



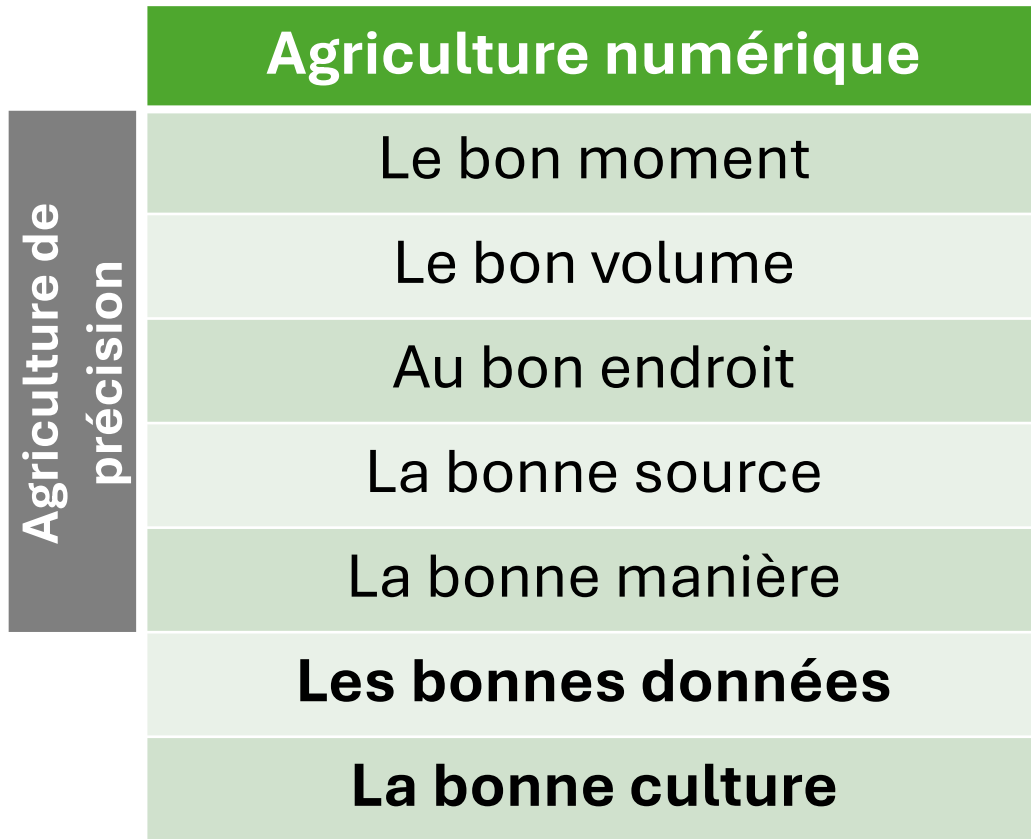
Outils d'Aide à la Décision (OAD) et IA en fertilisation

Etienne Lord, Ph.D. Chercheur scientifiques agronomie numérique
Agriculture et Agroalimentaire Canada

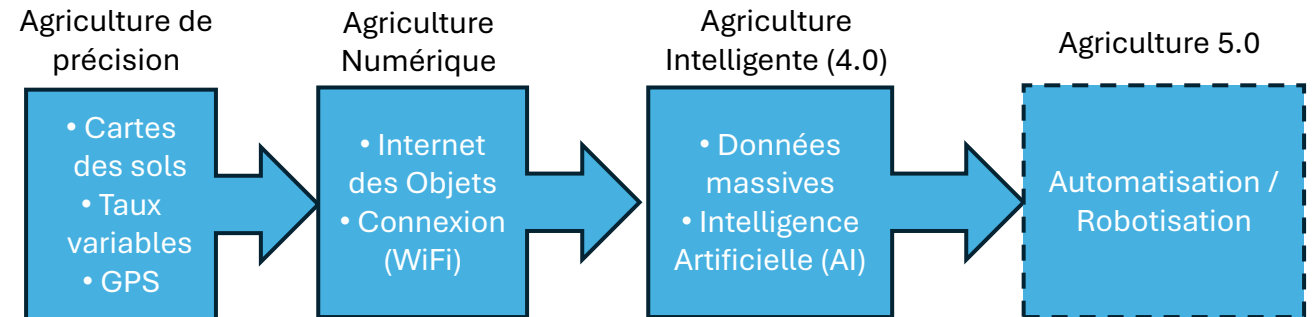


Agriculture numérique

Une transition vers l'agriculture 5.0



L'agriculture numérique 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.



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



Intelligence Artificielle (IA)

Qu'est-ce que l'IA?

Définition simple: Systèmes informatiques ou algorithmes capables de réaliser des tâches nécessitant normalement l'intelligence humaine (e.g. classification d'images)

Différents types d'IA

- **IA classique** - Règles et algorithmes prédéfinis
- **Apprentissage automatique** - Apprend à partir de données à construire une représentation utile
- **Apprentissage profond** - Réseaux de neurones complexes
- **IA générative** - Crée du nouveau contenu (texte, images, sons, video, molécules...)

Intelligence Artificielle classique

Caractéristiques

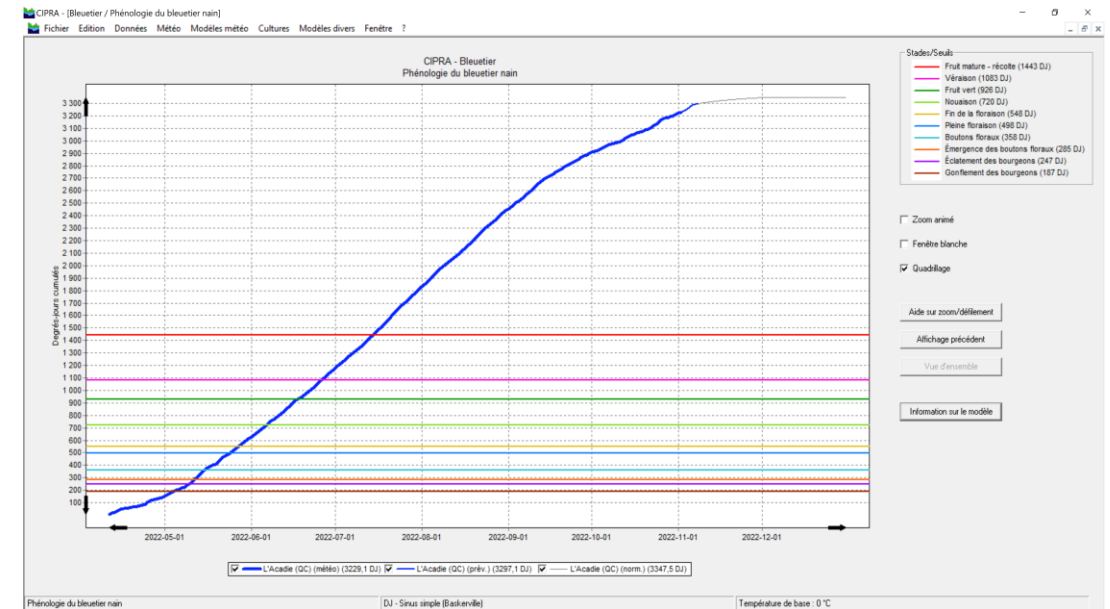
- Basée sur des règles explicites
- Logique SI-ALORS
- Algorithmes déterministes
- Résultats prévisibles

Applications en agriculture

- Systèmes d'irrigation automatisés
- Calculateurs de fertilisation
- Alertes météo
- Gestion des inventaires

Avantages:

- Transparent et explicable
- Fiable pour tâches définies



OAD basé sur des données météorologiques en suivant des patrons prédéfinis de développement phénologiques (CIPRA, 2022).

