

Contribution de la géomatique et de l'IA à l'agriculture numérique : exemples de projets à l'UdeS

CRAAQ – Espace IA

28 mars 2024

Yacine Bouroubi

Professeur au Département de Géomatique Appliquée, Université de Sherbrooke

En collaboration avec Dre Madelaine Chagnon

Chercheure associée au Centre de recherche en sciences animales de
Deschambault (CRSAD)

Contenu

Le virage numérique de l'agriculture : contribution de la géomatique et de l'IA

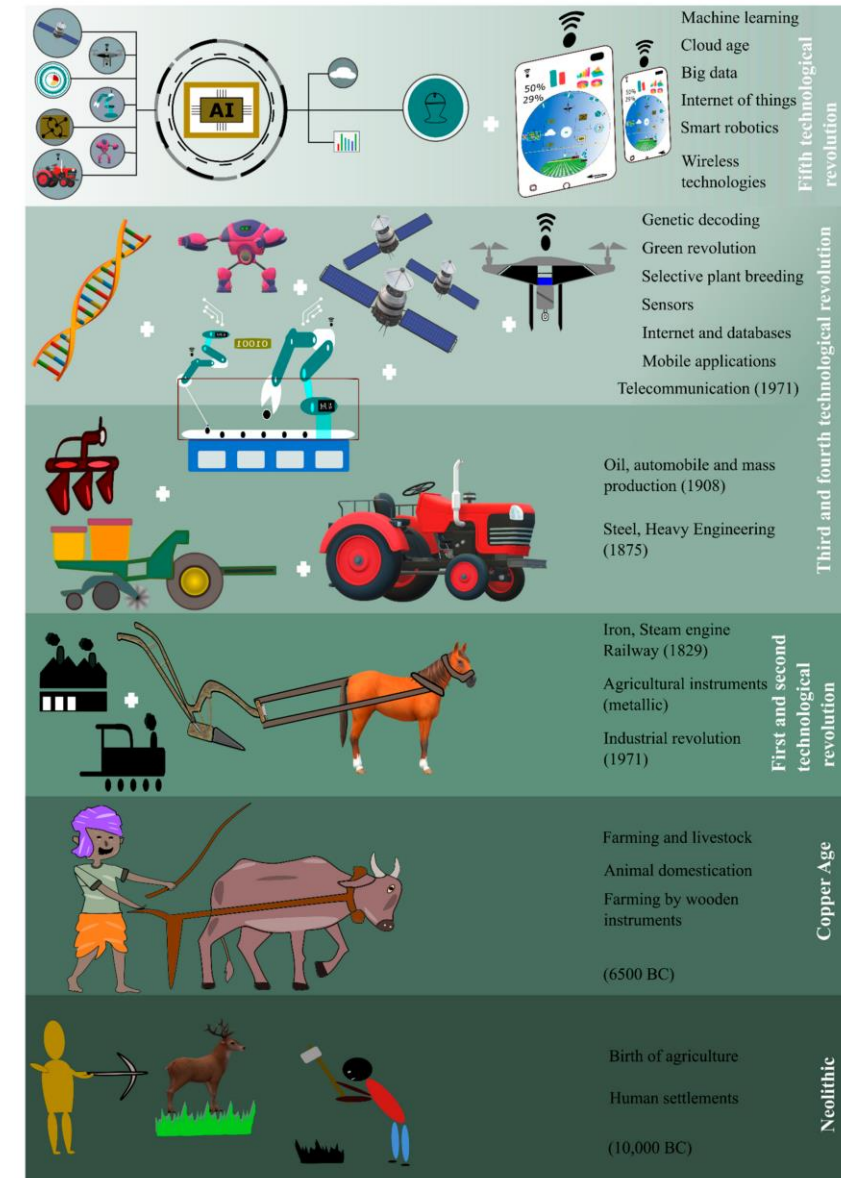
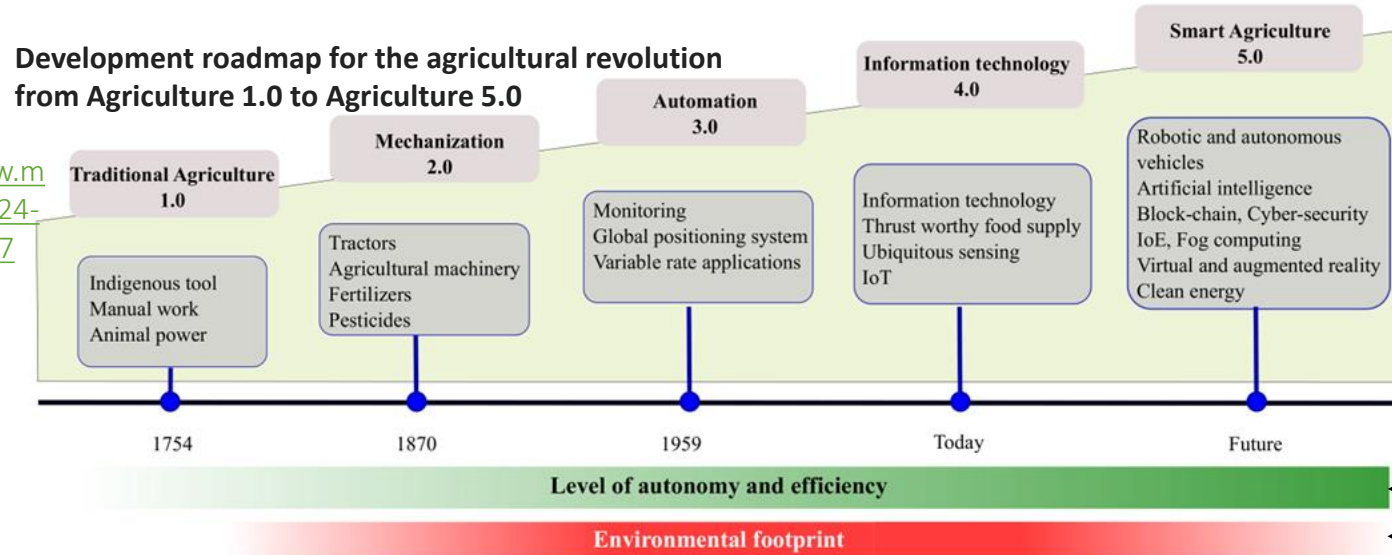
- Les technologies – géomatique et IA
- Les tendances en recherche
- Exemples de projets YB et coll.
- Défis pour l'avenir

Perspective d'un géomaticien

Le virage numérique

- Virages précédents ...
 - Mécanisation, automatisation, TI
 - Génie génétique, produits synthétiques
 - Méthodes quantitatives, essais en labo et sur parcelles exp., modélisation
 - Agriculture de précision → capteurs, GPS, imagerie, contrôleurs
- Plus récemment - Industrie 4.0 – Ère numérique
 - Capteurs embarqués fiables, Big data
 - Robotisation, drones, abondance des satellites
 - Expériences au champ « On farm experiments »
- L'ère numérique - Industrie 5.0

<https://www.mdpi.com/2624-8921/4/3/47>



<https://www.mdpi.com/2076-3417/11/13/5911>

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**
 - données géospatiales + algorithmes puissants + moyens de communication efficaces
 - services mieux adaptés à chaque parcelle
 - renforcer l'adoption → atteindre les objectifs → produire des retombées significatives



Le virage numérique Technologies

Géomatique

- Télédétection
 - Imagerie satellitaire: abondance, couverture, gratuité (Sentile-2), revisite quotidienne (Planet), très haute résolution (WV-3 et Neo)
 - Drones faciles à utiliser et données interprétables
 - Proximale : caméras sur machinerie ou véhicules léger autonomes
- Plateformes numériques géospatiales
 - Cartes faciles d'accès
 - Nouvelles plateformes faciles à réaliser (open-source)
 - *Quasi* temps-réel → **jumeaux numériques**, connectivité

WorldView-3 30 cm



Pleiades Neo 30 cm



Planet 3 m



DJI Agram T10, 30, 40 ...



Le virage numérique

Recherches

Dans la littérature (production végétale)

- Recherche MDPI d'articles de revue avec le mot clé « digital agriculture » (2018-2023)
 - → > 80 articles dont ~20 pertinents

• Comme concept général

Application of Smart Techniques, Internet of Things and Data Mining for Resource Use Efficient and Sustainable Crop Production

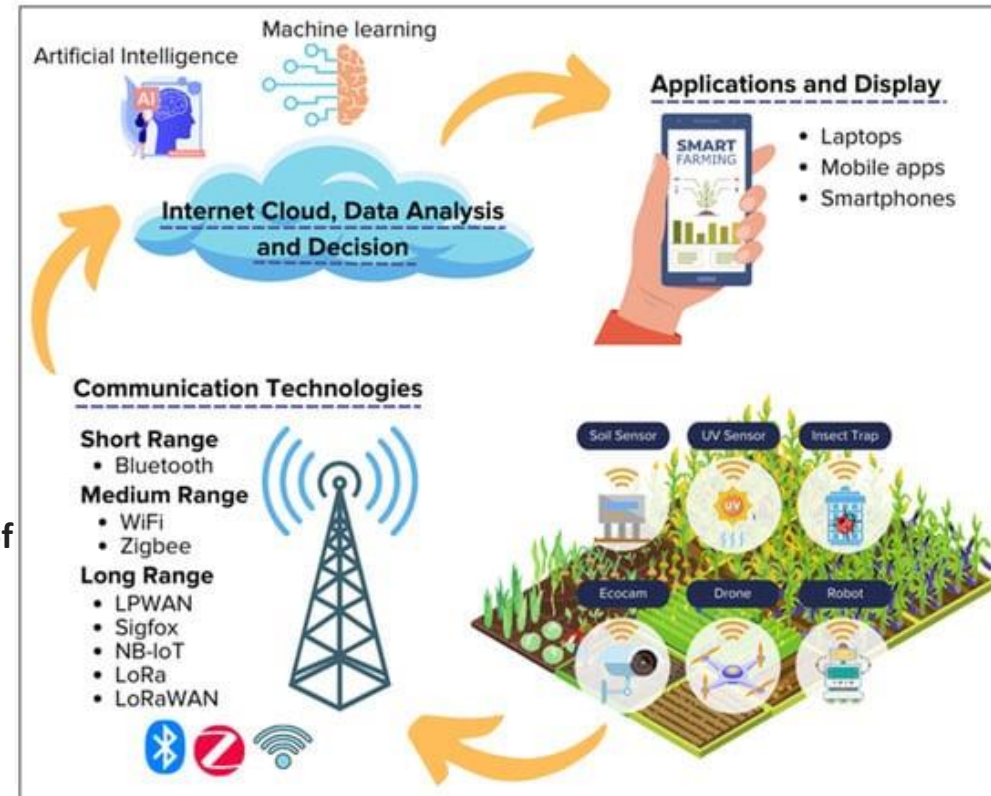
by Awais Ali ¹, Tajamul Hussain ², Noramon Tantashutikun ³, Nurda Hussain ² and Giacomo Cocetta ^{1,*}

<https://www.mdpi.com/2077-0472/13/2/397>

Besoin d'agriculture intelligente :

- Changements climatiques et leurs effets
- Rentabilité et durabilité
 - Gestion intelligente des ...
 - intrants (fertilisants, pesticides)
 - autres interventions

