

## 2. Intelligence artificielle : panorama

Richard Moreno  
INRAE  
Responsable plateforme  
Recherche Data Gouv

## CONTEXTE

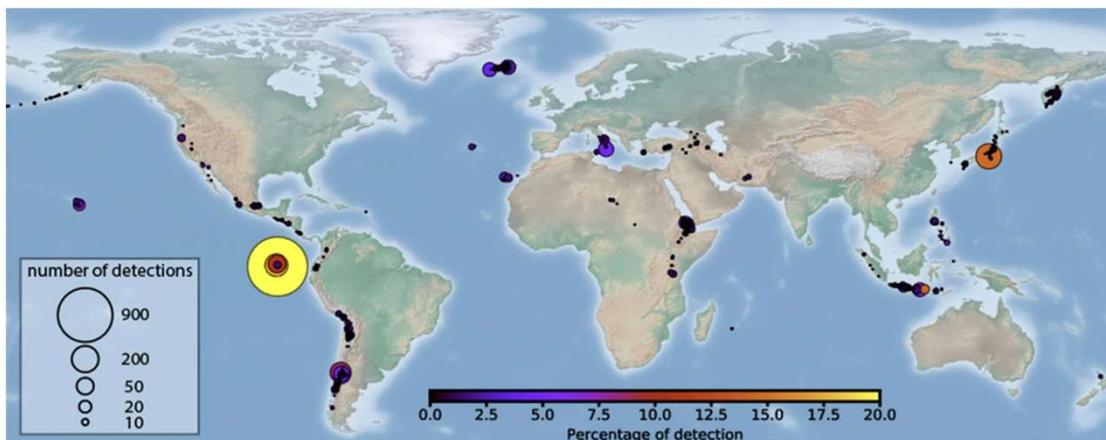
- Depuis un peu plus de 10 ans, l'IA a révolutionné l'analyse de données du Système Terre et de l'environnement
  - Principalement dans le domaine du **Deep Learning**
    - Avec des architectures comme les réseaux de neurones convolutifs (CNN)
    - Grace à la disponibilité de grandes quantités de données satellitaires à haute résolution, couplée à l'augmentation de la puissance de calcul
  - Plus récemment dans le domaine des **modèles fondation / IA générative dont LLM**
- Il existe un grand nombre d'exemples d'applications de l'IA dans le domaine système Terre et environnement
  - Le deep learning est devenu un outil incontournable pour l'analyse des données satellitaires, avec des applications dans de nombreux domaines, tels que la **surveillance de l'environnement**, l'**agriculture de précision**, l'**urbanisme**, la **gestion des catastrophes naturelles**, etc.
  - Domaine très dynamique : l'état de l'art change très rapidement

## CONTEXTE

- Mais il y a des limitations pour l'instant avant d'arriver à une **IA de confiance**
  - Effet **boîte noire** : difficile de savoir ce qui est réellement calculé, l'influence des données en entrée, ...
    - Des travaux en XAI (eXplanable AI) progressent, mais pas complètement mûr
  - **Données d'entraînement**
    - Très souvent, coût important
    - Qualité et représentativité des données d'entraînement
    - Besoin de les renouveler périodiquement
- Également des questions en terme d'**éthique**
- L'arrivée de nouvelles méthodes (fondation)
  - De nouvelles possibilités (potentiellement couplées au DL)
  - pourrait nous amener à protéger un peu plus nos données
    - Risque de captation de la valeur par des acteurs qui ne s'intéressent pas à la science ouverte

