

Série de webinaires

IA EN PHYTOPROTECTION APPROCHES PRÉDICTIVES ET OUTIL D'AIDE À LA DÉCISION EN GRANDES CULTURES

Bienvenue

Photo : Gabriel Verret, CEROM

Photo : IRDA



Photo : IRDA

L'IA pour l'aide à la décision

Place des données multisources en lien avec l'agriculture et la phytoprotection

Samuel Foucher

Université de Sherbrooke
Département de Géomatique appliquée

- **Contributeurs:** *Gatien Romuald Kenfack Nguemo, Mickael Germain, Ramata Magagi*

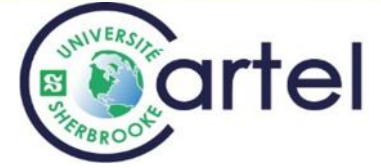
Samuel Foucher, Professeur

Département de géomatique appliquée



- **Expertises:**
 - Télédétection, SAR, forage des données, apprentissage automatique, traitement d'image
- **Intérêts de recherche:**
 - Applications de l'apprentissage profond aux sciences de l'environnement:
 - Recensement faunique
 - Agriculture de précision
 - Approches non dirigées ou semi-dirigées
 - Apprentissage machine appliqué en sciences du climat et en observation de la terre
 - Application des réseaux de neurones sur des graphes en géomatique
 - Apprentissage machine basé sur la physique (*Physics-informed Machine Learning*)
- **Infrastructure géospatiale:**
 - Manipulation des mégadonnées (cubes de données)
 - Développement de nouveaux standards en géomatique
 - Plateforme pour l'annotation des données

Département de géomatique appliquée



- 12 professeurs
- 100+ étudiants aux 3 cycles
- <https://www.usherbrooke.ca/geomatique/>
- Trois axes:
 - *Physique de la télédétection*
 - *Traitement de la données*
 - *Applications thématiques*
- Thématiques:
 - Agriculture de précision
 - Milieux nordiques
 - Foresterie
 - Biodiversité
 - Cartographie

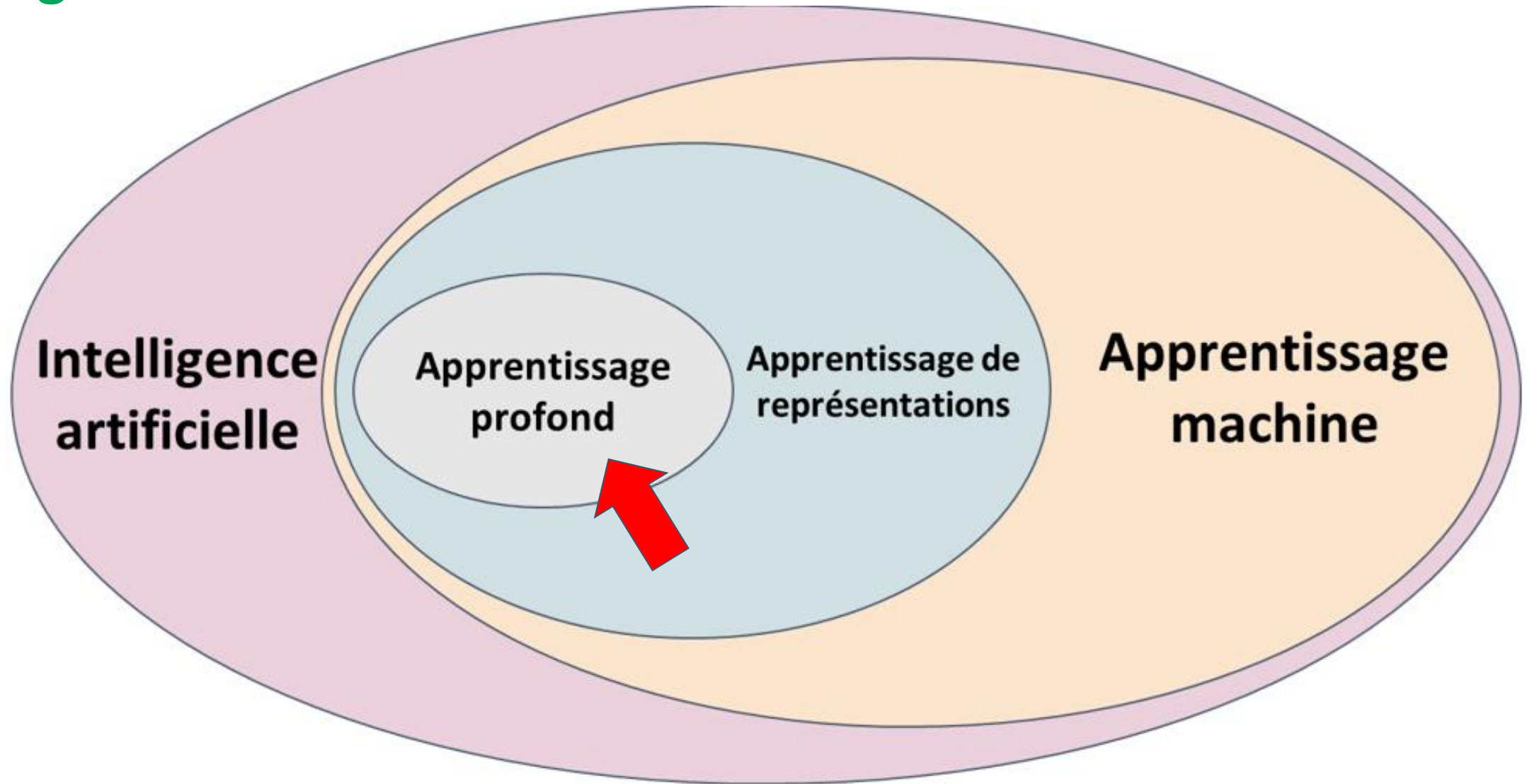


Partie I

De l'Idée à l'Action: Comprendre l'IA,
les LLMs et la Révolution des Agents



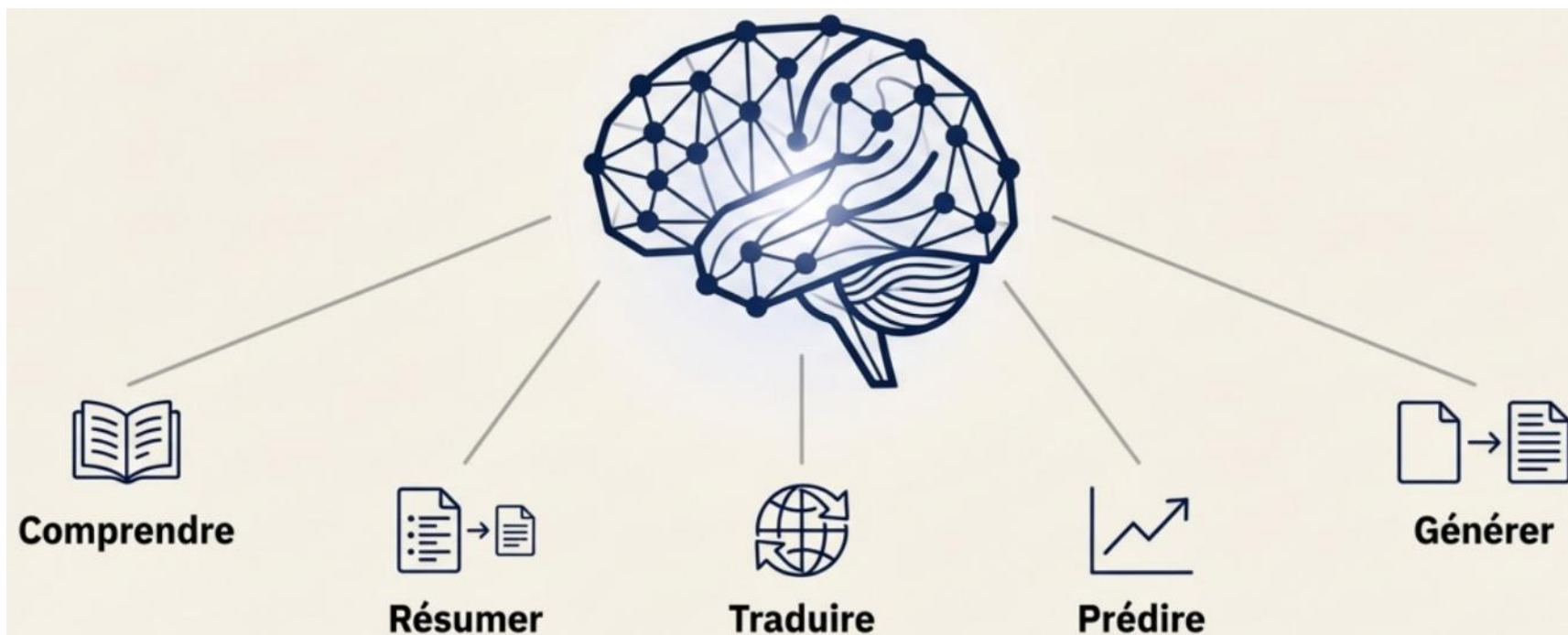
L'intelligence artificielle : un domaine très vaste



Depuis 2012, l'apprentissage profond a révolutionné le domaine

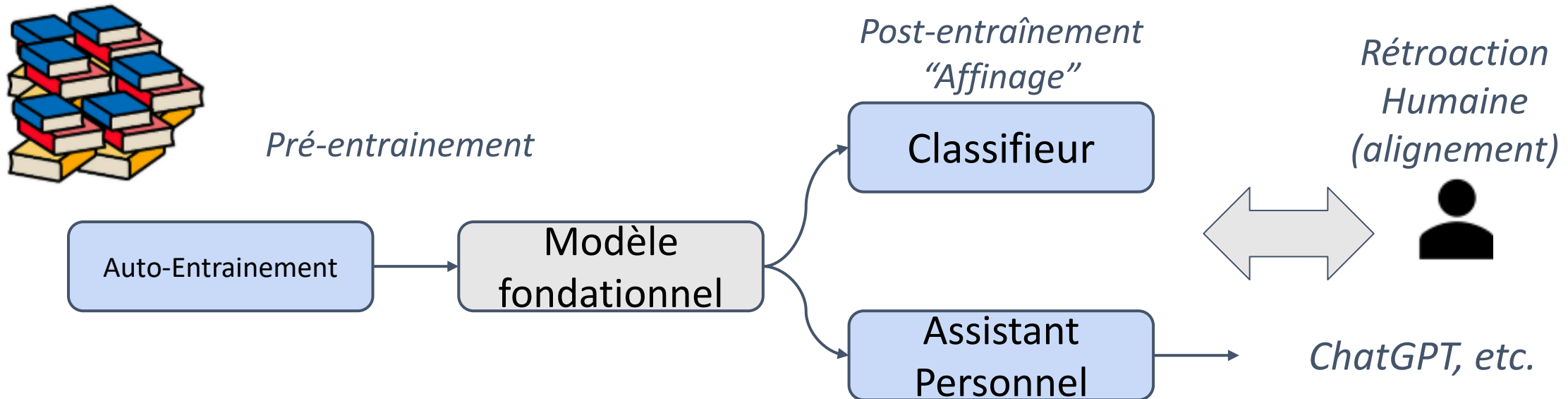
Au cœur de la Révolution: Les Grands Modèles de Langage (LLMs)

- Les **Grands Modèles de Langage (LLMs)** sont le moteur de la vague actuelle d'IA.
- Facilitent certaines tâches: comprendre, résumer, traduire, prédire et générer du texte avec une fluidité quasi-humaine.
- Interaction sous forme de langage naturel (**'ChatBot'**)
- Un « réseau de neurones » central qui alimente une nouvelle génération d'applications.