Limites:

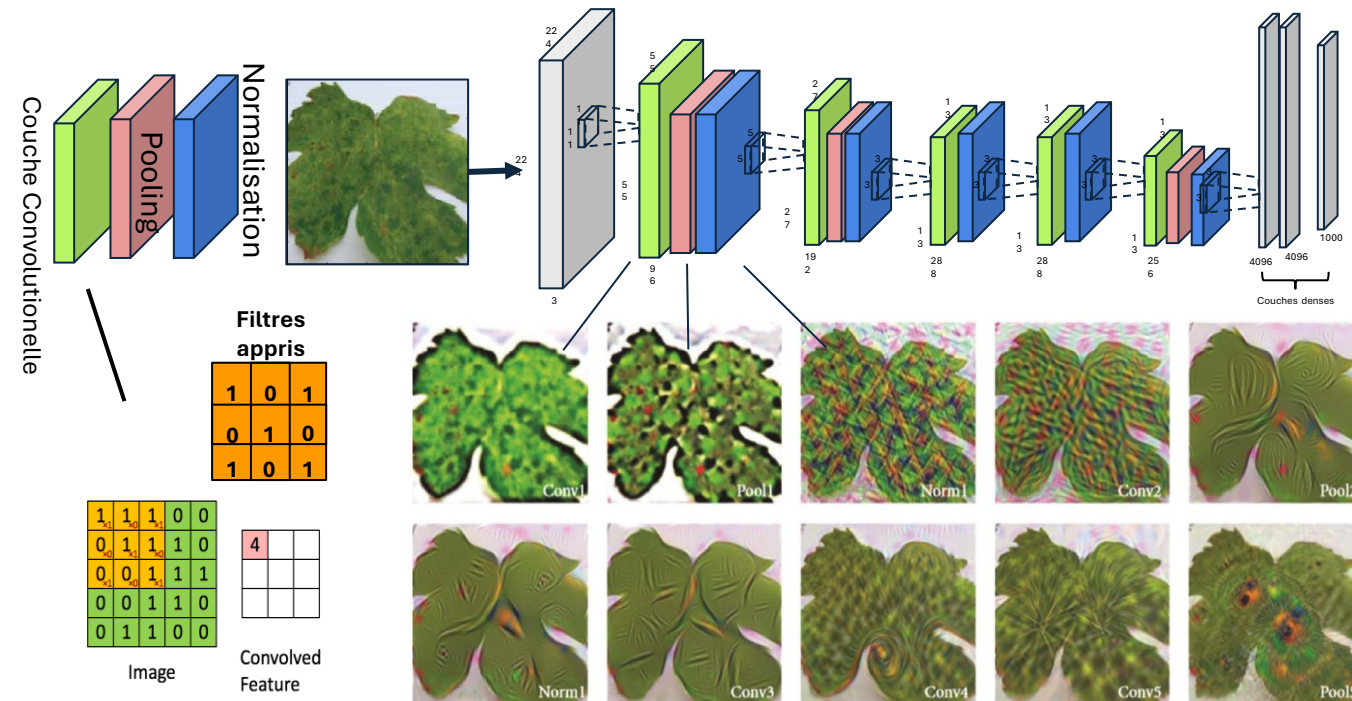
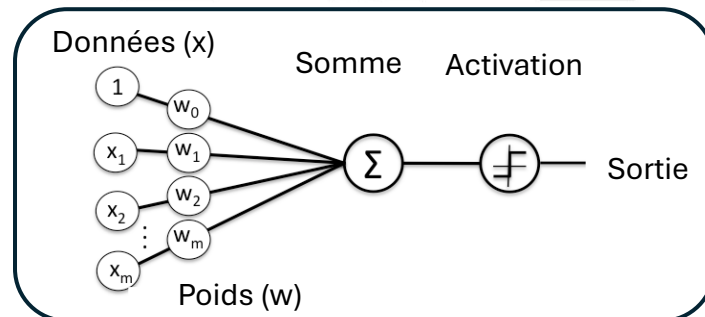
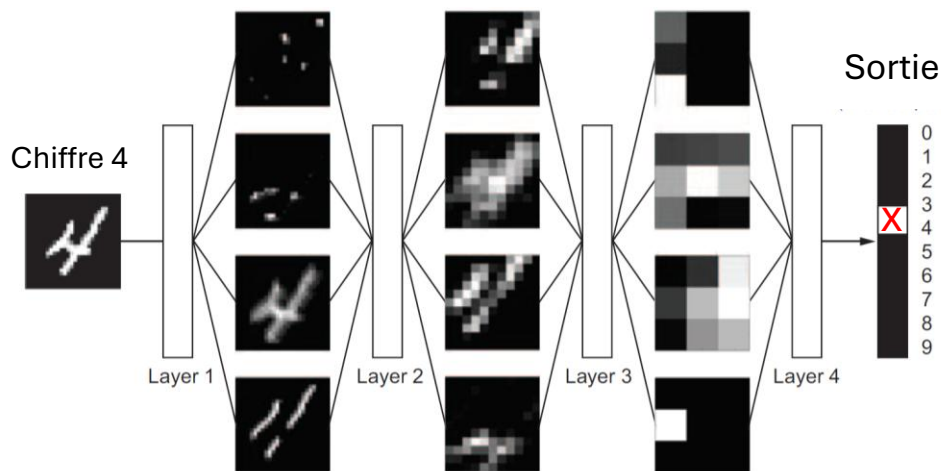
- Ne peut pas s'adapter aux situations imprévues ou apprendre de nouveaux patrons de données

IA et l'apprentissage profond

Réseaux de neurones artificiels

Inspirés du cerveau humain, ces systèmes apprennent par l'expérience

- Millions/milliards de paramètres ajustables
- Apprentissage de paramètres à partir de grands volumes de données
- Capacité à identifier des patrons complexes



Apprentissage profond en agriculture

Vision par ordinateur

- Détection de maladies
- Identification des ravageurs
- Analyse de maturité
- Comptage de fruits, de bactéries, etc.