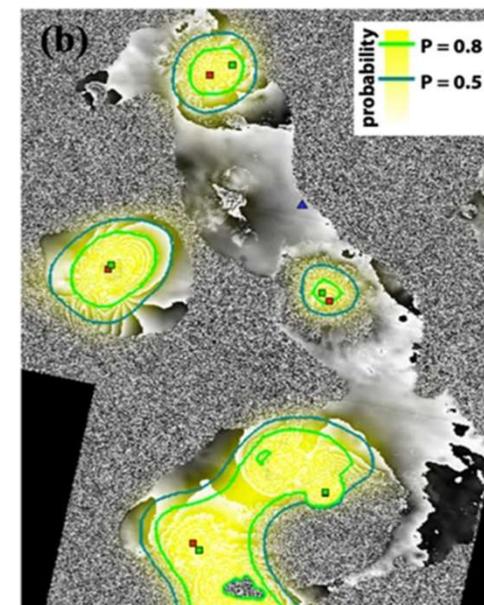
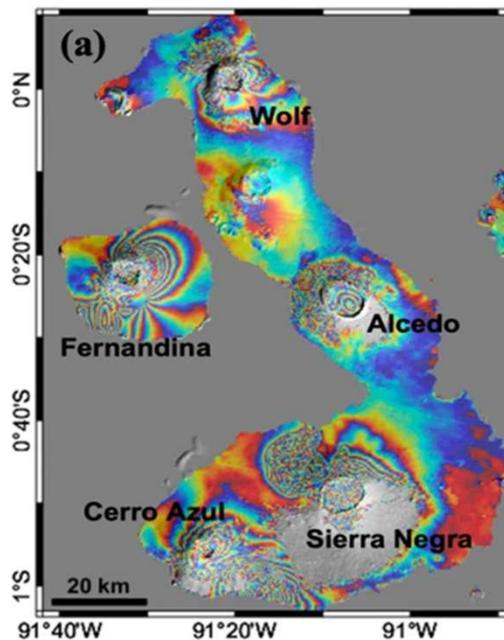


## Exemples d'application Sentinel 1 : activité volcanique



### H2020/DeepCube/National Observatory of Athens

Service d'alerte de déformation volcanique qui surveille en permanence une liste croissante de volcans