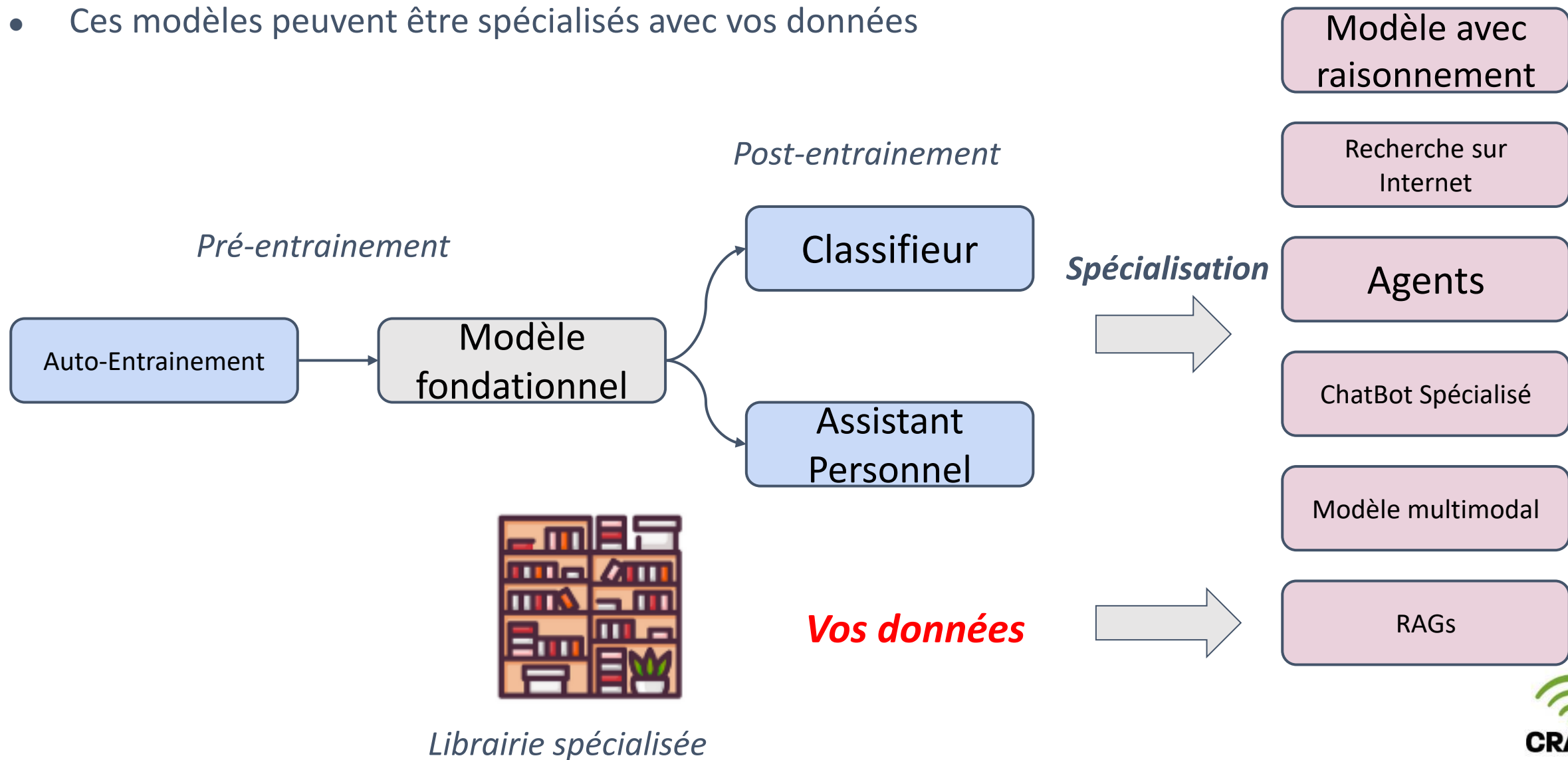
Les modèles de langues (LLM)

- Modèles dits **fondationnels** (entraînement sur tout ce qui a été écrit!)
- Ces modèles sont entraînés à prédire le prochain mot dans une phrase
- Entraînement sur l'internet au complet + plusieurs librairies (plusieurs millions d'ouvrage!)
- Investissement de plusieurs centaines de millions de dollars!



Spécialisation des modèles de langues (LLM)

- Ces modèles peuvent être spécialisés avec vos données



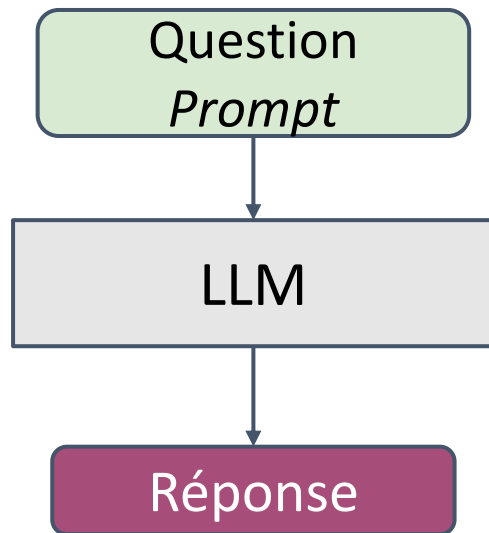
Modèles avec « raisonnement »

- Certains modèles semblent être capables de « raisonner »
- Précurseurs d'une Intelligence Artificielle Générale (AGI) ?
- Encore très controversés (*mémorisation* versus *raisonnement*)
- Les nouveaux modèles « raisonnent » en boucle (*test time inference*)
- Plus adaptés pour des problèmes complexes (décomposition en étapes)
- Plus coûteux à l'utilisation à cause des itérations

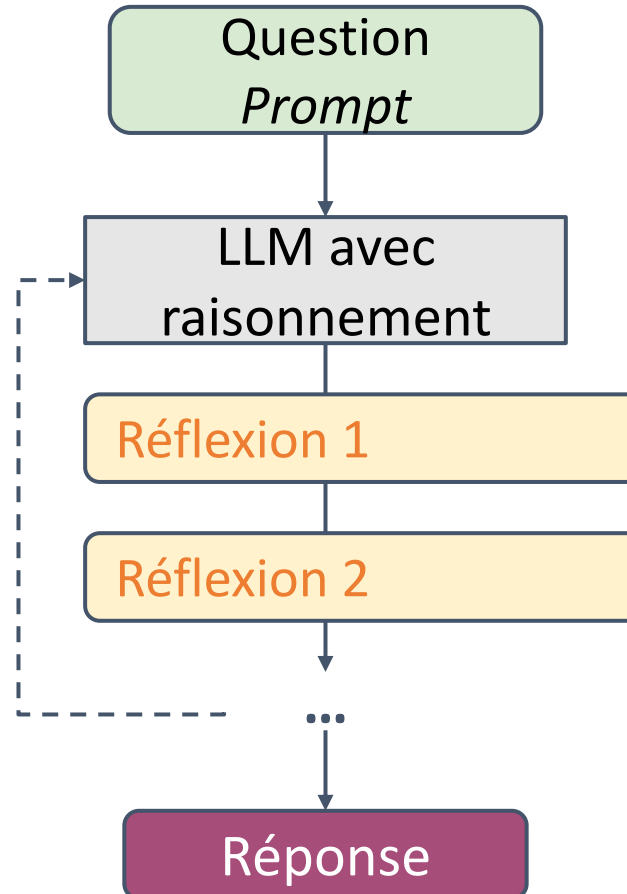
Modèles avec “raisonnement”

