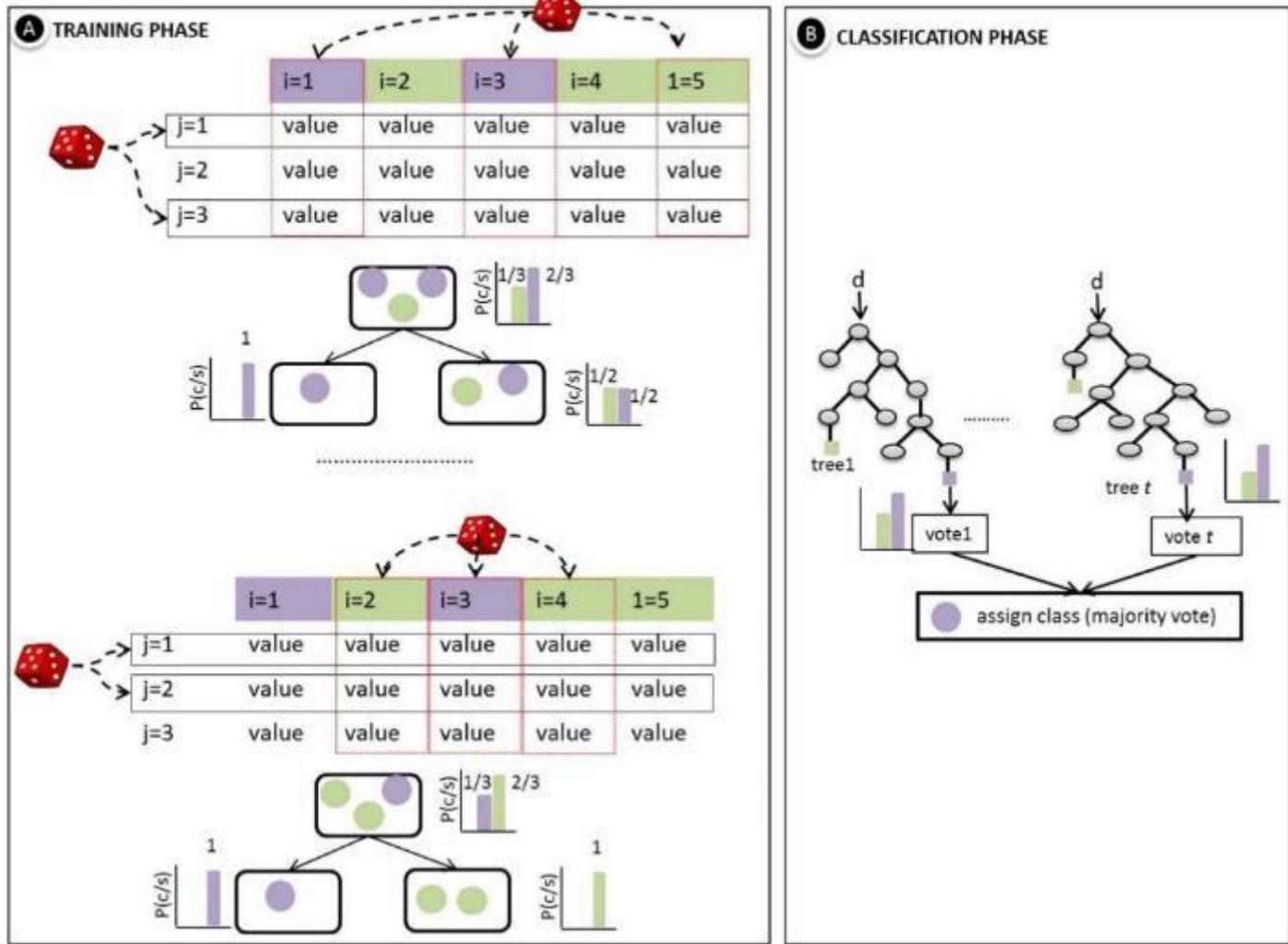
Diagnostic à partir des données des producteurs (XLKey)

Projet XLKey - MSc de Valérie Duchesne

Recherche de relations pour le diagnostic

- **Analyses géospatiales** : corrélations, zones de gestion par clustering → non concluent (contrairement aux attentes)
- **Modélisation du rendement**
 Modèle d'apprentissage automatique « *Random Forest* » : gère bien les données hétérogènes, tolère les données manquantes

Étapes de modélisation *Random Forest*



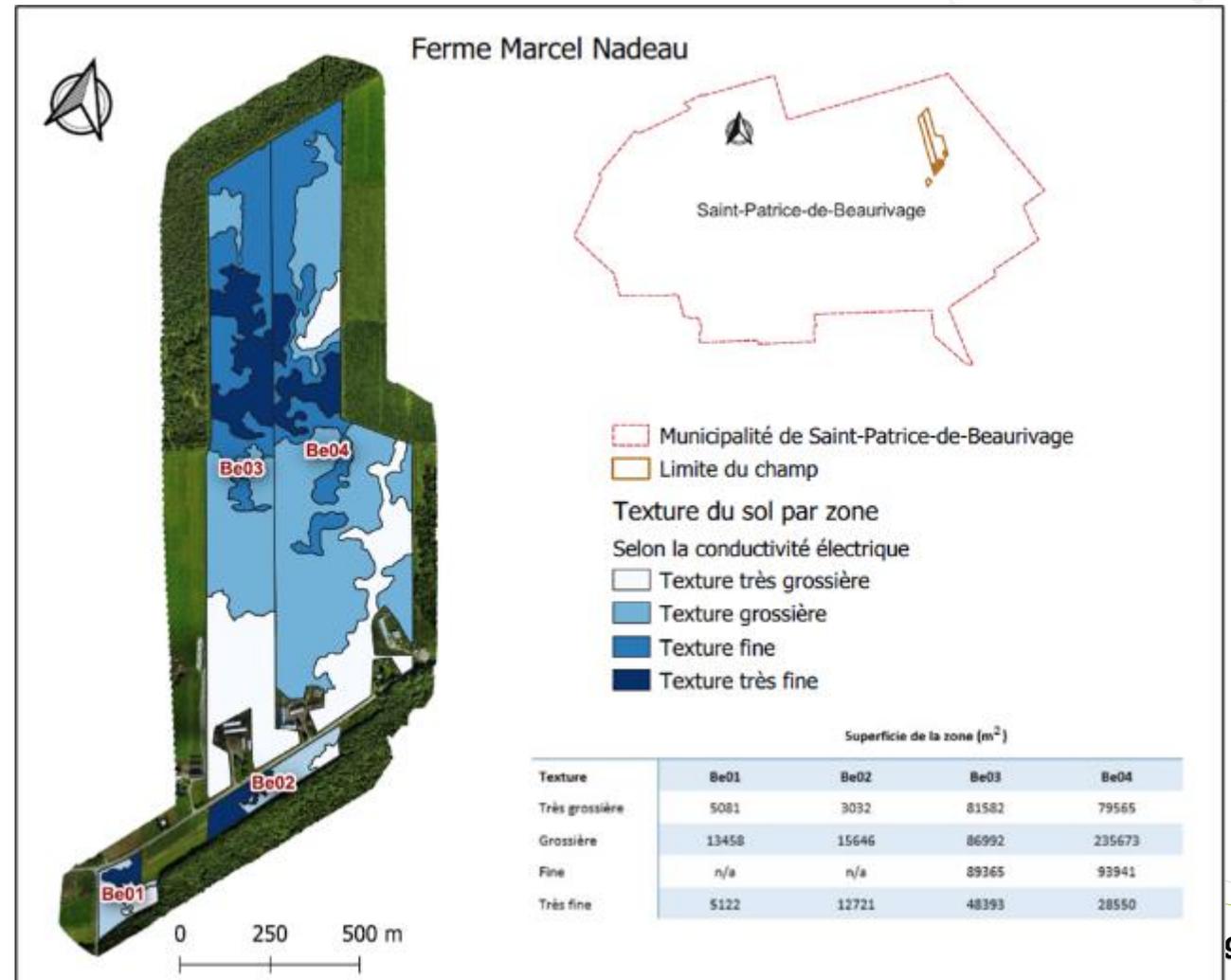
Diagnostic à partir des données des producteurs (XLKey)