TrapView™



Scan 3000 Ai

Prédiction avancée

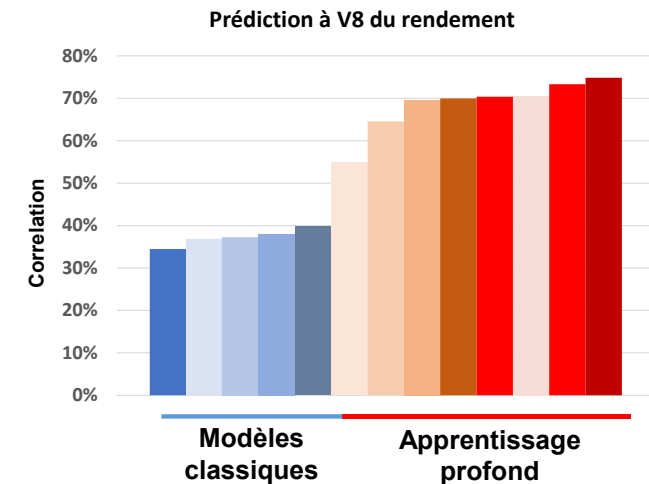
- Rendements agricoles
- Conditions météo locales
- Prix des marchés
- Besoins en ressources



Modèles YOLO

Optimisation

- Routes des tracteurs/robots/drones
- Utilisation des intrants
- Gestion de calendrier cultural
- Gestion énergétique



Longchamps et Lord, 2019, ICPA

Avantages:

- Tâches complexes et variées

Limites:

- Données d'entraînements suffisantes et représentatives

Pourquoi maintenant?

Technologies

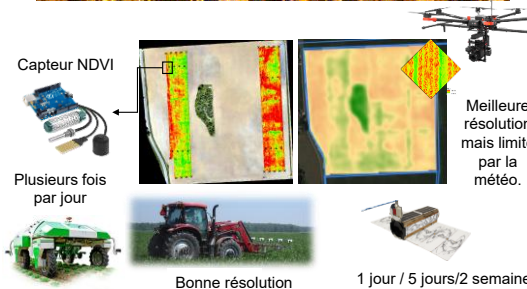
- Puissance de calcul GPU/TPU
- *Cloud computing* accessible
- Algorithmes optimisés
- Infrastructures 5G/IoT



1995 → 2018 → 2025
4 mois → 1 seconde → 0,02 sec
10 millénaires → 1 nuit → 9 minutes

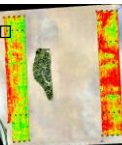
Données

- Explosion des capteurs
- Images satellites
- Historiques numériques

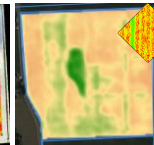


Capteur NDVI

Plusieurs fois par jour



Bonne résolution



Meilleure résolution mais limité par la météo.

1 jour / 5 jours/2 semaines

Investissements (\$)

- Milliards \$ en investissements
- Explosion de startups en I.A.
- Beaucoup de R&D

Investissements*:

GPT 3 : \$5M USD (2020)
ChatGPT : \$100M USD (2023)
DeepSeekV3 : \$5M USD (2024)
DeepSeekR1 : \$294k USD (2025)
NanoChat: 1000\$ USD (2025)

**OpenAI a signé pour environ 1 milliards \$ de contrats cette année pour de la puissance de calcul destinée à faire fonctionner ses modèles d'IA.*

2020-2025: Période d'accélération sans précédent

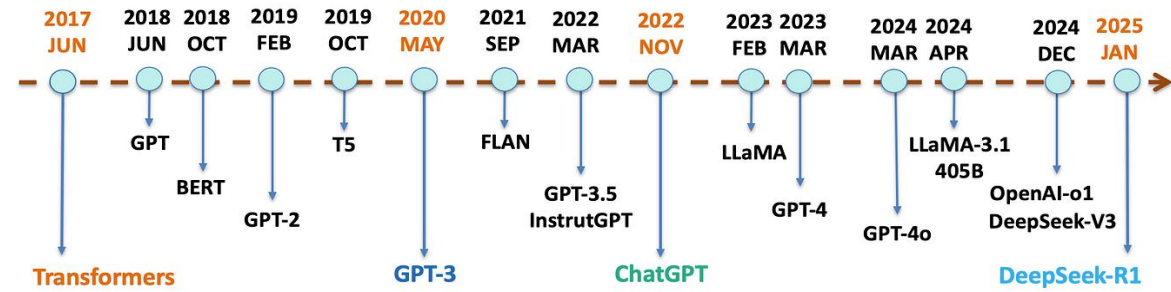
L'IA devient accessible, pratique et abordable pour tous les secteurs

L'IA générative

Une nouvelle génération d'IA

Large Language Model (Grand Modèle de Langage)

Définition simple: Modèles d'IA entraînés sur des milliards de textes pour comprendre et générer du langage naturel



Architecture des LLM basé sur les *transformers* (mécanisme d'attention)

Source: Medium.com

Caractéristiques principales

- Comprennent le contexte et les nuances
- Peuvent raisonner* sur des problèmes complexes (modèles avec agents)
- S'adaptent à différents domaines
- Apprennent de nouvelles informations
- Communiquent naturellement
- À prendre en compte: les modèles vont toujours donner une réponse

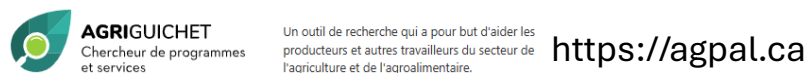


Temps total de la requête: ~ 1 minute

LLM en agriculture

Nom du modèle	Architecture	Specialisation	Références
AgriGPT	Multiple models (7B-72B params)	Agricultural knowledge Q&A, multi-modal understanding	Yang et al., 2025 (arXiv:2508.08632)
AgriLLM	T5, BART, Pegasus	Farmer query resolution	Didwania et al., 2024 (arXiv:2407.04721)
AgroLLM	ChatGPT-4o-mini with RAG	Agricultural knowledge transfer	Samuel et al., 2025 (arXiv:2503.04788)
AgriSentinel	CNN, GPT-2	Privacy-Enhanced Embedded-LLM Crop Disease Alerting System	Mylay et al. 2025 (arXiv: 2509.09103)
PLLaMa	LLaMA-2 (7B & 13B)	Plant science	Yang et al., 2024 (arXiv:2401.01600)
LLMI-CDP	VisualGLM/ChatGLM	Multimodal crop disease & pest identification	Wang et al., 2025 (Scientific Reports)
KissanGPT	GPT-3.5 + Whisper	Indian farmer assistance	Verma, 2024; Desai, 2023
PlantDeBERTa	DeBERTa	Plant science NER	Khey et al., 2025; arXiv:2506.08897
Agri-LLaVA	LLaVA-1.5	Agricultural pests & diseases multimodal	Wang et al., 2024 (arXiv:2412.02158)
AgriGPT-VL	Vision-language model	Agricultural vision-language understanding	Yang et al., 2025 (arXiv:2510.04002)
AgroGPT (vision)	Qwen-VL	Efficient agricultural vision-language	Awais et al., 2025 (WACV)
CDP-MCNER	Multimodal architecture	Chinese Named Entity Recognition (NER) for the Agricultural Domain for crop diseases/pests	Liu et al., 2025 (Scientific Reports, 2025 15:5429)
PepperNet	Multimodal framework	Pepper diseases & pests detection	Liu, J., & Wang, X.,2024, Scientific Reports, 10.1038/s41598-024-80675-w)

Exemple pour la recherche d'information



Clavardage d'AgriGuichet

En utilisant ce système, vous confirmez avoir lu la publication du SCRS sur l'IA générative.