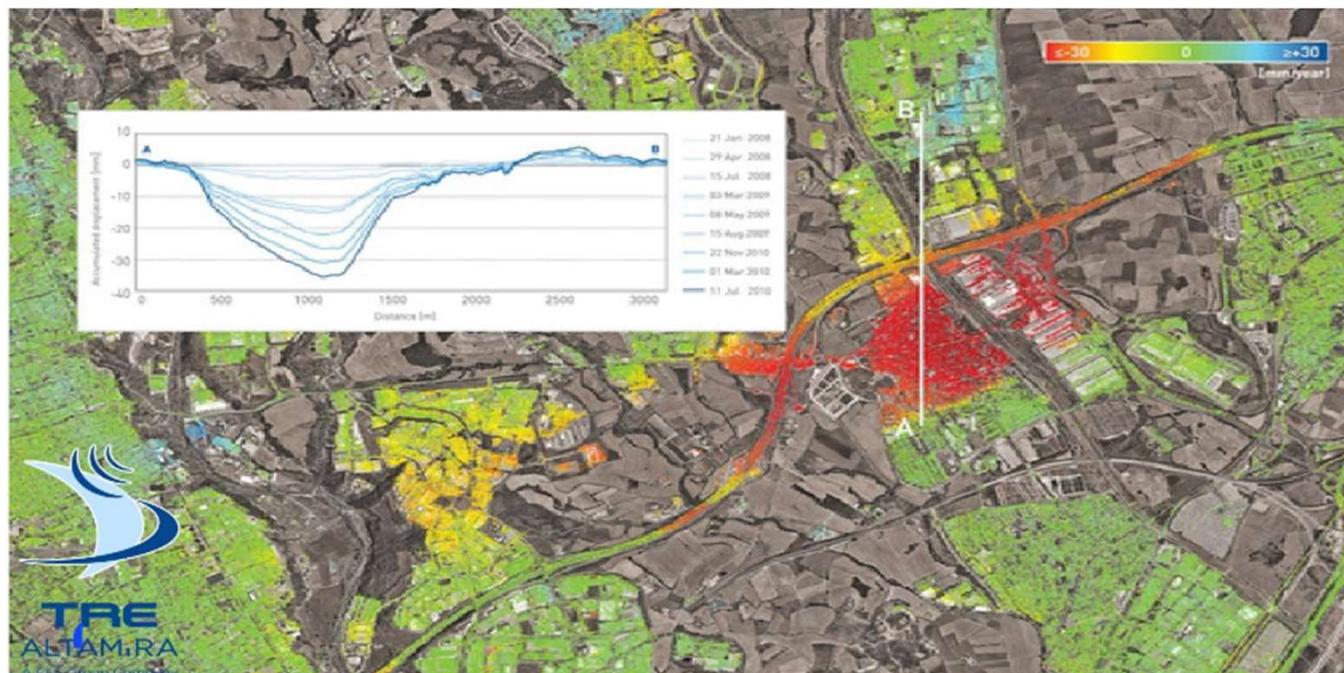


Deformation of Galapagos volcanoes

## Exemples d'application Sentinel 1 : déformation des sols

### H2020/DeepCube/TreAltamira

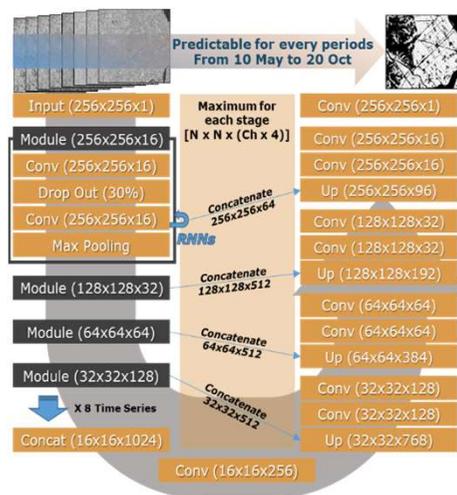
Surveillance d'infrastructures critiques  
(autoroutes, tunnels, ponts et aéroports)  
=> Cartes de déformation de la surface du sol  
d'une précision millimétrique



## Exemples d'application Sentinel 1 : agriculture - rizières

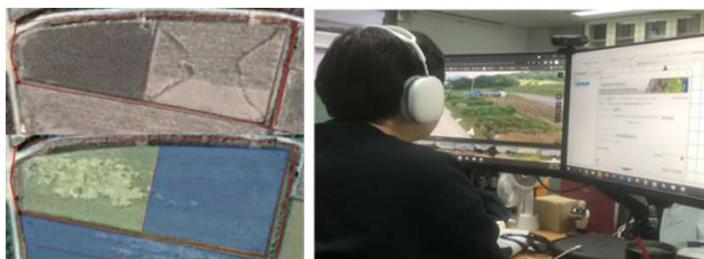
### Agriculture (rizières)

En Corée du Sud, le ministère coréen de l'Agriculture, de l'Alimentation et des Affaires rurales (MAFRA) a produit une carte agricole qui enregistre différents types de zones cultivées dans un format vectoriel, qui est interprété visuellement avec des images satellite haute résolution et des photos aériennes faisant référence aux autres pays nationaux. Données SIG. Cependant, seulement un tiers environ du pays est mis à jour sur l'ensemble de données chaque année en raison du processus d'interprétation photographique qui demande beaucoup de travail et de temps. Par conséquent, dans cette étude, la carte de la ferme a été utilisée comme moyen d'étiquetage des données du modèle d'apprentissage en profondeur afin d'obtenir une détection efficace et continue de la superficie du riz paddy.

