



L'arrivée de l'agriculture 5.0 : Applications futures de l'intelligence artificielle

Etienne Lord, Ph.D. Chercheur scientifique – Agronomie numérique
St-Jean-sur-Richelieu CRD, Agriculture et Agroalimentaire Canada



L'agronomie numérique





Agriculture de précision

Une meilleure précision spatiale dans les interventions

L'agriculture de précision est une stratégie de gestion qui recueille, traite et analyse des données temporelles, spatiales et individuelles sur les plantes et les animaux et les combine avec d'autres informations pour **soutenir les décisions de gestion en fonction de la variabilité estimée** afin d'améliorer l'efficacité de l'utilisation des ressources, la productivité, la qualité, la rentabilité et la durabilité de la production agricole.

- *International Society of Precision Agriculture* (<https://www.ispag.org/>)

Agriculture de précision

Le bon moment

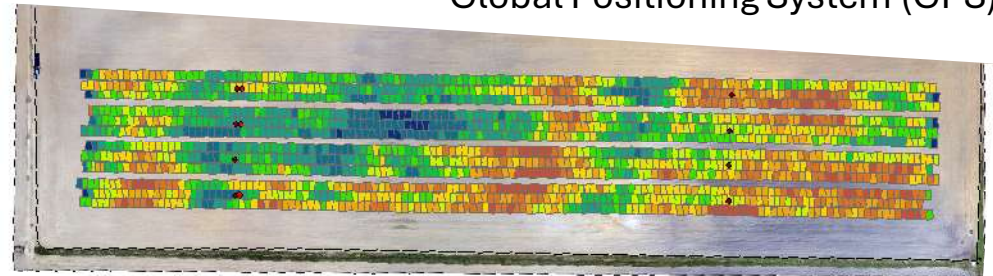
Le bon volume

Au bon endroit

La bonne source

La bonne manière

Global Positioning System (GPS)



Robert et al. (1994)
International Plant Nutrition Institute
Khosla (2008)

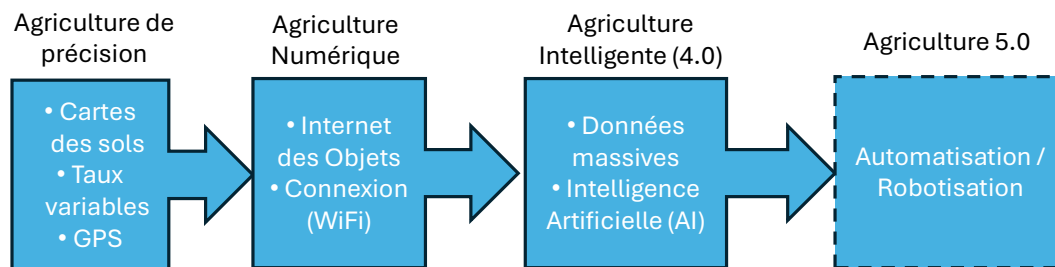


Agriculture Numérique

Une transition vers l'agriculture 5.0

L'agriculture numérique est un concept émergent de l'agriculture moderne qui fait référence à la **gestion des exploitations agricoles à l'aide des technologies modernes de l'ingénierie, de l'information et de la communication (EICT)** visant à augmenter l'efficacité globale de la production agricole, à améliorer la quantité et la qualité des produits, à optimiser la main-d'œuvre humaine requise et la consommation de ressources naturelles dans les opérations.

- *Encyclopedia of Digital Agricultural Technologies (2023)*



O'Donoghue, T., Minasny, B., & McBratney, A. (2024). Digital Regenerative Agriculture. *npj Sustainable Agriculture*, 2(1), 5.

Agriculture numérique

Le bon moment

Le bon volume

Au bon endroit

La bonne source

La bonne manière

Les bonnes données

La bonne culture





Du passé vers le futur

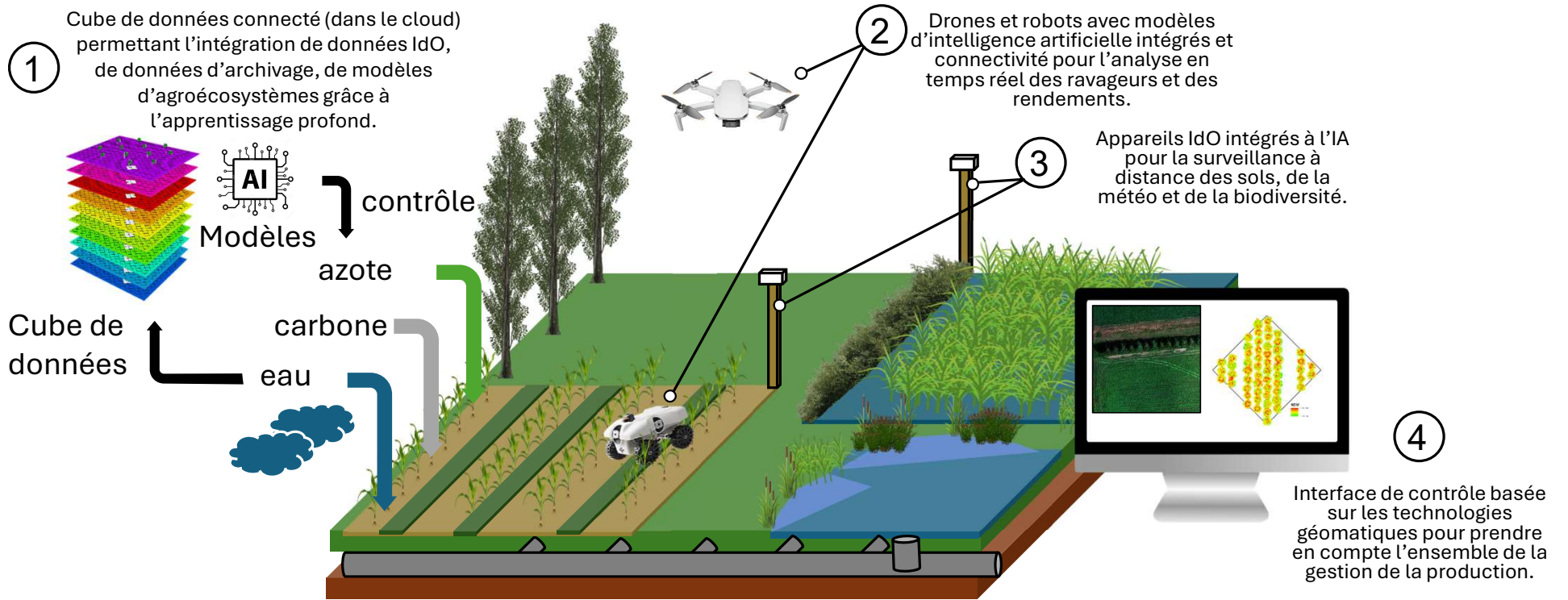
L'évolution de l'agronomie vers le numérique amène des changements

	Optimiser	Surveillance	Action	Évaluation
2024	Production via les intrants	<i>Spatiale:</i> carte de sol <i>Temporelle:</i> IdO, Rendement	Application variable Robotisation	Profits et impact environnemental
Futur	Terre agricoles via une stabilisation des rendements et réduction des intrants	<i>Spatiale:</i> carte de sol <i>Temporelle:</i> IdO, rendement + modèles prévisionnels	Application variable Robotisation + Acteurs biologiques (écoservices)	Attributs de la régénération (culture, biote, sol, eau, énergie renouvelable, et l'humain)

Inspiré de : O'Donoghue, T., Minasny, B., & McBratney, A. (2024). Digital Regenerative Agriculture. *npj Sustainable Agriculture*, 2(1), 5.