Architecture of smart farming components: Monitoring to end use applications



Le virage numérique

Recherches - Dans la littérature

- Articles de revue sur « digital agriculture » - Concepts

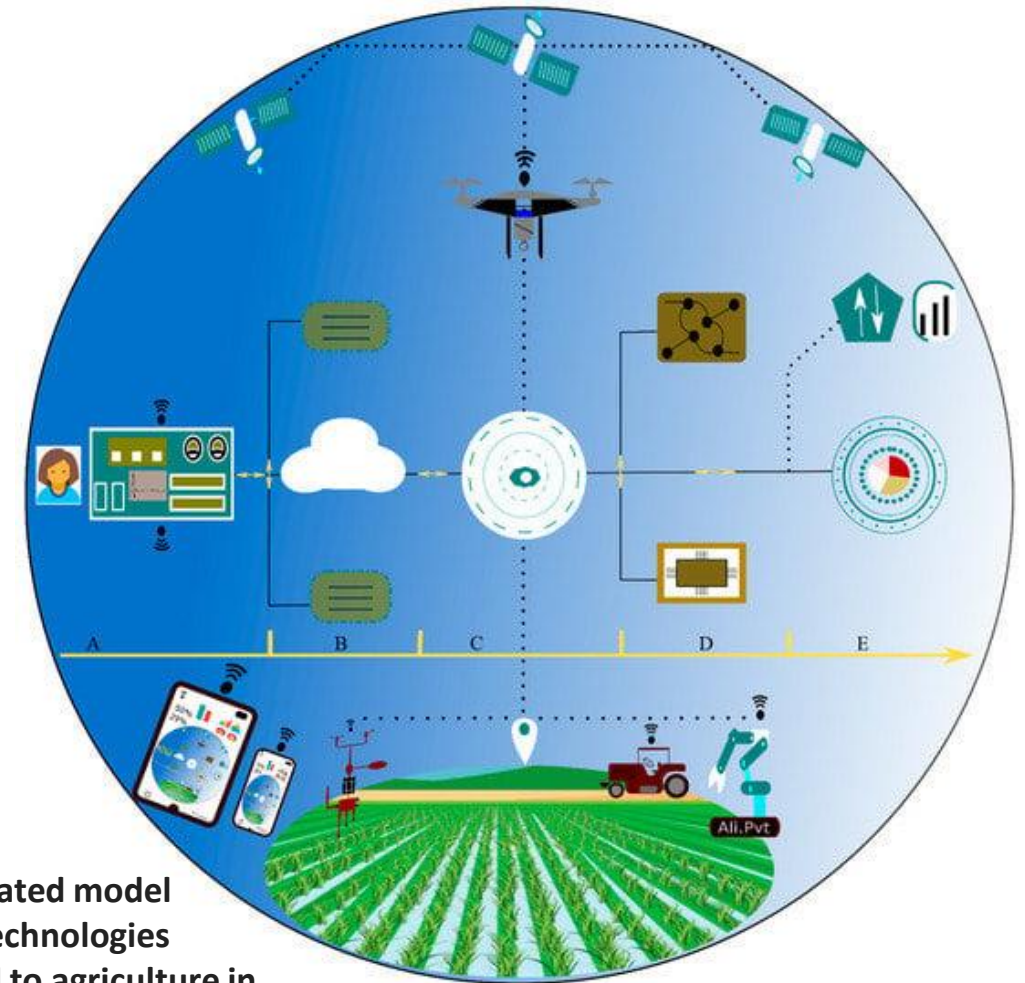
Ensuring Agricultural Sustainability through Remote Sensing in the Era of Agriculture 5.0

by Vanesa Martos 1,* , Ali Ahmad 1 ,
Pedro Cartujo 2 and Javier Ordoñez 3

<https://www.mdpi.com/2076-3417/11/13/5911>

Télédétection, SIG, IA

- Capteurs : optiques, thermiques, radar, lidar
- Plateformes : embarquées, aériennes, spatiales
- Modèles IA
- Connectivité
- SAD sur le web



Anticipated model of RS technologies applied to agriculture in the 5th industrial revolution

Le virage numérique

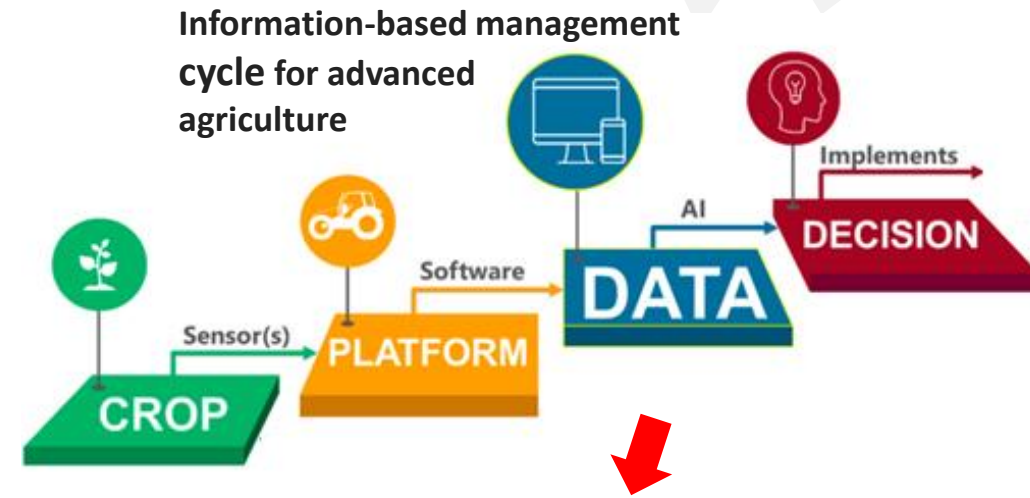
Recherches - Dans la littérature

- Articles de revue sur « digital agriculture » - **Concepts**

From Smart Farming towards Agriculture 5.0: A Review on Crop Data Management

by Verónica Saiz-Rubio * and Francisco Rovira-Más

- Data-Driven Agriculture: Agriculture 4.0
 - Internet of Things: Collecting Information
 - Big Data: Analysis of Massive Data
- Agriculture 5.0:
 - Robotics and Artificial Intelligence



Crop data management software applications and their features : 36

Software	Company	Headquarters	Relevant Features
ADAPT	AgGatekeeper	Washington DC, USA	Input/output translator to manage data among controllers, field equipment, and farm management information system (FMIS) in an adequate format. Open-source system offered at no cost for developers to adopt into their proprietary systems.
AGERmetrix	AGERpoint	Florida, USA	Crop data and analytics platform with mapping interface. Able to scan and collect high-resolution crop data through LIDAR and other collaborative techniques. Permits taking data on mobile devices.
AgHub	GISC	Texas, USA	Independent solution by a cooperative. Collect and securely stores data. Data can be shared with trusted advisors. Integrations from IBM's Weather Operations, Main Street Data Validator, and Market Vision.

Category	Subcategory
CROP	Precision and Smart Farming
	Social and economic impact
	Management zones
	Variable Rate Applications (VRA)
PLATFORM	Remote sensing (satellite and aircraft)
	Proximal sensing (ground vehicles)
DATA	Big data
	Internet of Things (IoT)
	Mapping
DECISION	Information Systems (GIS, FMIS)
	Artificial Intelligence (AI)
	Decision Support Systems (DSS)

Le virage numérique

Recherches - Dans la littérature

- Intelligence artificielle (méthodes - applications)

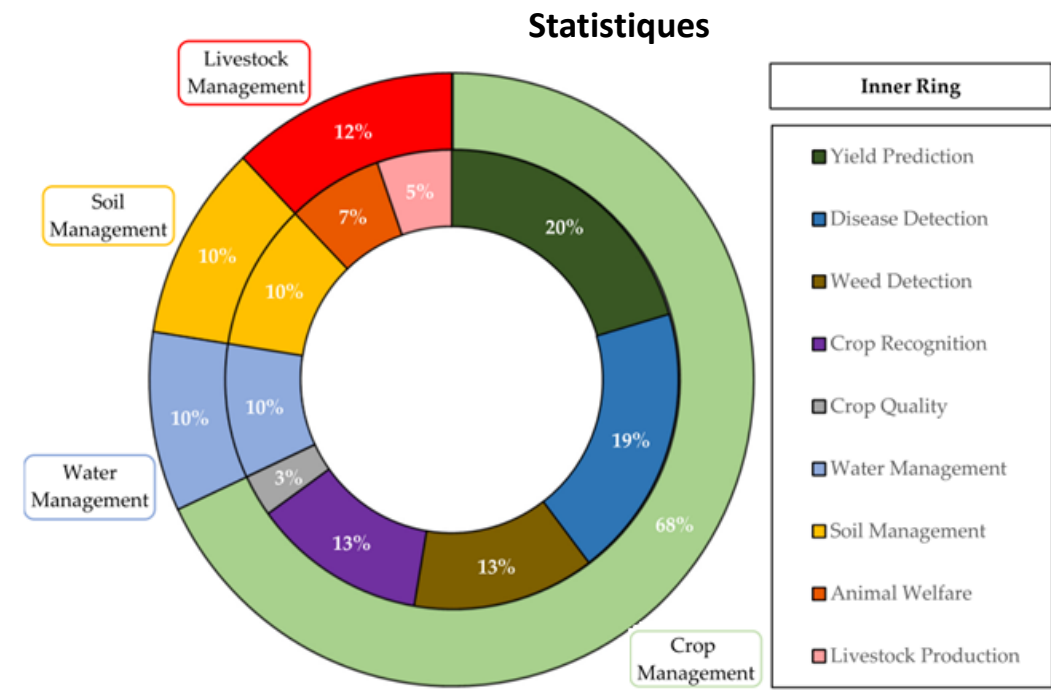
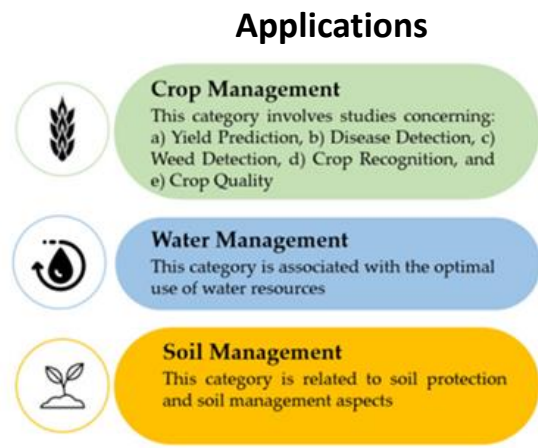
Machine Learning in Agriculture: A Comprehensive Updated Review

by Lefteris Benos¹, Aristotelis C. Tagarakis¹, Georgios Dolias¹, Remigio Berruto², Dimitrios Kateris¹ and Dionysis Bochtis^{1,3,*}

<https://www.mdpi.com/1424-8220/21/11/3758>

Applications

- Gestion des cultures
 - Prédiction des rendements
 - Détection des maladies
 - Détection des mauvaises herbes
 - Identification des types de cultures
 - Qualité
- Gestion de l'eau
- Gestion du sol
 - Cartographie
 - Préservation



Articles MDPI - mot clé « digital agriculture »