- Le modèle semble “réfléchir” avant de donner une réponse

ChatBot traditionnel



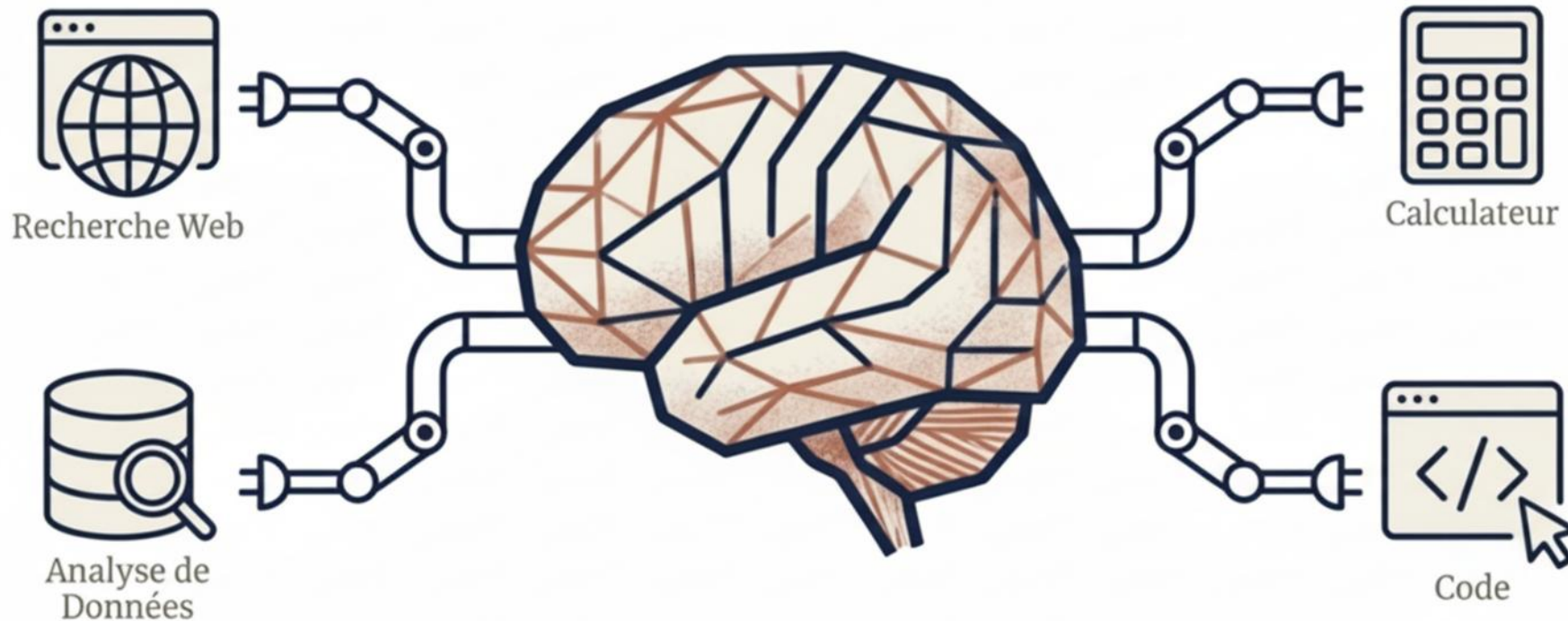
ChatBot avec raisonnement



Chaîne de pensées

L'Agent IA

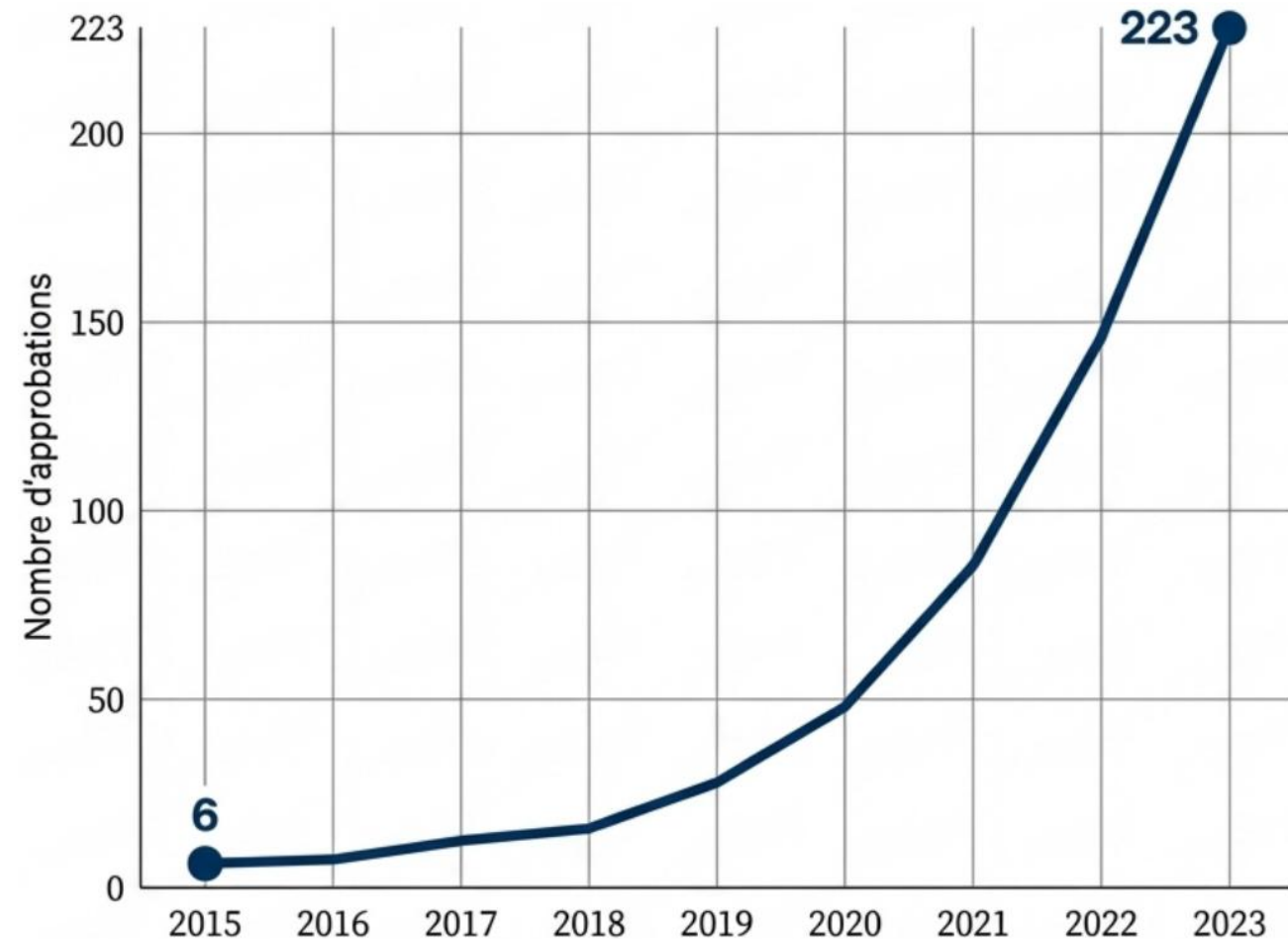
- Combine plusieurs composantes :
 - LLM comme « cerveau »
 - Une capacité d'utiliser des **outils** pour accomplir des **tâches**.
- Un LLM qui peut non seulement raisonner et répondre, mais aussi **faire**



Exemple : l'aide à la décision en médecine

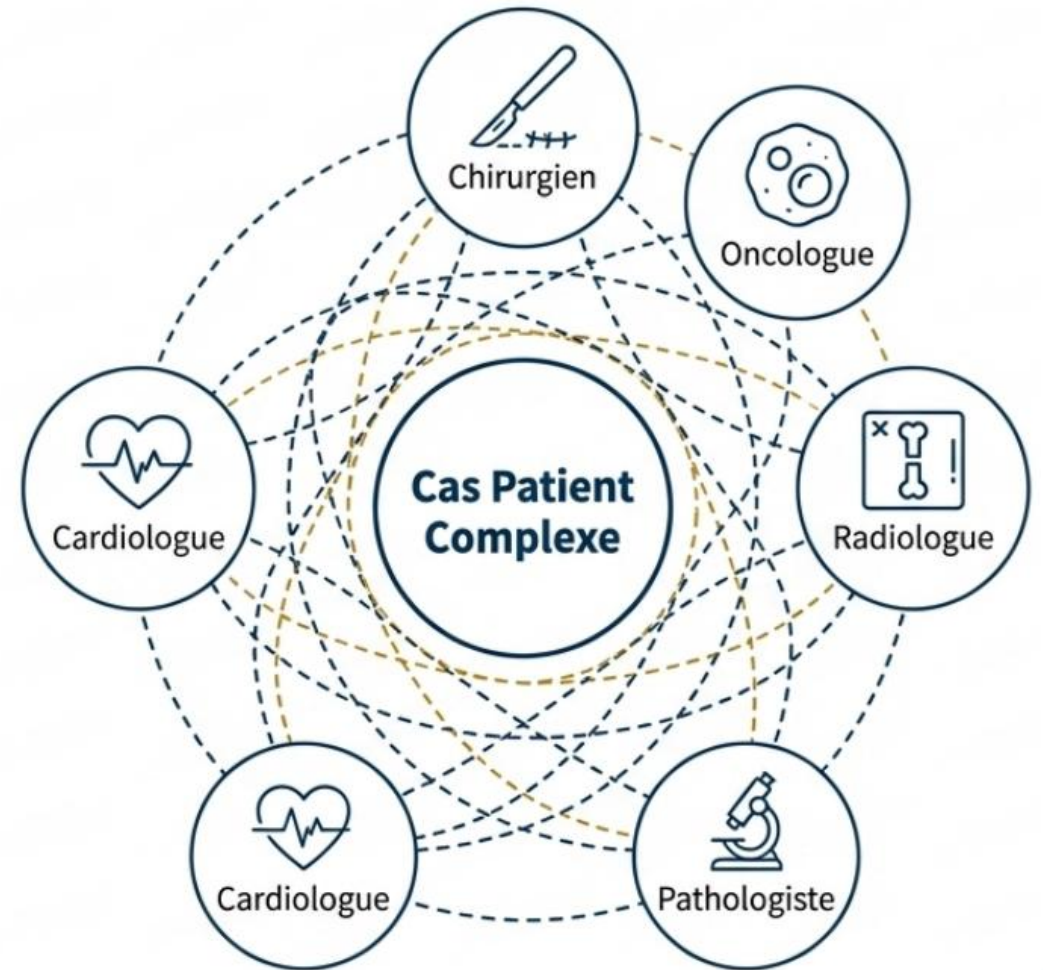
Explosion des approbations par la FDA (US) de dispositifs médicaux basés sur l'IA.

- Les applications les plus simples de l'IA agissent comme des agents spécialisés, accomplissant des tâches précises.
- L'un des exemples les plus concrets est l'aide au diagnostic en imagerie médicale.