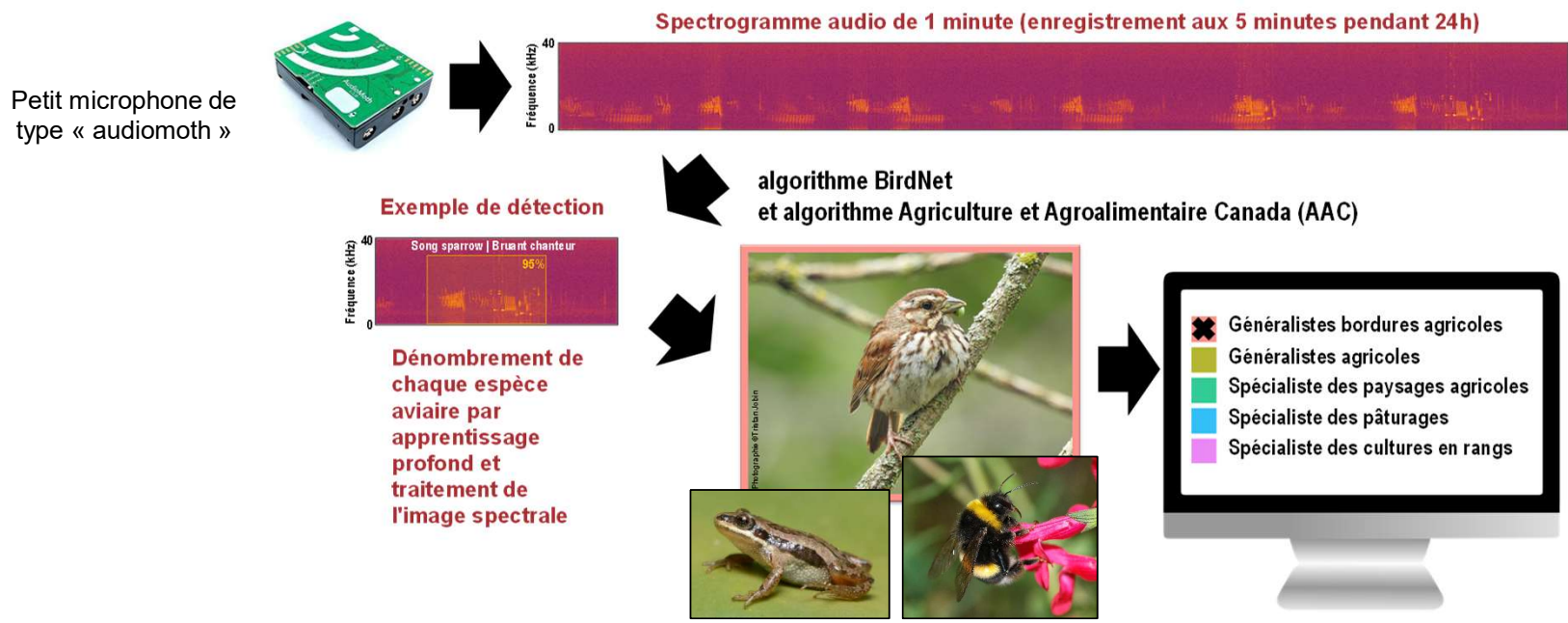
La ferme de demain

Selon les principes de l'agriculture 5.0, des outils connectés et des robots amélioreront la production



Le paysage sonore « *soundscape* »

Un exemple de l'utilisation de l'intelligence artificielle est le suivi des populations



Le paysage sonore (*soundscape*) est l'enregistrement de chaque son se produisant à un moment donné dans un paysage spécifique. Cela inclut les sons d'origine biologique, géophysique et anthropique.



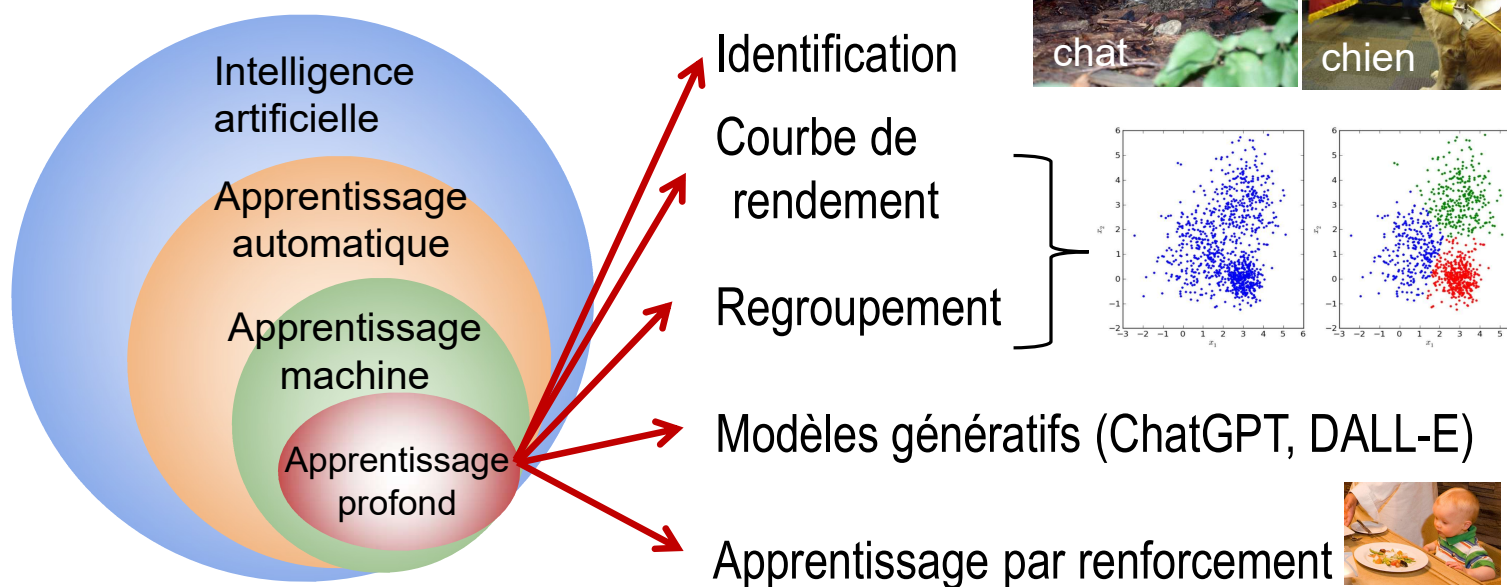
L'intelligence artificielle



Les modèles d'intelligence artificielle (IA)