Projet XLKey - MSc de Valérie Duchesne

Résultats

Production des variables explicatives

- Calibration CE-texture : classes de CE et analyse de texture
- Calibration réflectance-MO : fait par Veris

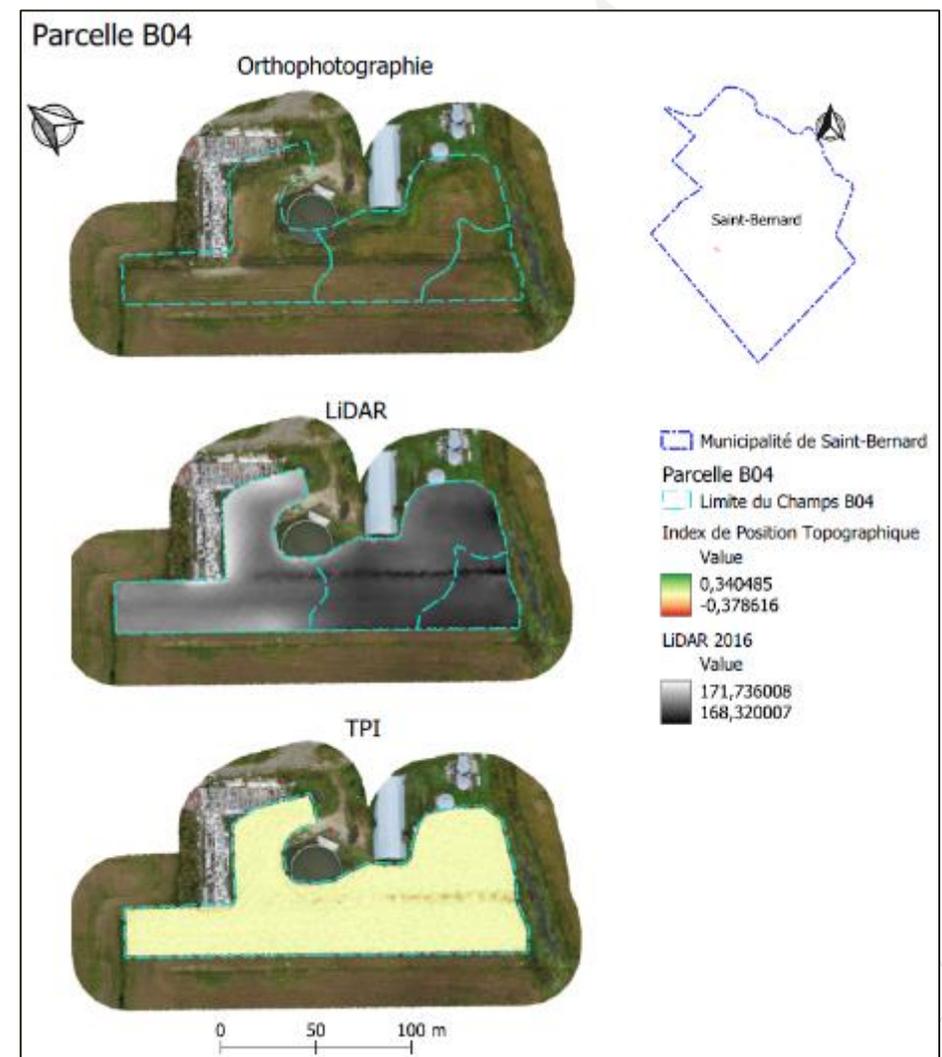
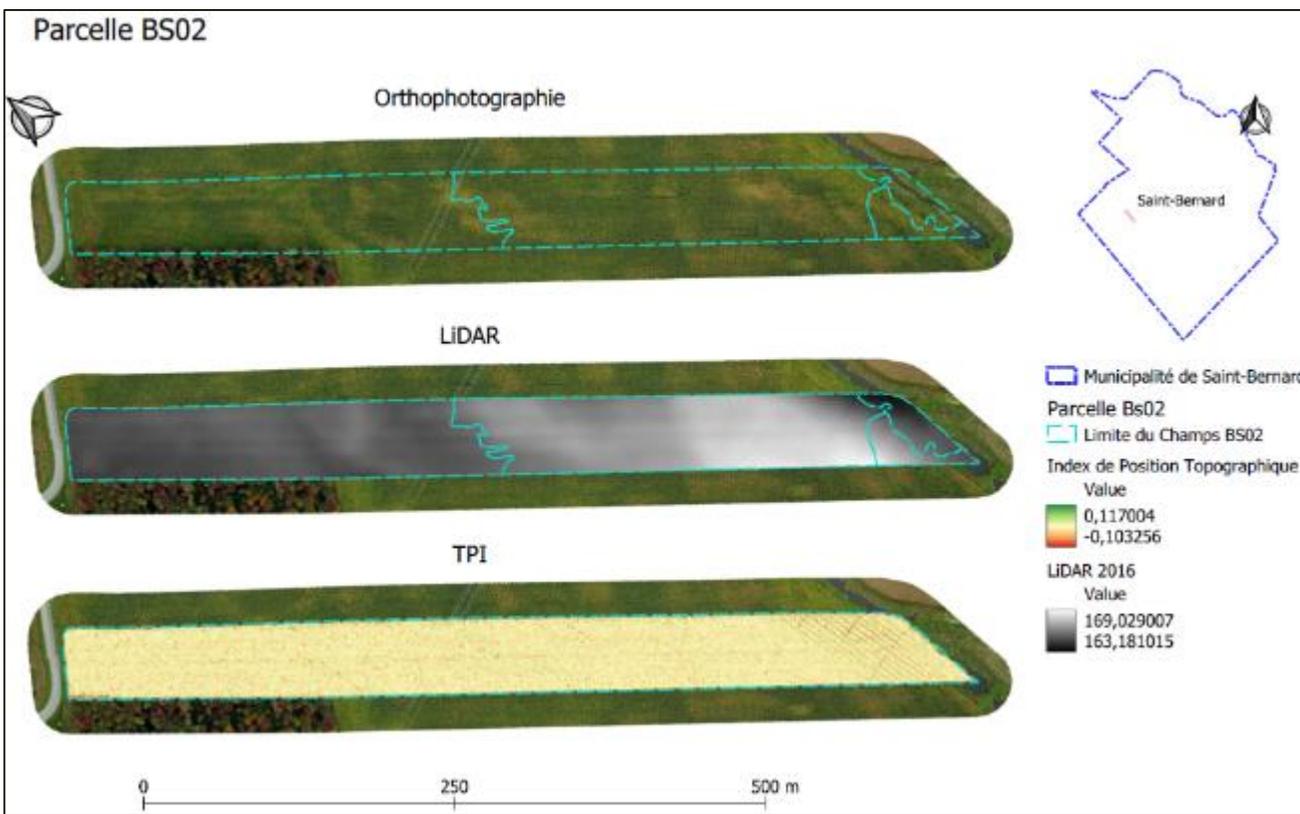