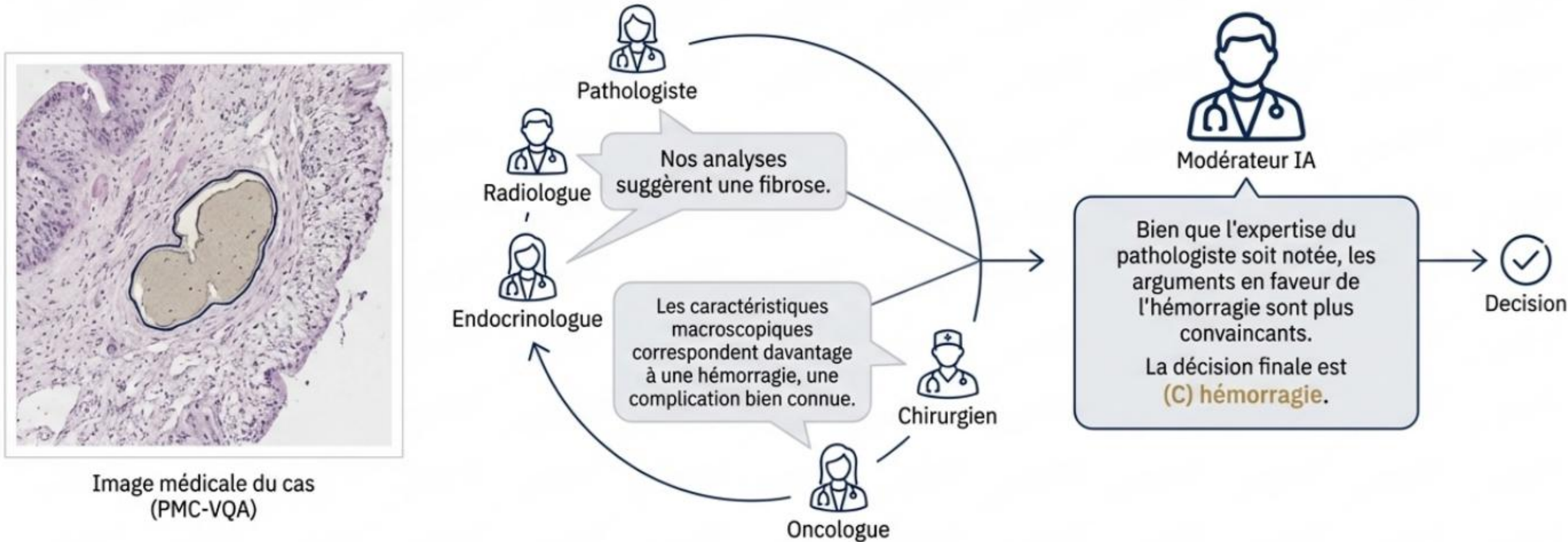


La nécessité d'une intelligence collective

- Les cas de complexité modérée à élevée requièrent l'intervention d'une **équipe pluridisciplinaire**
- Données **hétérogènes** et multiples
- Ce processus collaboratif, bien qu'essentiel, est coûteux en temps et en ressources



Exemple : l'aide à la décision en médecine



Le système est capable de peser des expertises contradictoires pour converger vers la conclusion la plus probable, imitant ainsi un raisonnement clinique avancé.

Source: C. Park, et al. "MDAgents: An Adaptive Collaboration of LLMs for Medical Decision-Making." NeurIPS, 2024.

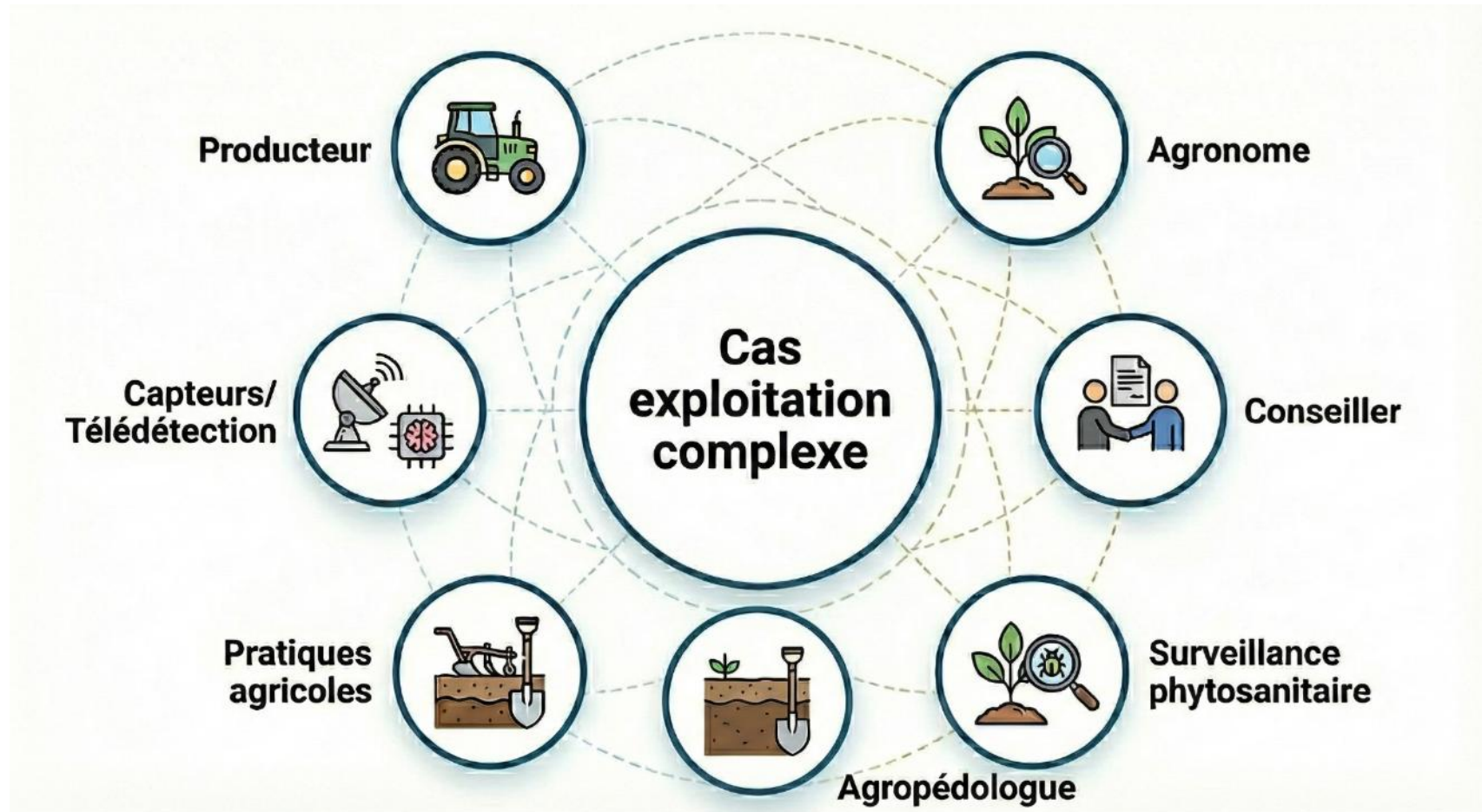
Avantages

- 1. Capacité de synthèse** : Synthèse de données complexes (ex: imagerie, dossiers médicaux) pour des diagnostics et décisions plus robustes.
- 2. Gestion de la complexité** : Décomposition des problèmes en sous-tâches gérées par des agents spécialisés, permettant de résoudre des défis inaccessibles à un agent unique.
- 3. Efficacité et automatisation** : Automatisation de la collecte de données, de la synthèse et des tâches de routine, optimisant les flux de travail et libérant les experts humains pour des activités stratégiques.
- 5. Prise de décision collaborative** : Simulation d'équipes multidisciplinaires pour exploiter l'intelligence collective et aboutir à des conclusions plus holistiques et complètes.
- 6. Adaptabilité dynamique** : Capacité à ajuster la composition de l'équipe d'agents et à intégrer des outils externes (API, bases de données) en fonction de la complexité de la tâche.

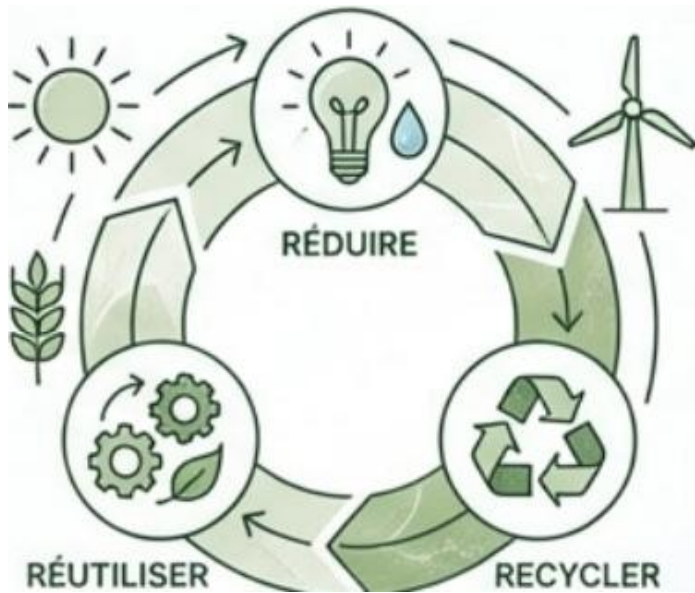
Enjeux

- 1. Supervision humaine essentielle** : La précision chute dans les scénarios complexes, rendant indispensable la validation par un humain pour garantir la fiabilité.
- 2. Complexité de la coordination** : La gestion des interactions, de la communication et du consensus entre agents est un défi technique pouvant engendrer surcoûts et points de défaillance.
- 3. Risque de propagation d'erreurs** : Une erreur commise par un seul agent peut se propager en cascade à travers le système, compromettant la validité du résultat final.
- 4. Coût élevé et latence** : L'exécution de multiples agents et leurs appels à des modèles et outils externes peuvent être coûteux en ressources et ralentir la prise de décision en temps réel.
- 5. Manque de transparence (« Boîte noire »)** : Le processus de décision global peut être opaque, rendant l'audit et l'explication des résultats particulièrement difficiles.

De la santé humaine à la santé des exploitations agricoles?



Contexte de l'agriculture 5.0



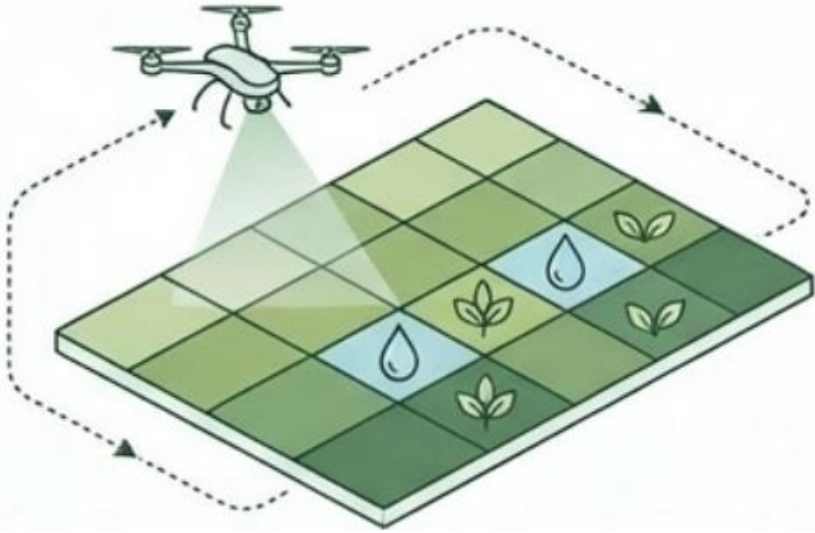
Économie Circulaire et Agriculture Régénérative

Principe: Intégrer des modèles de production circulaires (réduire, réutiliser, recycler) pour découpler la croissance de l'utilisation des ressources.