Le virage numérique

Recherches - Dans la littérature

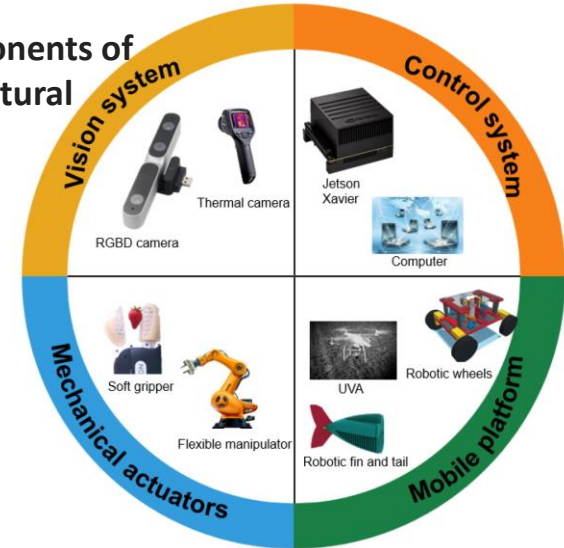
- Robotisation

Recent Advancements in Agriculture Robots: Benefits and Challenges

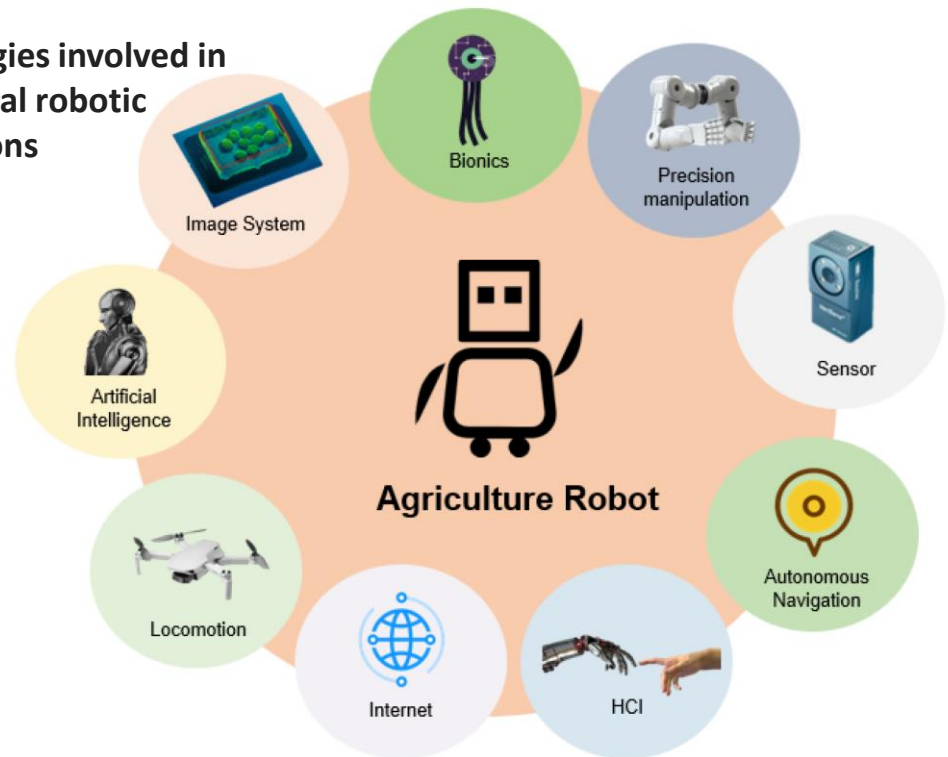
by Chao Cheng ^{1,2}, Jun Fu ^{1,2,*}, Hang Su ^{2,3} and Luquan Ren ^{1,2}

<https://www.mdpi.com/2075-1702/11/1/48>

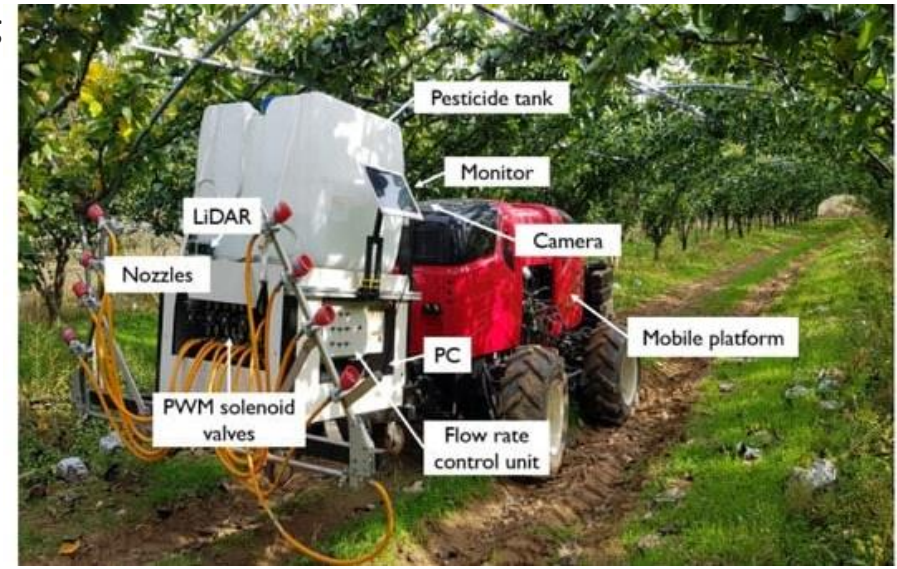
Components of agricultural robots



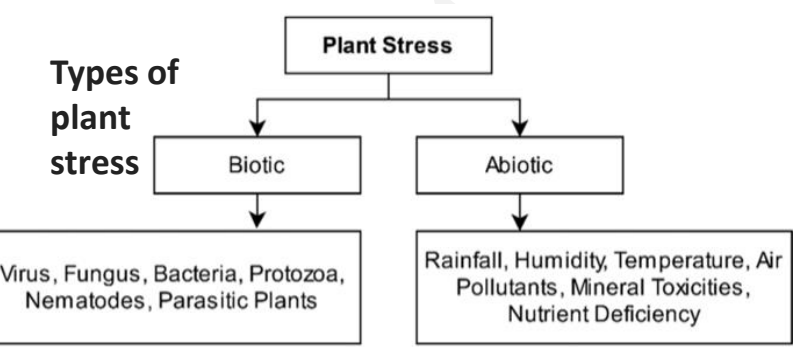
Technologies involved in agricultural robotic applications



Intelligent spraying system



Articles MDPI - mot clé « digital agriculture »



Le virage numérique

Recherches - Dans la littérature

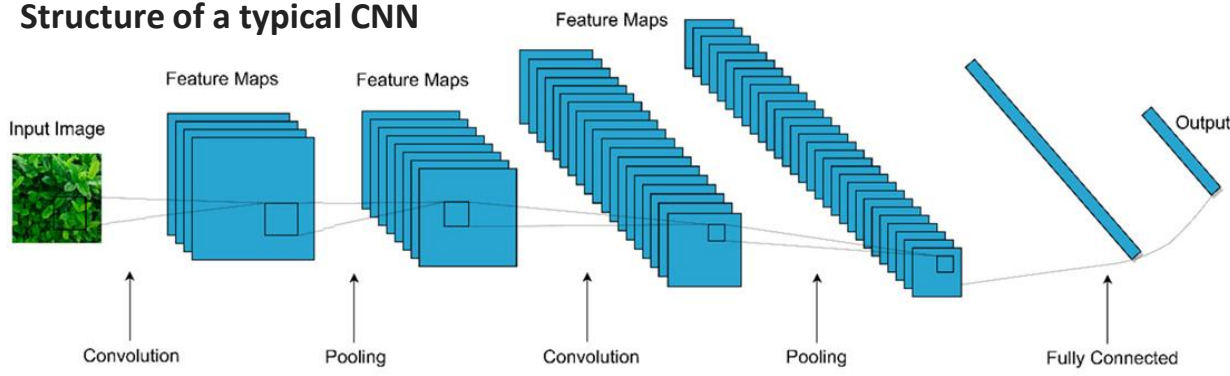
- Vision par ordinateur

A Survey of Deep Convolutional Neural Networks Applied for Prediction of Plant Leaf Diseases

by Vijaypal Singh Dhaka¹, Sangeeta Vaibhav Meena¹, Geeta Rani¹, Deepak Sinwar^{1,*}, Kavita², Muhammad Fazal Ijaz^{3,*} and Marcin Woźniak⁴

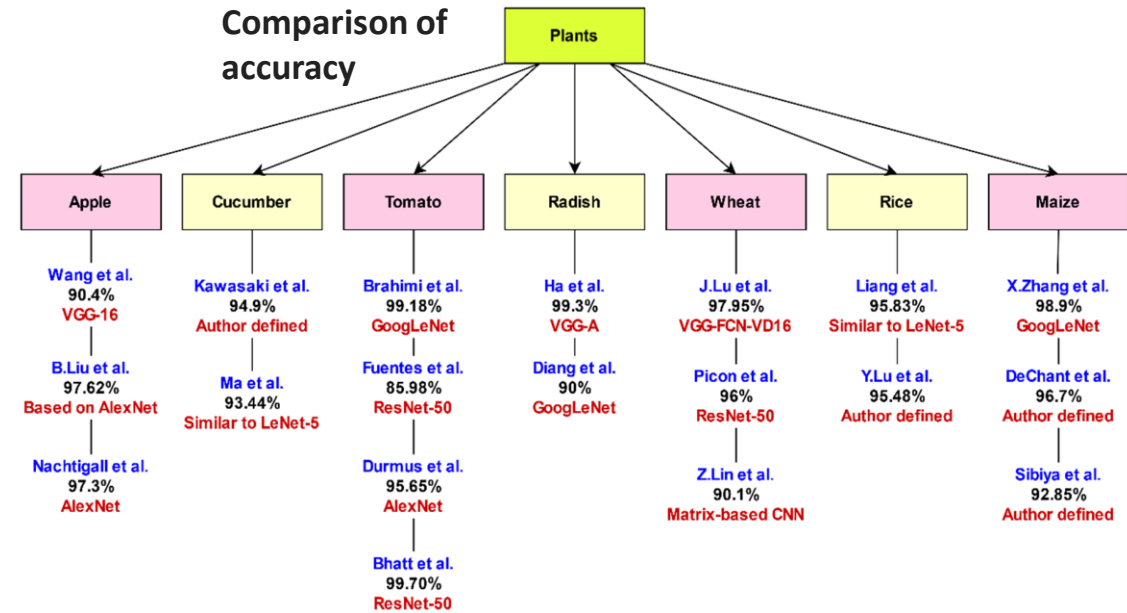
<https://www.mdpi.com/1424-8220/21/14/4749>

Structure of a typical CNN



LeNet-5, AlexNet, VGGNet, GoogLeNet, ResNet, ResNeXt, DenseNet, SqueezeNet, LeafNet, M-bCNN

Comparison of accuracy



Le virage numérique

Recherches - Dans la littérature

- Jumeaux numériques (*Digital Twins*)

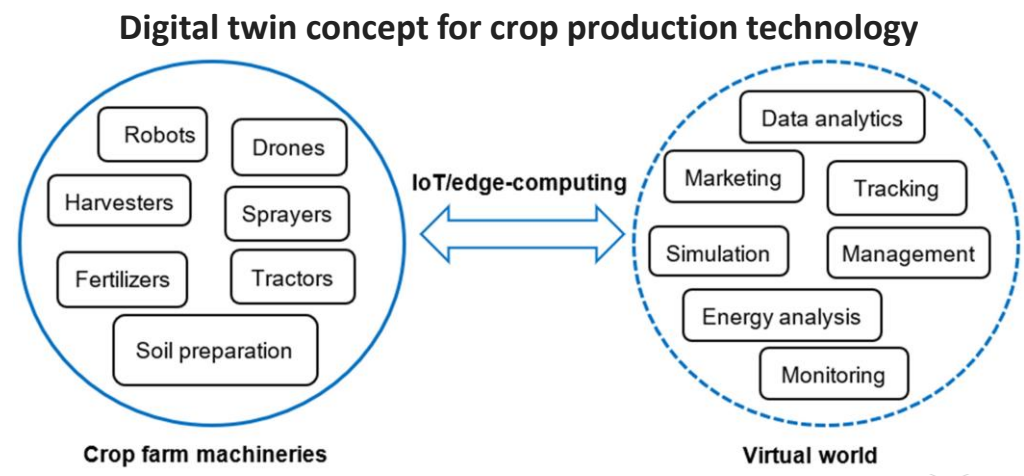
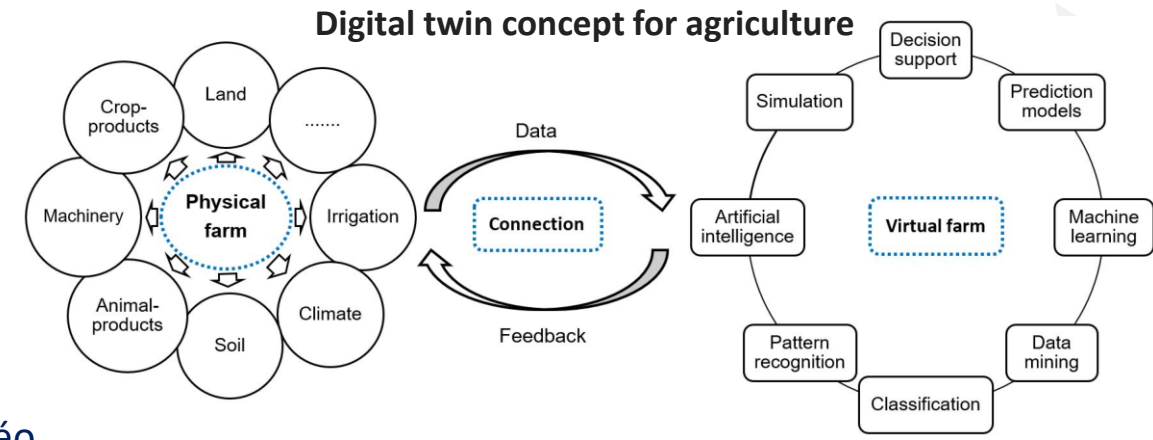
Toward the Next Generation of Digitalization in Agriculture Based on Digital Twin Paradigm