Diagnostic à partir des données des producteurs (XLKey)

Projet XLKey - MSc de Valérie Duchesne

Résultats

Production des variables explicatives - TPI

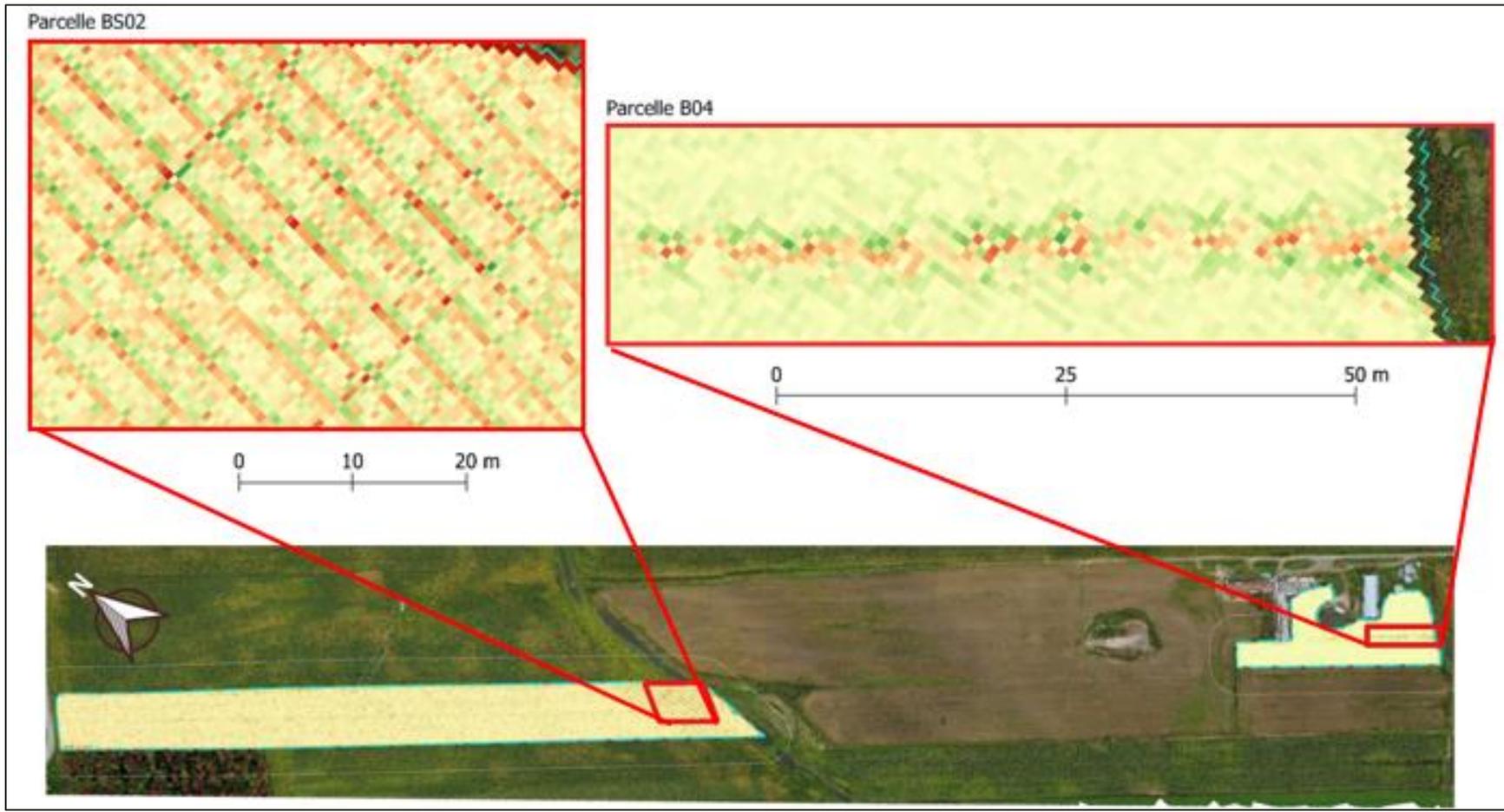


Diagnostic à partir des données des producteurs (XLKey)

Projet XLKey - MSc de Valérie Duchesne

Résultats

TPI (zoom)