Technologies:

- Capteurs IoT pour surveiller en continu la consommation d'énergie.
- IA pour optimiser les flux de ressources et réduire les déchets.
- Intégration de sources d'énergie renouvelables

Contexte de l'agriculture 5.0



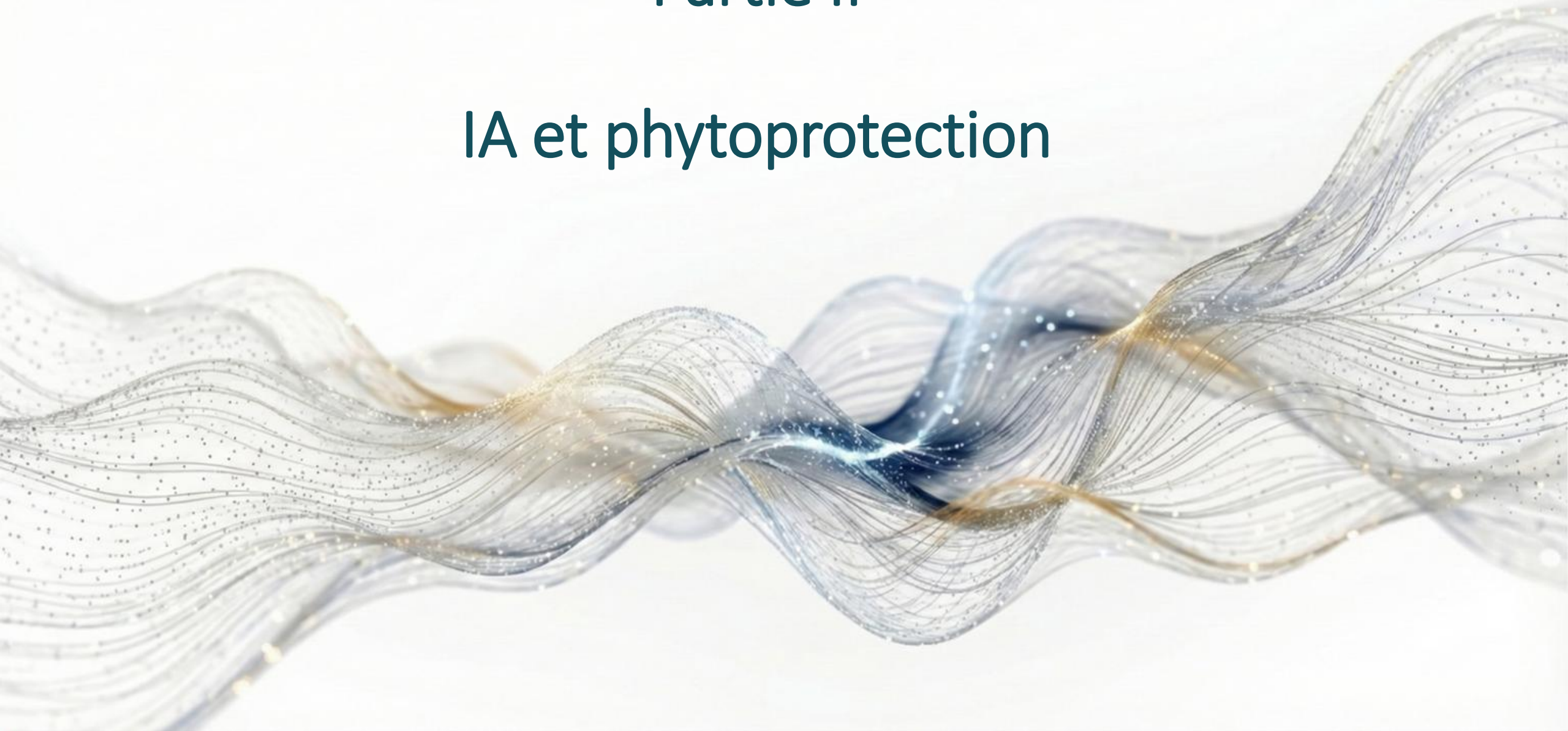
Agriculture de Précision 5.0

Application: Utilisation de l'IA et de l'IoT pour appliquer des doses précises d'engrais et de pesticides, réduisant le ruissellement dans les cours d'eau et les émissions de gaz à effet de serre.

Bénéfice: Améliore la santé des sols, la biodiversité et le stockage du carbone, alignant les objectifs économiques avec la santé planétaire.

Partie II

IA et phytoprotection



Agriculture de Précision : Protéger nos cultures à l'ère de l'intelligence artificielle.

Développement d'une infrastructure numérique intelligente et d'approches préventives en phytoprotection.

Une initiative dirigée par Ramata Magagi, Chercheure Principale.

Une équipe d'experts multidisciplinaire et multisectorielle.

Chercheure Principale

Ramata Magagi (U. Sherbrooke)

Co-chercheurs et Co-chercheuses

U. Sherbrooke

K. Goïta, M. Germain, S. Foucher

U. Laval

B. Bourgeois, S. Ricard

CÉROM

S. Flores-Mejia, T. Copley

IRDA

É. Smedbol

Collaborateurs Clés



Le double défi de l'agriculture québécoise

L'agriculture du Québec est confrontée à une double pression :

1. Augmenter la **productivité** pour répondre aux besoins du marché
2. Adopter des **pratiques durables** pour préserver la santé de nos sols et de nos cours d'eau.

Trouver un équilibre est essentiel pour la résilience et la rentabilité à long terme du secteur.

Un pilier économique

Les grandes cultures, notamment le maïs et le soya, sont au cœur de l'économie agricole de la Montérégie.



Un impératif de durabilité

Aligné sur le Plan d'agriculture durable (PAD) 2020-2030 du Québec, qui vise une réduction significative de l'usage des pesticides.

Source : MAPAQ, 2020



Source : CÉROM

La Sclérotiniose du soya (*Sclerotinia sclerotiorum*)

"Le champignon silencieux". La maladie du soya la plus dommageable au Québec. Son apparition dépend de conditions précises : un sol frais ($< 25^{\circ}\text{C}$) et humide dans les 5 premiers centimètres.

Jusqu'à **20%** de pertes de rendement.



Source : CÉROM

Le Chénopode Blanc (*Chenopodium album*, CHEAL)

"Le compétiteur implacable". Considéré par les malherbologistes comme la mauvaise herbe la plus fréquente et l'une des plus problématiques en Amérique du Nord.

Jusqu'à **25%** de pertes de rendement en soya et **13%** en maïs.

Le chénopode blanc (CHEAL)



- Originaire d'Eurasie
- Très répandu sur le territoire agricole québécois
- Un seul plant peut produire de 75 000 à 150 000 graines
- Viabilité des semences dans le sol pendant plus de 50 ans
- Les excès de fertilisation favorisent davantage sa croissance que celle des cultures
- Compétition directe pour la lumière, l'eau et les éléments nutritifs
- **Développement de la résistance aux herbicides**

La sclérotiniose du soya : un défi majeur pour l'agriculture québécoise

- Maladie la plus répandue et la plus dommageable dans les champs de soya au Québec.
- Le champignon survit dans le sol sous forme de sclérotés.
- Résistent aux variations de température, au gel et au dégel.
- Les sclérotés germent et produisent des apothécies.
- Chaque apothécie peut libérer de 2 à 3 millions de spores.
- Trois facteurs clés :
 - Humidité élevée du sol et températures fraîches (11 à 20 °C) pendant plus de 10 jours
 - Fermeture du couvert végétal
 - Floraison du soya
- Lutte chimique coûteuse et efficacité rarement complète.