Il y a une minute

J'ACCEPTE

À l'instant

Sélectionnez une région

À l'instant

Quebec

À l'instant

Bonjour, je suis AgriGuichet, un assistant d'IA générative! Je peux répondre à des questions concernant les programmes, les avantages et les services fédéraux, provinciaux et territoriaux offerts au secteur agricole canadien.

Que voulez-vous savoir?

À l'instant

Je fais présentement une rotation maïs grain-soya, j'aimerais me lancer en culture biologique. Quelles sont les ressources disponibles?

Financement Agricole Canada

www.fcc-fac.ca/fr/ressources/ia-racine

Racine^{MC}, votre assistant virtuel

Bonjour, je m'appelle **Racine**.

Je suis un assistant virtuel conçu pour soutenir les producteurs et productrices agricoles et agroalimentaires du Canada. Je fournis des conseils pratiques, des recommandations judicieuses et des solutions personnalisées pour aider les agriculteurs et agricultrices à surmonter les complexités de l'agriculture moderne. J'ai été formé pour traiter d'une vaste gamme de sujets, du financement à la planification d'entreprises en passant par la durabilité et l'agronomie.

Sélectionnez l'une de mes invites de démarrage ci-dessous ou posez votre propre question pour commencer.

Je veux vous faire part d'une photo.

Donnez-moi des idées à propos de...

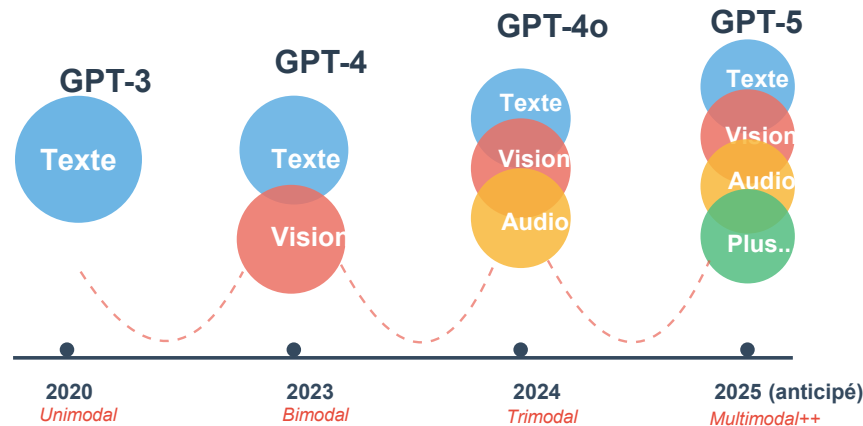
Tapez votre message

Racine est un outil d'intelligence artificielle conçu pour l'industrie agricole et agroalimentaire canadienne. Développé par FAC, Racine

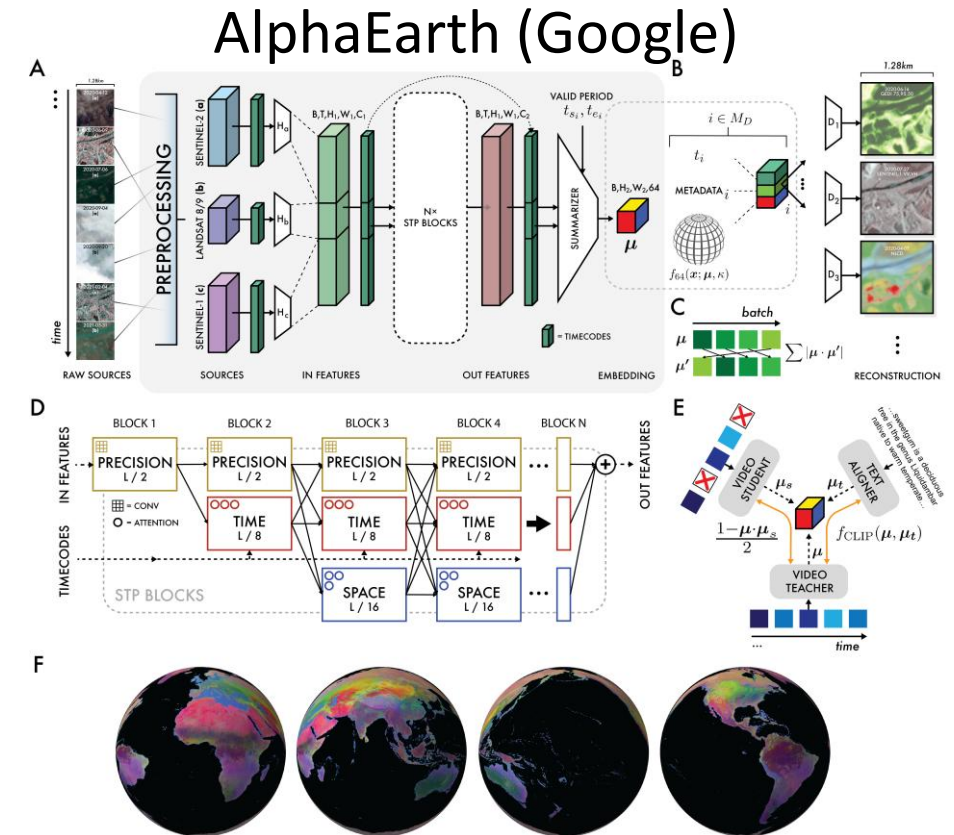
IA – Développements futurs

1. Les modèles *fondateurs*

Définition simple: Modèles d'IA entraînés sur des **milliards de données** pour une représentation hautement générale qui assimile les contextes spatiaux, temporels et de mesure provenant de sources multiples.



Source: LifeArchitect.ai/models



- ## 2. Agents IA autonomes
- Évolution vers l'autonomie - IA qui prend initiatives -
Planification à long terme – Coordination multi-tâches
- ## 3. Jumeaux numériques agricoles et ferme connectée

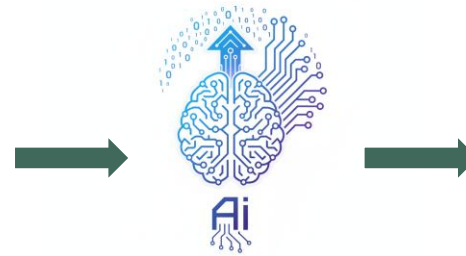
Outils d'aide à la décision (OAD) en fertilisation

Définition simple: Les outils d'aide à la décision (OAD) en fertilisation sont des outils informatiques qui intègrent les **connaissances agronomiques**, les **données pédologiques**, les **besoins des cultures** et les **facteurs environnementaux** afin d'optimiser l'application des engrais dans les grandes cultures.