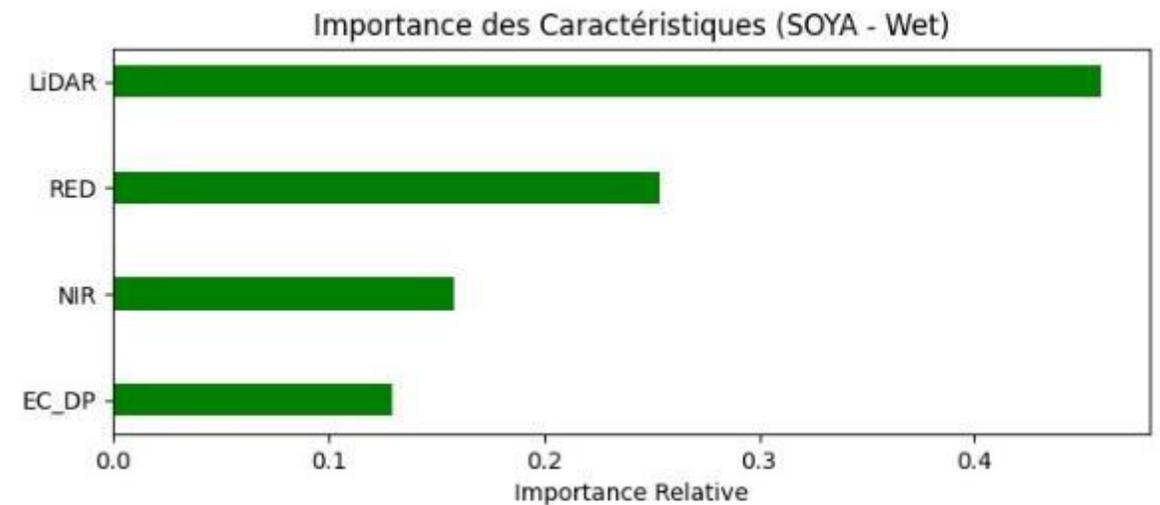
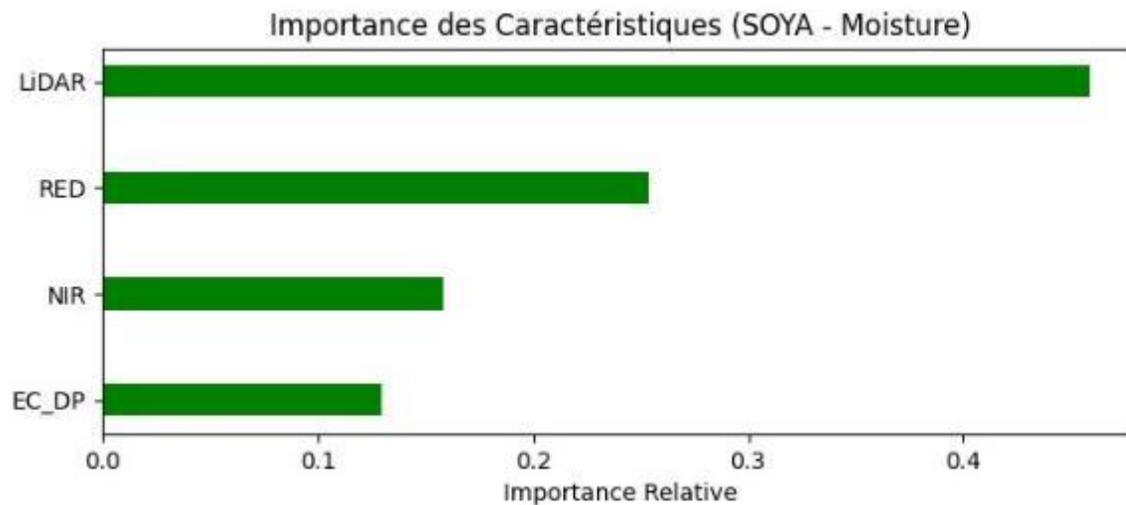
Diagnostic à partir des données des producteurs (XLKey)

Projet XLKey - MSc de Valérie Duchesne

Résultats

Modélisation du rendement → moyen de diagnostic

- Importance des variables explicatives
- Corrélation élevée entre MH et MS



Diagnostic à partir des données des producteurs (XLKey)

Projet XLKey - MSc de Valérie Duchesne

Résultats

Modélisation du rendement → moyen de diagnostic

- Coefficients de détermination (élevé?) et caractéristique pertinente

Résultats modélisation <i>Random Forest</i>					
	Type	Nom de la Parcelle	R ² MS	R ² MH	Caractéristique incidente
Forfait André et Frédéric Roy	Soya	01	-	0,25	Veris_RED
		02	-	0,37	Veris_RED
	Maïs	05	0,54	0,54	LiDAR
		FR01	0,63	0,63	Veris_EC_DP
		FR02	-	0,59	Veris NIR
Ferme Marcel Nadeau	Soya	AGA01	0,15	0,23	Veris_EC_DP
		LAB01	0,71	0,72	LiDAR
		LAB02	0,50	0,45	LiDAR
	Maïs	GIL01	0,59	0,52	Veris EC DP
		MEU01	0,15	0,17	LiDAR



Maïs	B01	0,42	0,30	Veris_EC_DP
	BS01	0,71	0,60	LiDAR
	BS02	0,67	0,74	LiDAR
	BS03	0,61	0,49	LiDAR
Maïs	A05	0,49	0,49	LiDAR
	A06	0,41	0,46	LiDAR
	A07	0,23	0,27	LiDAR
	A01	0,35	0,19	LiDAR
	A09	0,69	0,47	LiDAR
	A12	0,53	0,38	Veris_NIR
	A13	0,41	0,48	Veris_NIR
	A14	0,50	0,34	Veris_EC_DP
	A15	0,62	0,41	Veris_EC_DP
	N01	0,74	0,73	Veris RED
Soya	A02	0,58	0,44	Veris_RED
	A03-A04	0,48	0,53	Veris_RED
	B02	0,36	0,47	LiDAR
	B03	0,94	0,55	LiDAR
	B04	0,97	0,76	LiDAR
	B05	0,41	0,39	LiDAR
	B06	0,75	0,80	LiDAR
	B07	0,46	0,43	Veris_RED
	B08	0,62	0,60	Veris_RED
	B09	0,42	0,72	LiDAR
	BS04	0,50	0,75	LiDAR
	BS05	0,50	0,75	LiDAR