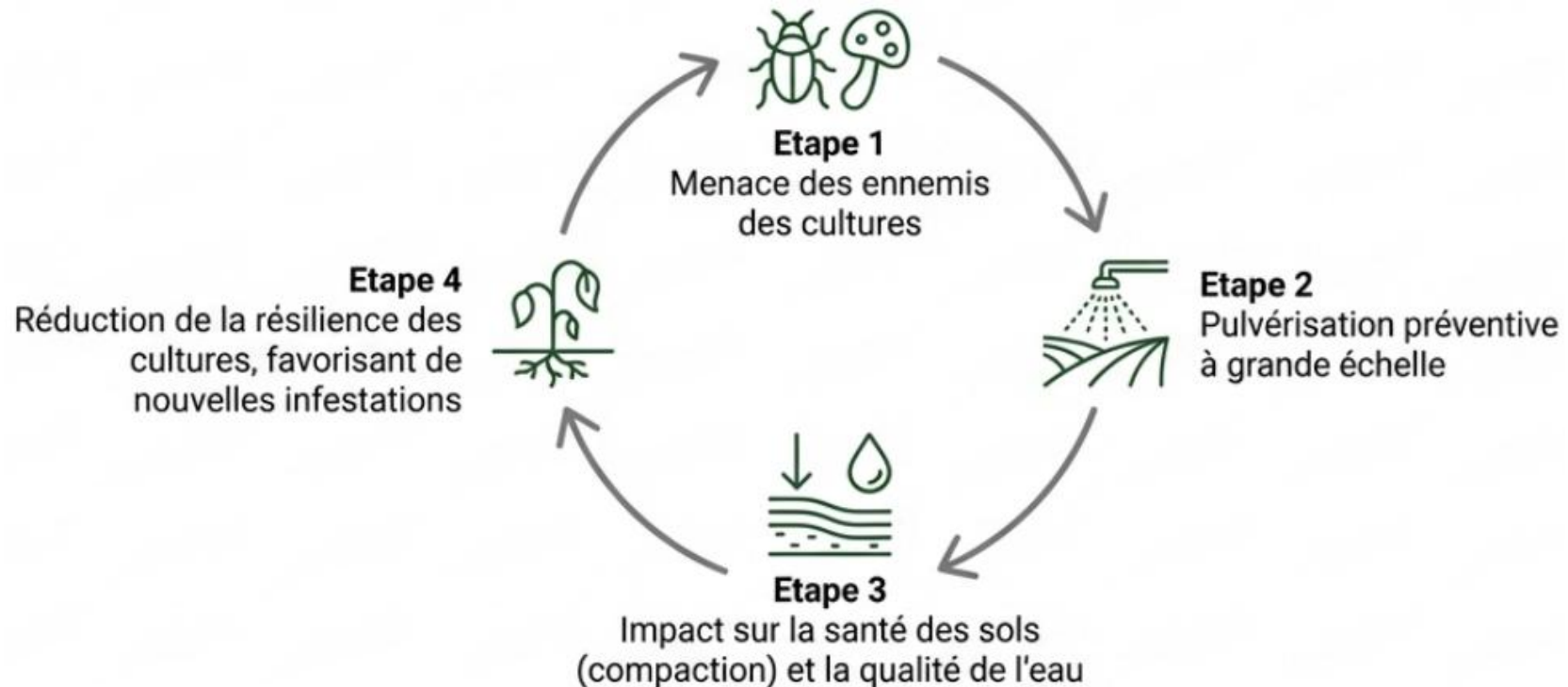
Source: www.terre-net.fr



Source: CÉROM

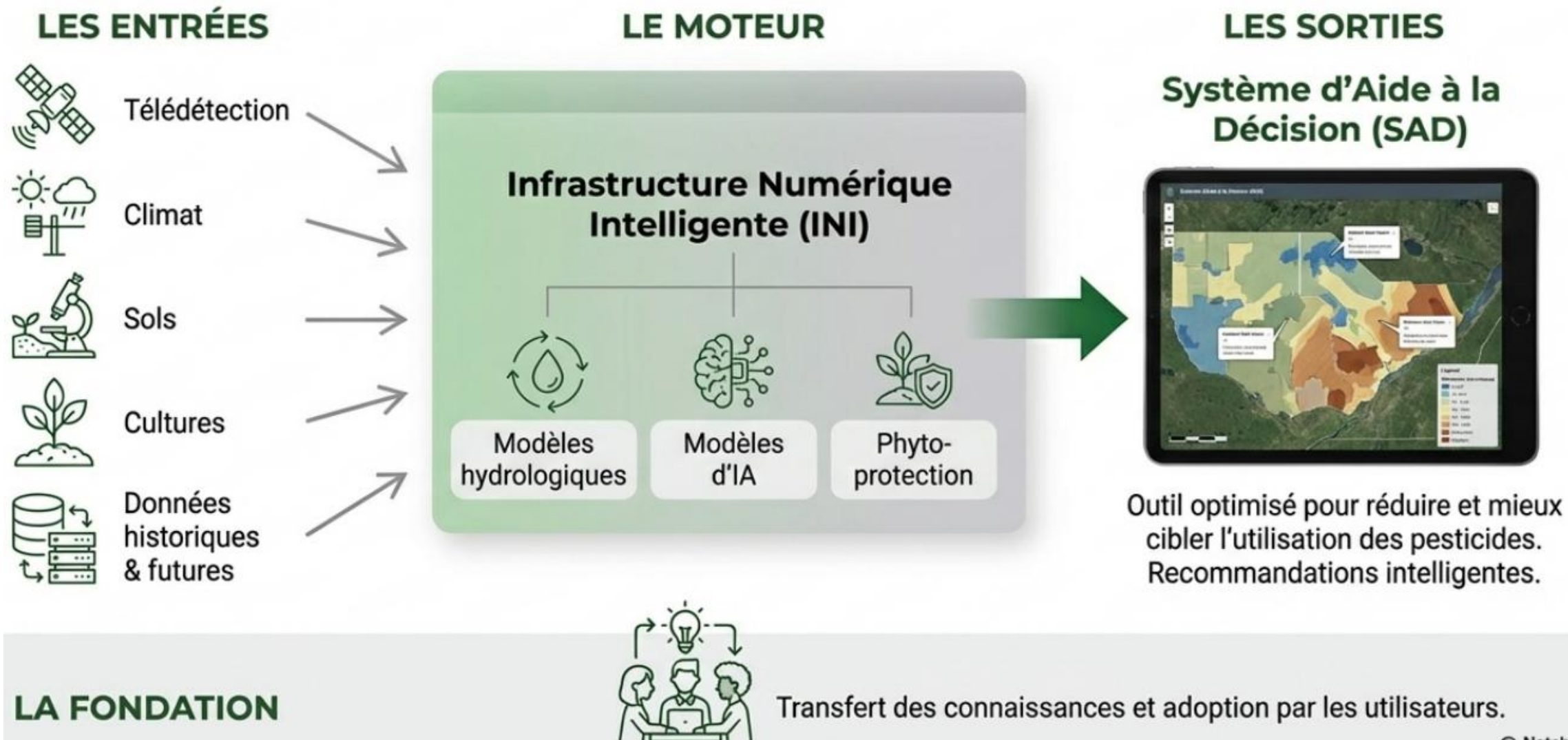
Le cercle vicieux des traitements actuels

- Pour se protéger, de nombreux producteurs appliquent des pesticides.
- Cependant, ces traitements ne sont pas toujours justifiés ou rentables.



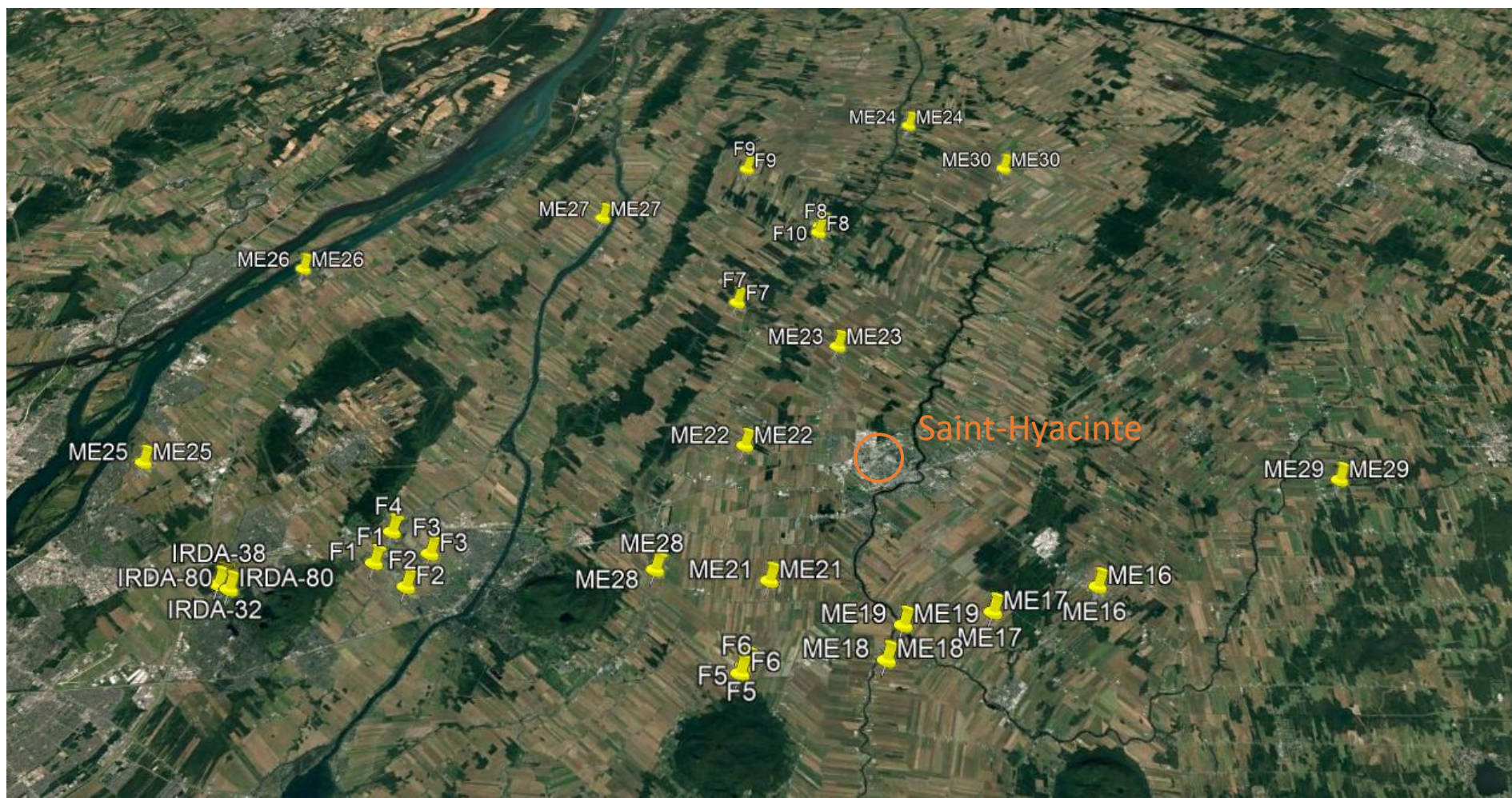
La dégradation des sols est un problème documenté. En Montérégie, la compaction, qui favorise l'excès d'humidité et certains ravageurs, touchait déjà **près de 39% des superficies en culture intensive** de maïs dans les années 90, et la situation s'est aggravée depuis.

L'écosystème du projet : une alliance de données et d'intelligence



Pilier 1: Collecter des données diversifiées (PA1)

- 15 champs de soya
- 15 champs de maïs échantillonnés en 2025



Données collectées durant les dépistages (Campagnes de terrain 2024 et 2025)

- Dépistages du CHEAL sur **15 champs de maïs** en Montérégie et des parcelles expérimentales à l'IRDA et au CÉROM.
- Dépistage intensif en début de saison (2 fois par semaine de la mi-mai à la mi-juillet, puis 1 fois par semaine jusqu'à la mi-août).
- Mesures au sein de dix quadrats permanents (1 m x 1 m) dans chaque champ de maïs :
 - Décompte du nombre de plants de chénopode.
 - Stade phénologique des plants de chénopode.
 - Fermeture des rangs.
 - Température du sol.
 - Humidité du sol.