by Abozar Nasirahmadi * and Oliver Hensel

<https://www.mdpi.com/1424-8220/22/2/498>

Concept de *Digital Twin*

- Monitoring/analyse en temps-réel des fermes (sol, culture, météo, machinerie, gestion) pour l'aide à la décision intégrée dans le concept de jumeau numérique → améliorer les performances et la durabilité
- Grande quantité de données et des moyens d'échange d'information
- Technologies : télédétection, capteurs, plateformes web, IoT, edge-computing, AI, fusion, modélisation/simulation/prévision
- Hypothèse: le monde numérique permet voir et de prévoir plus facilement que dans le monde physique
- Défis: standards, transfert des données, stratégies de mise en œuvre





Title / Keyword

digital agriculture

Article Type

Review

Between

2018 - 2023

Articles MDPI - mot clé « digital agriculture »

Le virage numérique

Recherches - Dans la littérature

- Jumeaux numériques (*Digital Twins*)

Digital Twins and Industry 4.0 Technologies for Agricultural Greenhouses

by Naftali Slob and William Hurst *

<https://www.mdpi.com/2624-6511/5/3/59>

The Digital Twin Paradigm Applied to Soil Quality Assessment: A Systematic Literature Review

by Leticia Silva ^{1,2,3,4,†} , Francisco Rodriguez-Sedano ^{2,†} ,
 Paula Baptista ^{3,4,5,†} and João Paulo Coelho ^{1,3,4,*,†}

<https://www.mdpi.com/1424-8220/23/2/1007>

DT ...

- réplique numérique pilotée par des données d'un objet/environnement du monde réel
- comprend les variables d'états et le "comportement" de l'homologue réel
- présente un grand potentiel pour améliorer l'efficacité et la durabilité dans plusieurs domaines
- capable de surmonter les principales contraintes liées aux observations et aux interactions humaines
- technologie encore à ses débuts

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 de l'OFE pour le partage des ressources, par exemple :

- directives pour mettre en œuvre l'OFE avec les agriculteurs
- exemples d'expériences et des leçons apprises
- des solutions statistiques pour analyser les données de l'OFE
- des meilleures pratiques pour résoudre des problèmes spécifiques de 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

Projets Y. Bouroubi et coll.

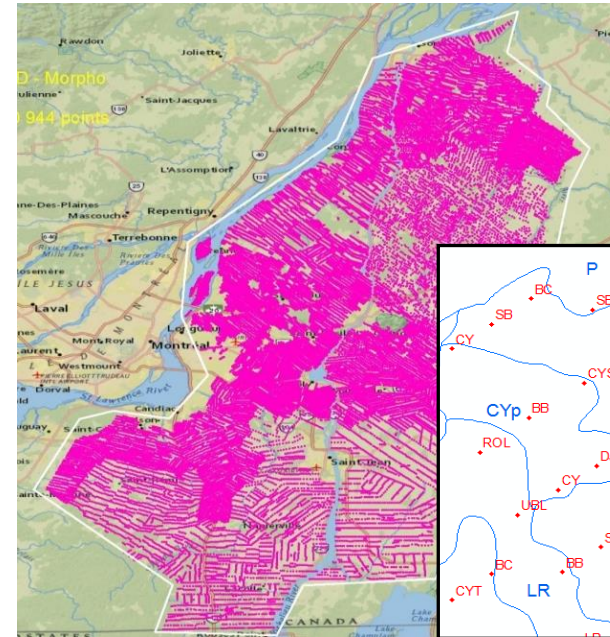


Le virage numérique

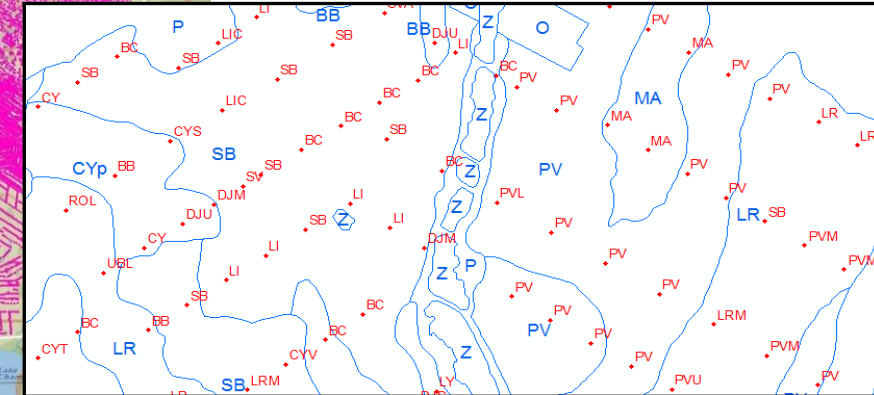
Projets YB

PDAOT Effigis ScanSol (2017-2018)

- Améliorer la précision (spatiale et thématique) de la carte des sols avec les mégadonnées d'OT
- > 60 000 points d'échantillonnage de sol disponibles
- Données d'OT ...



Carte de sol de l'IRDA au 1/20 000 et BD morphologique



Capteur	Images
Pléiades	6 images (3515 km ²): 2013-07-08, 2014-07-11, 2014-07-14, 2015-05-03, 2015-06-30, 2015-07-10
RADARSAT-2 (QuadPol, SLC)	2008-05-12 (FQ20), 2008-05-16 (FQ4), 2008-05-30 (FQ15), 2008-10-24 (FQ5), 2008-11-14 (FQ15), 2008-11-17 (FQ5), 2009-04-27 (FQ15), 2009-05-11 (FQ3), 2009-05-11 (FQ4), 2009-05-11 (FQ4), 2009-05-14 (FQ18), 2009-05-21 (FQ15), 2009-10-02 (FQ3), 2009-10-02 (FQ4), 2009-10-05 (FQ18), 2009-10-12 (FQ15), 2009-10-26 (FQ3), 2009-10-26 (FQ4), 2009-10-29 (FQ18), 2009-11-05 (FQ15), 2009-11-19 (FQ3), 2009-11-19 (FQ4), 2009-11-22 (FQ18), 2009-11-29 (FQ15), 2010-05-06 (FQ4), 2010-05-30 (FQ4), 2011-04-10 (FQ16), 2011-04-11 (FQ22), 2011-04-18 (FQ27), 2011-04-21 (FQ13), 2011-04-24 (FQ6), 2011-05-04 (FQ15), 2011-05-04 (FQ16), 2011-05-14 (FQ25), 2011-05-22 (FQ17), 2011-05-28 (FQ15), 2011-05-28 (FQ16), 2011-05-29 (FQ22), 2011-10-02 (FQ15), 2011-10-19 (FQ16), 2011-10-26 (FQ15), 2011-11-12 (FQ16), 2011-11-19 (FQ15), 2012-04-04 (FQ16), 2012-04-28 (FQ16), 2012-05-22 (FQ16), 2012-10-13 (FQ16), 2012-10-21 (FQ28), 2012-10-30 (FQ22), 2012-11-07 (FQ23), 2015-05-11 (FQ8), 2015-10-19 (FQ4), 2015-11-15 (FQ17), 2015-11-19 (FQ9), 2015-11-23 (FQ28), 2015-11-26 (FQ14), 2016-04-17 (FQ26)
7 images – seul un nombre acceptable par l'ASC seront demandées	
Sentinel-1 56 images	2015-04-12 (SM-HH/HV), 2016-04-06 (IW-VV/VH), 2016-06-09 (SM-HH/HV), 2016-06-12 (SM-HH/HV), 2016-06-14 (SM-HH/HV), 2016-06-28 (SM-VV/VH), 2016-06-29 (SM-VV/VH), 2016-07-03 (IW-VV/VH), 2016-07-06 (SM-HH/HV), 2016-07-15 (IW-VV/VH), 2016-07-18 (SM-VV/VH), 2016-07-22 (IW-VV/VH), 2016-07-30 (EW-HH/HV), 2016-08-03 (EW-HH/HV), 2016-08-04 (IW-VV/VH), 2016-08-08 (EW-VV/VH), 2016-08-11 (EW-VV/VH), 2016-08-15 (EW-VV/VH), 2016-08-16 (IW-VV/VH), 2016-08-23 (SM-HH/HV), 2016-08-25 (SM-VV/VH), 2016-08-27 (SM-VV/VH), 2016-08-28 (SM-HH/HV), 2016-09-09 (IW-VV/VH), 2016-09-27 (IW-VV/VH), 2016-10-03 (IW-VV/VH), 2016-10-15 (IW-VV/VH), 2016-10-27 (IW-VV/VH), 2016-11-08 (IW-VV/VH), 2017-04-01 (IW-VV/VH), 2017-04-13 (IW-VV/VH), 2017-04-25 (IW-VV/VH), 2017-05-07 (IW-VV/VH), 2017-05-11 (IW-VV/VH), 2017-05-19 (IW-VV/VH), 2017-05-31 (IW-VV/VH), 2017-06-12 (IW-VV/VH), 2017-06-22 (IW-VV/VH), 2017-06-23 (IW-VV/VH), 2017-06-24 (IW-VV/VH), 2017-06-30 (IW-VV/VH), 2017-07-16 (IW-VV/VH), 2017-07-18 (IW-VV/VH), 2017-07-30 (IW-VV/VH), 2017-08-10 (IW-VV/VH), 2017-08-11 (IW-VV/VH), 2017-08-23 (IW-VV/VH), 2017-09-03 (IW-VV/VH), 2017-09-15 (IW-VV/VH), 2017-09-16 (IW-VV/VH), 2017-09-27 (IW-VV/VH), 2017-09-28 (IW-VV/VH), 2017-10-09 (IW-VV/VH), 2017-10-10 (IW-VV/VH), 2017-10-21 (IW-VV/VH), 2017-10-22 (IW-VV/VH)
Sentinel-2 21 images	2016-04-21, 2016-06-18, 2016-06-20, 2016-07-02, 2016-07-20, 2016-07-27, 2016-08-20, 2016-08-24, 2016-09-07, 2016-09-26, 2016-10-17, 2016-10-19, 2017-05-16, 2017-07-05, 2017-07-20, 2017-07-30, 2017-08-11, 2017-08-11, 2017-08-26, 2017-09-20, 2017-09-23
Landsat-5 TM (depuis l'année 2000 seulement) 64 images	2000-04-10, 2000-04-26, 2001-04-29, 2001-07-02, 2001-07-18, 2001-08-03, 2001-08-19, 2001-11-23, 2002-06-19, 2002-07-21, 2002-09-07, 2002-10-25, 2003-05-05, 2003-06-06, 2003-07-24, 2003-09-10, 2003-09-26, 2003-10-12, 2004-05-07, 2004-06-24, 2004-07-26, 2004-09-12, 2004-11-15, 2005-05-10, 2005-06-27, 2005-07-29, 2005-10-01, 2006-04-27, 2006-05-29, 2006-07-16, 2006-08-17, 2006-11-21, 2007-07-03, 2007-08-04, 2007-08-20, 2007-09-05, 2007-09-21, 2008-04-16, 2008-05-02, 2008-05-18, 2008-06-03, 2008-07-05, 2008-08-22, 2008-09-23, 2009-04-19, 2009-05-21, 2009-09-10, 2009-09-26, 2009-10-12, 2009-11-13, 2010-05-08, 2010-05-24, 2010-07-11, 2010-07-27, 2010-08-12, 2010-08-28, 2010-11-16, 2011-04-09, 2011-04-25, 2011-05-11, 2011-06-12, 2011-07-14, 2011-07-30, 2011-10-02
Landsat-7 ETM 20 images	2000-05-04, 2000-05-20, 2000-06-05, 2000-09-09, 2000-09-25, 2001-04-05, 2001-05-07, 2001-06-08, 2001-07-26, 2001-08-11, 2001-09-12, 2001-10-30, 2002-04-24, 2002-05-10, 2002-06-27, 2002-08-14, 2002-08-30, 2002-10-01, 2002-11-02, 2003-04-11
Landsat-8 OLI 28 images	2013-05-16, 2013-08-20, 2014-04-01, 2014-06-20, 2014-07-06, 2014-07-22, 2014-08-23, 2014-09-08, 2014-09-24, 2014-11-11, 2015-05-06, 2015-06-23, 2015-09-11, 2015-09-27, 2016-05-24, 2016-06-25, 2016-07-11, 2016-07-27, 2016-09-13, 2016-09-29, 2016-10-15, 2016-11-16, 2017-04-09, 2017-06-12, 2017-07-30, 2017-09-16, 2017-10-02, 2017-10-18