Ferme 9077-9729 Qc inc

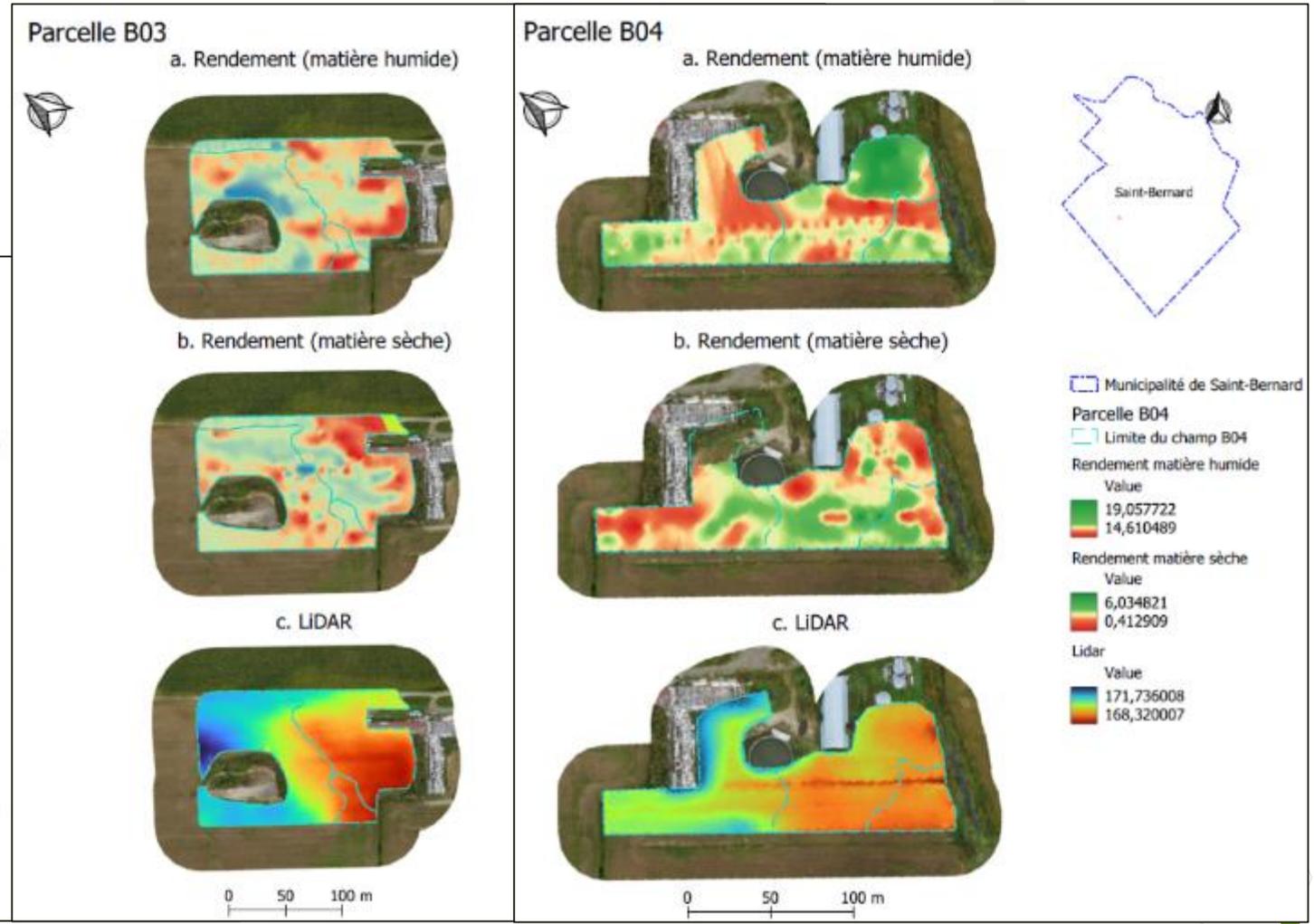
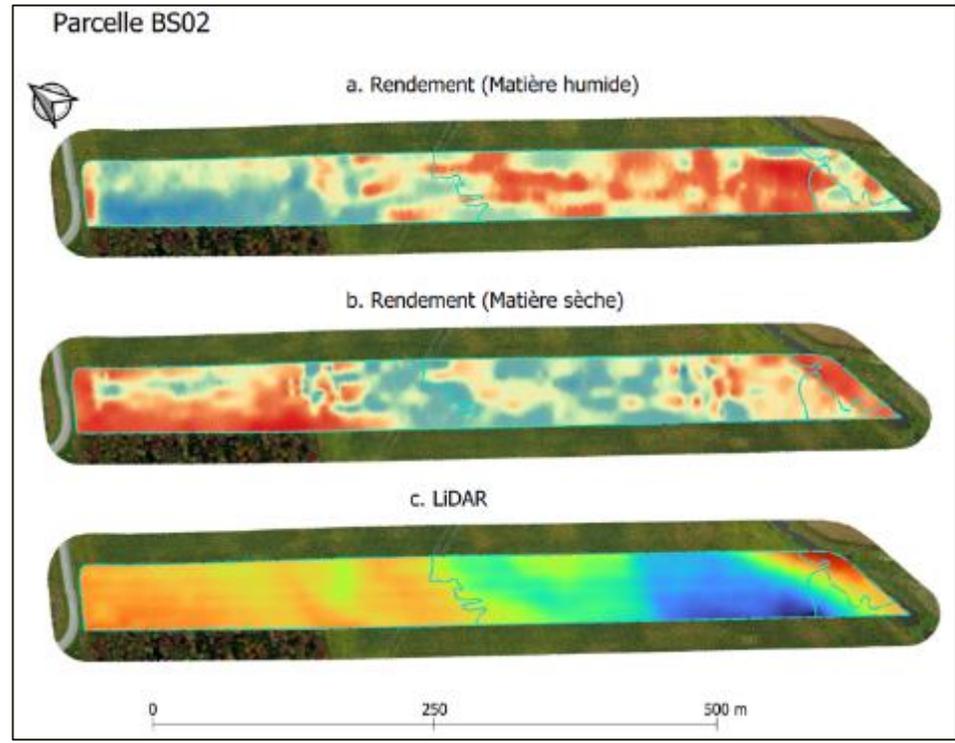
Diagnostic à partir des données des producteurs (XLKey)