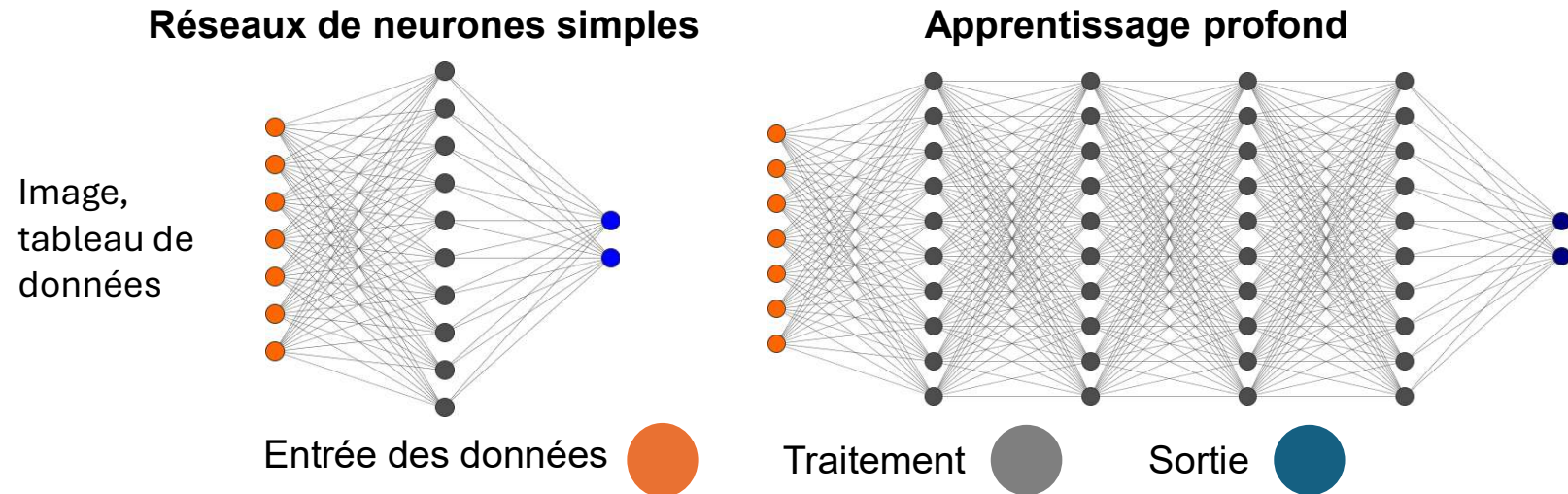
Qu'est-ce qu'on modèle et quel est le but?

Les modèles IA visent à être des outils pour **effectuer des tâches de façon similaire à l'humain** (e.g. prise de décision). On fait apprendre à notre modèle différentes tâches en lui **présentant plusieurs scénarios et exemples**, comme on le ferait avec un enfant.



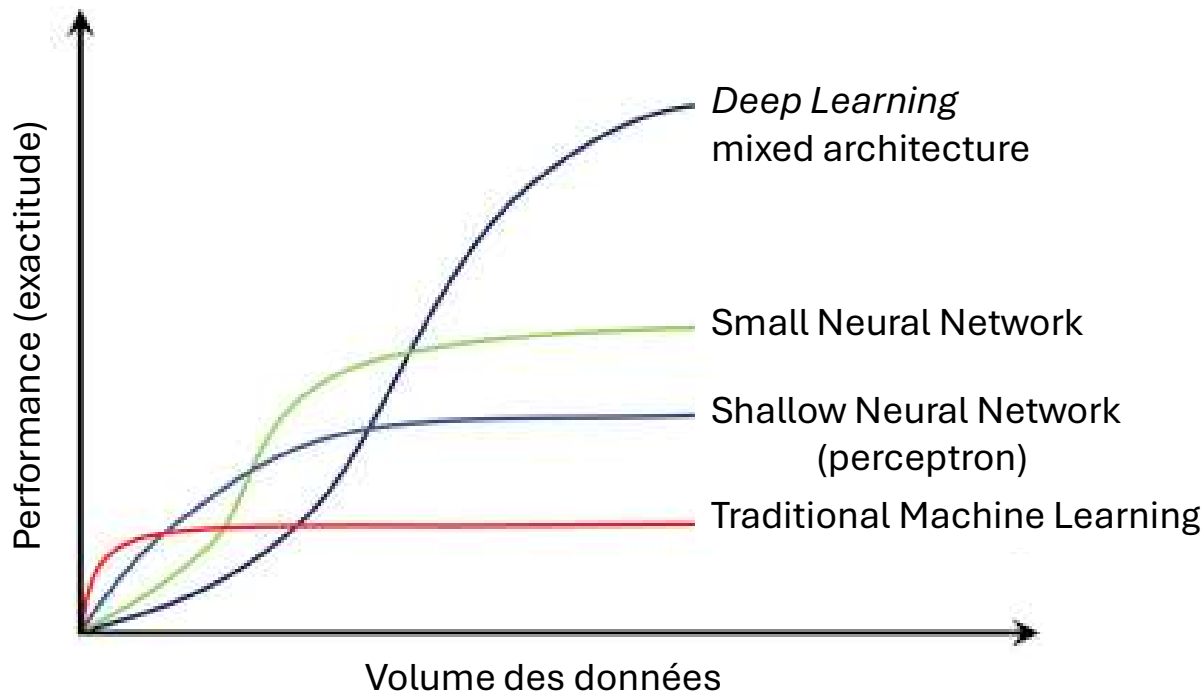
L'apprentissage profond « *deep learning* »

C'est un **apprentissage automatique** dans lequel **plusieurs couches** apprennent différentes caractéristiques de plus en plus **représentatives des données**.



Apprentissage profond et les méga-données

Les données massives (*Big Data*) sont nécessaires pour avoir de bonnes performances



Volume : Grandes quantités de données provenant de sources diverses.

Variété : différents types de données, y compris structurées, semi-structurées et non structurées.

Vitesse : vitesse à laquelle les données sont générées, transférées, collectées et traitées.

Variabilité : Cohérence des données dans le temps.

Véracité : La qualité, l'exactitude et la fiabilité des données.

Valeur : Informations significatives des données.

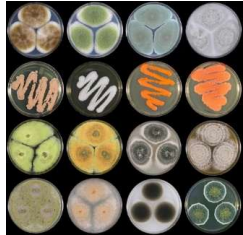




Utilisation de l'apprentissage profond en agriculture

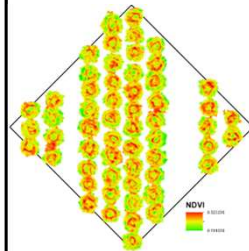
Les données massives (*Big Data*) sont nécessaires pour avoir de bonnes performances

Identification



e.g
insectes,
bactéries

Classification



e.g
distribution de
la taille des
laitues

Quantification



e.g
sévérité
d'une
maladie

Prédictions

Données météo

Images

Données connexes



Rendement
Maladies

Robots

- Détection automatique des rangs
- Reconstruction de la carte du terrain
- Désherbage automatique
- Application automatique de pesticides / herbicides



Modèle d'apprentissage profond sur des images

Les réseaux convolutionnels permettent l'extraction d'information et la classification