- Calcul des indices spectraux
- Calcul des paramètres polarimétriques
- Calcul des paramètres topographiques
- Classifications
- Analyse de données

N.B.: l'IRDA ont proposé une nouvelle version de la carte des sols (Jean-Sylvain Daniel)

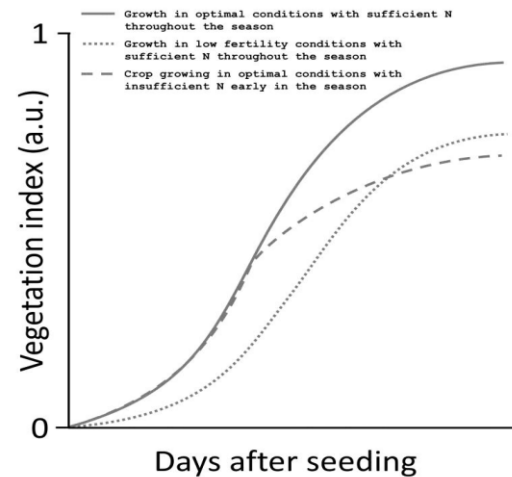
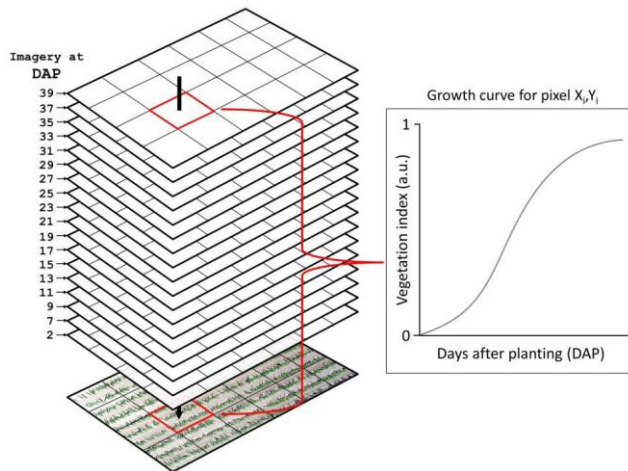
Le virage numérique

Projets YB

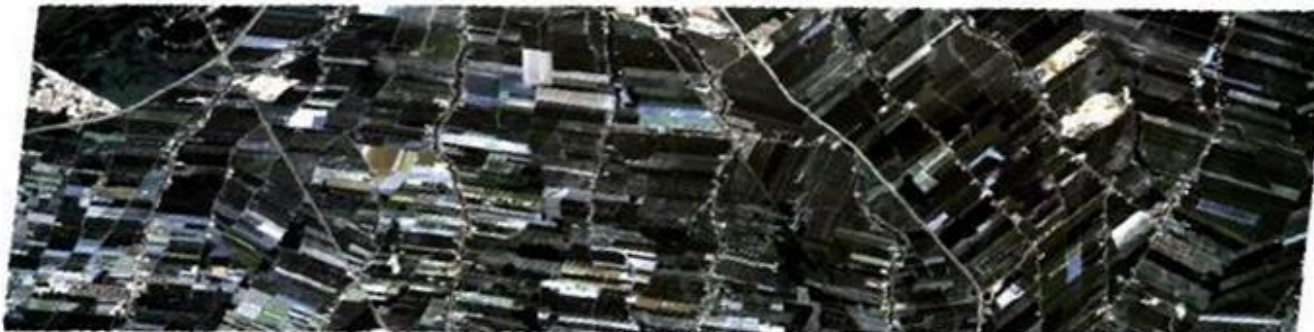
Série PlanetScope

No	Date
1	2019-04-22
2	2019-05-22
3	2019-06-07
4	2019-06-08
5	2019-06-09
6	2019-06-12
7	2019-06-17
8	2019-06-18
9	2019-06-19
10	2019-06-24
11	2019-06-27
12	2019-06-28
13	2019-07-01
14	2019-07-03
15	2019-07-04
16	2019-07-07
17	2019-07-09
18	2019-07-10
19	2019-07-15
20	2019-07-24
21	2019-07-26
22	2019-07-30
23	2019-08-02
24	2019-08-05
25	2019-08-15
26	2019-08-25
27	2019-08-26
28	2019-09-03
29	2019-09-13
30	2019-09-29
31	2019-10-11
32	2019-10-12

Suivi des cultures par OT et optimisation de la fertilisation azotée à TxVar (MSc Nada Ismail, 2018-2021 – Louis Longchamps et al., AAC)



Exemple : image PlanetScope du 03/08/2019 sur la ferme expérimentale de L'Acadie (AAC)



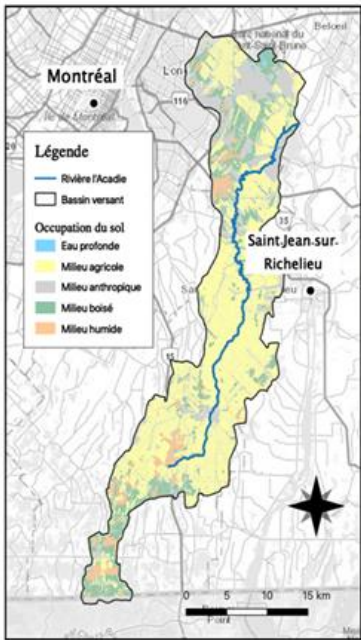
- Développement de méthode de normalisation inter-images de PlanetScope
- Plus nécessaire avec Dove (bonne qualité)

Le virage numérique

Projets YB + S. Foucher

IQBR en milieu agricole : DCNN multi-vues → vision
(MSc Samuel De La Sablonnière, 2019-2021)

Site d'étude

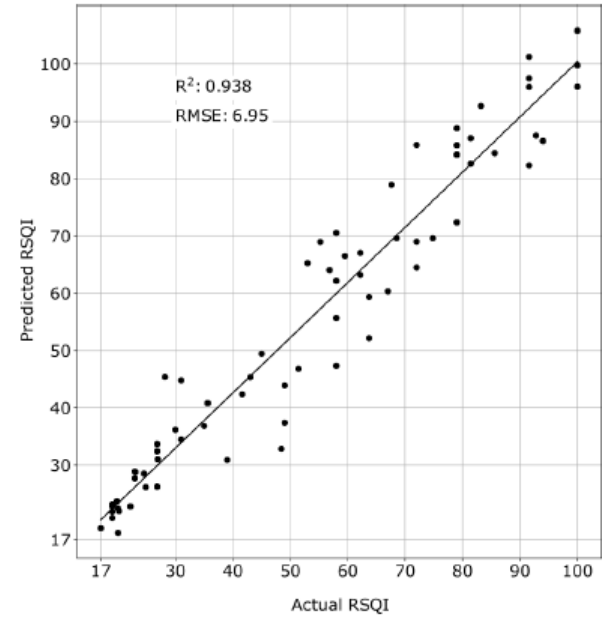
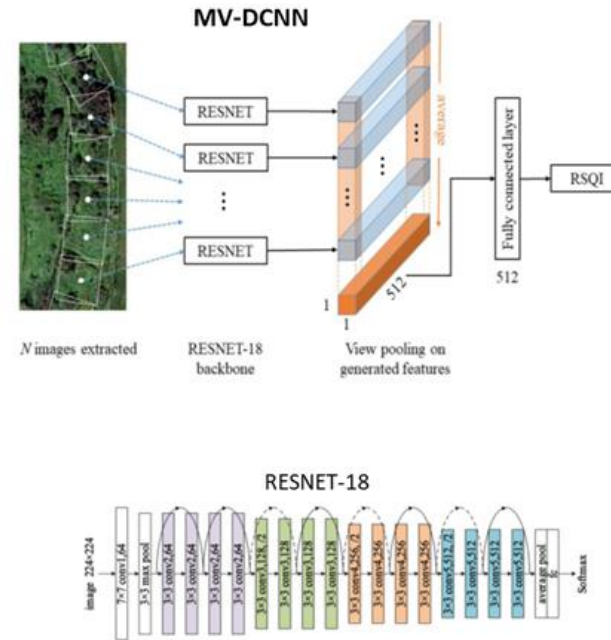
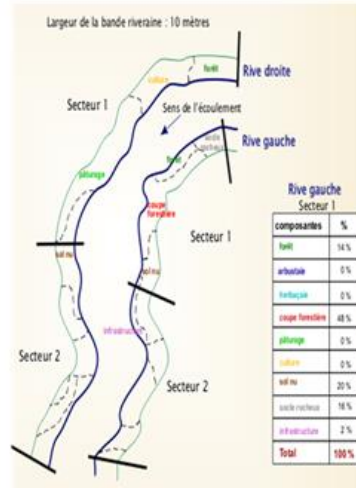