Projet XLKey - MSc de Valérie Duchesne

Résultats

Modélisation du rendement → diagnostic

- Rendement expliqué par le MNT
 - Généralement faible dans les baissières



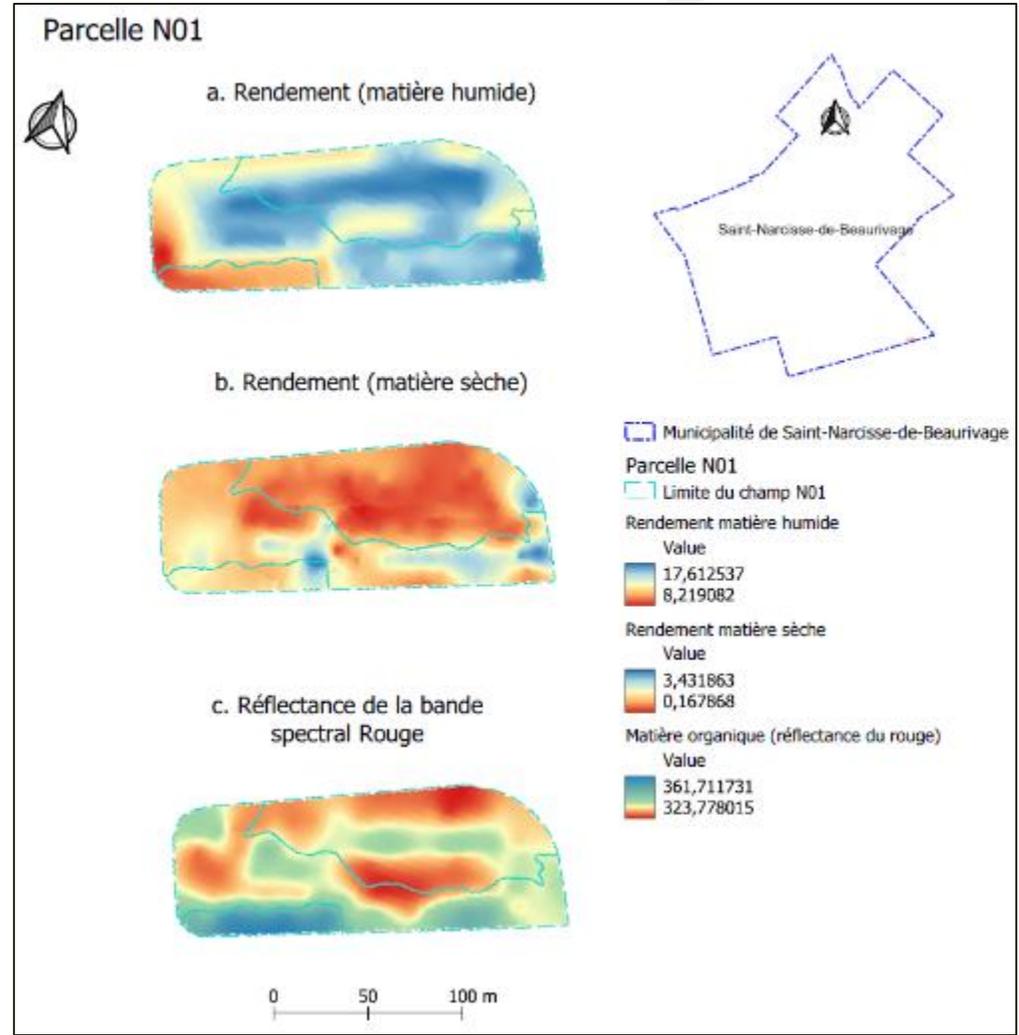
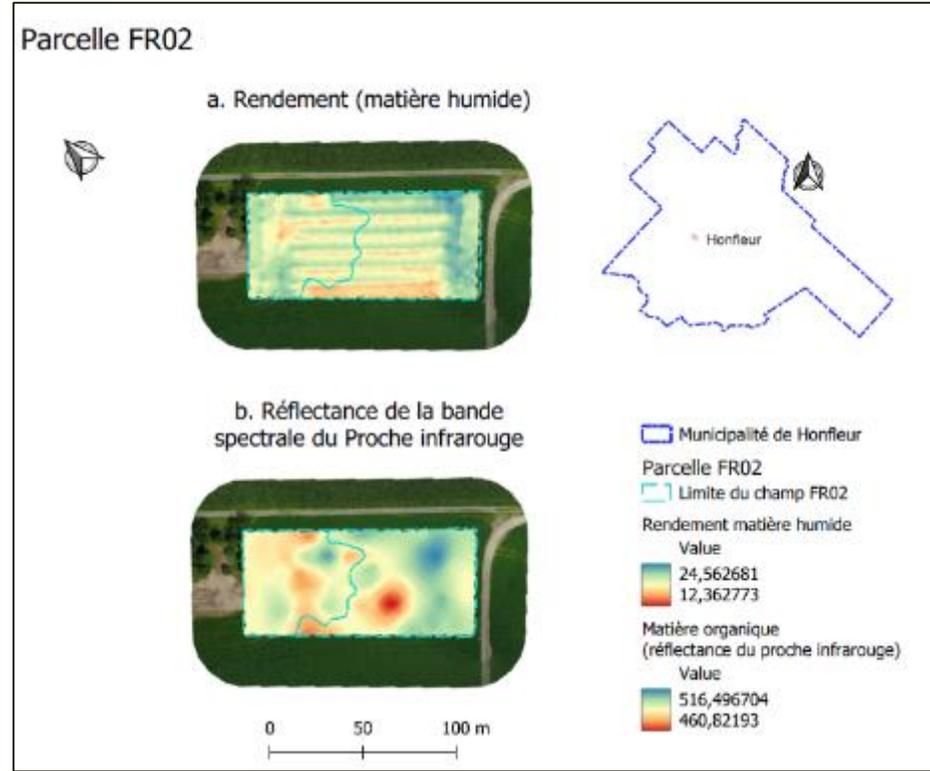
Diagnostic à partir des données des producteurs (XLKey)

Projet XLKey - MSc de Valérie Duchesne

Résultats

Modélisation du rendement → diagnostic

- Rendement expliqué par la MO
 - Faible pour MO faible (réflectance élevée), mais pas toujours