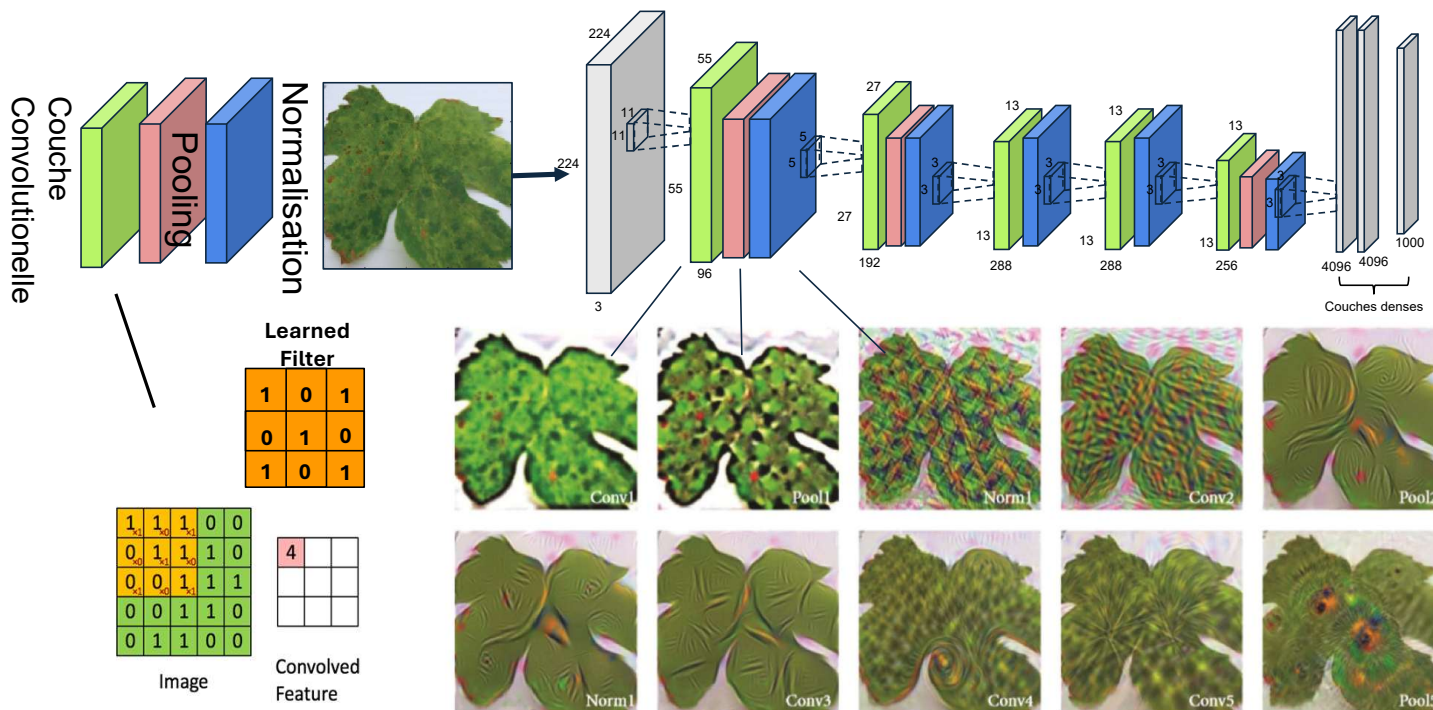
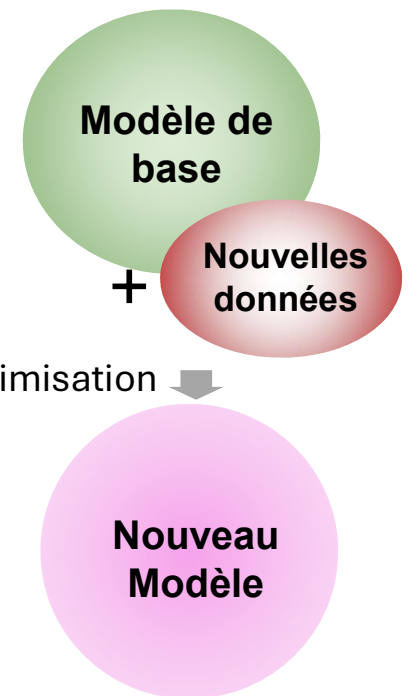


Fig. 2. Visualization of the output layers images after each processing step of the CaffeNet CNN (i.e. convolution, pooling, normalization) at a plant disease identification problem based on leaf images.

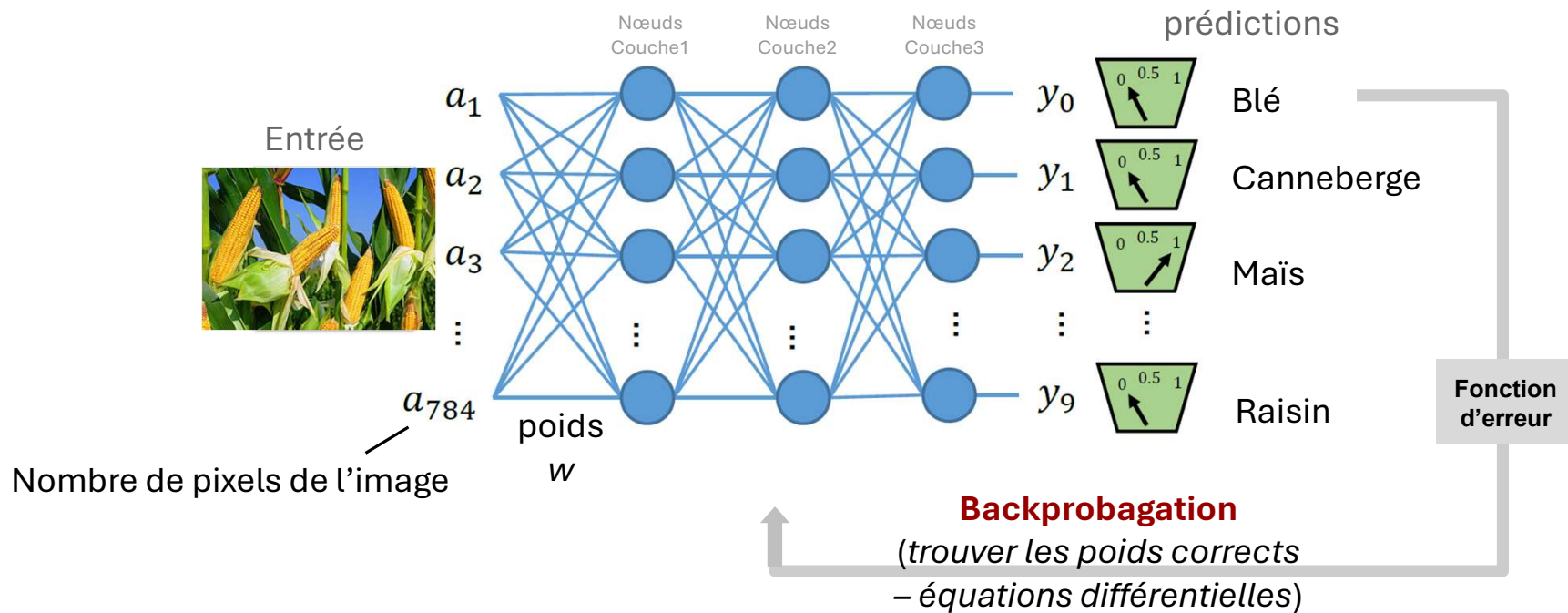
Kamilaris, A., & Prenafeta-Boldú, F. X. (2018). Deep learning in agriculture: A survey. *Comp and Elect. in Agriculture*, 147, 70-90

Sans repartir de zéro, le transfert de connaissances



Entraînement des modèles d'apprentissage profond

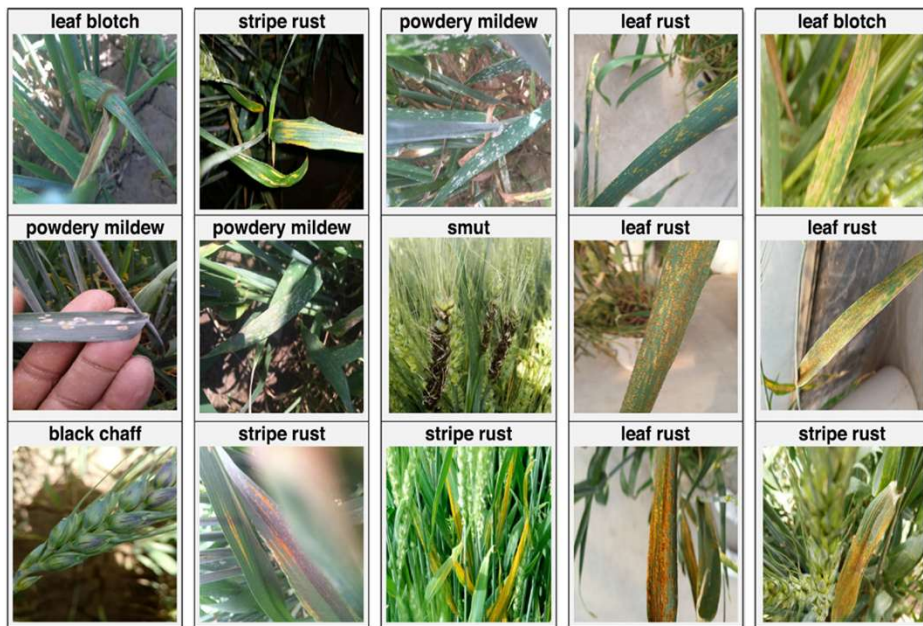
Exemple d'entraînement pour un modèle IA, en résumé



Rumelhart, David E.; Hinton, Geoffrey E.; Williams, Ronald J. (8 October 1986). "Learning representations by back-propagating errors". *Nature*. 323 (6088): 533–536.