Données collectées durant les dépistages (Campagnes de terrain 2024 et 2025)

- **15 champs de soya** sur des fermes participantes en Montérégie
- Dépistage de la sclérotiniose une fois par semaine de la mi-juin à la fin septembre
- Mesures prises lors de chaque visite au champ :
 - Stade phénologique du soya
 - Nombre de sclérotés ayant fructifié
 - Nombre d'apothécies fraîches
 - Fermeture des rangs
 - Verse des plantes
 - Commentaires sur l'état du champ, incluant l'humidité du sol qualitative et la présence d'excès d'eau
- Mesures continues in situ :
 - Profils continus d'humidité et de température du sol (sondes)
 - Précipitations (pluviographes)
- Mesures ponctuelles et laboratoire

Pilier 1: Collecter des données diversifiées (PA1)

Portrait complet des conditions agroenvironnementales, passées et présentes.

- **Réseaux de sondes installées dans les champs**
 - Mesures en continu (toutes les 15 ou 30 minutes) des profils verticaux d'**humidité** et de **température du sol**.
- **Données de télédétection**
 - Données optiques: Landsat, Sentinel-2, MODIS
 - Données radar: Radarsat, Sentinel-1, MCR
- **Campagnes terrain**
 - Soya: stade phénologique, nombre d'apothécies fraîches de la sclérotiniose
 - Maïs: suivi du CHEAL (décompte des plants, stade phénologique, et les conditions intra-parcellaires).

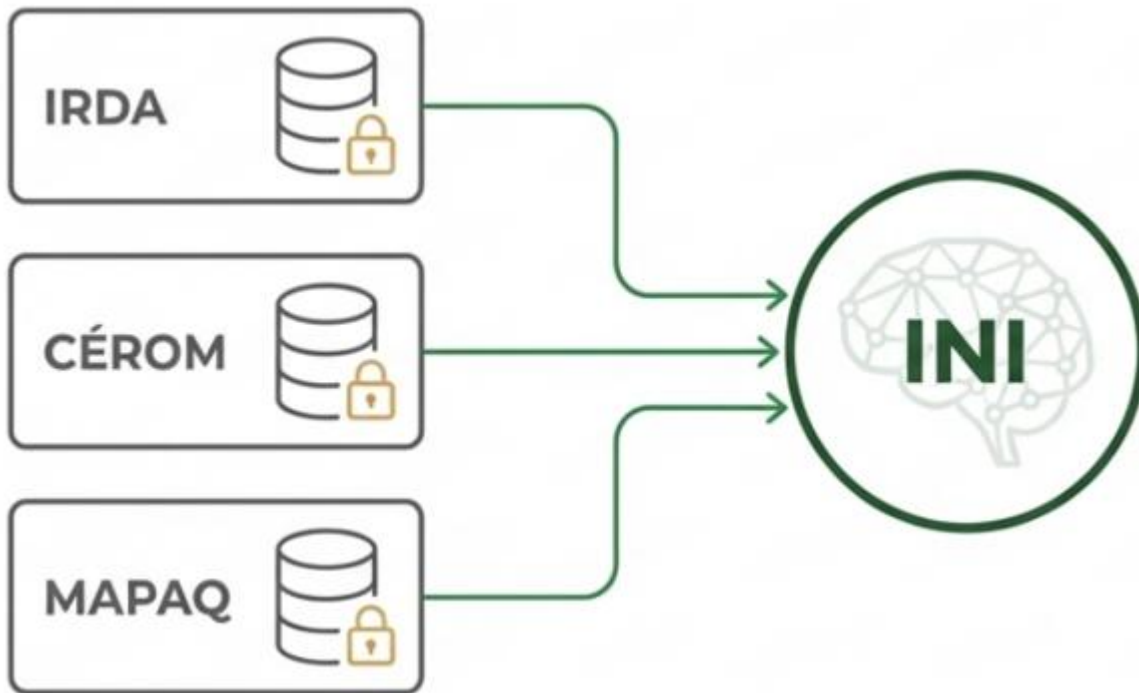
Pilier 1: Collecter des données diversifiées (PA1)

- **Données historiques:**
 - Archives de l'IRDA, du CÉROM, de la FADQ et du MAPAQ,
 - Inventaires de mauvaises herbes remontant aux années 1980
- **Données climatiques:**
 - Scénarios actuels et futurs (jusqu'en 2100)

Pilier 2: Bâtir le cerveau du système, l'INI (PA2)

L'Infrastructure Numérique Intelligente (INI)

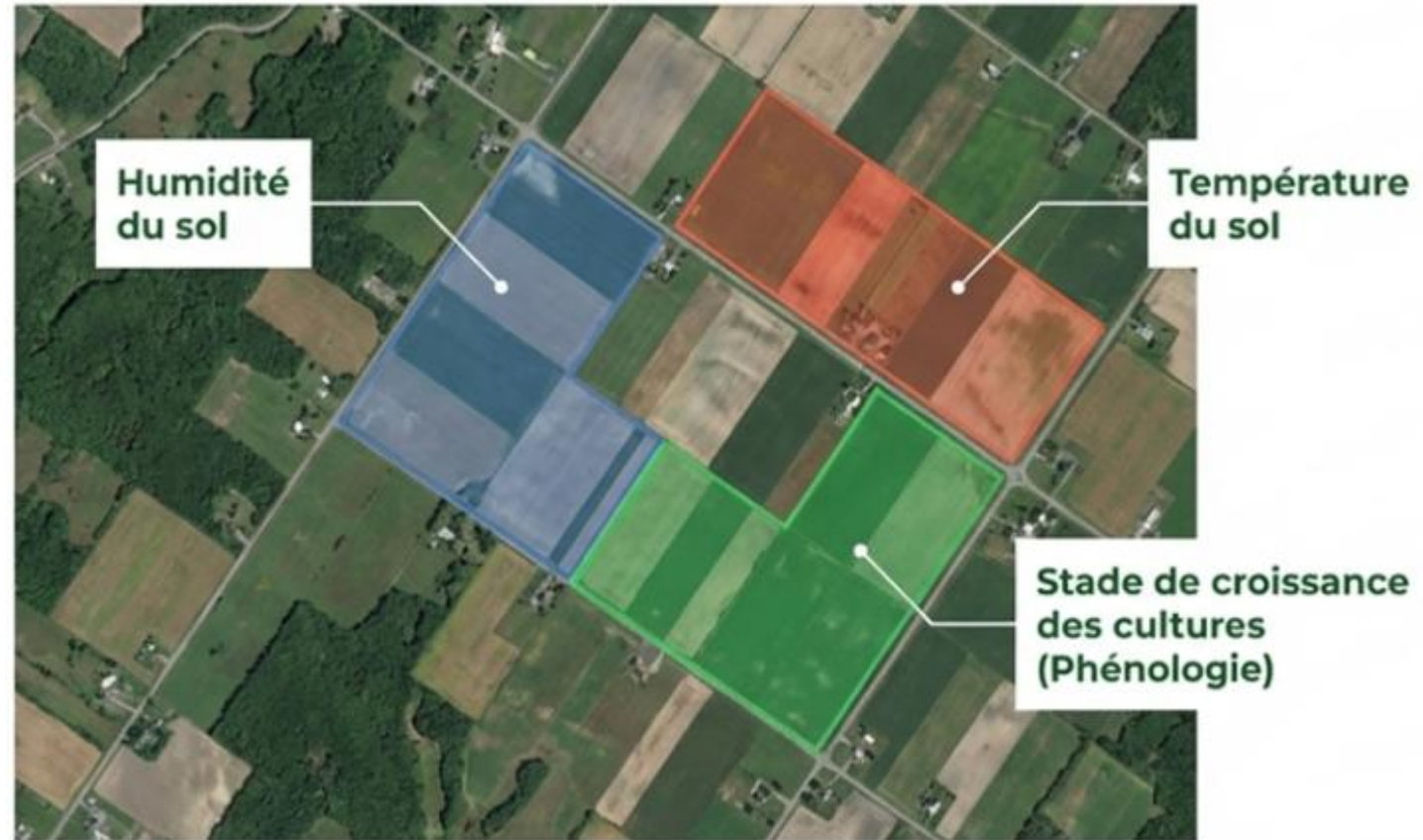
Centralise et connecte toutes les données hétérogènes.



- **Approche fédérée** : Interagit avec des bases de données autonomes et dispersées.
- **Confidentialité** : Préserve l'autonomie et le contrôle des données pour chaque partenaire.
- **Standardisation** : Utilise des normes modernes pour une gestion efficace des données massives.

Pilier 3: Lire les champs depuis l'espace (PA3 & PA4)

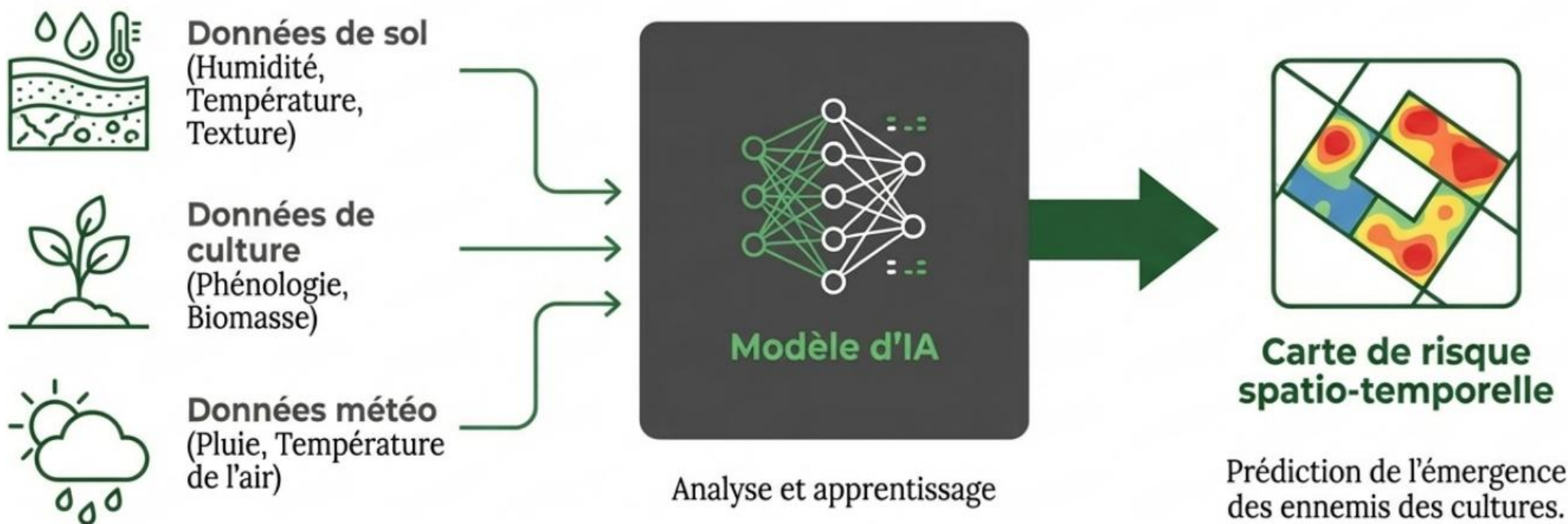
Combinaison de données satellitaires optiques, thermiques et radar pour suivre la santé des sols et des cultures en temps réel.