Paramètres typiques

- Données de sol (N, P, K, pH, % matières organiques)
- Type de culture et rendements souhaités*
- Historique des cultures (rotations)
- Conditions météorologiques (historique, prévision)
- Pratiques de gestions
- Facteurs économiques (coûts des intrants, prix t/ha)

Modèles



Sorties

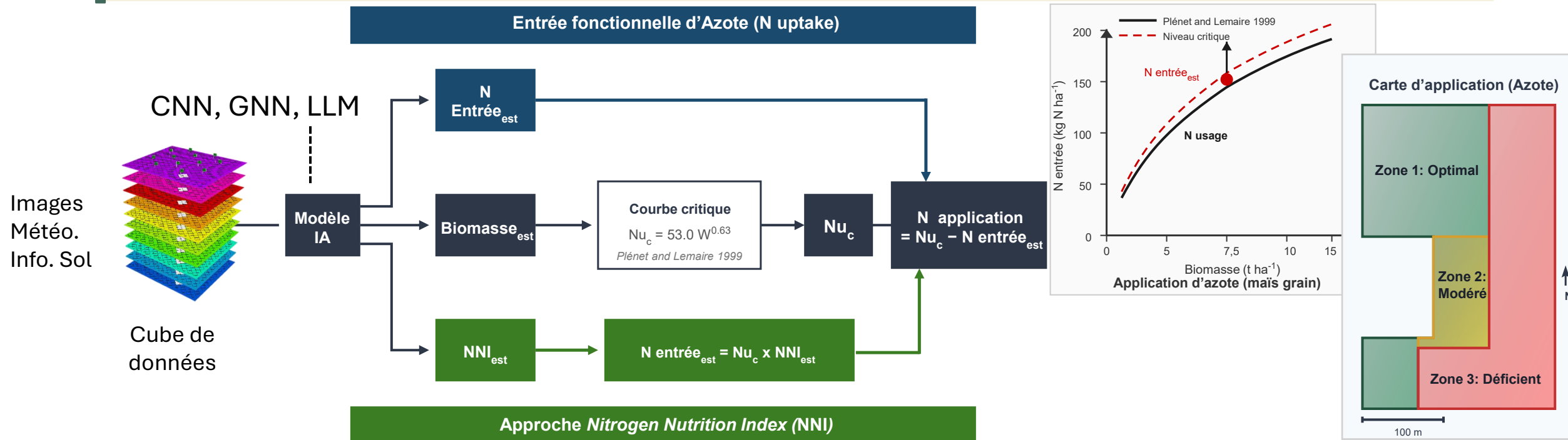


*Rendements (\$) ou marges souhaitées. Inclusion des facteurs écologiques.

OAD idéal en fertilisation

Un OAD idéal devrait:

- Recommander un **apport d'azote (N) uniquement lorsque la culture en a besoin**, en minimisant toute erreur liée au moment précis de l'apport.
- Fournir des **recommandations dynamiques** concernant la dose optimale d'azote, en tenant compte de l'état azoté actuel de la culture.
- Recommander une **dose d'azote fiable tout au long de la saison de croissance**, en particulier pendant les stades de développement critiques pour la fertilisation azotée.



Bénéfices des OAD

Économiques

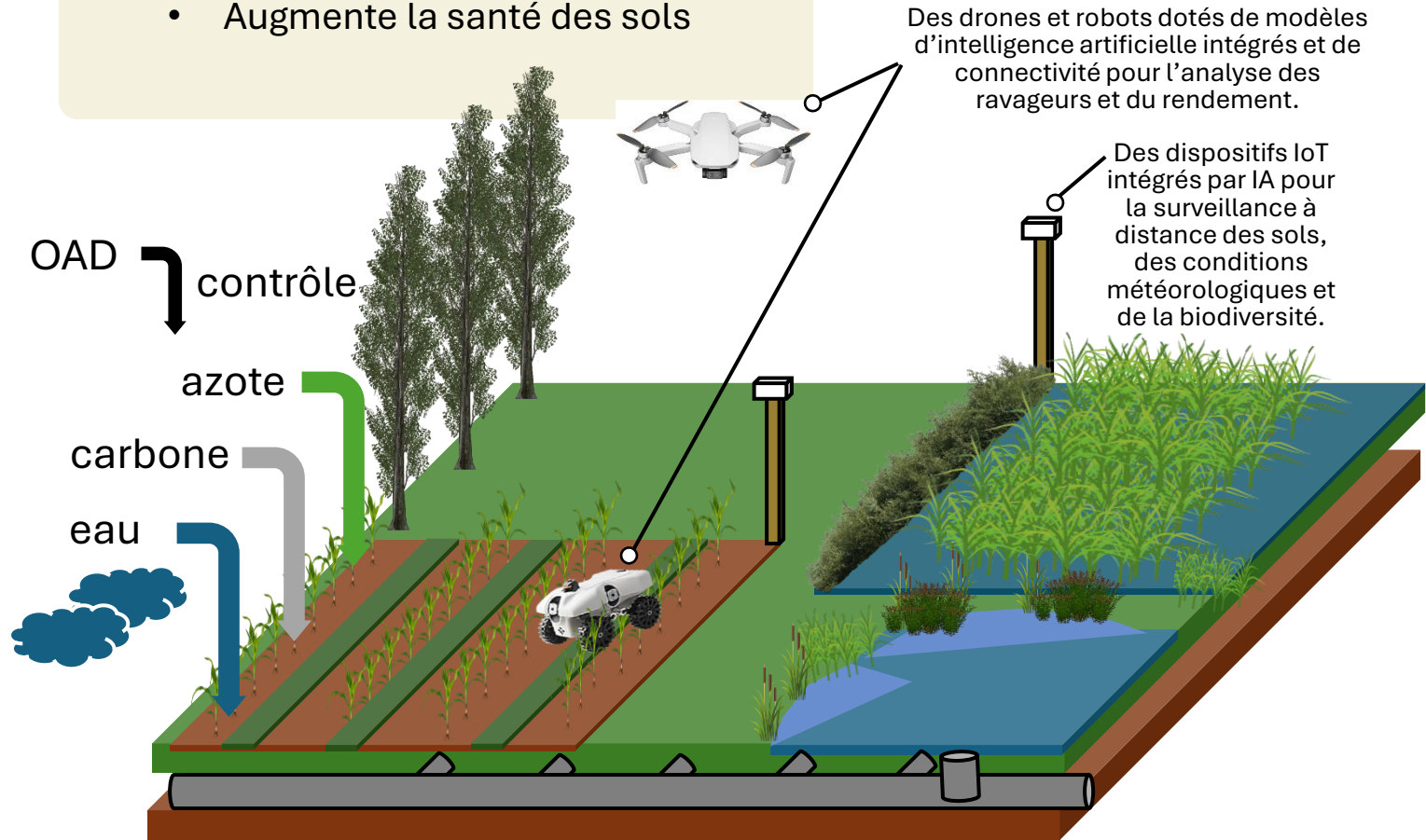
- Optimisation des engrais (coût)
- Meilleure efficacité (temps)
- Meilleure prédiction des rendements