Pliades 50 cm et IQBR in-situ de COVABAR



Méthode traditionnelle (MELCC)
• Application à l'aide d'une classification OO

$$IQBR = \frac{\sum(\%_i \times P_i)}{10}$$

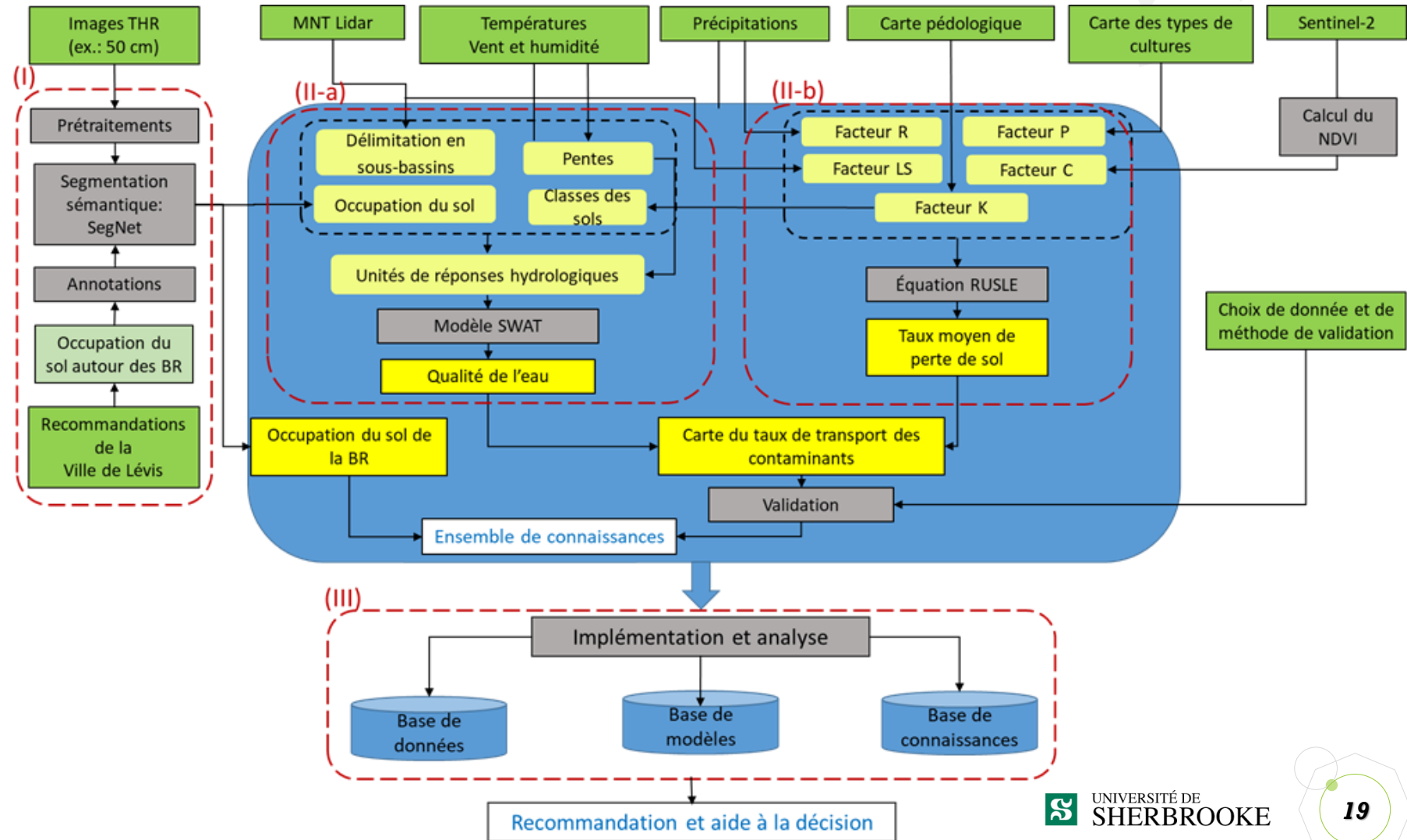


Le virage numérique

Projets YB + S. F.

Bandes riveraines en milieu agricole : modélisation hydrologique

(PhD Elvina Alpha Mekui Me Kemoe, 2020-2024)



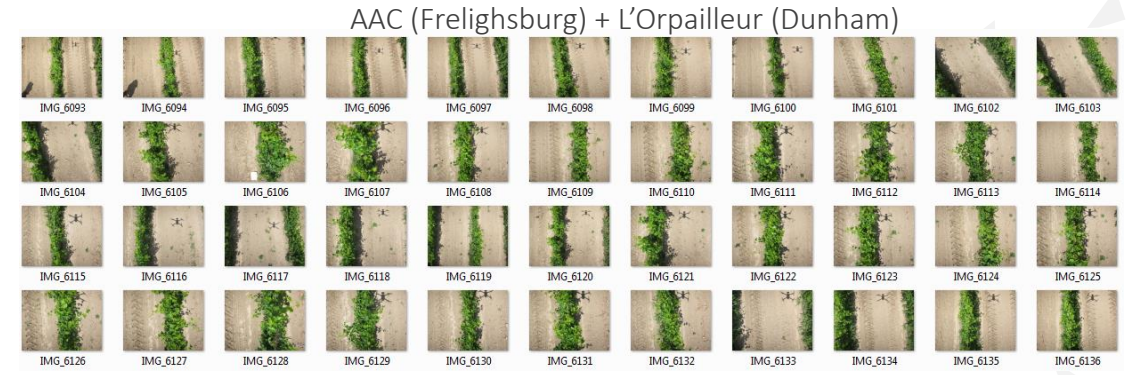
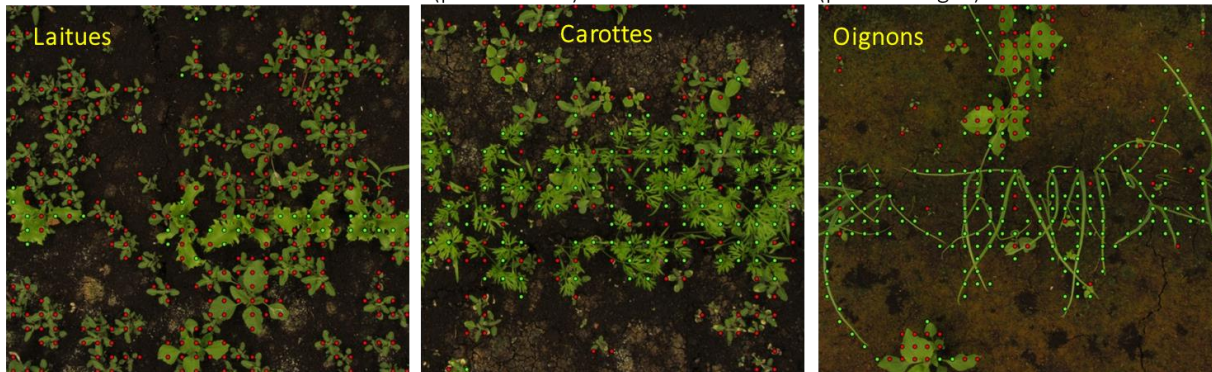
Le virage numérique

Projets YB

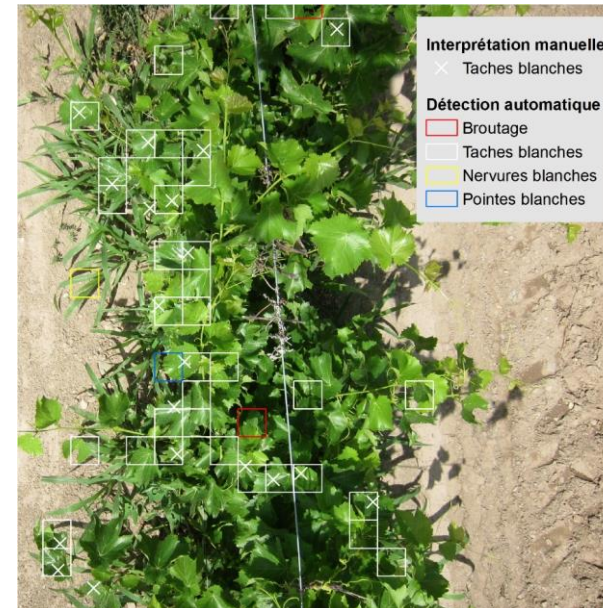
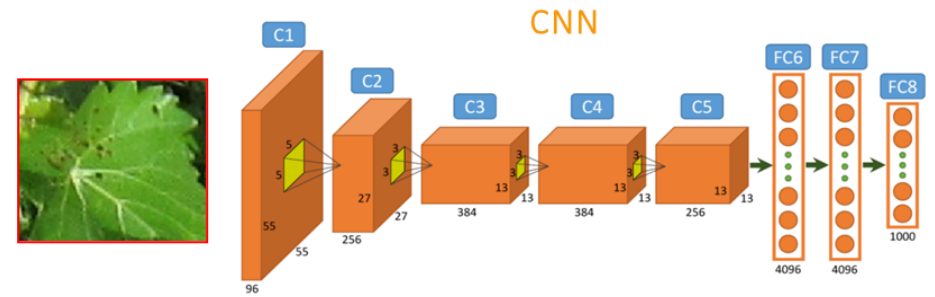
PDAOT DeepSAT (2017-2018) → vision

- Utilisation de drones pour le dépistage automatique → optimiser l'utilisation des pesticides
- Optimisation spatio-temporelle des acquisitions de drone : modèle bioclimatique spatialisé avec les images satellites
- Tests concluants de détection de mauvaises herbes

Discrimination cultures (points verts) vs mauvaises herbes (points rouges)



AAC (Frelighsburg) + L'Orpailleur (Dunham)



Le virage numérique

Projets YB + M. Germain
+ A.È Gagnon AAC

Dépistage des pucerons de la laitue par vision et *edge computing*
(PhD Emma Dubrûle – RQRAD-AAC)

Détection en temps réel du puceron dans la laitue (*Nasonovia ribisnigri*) avec le modèle YOLOv8 en utilisant un système informatique en périphérie

Emma Dubrûle¹, Mickaël Germain¹, Marc Bêlisle² et Yacine Bouroubi¹

¹Département de géomatique appliquée, Université de Sherbrooke

²Département de biologie, Université de Sherbrooke



i

Puceron de la laitue



Le ravageur le plus néfaste de la laitue au Québec⁽¹⁾

1. Problématique



3. Hypothèse

Les CNN permettent la détection en temps réel du puceron de la laitue dans des environnements agricoles non structurés.

4. Données

2 000 images d'une résolution de 12 Mpx ont été acquises à l'aide d'une caméra RVB à la ferme expérimentale de Sainte-Clotilde en montérégie.

2. Objectifs

Objectif général : Automatiser le dépistage du puceron de la laitue avec la détection d'objets par réseau de neurones convolutif (CNN) pour des interventions rapides et ciblées.

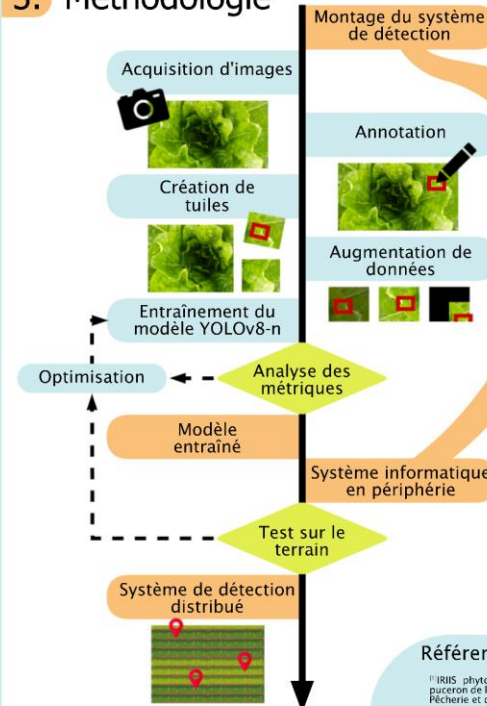
Objectifs spécifiques :

- Réaliser la détection, en temps réel, grâce à un système informatique en périphérie à faible coût
- Entraîner le modèle YOLOv8-n pour la détection du puceron de la laitue sur des images RVB

i

L'informatique en périphérie, également connue sous le nom d'*edge computing*, permet de traiter et d'analyser les données à la source des capteurs et d'envoyer la décision rendue.