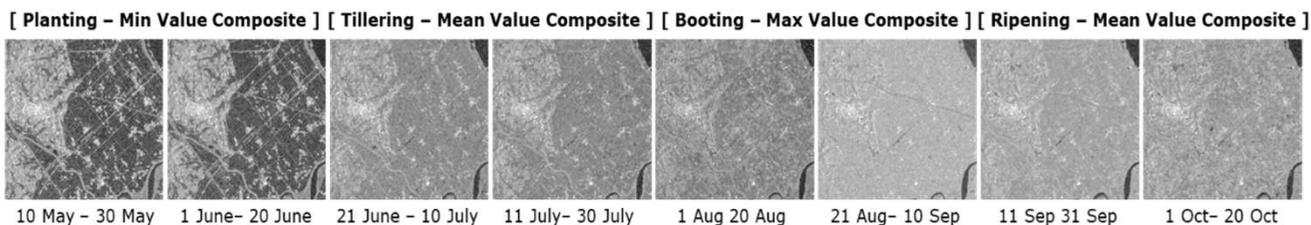


Résultat de la cartographie du riz à partir du modèle d'apprentissage profond

### Importance vérité Terrain pour IA

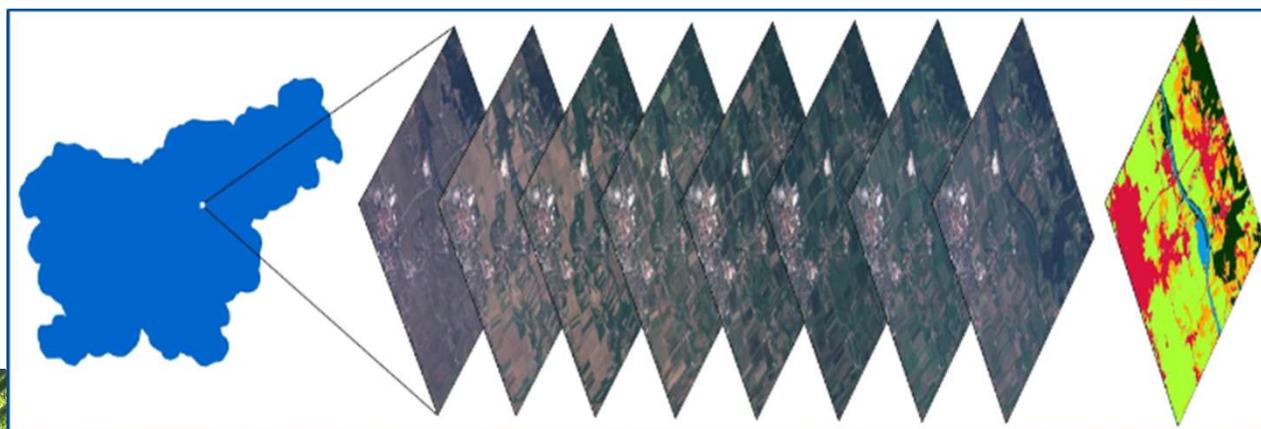
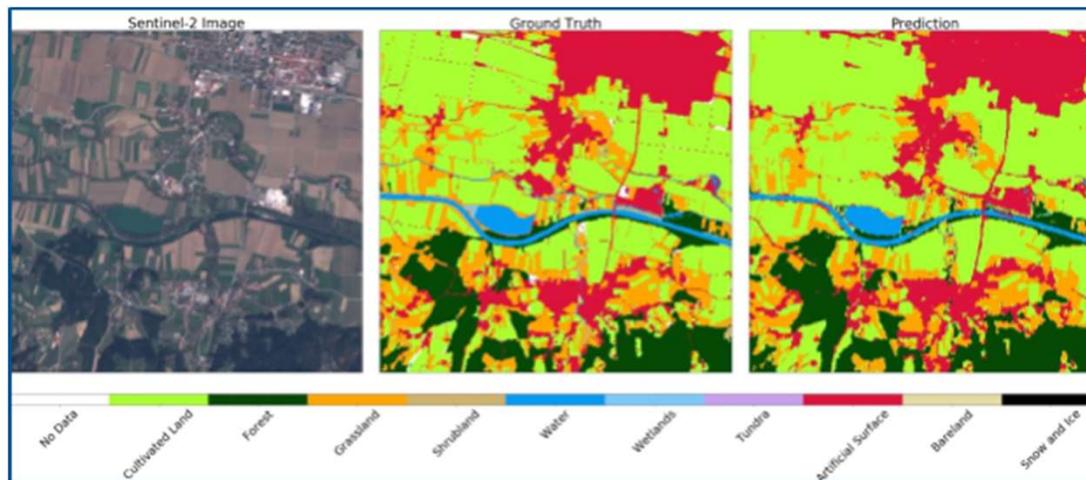


Interprétation visuelle pour corriger les erreurs d'étiquetage



Série chronologique de 8 images Sentinel-1 pour classer le riz

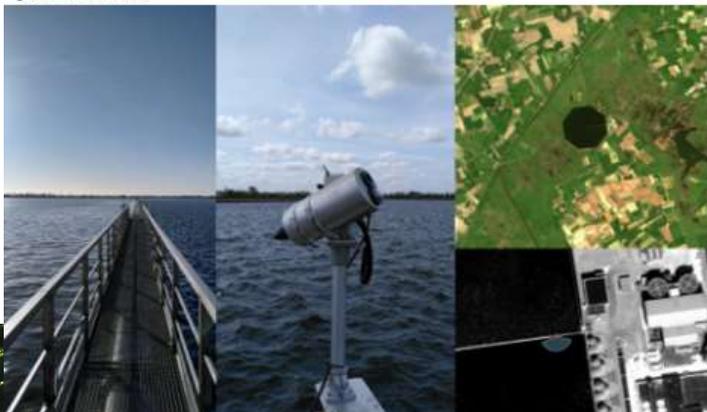
## Exemples d'application Sentinel 2 : Occupation des sols