Agronomiques

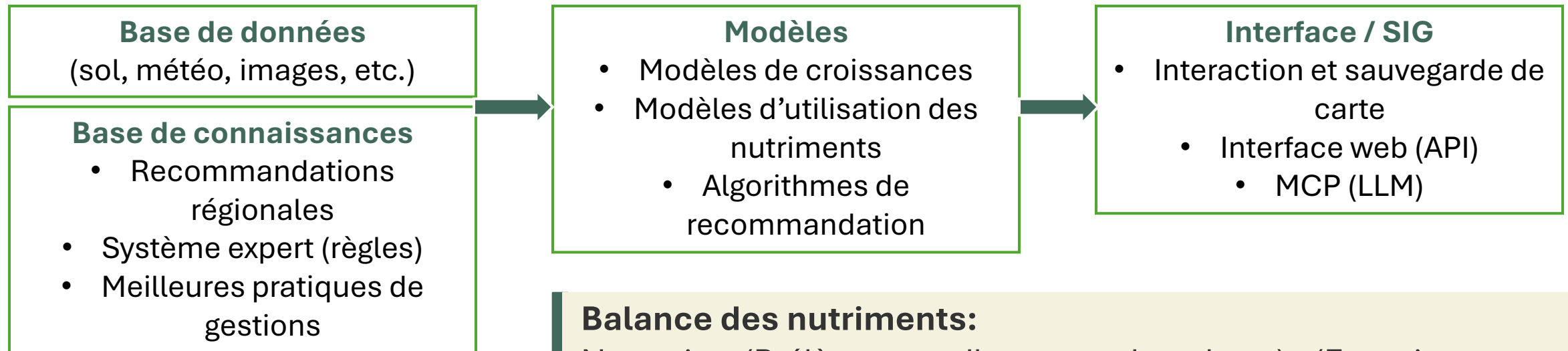
- Augmente l'efficacité (NUE)
- Meilleure synchronisation avec les effets
- Meilleure gestion

Environnement

- Réduit le lessivage
- Réduit l'émission de GHG (N_2O)
- Augmente la santé des sols



Composantes des OADs



Sources:

ECCC, Agri-réseaux, InfoSols, CRAAQ, Publications scientifiques, Agriculture et Agroalimentaire Canada

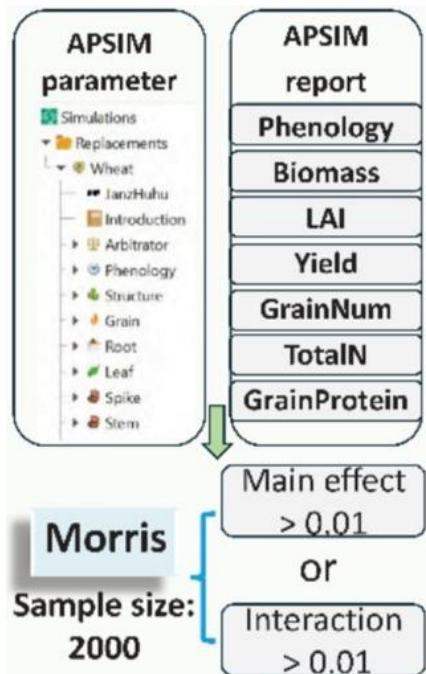
Balance des nutriments:

$$N \text{ requis} = (\text{Prélèvement d'azote par la culture}) - (\text{Fourniture d'azote par le sol}) - (\text{Azote provenant de sources organiques} / \text{Coefficient efficacité})$$
(modèle dynamique influencé par le sol, l'environnement, les facteurs biotiques)

Tremblay, N. et al. (2012). Corn response to nitrogen is influenced by soil texture and weather. *Agronomy Journal*, 104(6), 1658-1671.

OAD – Modèles de simulations

Agricultural Production Systems Simulator (APSIM) est une suite de modules à code source ouvert destinée à la simulation de systèmes agricoles complexes (Holzworth et al., 2014), dont la version la plus récente est APSIM-Next Generation (Holzworth et al., 2018).

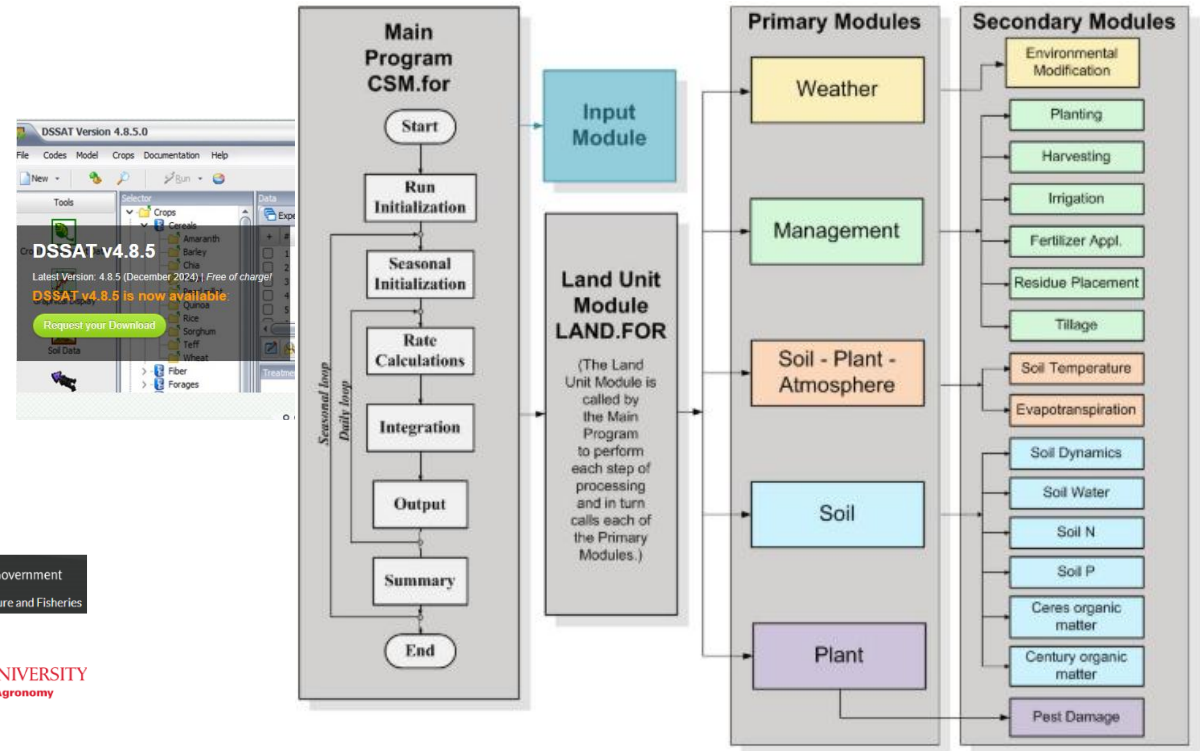


agresearch
āta mātai, mātai whetū



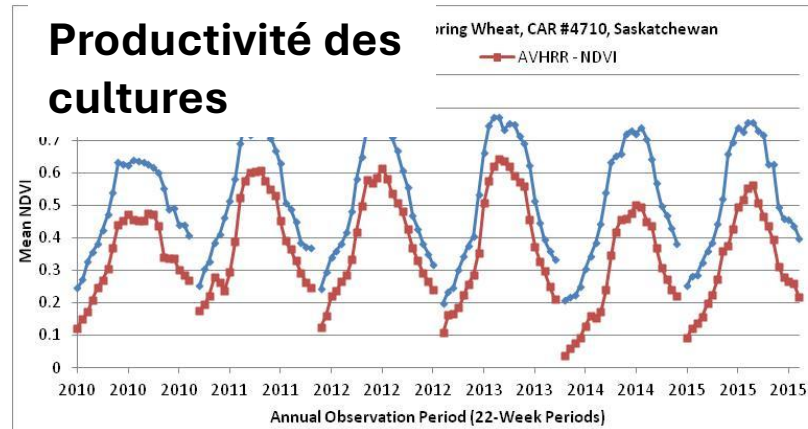
IOWA STATE UNIVERSITY
Department of Agronomy