5. Méthodologie



6. Résultats préliminaires



7. Conclusion

- Manque de représentation des pucerons ailés pour les détecter
- Résultats prometteurs pour la détection en temps réel du puceron de la laitue

8. Perspectives

- Augmenter le jeu de données pour couvrir l'ensemble des stades phénologiques de la laitue
- Optimiser l'entraînement du modèle YOLOv8-n
- Identifier la présence des ennemis naturels du puceron

Références

⁽¹⁾ IRIS phytoprotection (2023). Fiche technique, puceron de la laitue. Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation du Québec, MAFAP

Financement | Partenaires



Le virage numérique

Projets YB + M. Germain + Madeleine Chagnon (CRSAD)

Géomatique appliquée pour détecter de nouveaux sites mellifères

(PhD Guy Armel Fotso Kamga et MSc Philippe Doyon, 2019-2023 – CRSAD)

- Guy A. Fotso Kamga, Yacine Bouroubi, Mickaël Germain, A. Mengue Mbom, Madeleine Chagnon. 2024a. Expert knowledge-based modelling approach for mapping beekeeping suitability area. *Ecological Informatics*, Vol. 80, May 2024, 102530.
- Guy A. Fotso Kamga, Yacine Bouroubi, Mickaël Germain; Georges Martin; Madeleine Chagnon. 2024b. Beekeeping suitability prediction based on adaptive neuro-fuzzy inference system and apiaries production data. Soumis en mars 2024 à *Expert Systems*, willey.
- Guy A. Fotso Kamga, Yacine Bouroubi, Mickaël Germain, Hazaël Jones, L. Bitjoka. 2024c. Combining expert knowledge and data for interpretable beekeeping suitability model. Soumis en mars 2024 à *Expert Systems with Applications*, Elsevier.
- Philippe Doyon, Mickaël Germain, Guy Armel Fotso Kamga, Yacine Bouroubi, Étienne Laliberté, Madeleine Chagnon. Study of beekeeping potential data and development of a decision support system involving a web mapping platform. *Applied Earth Observation and Remote Sensing IEEE*. Soumis en Janvier 2024.

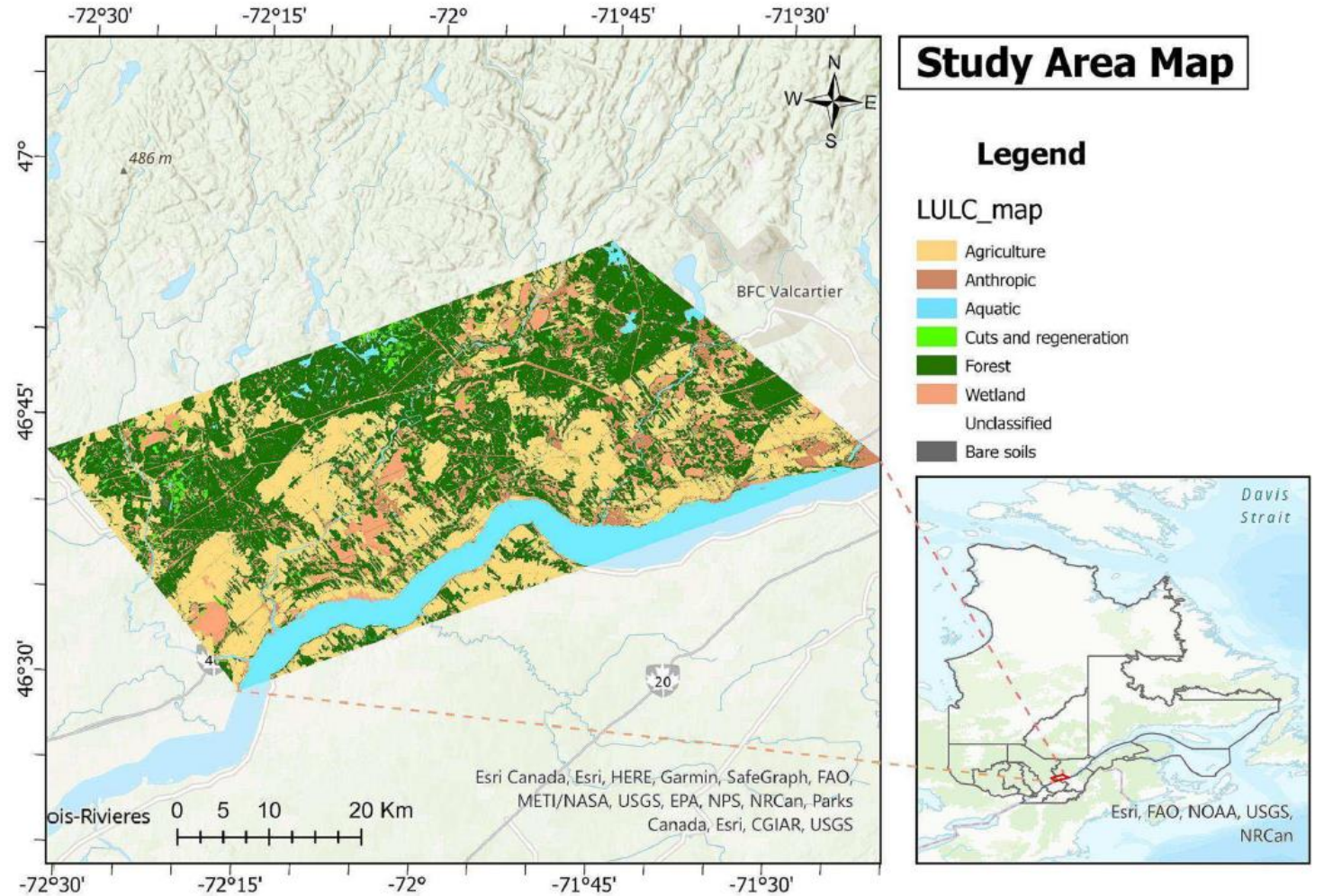


Le virage numérique

Projets YB + M. Germain

Géomatique appliquée pour détecter de nouveaux sites mellifères

(PhD Guy Armel Fotso Kamga et MSc Philippe Doyon, 2019-2023 – CRSAD)



Zone d'étude couvrant les ruchers du CRSAD



Le virage numérique

Projets YB + M.G

Géomatique appliquée pour détecter de nouveaux sites mellifères

(PhD Guy Armel Fotso Kamga et MSc Philippe Doyon, 2019-2023 – CRSAD)

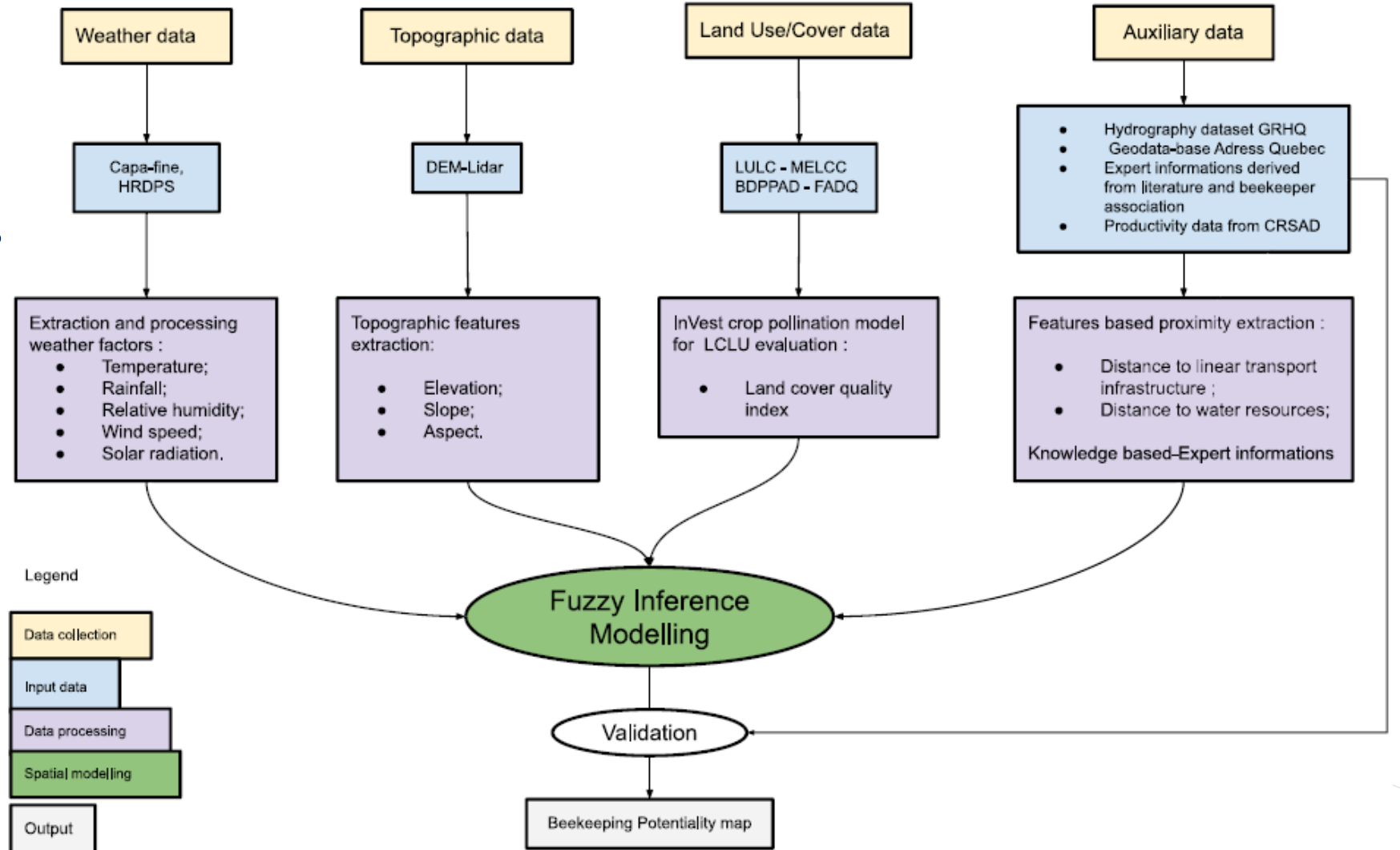


Fig. 1. General overview of the methodological workflow.

Le virage numérique

Projets YB + M. Germain + M. Chagnon

Géomatique appliquée pour détecter de nouveaux sites mellifères
(PhD Guy Armel Fotso Kamga et MSc Philippe Doyon, 2019-2023 – CRSAD)

Modèle: règles d'experts « If ... Then ... » (littérature et partenaires) organisées de manière hiérarchique dans un *Tree-based FIS*