Note technique: Les données radar (Radarsat, Sentinel-1) sont particulièrement efficaces pour le suivi de l'humidité du sol et de la phénologie, même par temps nuageux.

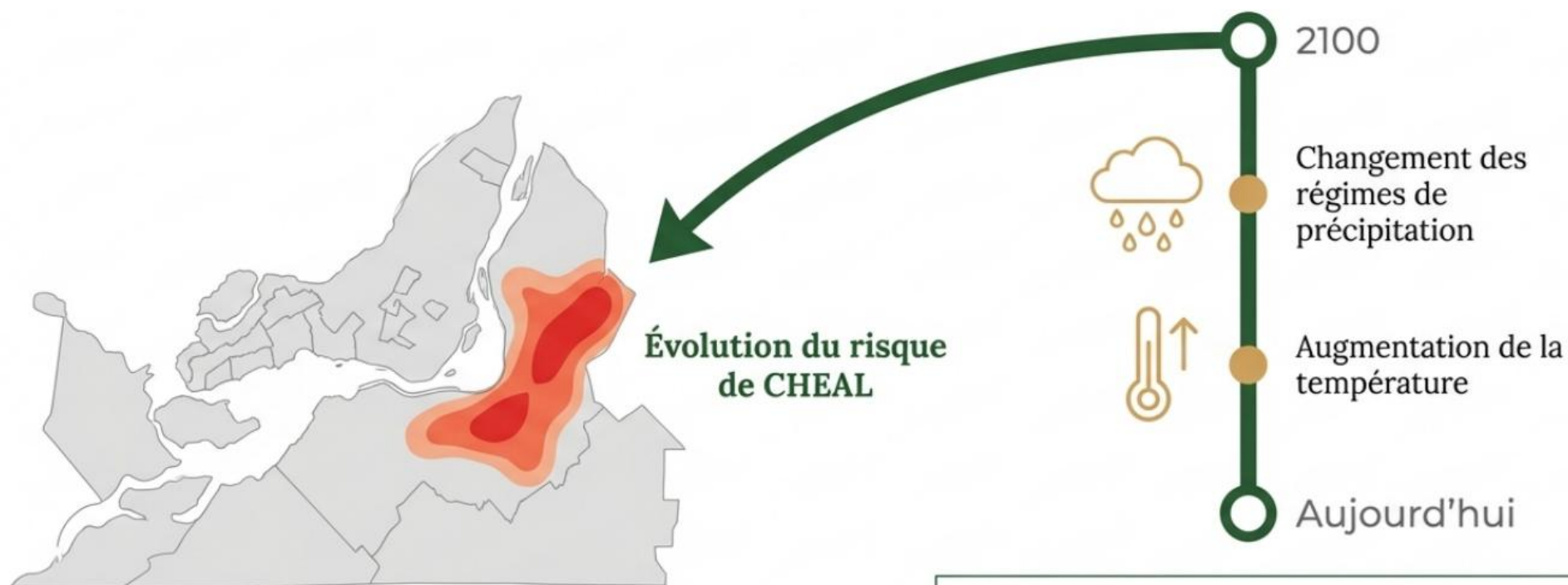
Pilier 4: La puissance prédictive de l'IA (PA5)

- Reconnaître les conditions exactes qui favorisent l'émergence de la sclérotiniose et du chénopode blanc.
- L'IA analyse des milliers de points de données pour identifier des schémas complexes.



Pilier 5: Anticiper l'agriculture de demain (PA6)

Intégration des **scénarios climatiques futurs** pour évaluer comment les menaces évolueront d'ici 2100. Cela permet de développer des stratégies de phytoprotection résilientes sur le long terme.



Méthodologie : Utilisation de simulations climatiques (CMIP6, NA-CORDEX) et du modèle hydrologique WASIM-ETH pour projeter l'évolution de l'humidité et de la température du sol.

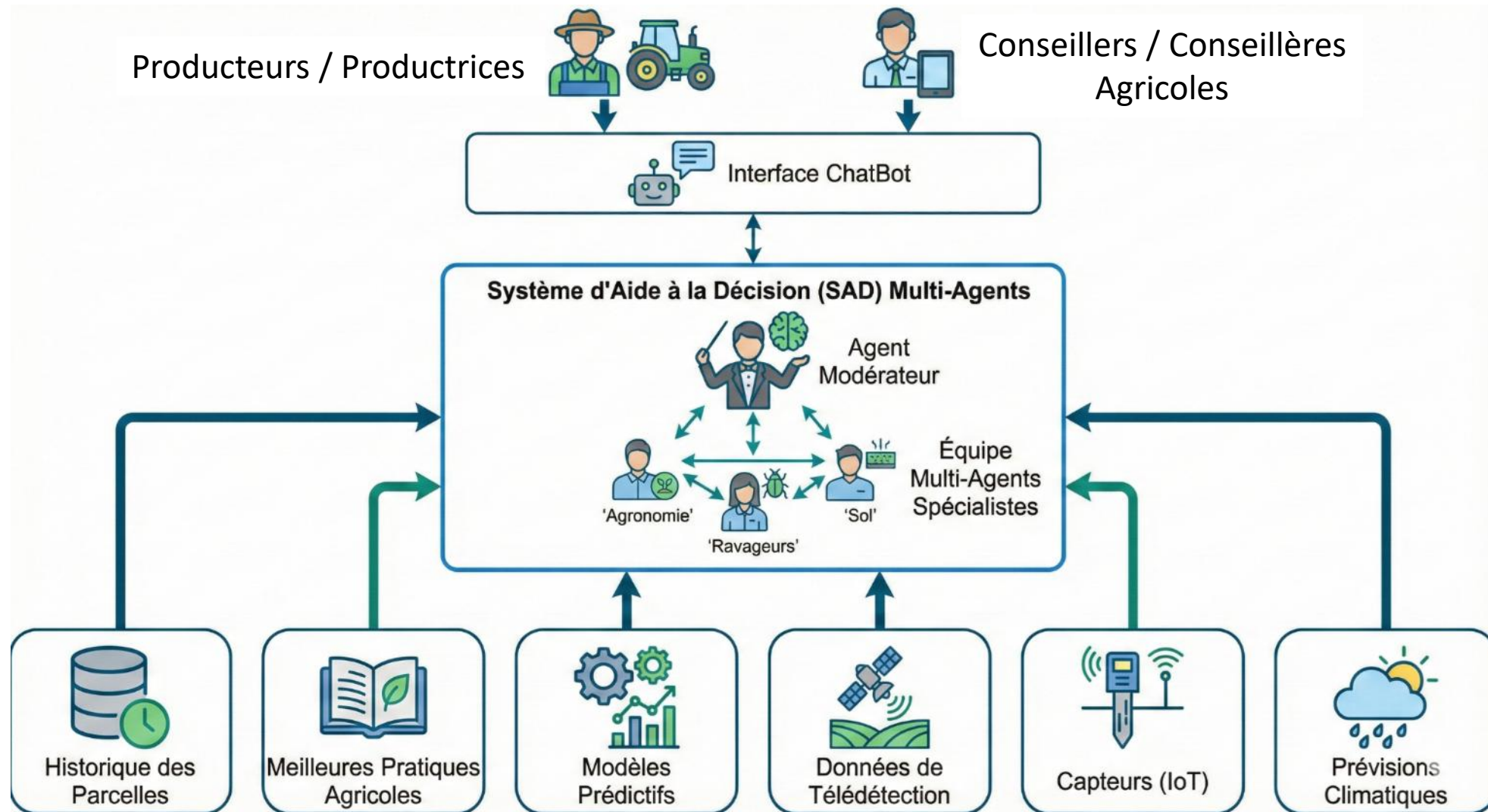
Pilier 6: L'outil d'aide à la décision (SAD) (PA7)

Prototype envisagé

- Système d'Aide à la Décision (SAD) :
 - Agrège les sources d'information
 - Interface de type « ChatBot »
 - Fournir des recommandations claires et localisées pour des interventions ciblées.
 - Indiquer où le risque est le plus élevé et quand agir
 - Interventions « chirurgicales » et minimales.



Pilier 6: L'outil d'aide à la décision (SAD) (PA7)



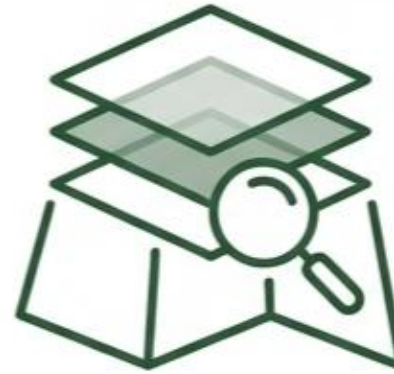
Des résultats concrets pour l'agriculture québécoise

Le projet produira un ensemble d'outils et de connaissances directement applicables par le milieu agricole.



Une plateforme de données unifiée (INI).

Une infrastructure fédérée regroupant des informations multisources fiables pour la modélisation en phytoprotection.



Des modèles prédictifs précis.

Des modèles spatio-temporels pour la sclérotiniose et le CHEAL, améliorés par l'IA et validés pour les conditions du Québec.



Un système de recommandation intelligent (SAD).

Un outil d'aide à la décision pour optimiser l'usage des pesticides et d'autres pratiques agricoles.



Une nouvelle génération d'experts.

Formation de personnel hautement qualifié (4 Ph.D, 2 M.Sc prévus) pour relever les défis de l'agriculture durable.

Ce projet est financé par le ministère de l'Agriculture, des
Pêcheries et de l'Alimentation (MAPAQ) et le Fonds de
recherche du Québec (FRQ)