## Exemples d'application Sentinel 2 : qualité de l'eau



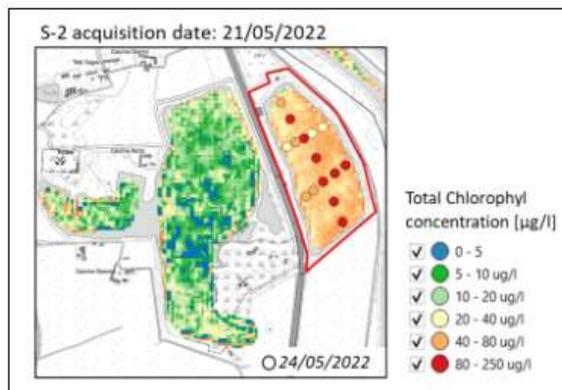
Un système hyperspectral pointable pour la radiométrie terrestre et aquatique, HYPSTAR, a été installé au réservoir Blankaart WPC en janvier 2021.



Sites de la SMAT à Turin



Augmented reality App for Water Quality Monitoring



### Analyse réseaux sociaux

L'outil a détecté une augmentation des tweets lors des inondations qui ont frappé l'Émilie-Romagne en mai 2023.

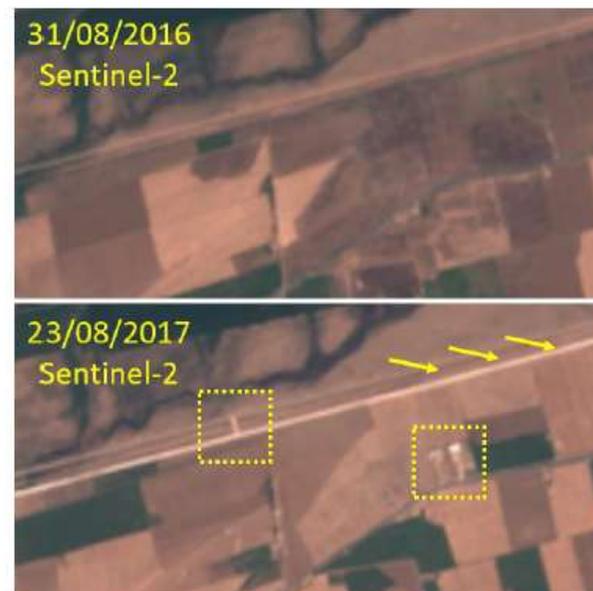
## Exemples d'application Sentinel 2 : Surveillance des frontières



En tant qu'utilisateurs finaux, les analystes d'images souhaitent collecter des signaux de changement de terrain à proximité des frontières de l'UE conformément à leurs exigences de surveillance. Ils espèrent disposer de détections précises des changements aux frontières terrestres de l'UE afin de faciliter leur analyse et de prendre de nouvelles décisions. L'objectif est qu'à la fin du processus, les analystes d'images auront utilisé efficacement l'automatisation fournie par CALLISTO pour surveiller une zone d'intérêt et que certaines décisions pourront être prises en conséquence (par exemple, la décision de surveiller la zone avec des produits de meilleure résolution).

En cas de détection d'activité (changement, réseaux sociaux, ...), capacité de lancer des drones et de faire une analyse multi-modale. Idem avec images optiques THR.