Choix des données

Quelques règles à prendre en compte



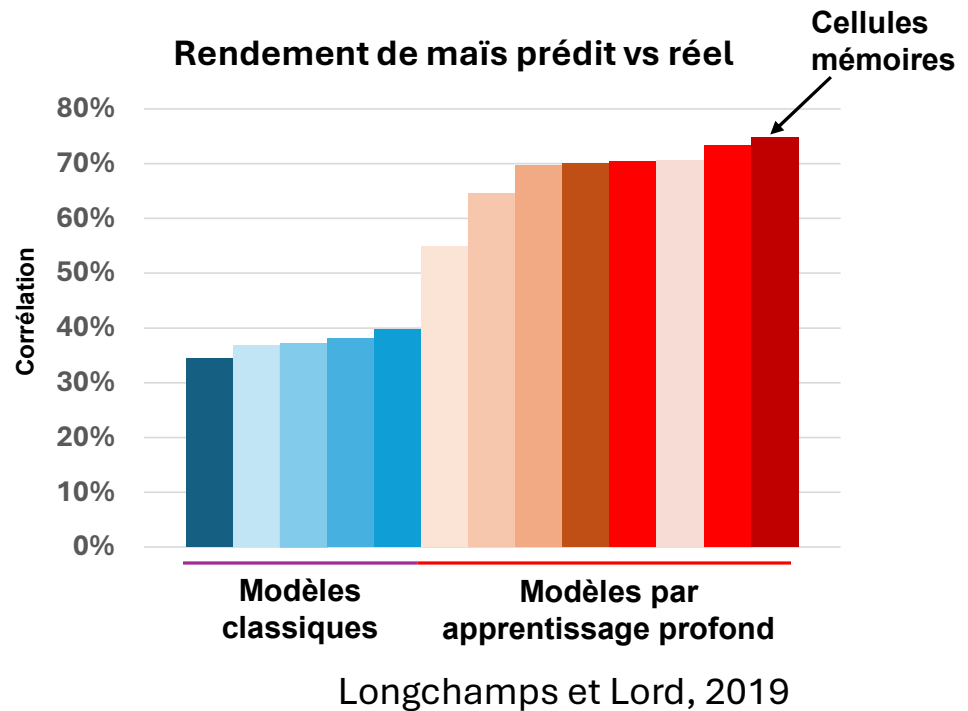
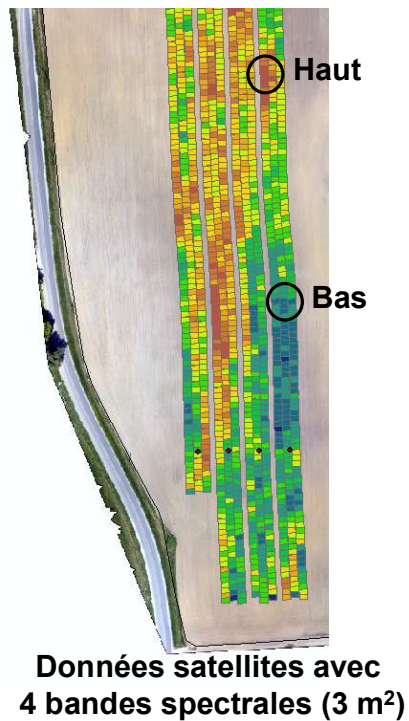
- Doivent représenter les conditions de travail
- Doivent être en quantité suffisante (~1 000 – 10 000/classe)
- Structurées ou non, mais avec au moins un sous-ensemble avec des étiquettes (annotations)
- Disponibles au début du projet
- Possibilité de créer un sous-modèle qui sera ouvert au public (pourrait conduire à la création d'un meilleur modèle)
- Non stationnaire (e.g. avec différentes conditions)
- Environ 70% pour l'entraînement, et 30% pour les tests

Lu, J., Hu, J., Zhao, G., Mei, F., & Zhang, C. (2017). An in-field automatic wheat disease diagnosis system. Computers and electronics in agriculture, 142, 369-379.

Source MILA

Utiliser les modèles IA pour la prédiction du rendement

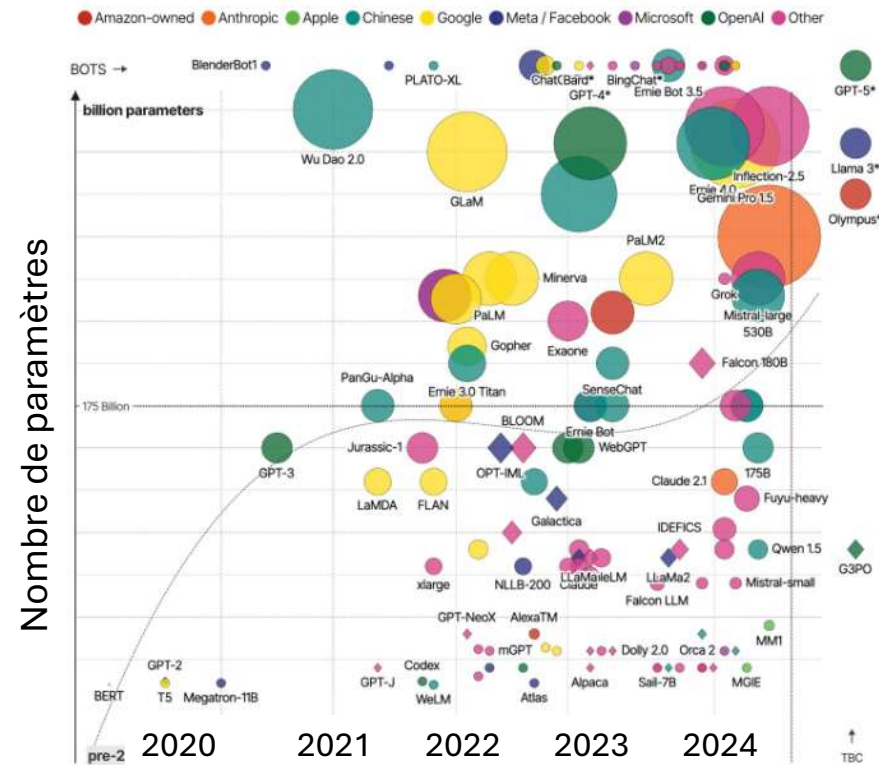
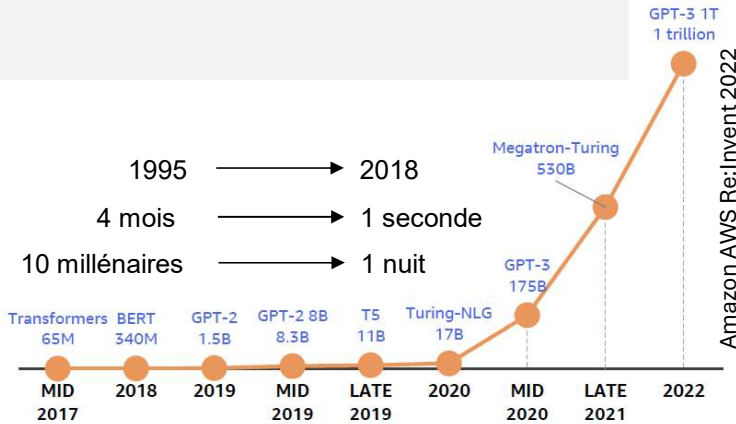
Un bémol, un modèle généraliste n'est pas encore disponible.