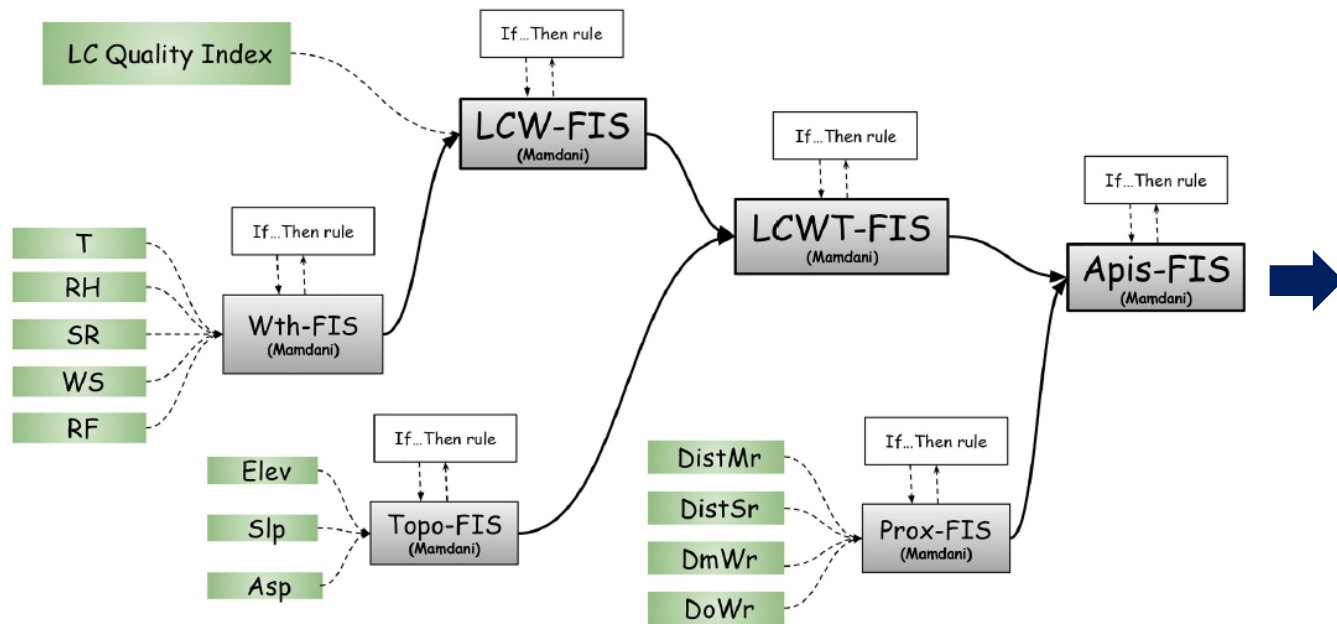
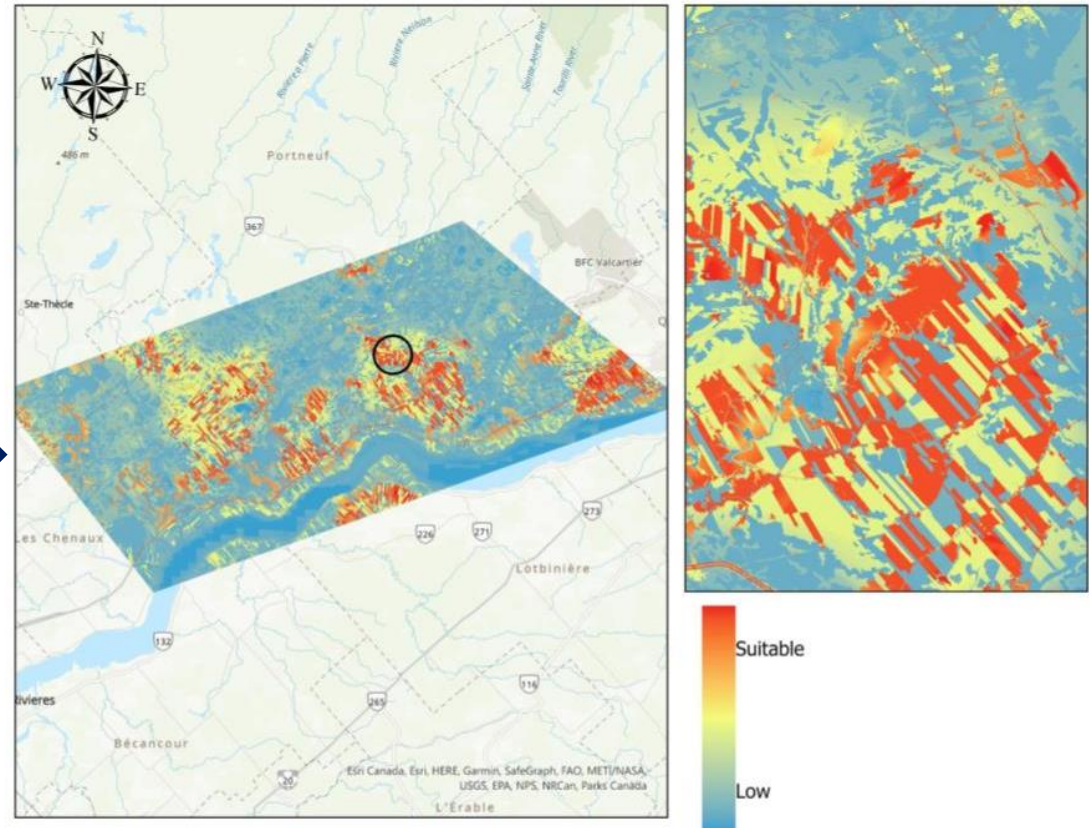


Fig. 6. Overview of our Tree-based FIS architecture.



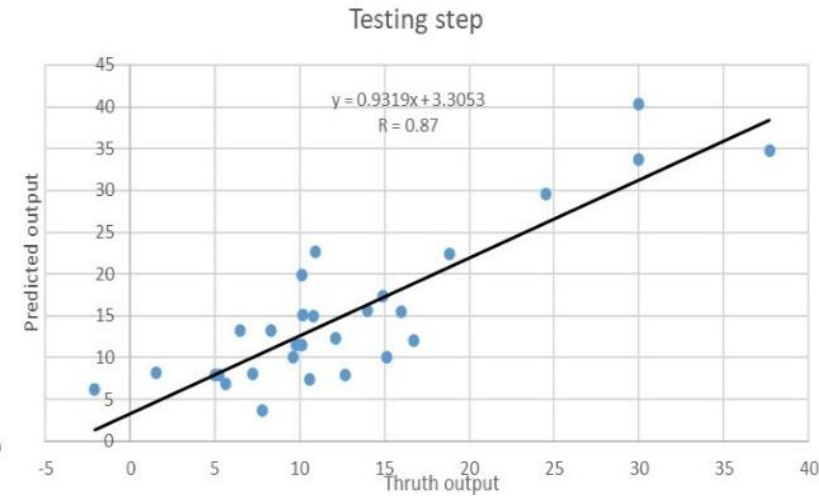
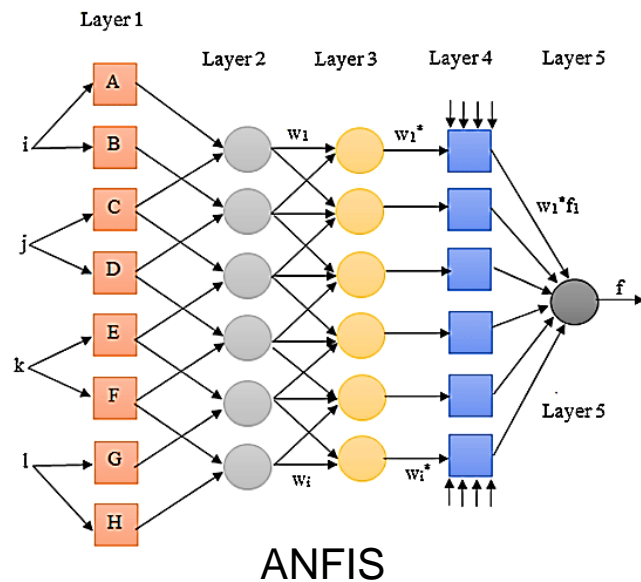
Carte du potentiel apicole obtenue grâce au modèle Apis-FIS

Le virage numérique

Projets YB + M. Germain + M. Chagnon

Géomatique appliquée pour détecter de nouveaux sites mellifères
(PhD Guy Armel Fotso Kamga et MSc Philippe Doyon, 2019-2023 – CRSAD)

Modèle ANFIS (neuro-fuzzy) entraîné sur les données de rendement des ruches du CRSAD → mieux comprendre l'impact des données météo



Données réelles et valeurs prédites des poids des ruches du CRSAD



Le virage numérique

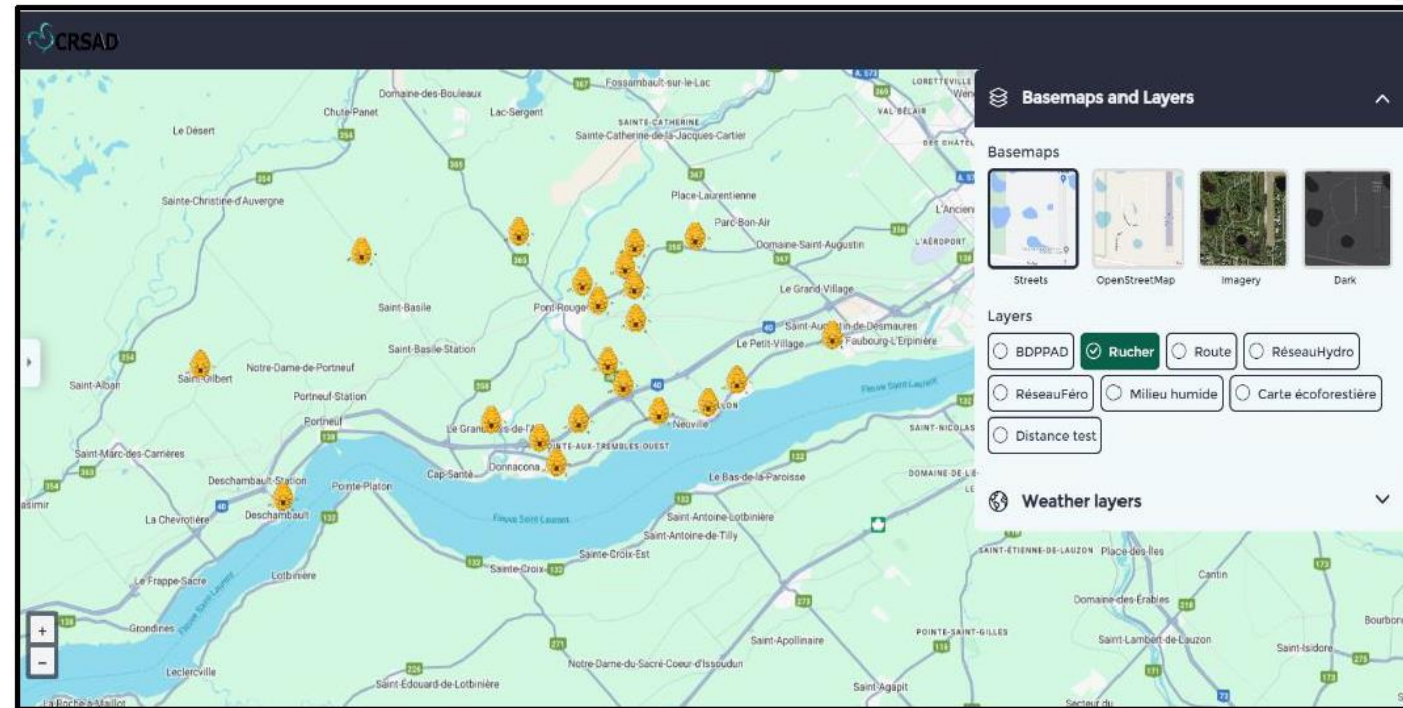
Projets YB + M. Germain + M. Chagnon

Géomatique appliquée pour détecter de nouveaux sites mellifères
(PhD Guy Armel Fotso Kamga et MSc Philippe Doyon, 2019-2023 – CRSAD)

Plateforme de diffusion

The image shows two side-by-side panels for user authentication. The left panel is titled 'Login' and contains a blue 'Login' button at the top. Below it, a text prompt says 'Please enter your username and password'. There are input fields for 'Username' and 'Password', a 'Remember me' checkbox, and a green 'Login' button at the bottom. A link 'No account? Register' is located below the green button. The right panel is titled 'Register New user or login existing account'. It has a 'Register' button at the top. Below it are input fields for 'Your Name', 'Your Email', 'Username', and 'Password', each with a corresponding icon (person, envelope, person, and lock). At the bottom of this panel is a blue 'Register' button and a grey 'Login' button.

Page de connexion



Interface cartographique

Défis pour l'avenir

- **Passer du concept à la mise en œuvre opérationnelle**
 - Homogénéité des données → calibration des capteurs
 - Validité/robustesse des modèles/algorithmes
 - Difficultés techniques
 - Ferme: milieu difficile pour les robots
 - Géolocalisation : RTK non infaillible
 - Normes des BDs et des protocoles d'échange
 - Interprétabilité des cartes
 - Etc.
- Choisir les **applications**, les **technologies** et les options d'implémentation ...
 - les plus **rentables**
 - les plus **pertinentes** (au sens des retombées de l'agriculture durable)
 - formation/accompagnement des producteurs

Industrie 5.0 : interconnexion des technologies de la 4.0 et coopérations avec les humains





Adoption


Questions?

Merci de votre
attention

Merci

Yacine Bouroubi 

+1 819-821-8000 #62522 

Yacine.Bouroubi@usherbrooke.ca.com 

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