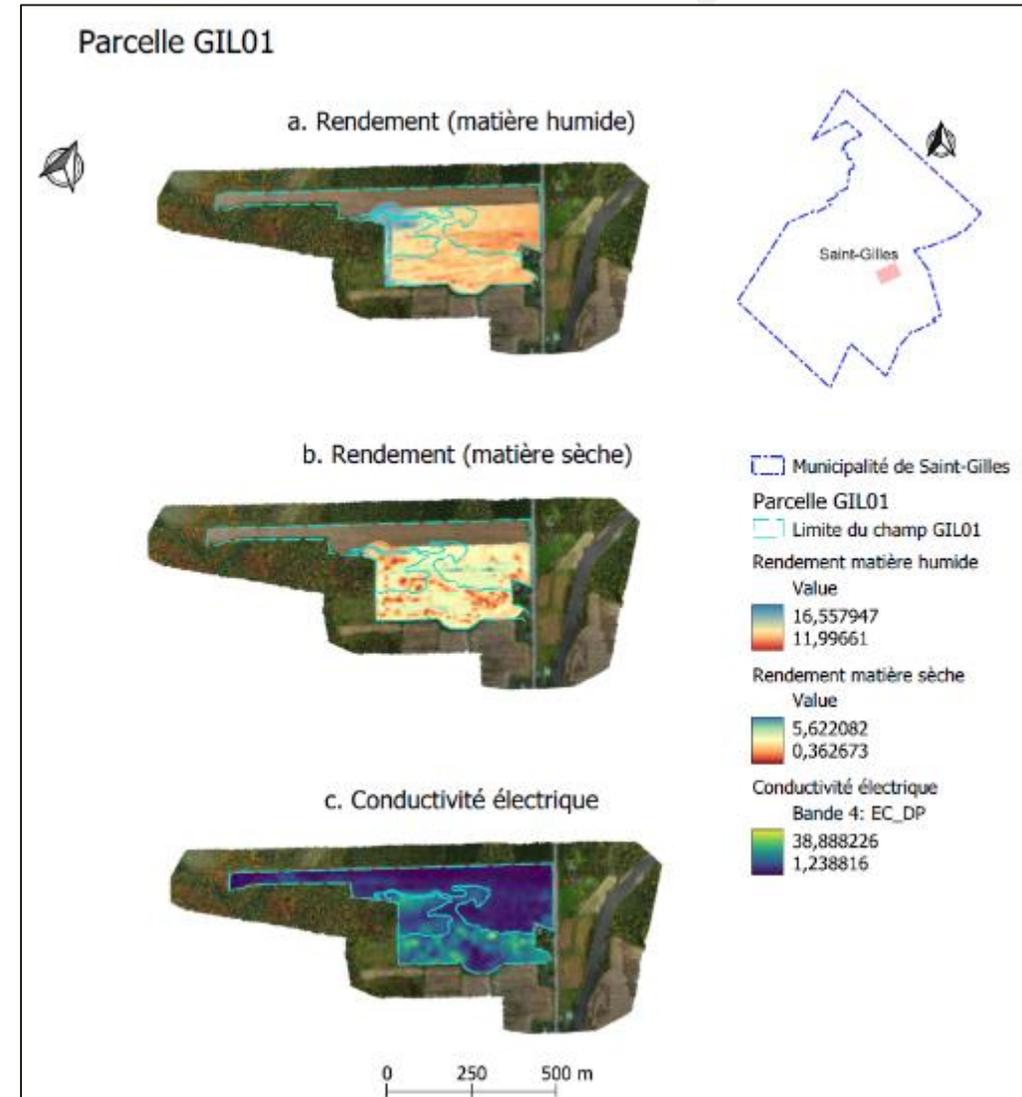
Diagnostic à partir des données des producteurs (XLKey)

Projet XLKey - MSc de Valérie Duchesne

Résultats

Modélisation du rendement → diagnostic

- Rendement expliqué par la CE
 - Faible pour CE élevé (humidité)



Diagnostic à partir des données des producteurs (XLKey)

Projet XLKey - MSc de Valérie Duchesne

Conclusion

Modélisation du rendement – Synthèse

- Les propriétés du sol (CE, MO) et du terrain (MNT) explique parfois la variabilité du rendement
- La relation n'est pas toujours évidente/stable

Faiblesses et perspectives

- Précision/fiabilité des données : acquises par plusieurs personnes
- Vérification des données aberrantes : bordures des parcelles
- Ne considère ni la météo (saison sèche vs humide, chaude vs fraîche, ...)
- Ne considère pas les pratiques de gestion (rotations, travail de sol, ...)
- Il faut une BD beaucoup plus élevée, normalisée, mieux structurée et analysée de manière automatique

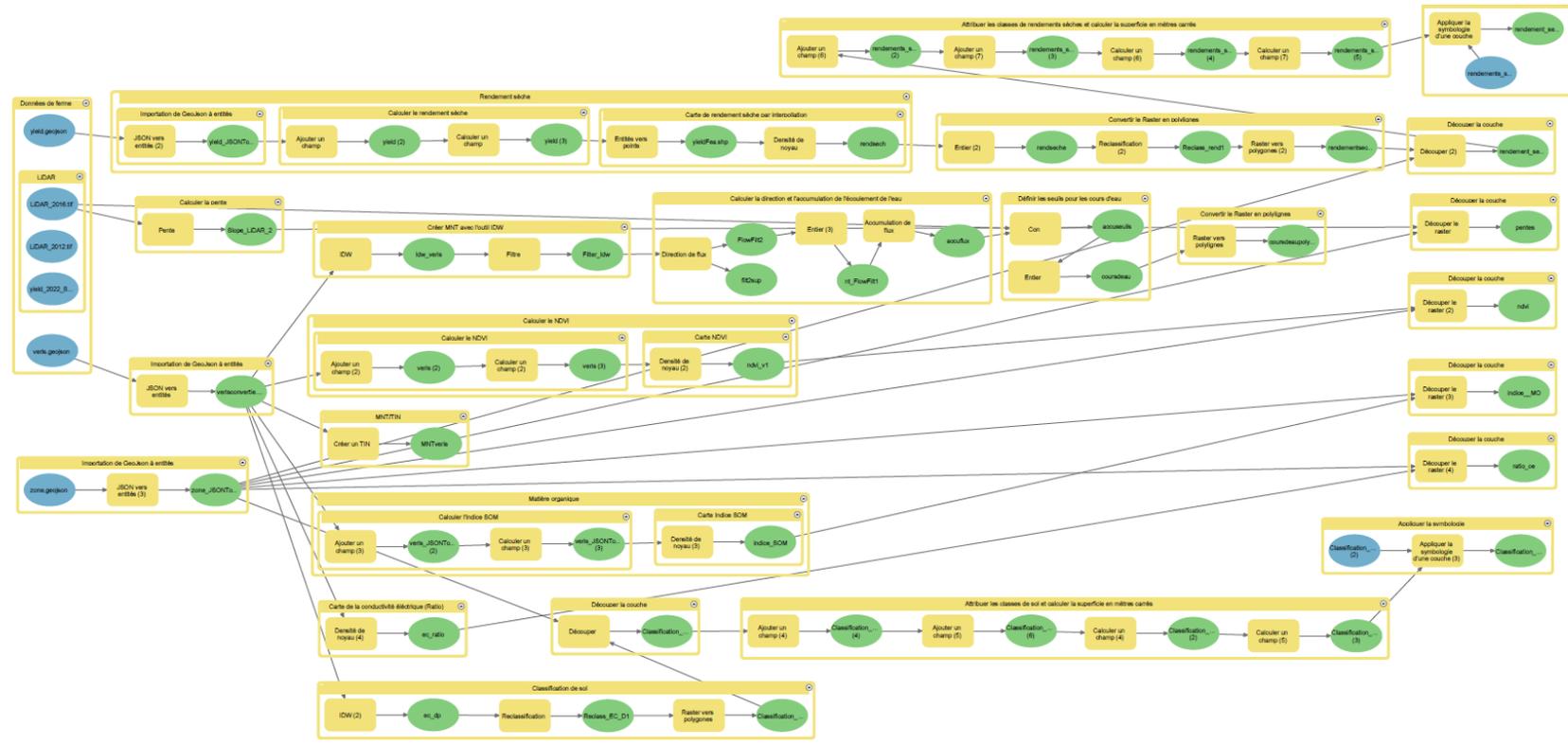
Diagnostic à partir des données des producteurs (XLKey)