Les modèles comme ChatGPT (*Large Language Models*)

L'entraînement sur des milliards de données permet maintenant une plus grande généralisation

- L'utilisation de données massives permet la création de modèles pouvant être plus génériques.
- L'entraînement est cependant coûteux. Par exemple, il est estimé que GPT-3 a nécessité 1024 GPU pour un coût de ~5 millions \$ USD (34 jours de calculs)
- Ce qui permet une telle révolution en intelligence artificielle est une augmentation importante de la capacité de calculs disponible.



Brown, T. B. (2020). Language models are few-shot learners. *arXiv preprint arXiv:2005.14165*.

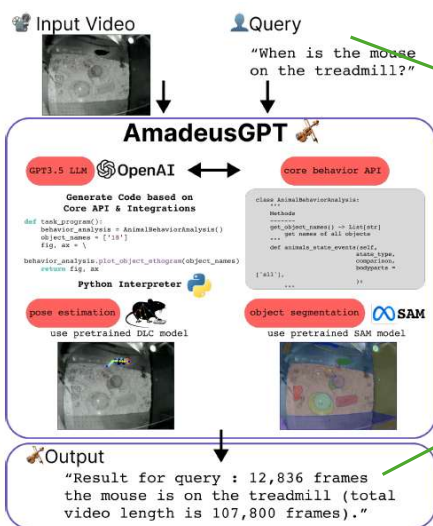
David McCandless, Tom Evans, Paul Barton
Information is Beautiful // UPDATED 20th Mar 24
source: news reports, [LifeArchitecture](#)
* = parameters undisclosed // see the data

L'utilisation des modèles de langage en agriculture

La détection d'erreurs et l'automatisation de certaines tâches sont maintenant possible

Analyse de données plus rapide par des questions

Permet la synthèse rapide d'information



Requête : 'Quand la souris est-elle sur le tapis roulant ?'

Sortie : 'Résultat pour la requête : 12 836 images montrent la souris sur le tapis roulant (la vidéo totalise 107 800 images).'



Modèle LLM local

Requête : 'Quand mes rendements ont été les meilleurs?'

On peut maintenant utiliser localement certains modèles. Cela permet une interprétation de certains résultats ou la recherche d'erreurs. Un bémol, aucun modèle agronomique spécifique n'est disponible pour l'instant.

Ye, S., Lauer, J., Zhou, M., Mathis, A., & Mathis, M. (2024). AmadeusGPT: a natural language interface for interactive animal behavioral analysis. *Advances in neural information processing systems*, 36.



Agriculture et Agroalimentaire Canada

Agriculture and Agri-Food Canada

Canada



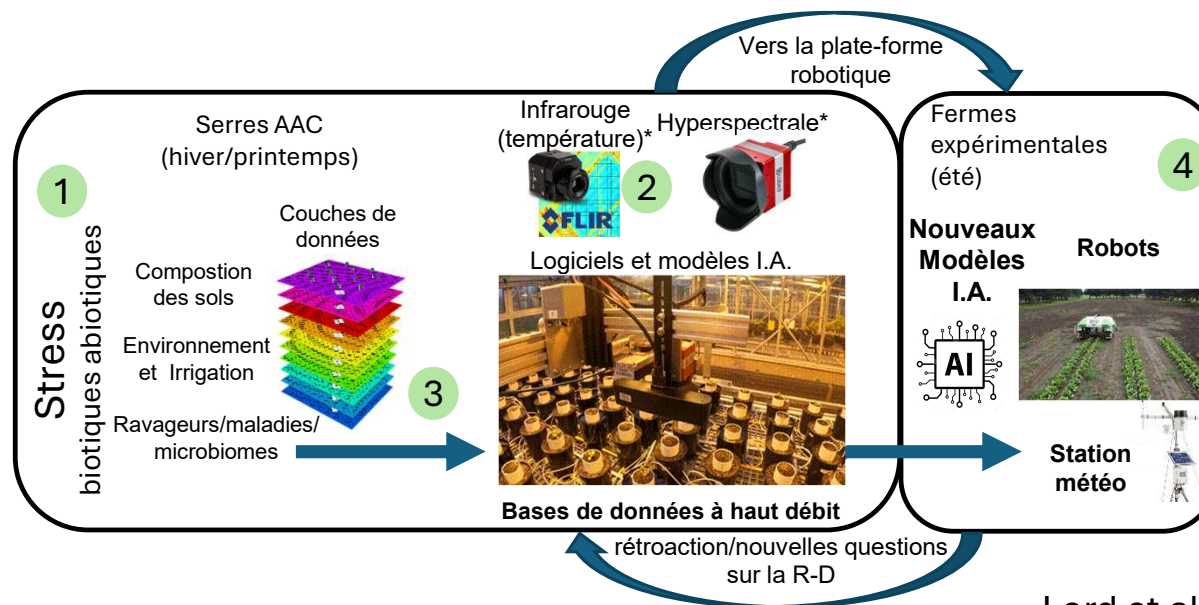
Nouvelles technologies et modèles IA



L'utilisation des plateformes robotiques

La robotique permet d'accélérer la recherche et le développement

Dans les champs, les cultures sont soumises à de multiples stress. Pourtant, nous les étudions isolément. Notre objectif global est de mélanger et d'explorer rapidement et efficacement différents stress pour étudier leurs impacts cumulatifs / synergiques et créer les modèles IA appropriés (Projet 2023-2026).