Decision Support System for Agrotechnology Transfer (DSSAT) est un logiciel d'application fonctionnant sous Windows qui comprend des modèles dynamiques de simulation de la croissance des cultures pour plus de 45 espèces cultivées.

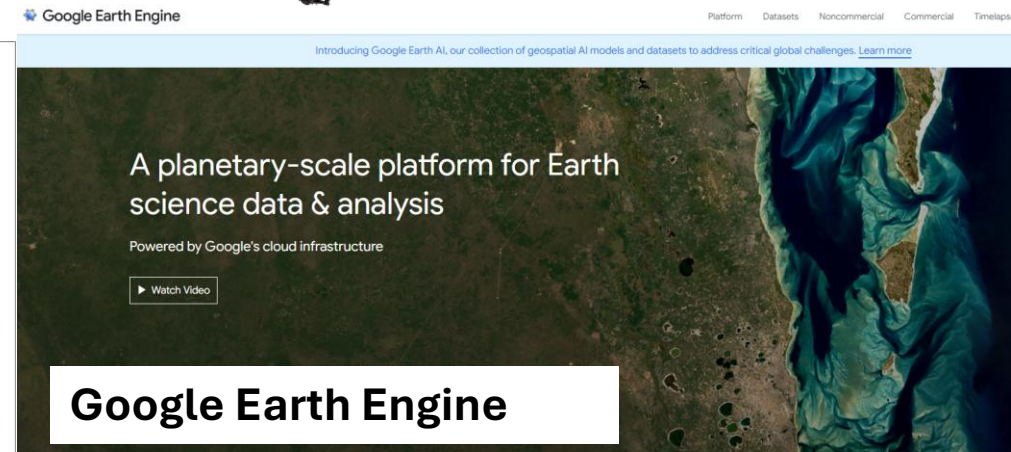


OAD – Sources des données

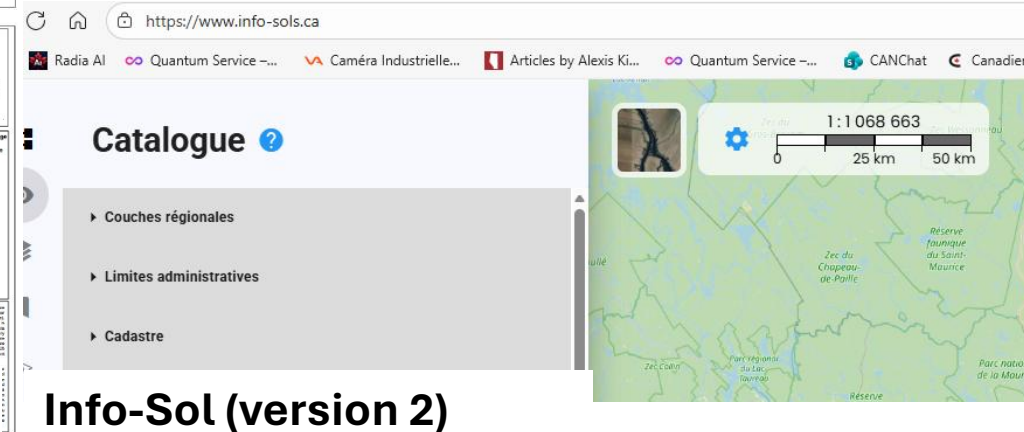
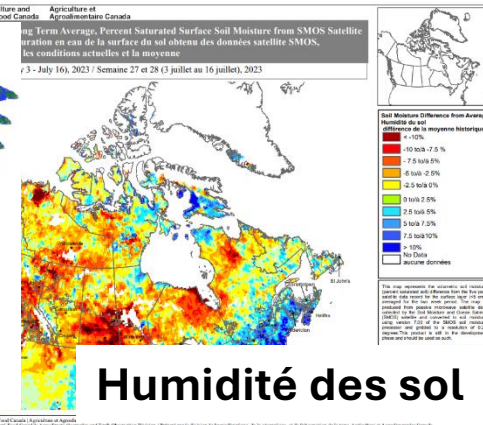
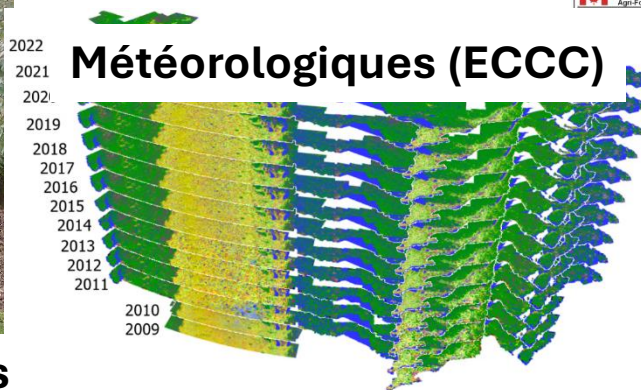
Données pré-compilées (Observation de la Terre)



Drones (UAV)