Projet XLKey - MSc d'Akram Chibani (travaux subséquents)

Application des jumeaux numériques (JN) en agriculture de précision dans une perspective d'agriculture 5.0

- Modèle conceptuel de JN : détection - surveillance - gestion de BD hétérogènes (statiques et 'temps-réel')
- SIG; infrastructure de données spatiales; processus ETL; gestion de BD SQL/NoSQL → automatisation et *dashboard*

Implémentation de la chaîne de traitement automatisée (*model builder*)



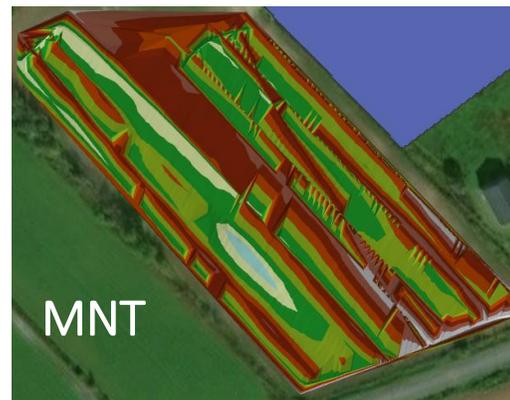
Diagnostic à partir des données des producteurs (XLKey)

Projet XLKey - MSc d'Akram Chibani (travaux subséquents)

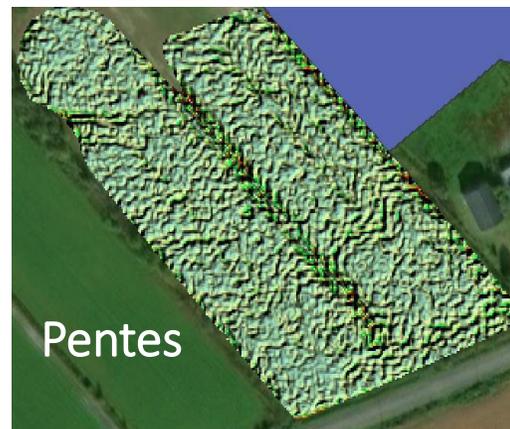
Application des jumeaux numériques en agriculture de précision dans une perspective d'agriculture 5.0

- Modèle conceptuel de jumeaux numériques → automatisation et *dashbord*

Inputs



Pré-traitements



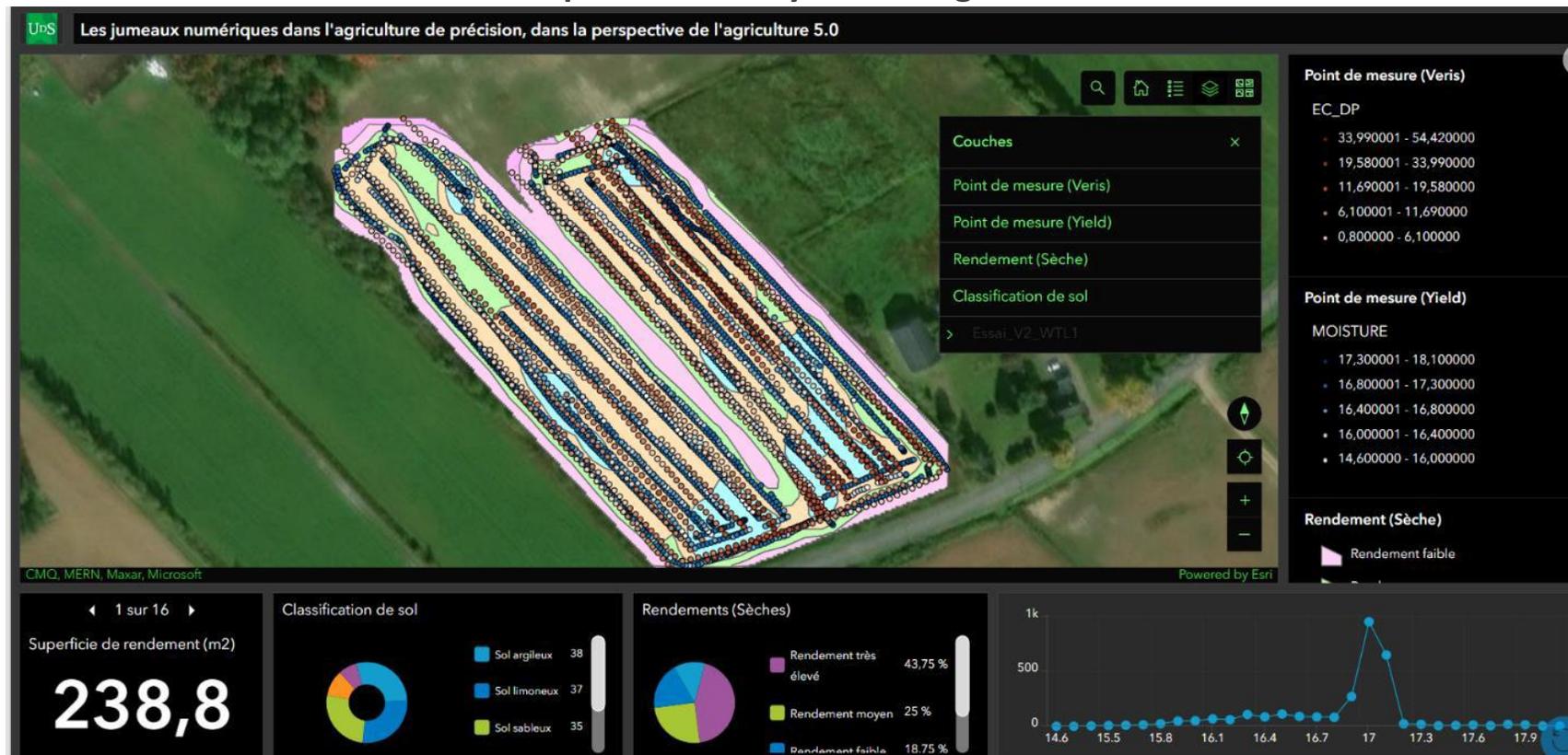
Diagnostic à partir des données des producteurs (XLKey)

Projet XLKey - MSc d'Akram Chibani (travaux subséquents)

Application des jumeaux numériques en agriculture de précision dans une perspective d'agriculture 5.0

- Modèle conceptuel de jumeaux numériques → automatisation et *dashboard*

Requêtes → analyse → diagnostic



Questions?

Merci de votre
attention



Yacine Bouroubi 

+1 819-821-8000 #62522 

Yacine.Bouroubi@usherbrooke.ca.com 

<https://www.usherbrooke.ca/geomatique/> 