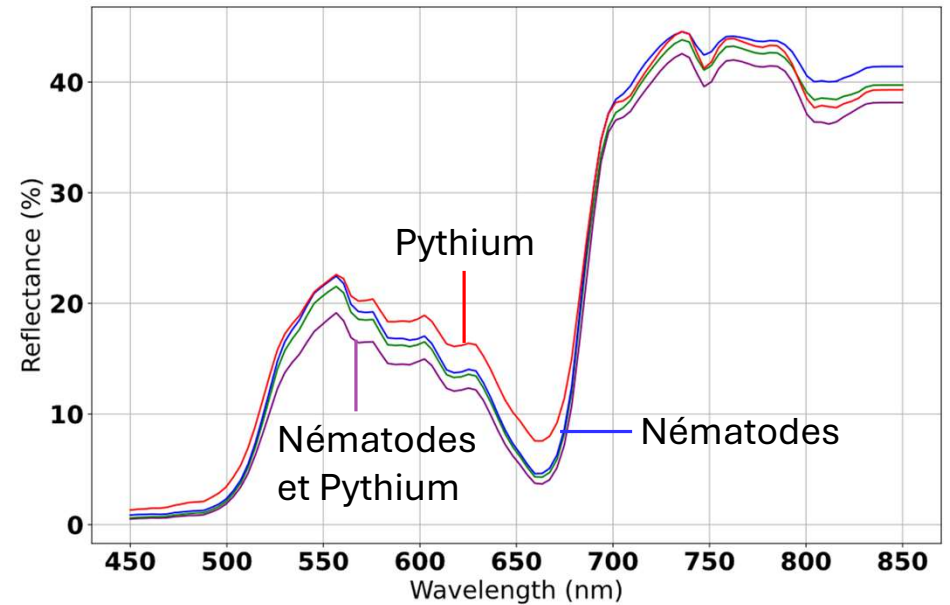
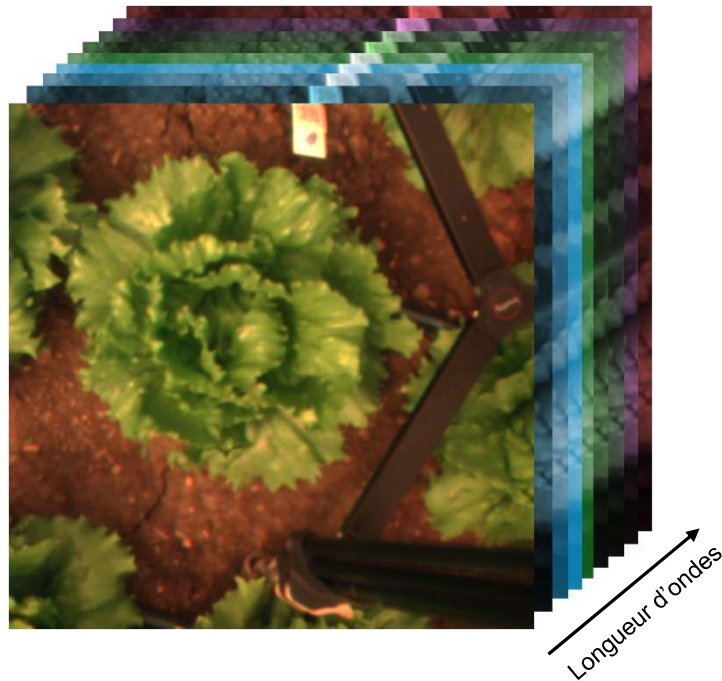
Lord et al. 2023



Les images hyperspectrales

L'utilisation des modèles IA pour l'analyse d'image permet la détection de stress

Les caméras hyperspectrales permettent de quantifier les changements biochimiques invisibles sur des images standards en prenant des photos à plusieurs longueur d'ondes. De plus, les modèles IA peuvent intégrer différentes couches d'informations pour identifier les différents stress.



Lord et al. 2025



Exemples tirés de la littérature


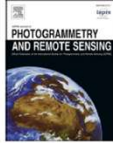
L'utilisation de l'hyperspectrale pourrait aider pour la fertilisation et l'identification des maladies

ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing 205 (2023) 135–146

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

ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing

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

Multi-year hyperspectral remote sensing of a comprehensive set of crop foliar nutrients in cranberries

Nanfeng Liu^{a,*}, Erin Wagner Hokanson^b, Nicole Hansen^c, Philip A. Townsend^d

^a Carbon-Water Research Station in Keweenaw National Seashore, ^b Guanadua Provincial Key Laboratory of Urbanisation and Geo-simulation, ^c School of Geography and

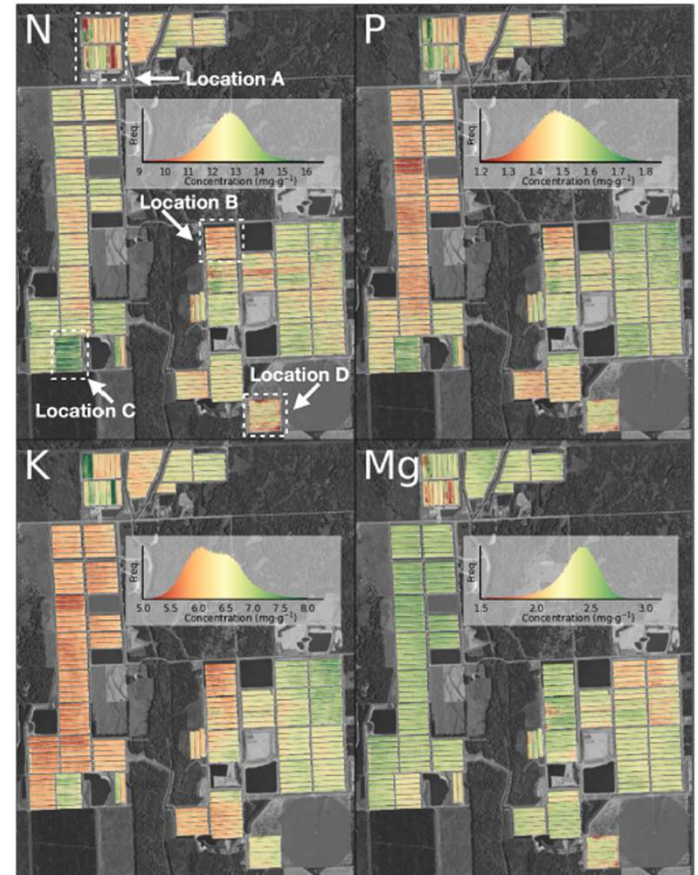


Article

Accurately Identifying Sound vs. Rotten Cranberries Using Convolutional Neural Network

Sayed Mehedi Azim¹, Austin Spadaro¹, Joseph Kawash², James Polashock^{2,*} and Iman Dehzangi^{1,3,4,*}

- ¹ Center for Computational and Integrative Biology, Rutgers University, Camden, NJ 08102, USA; sa1996@camden.rutgers.edu (S.M.A.); apadaro@scarletmail.rutgers.edu (A.S.)
- ² Genetic Improvement of Fruit and Vegetables Laboratory, Agricultural Research Service, USDA, Chatsworth, NJ 08019, USA; joseph.kawash@usda.gov
- ³ Department of Computer Science, Rutgers University, Camden, NJ 08102, USA
- ⁴ Rutgers Cancer Institute, Rutgers University, New Brunswick, NJ 08901, USA
- * Correspondence: james.polashock@usda.gov (J.P.); i.dehzangi@rutgers.edu (I.D.)

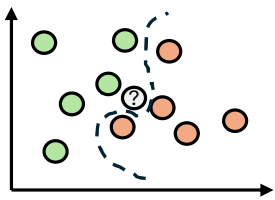


Liu et al. (2023) Juneau County, Wisconsin

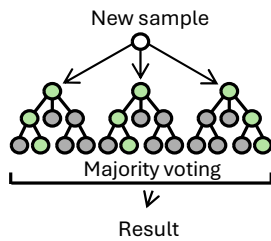
Prédiction de la stabilité du rendement

E. Lord, E. Fallon, A. Cambouris, ICPA 2024

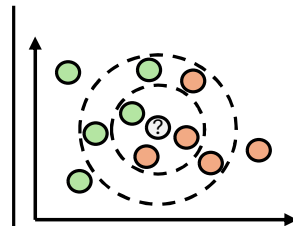
Support Vector Machine (SVM)



Random forest (RF)



k-nearest neighbors (kNN)



Réseau de neurones (NN)

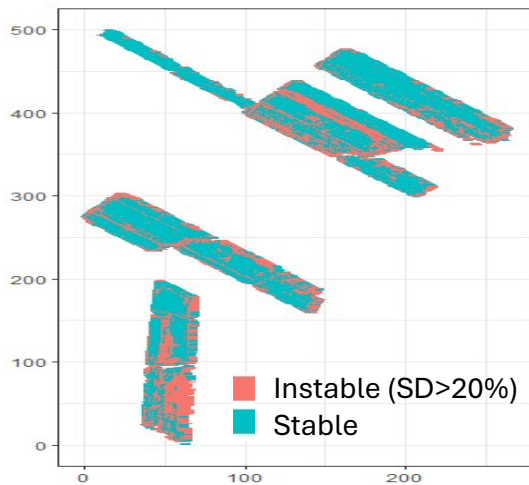
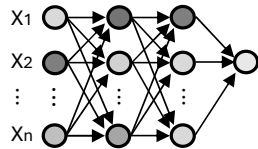


Illustration S. Samson

Les zones stables ou instables peuvent-elles être identifiées dans un champ à l'aide de l'imagerie satellitaire Sentinel-2 et des informations sur les cultures ?