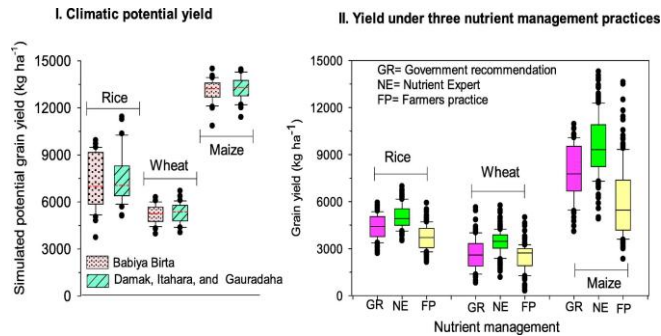


Type de cultures

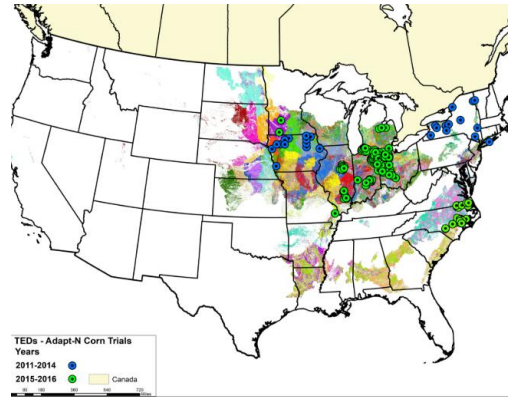


OAD - Examples

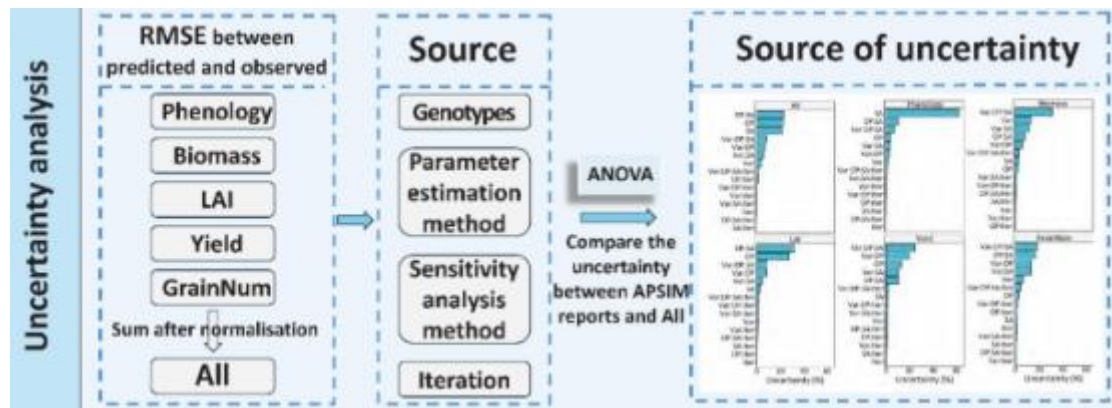
Nutrient Expert® (NE)



Adapt-N



Analyse des paramètres pour les différent modèles (APSIM)



Canada

AFFIRM (Alberta Farm Fertilizer Information and Recommendation Manager) - Alberta Agriculture
Alberta Grains Nitrogen Rate of Return Calculator - Alberta Agriculture
Ontario Corn Nitrogen Calculator - Université de Guelph + MAAARO
Manitoba Nitrogen Rate Calculator - Manitoba Agriculture
Prairie Nutrient Removal Calculator - Prairie Soil and Crop Research

USA

Corn Nitrogen Rate Calculator (MRTN) - Iowa State University
N-FACT - Iowa State University
NDSU - North Dakota State University

Union Européenne

AzoFert - INRAE
AZODYN - INRAE
APPI-N - INRAE
Overseer - Nouvelle-Zélande

Autres

VariMax - John Deere
Yara N-Sensor

Outil	Province/Région	Cultures couvertes	Fonctionnalités principales	Coût	Accès web/mobile	Développeur
AFFIRM	Alberta	160+ cultures (irrigué et non-irrigué)	Recommandations N-P-K-S, analyse économique, optimisation à l'échelle de la ferme, scénarios "et si", gestion fumiers, principes 4R	Gratuit	Web uniquement	Alberta Agriculture
Ontario Corn Nitrogen Calculator	Ontario	Maïs-grain	Calcul dose optimale selon texture sol, région, UTM, rendement potentiel, rapport prix, crédits fumier/N démarrage	Gratuit	Web uniquement / Excel	Université de Guelph + MAAARO
Manitoba Nitrogen Rate Calculator	Manitoba	Blé printemps, orge, canola	Optimisation économique, retour net par acre, comparaison sources d'azote	Gratuit	Web uniquement / Excel	Manitoba Agriculture
Alberta Grains N Calculator	Alberta	Blé printemps, orge fourragère	Calcul du retour sur investissement par dose d'azote	Gratuit	Web uniquement	Alberta Agriculture
Climate FieldView	Pan-canadien	Maïs, soya, blé, canola	Nitrogen Advisor, prescriptions VRA, intégration analyses sol, suivi NUE	Abonnement (plans multiples)	Web + mobile (iOS/Android)	Bayer/Climate Corporation
Prairie Nutrient Removal Calculator	Alberta, Saskatchewan, Manitoba	14 cultures des Prairies	Calcul des retraits de nutriments pour planification fertilisation	Gratuit	Outil Excel téléchargeable	Prairie Soil and Crop Research

OAD - Perspective

Défis actuels

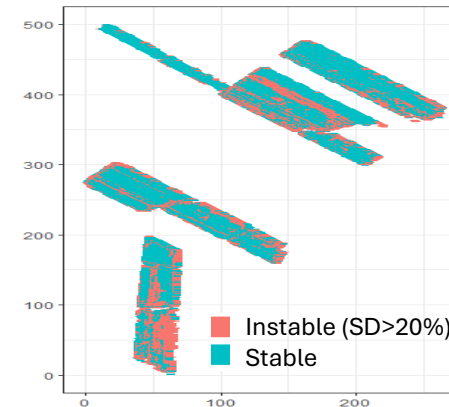
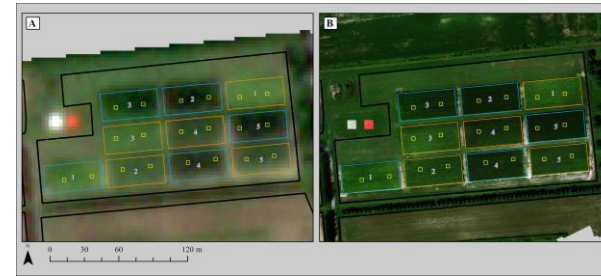
- Techniques:
 - Données (qualité/accessibilité)
 - Modèles calibrés localement
 - Interfaces complexes et non universel
- Adoption:
 - Modèles complexes
 - Équipements (drones/taux variables)
 - Gain

Directions futures

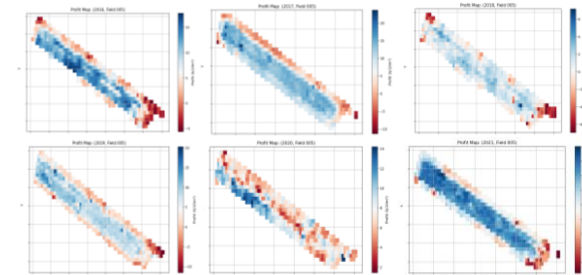
- LLMs intégrateurs
- Réseaux de capteurs
- Applications mobiles
- Modèles sur le cloud et *open source*

Recherches en cours

Vigneault, P., et al. "Yield Forecasting in Maize: Performance and Limits of Unmanned Aerial Vehicle and PlanetScope Remote Sensing Across Multiple Growth Cycles. 2026.



E. Lord, E. Fallon, A. Cambouris, ICPA 2024
Evaluation of Deep Learning for Predicting Yield Temporal Stability



Merci!



Développement de technologies et 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)
- Utilisation du « paysage sonore » pour la bioversité.

Chercheur scientifique, St-Jean-sur-Richelieu, RDC

Etienne.Lord@agr.gc.ca

[linkedin.com/in/etiennelord/](https://www.linkedin.com/in/etiennelord/)

orcid.org/0000-0002-3834-6096

profils-profiles.science.gc.ca/en/profile/etienne-lord