Précision moyenne¹ des modèles basés sur les données Sentinel-2

	2 ans	2 ans sans moy.	3 ans	3 ans sans moy.
kNN	84.5%	82.1%	86.0%	85.1%
SVM	80.9%	78.4%	84.4%	84.1%
RF	87.5%	84.2%	87.3%	88.2%
NN	82.6%	80.4%	82.4%	78.6%

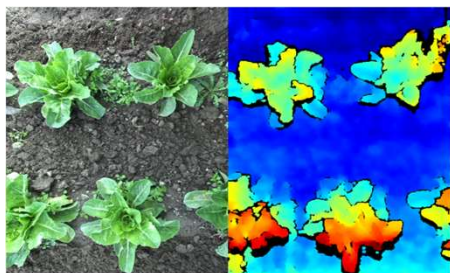
¹La moyenne de 5 exécutions indépendantes avec validation aléatoires évaluées sur un ensemble de données de test indépendant.



Perspectives dans la culture de la canneberge

Exemples de d'application en production

- Analyse des propriétés des sols à l'aide de nouveaux outils
- Prévisions météorologiques et gestion des extrêmes (nouveau modèle GenCast de Google)
- Optimisation des cycles d'irrigation
- Surveillance avec caméras contenant des modèles IA sur les rampes
- Surveillance de la biodiversité (e.g. avec le paysage sonore)
- Pulvérisation de précision (homologation des drones)
- Cartographie et prévision des rendements



Imagerie volumétrique



Sentinelle d'adventices
Simard, Lord et al. (2024)



L'utilisation des nouvelles technologies en agriculture

Défis et opportunités

Défis

1. Coûts des investissements élevés
2. Fracture numérique
3. Compétences et formations
4. Risques de dépendance technologique
5. Impacts environnementaux possibles
6. Réglementation et standardisation

Opportunités

1. Augmentation de la productivité
2. Durabilité environnementale
3. Amélioration de la qualité des produits
4. Attractivité et résilience
5. Amélioration des processus
6. Intégration dans l'économie circulaire

En conclusion, l'intelligence artificielle permet l'automatisation de certaines tâches et aussi une synthèse plus rapide de l'information. Elle pourrait aussi permettre d'augmenter la productivité mais présente certains défis dans son utilisation et dans la capacité des entreprises à gérer un grand volume de données.

À propos



Développement de modèles liés aux technologies de l'image, à la phénomique et à la robotique.

Chercheur principal:
Quantum Research and Development Initiative (QRDI, 2023-2028)

Professeur associé:
Université du Québec à Montréal (2020-)
Université de Sherbrooke (2022-)

linkedin.com/in/etiennelord/
orcid.org/0000-0002-3834-6096
profils-profiles.science.gc.ca/en/profile/etienne-lord

Mon laboratoire

- Amanda Boatswain Jacques (Étudiante PhD., UQAM, Informatique)
- Stéphane Samson (Étudiant PhD., UQAM, Informatique)
- Hans-Olivier Fontaine (Étudiant M.Sc., UdeS, Géomatique)
- Edith Fallon M.Sc. (Assistante de recherche)



Le laboratoire

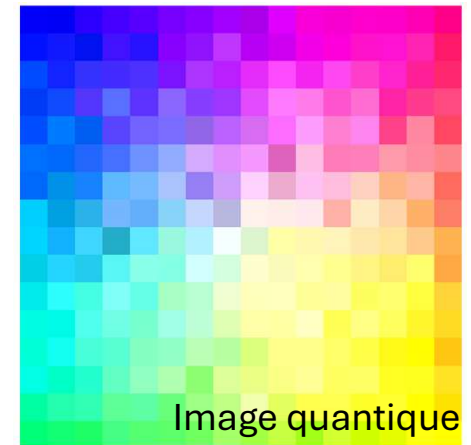
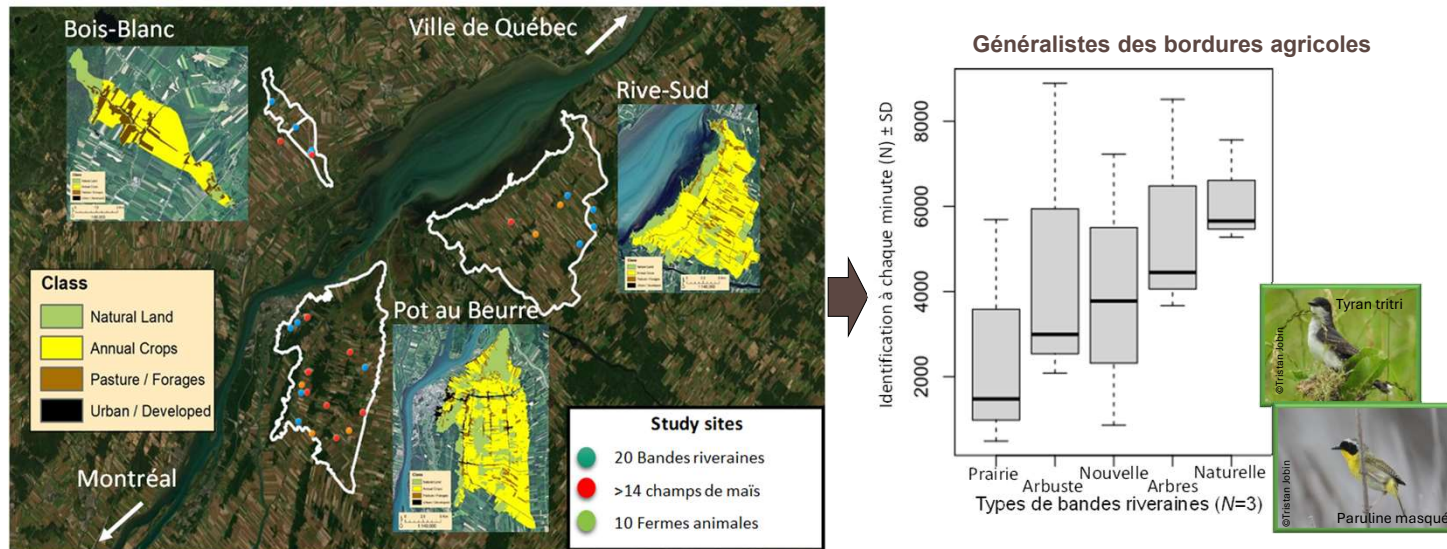


Image quantique

Le paysage sonore « *soundscape* »

Un exemple de l'utilisation de l'intelligence artificielle est le suivi des populations



Durant le premier Laboratoire Vivant (2021-2022), nous avons collecté **l'équivalent de quatre années (2,1 millions d'enregistrements de 1 minute) de données de paysage sonore** dans 20 bandes riveraines. L'analyse par des méthodes dérivées de l'intelligence artificielle a permis d'identifier **~ 88 espèces d'oiseaux** durant l'été 2022.