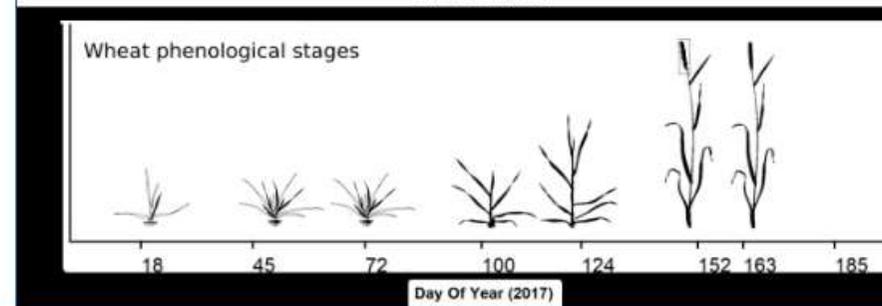
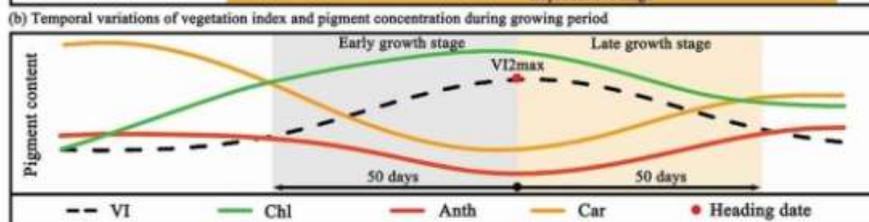
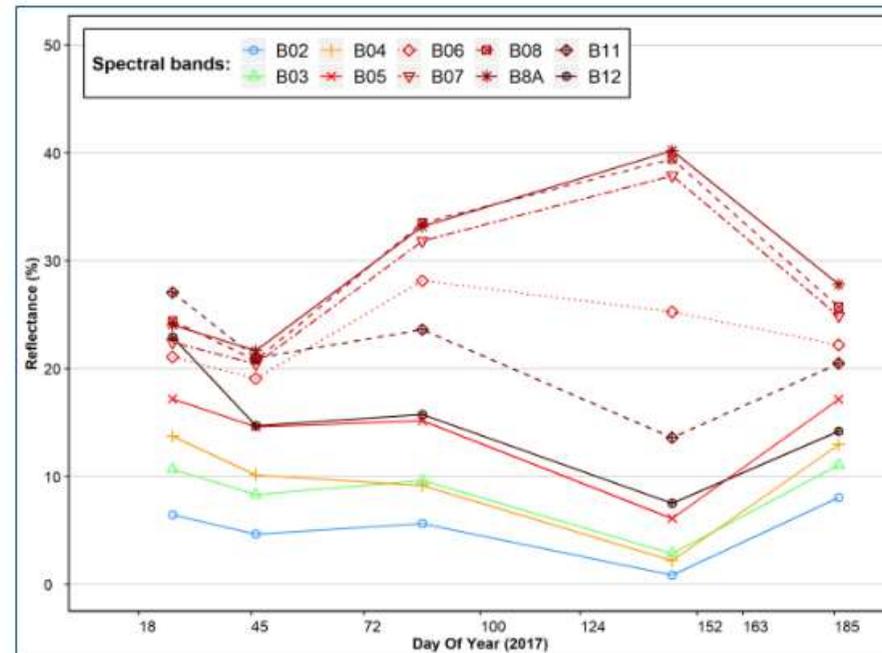
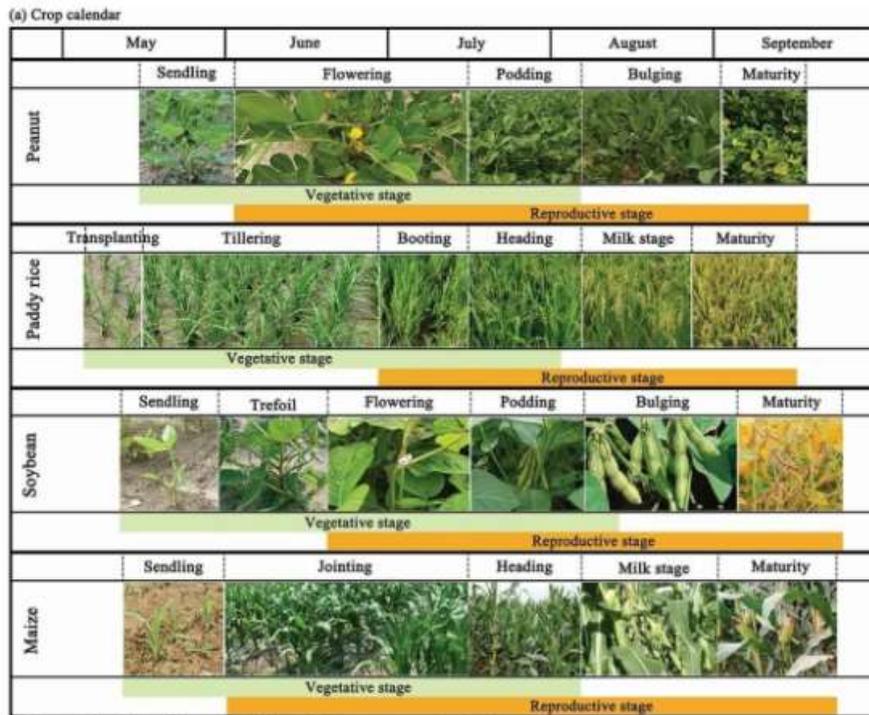
Applicable, dans le futur, aux données Sentinel 1



Détection de changement (nouveaux bâtiments, clôture et dégagement de route).



## Ex. d'application Sentinel 2 : Phénologie – identification des cultures

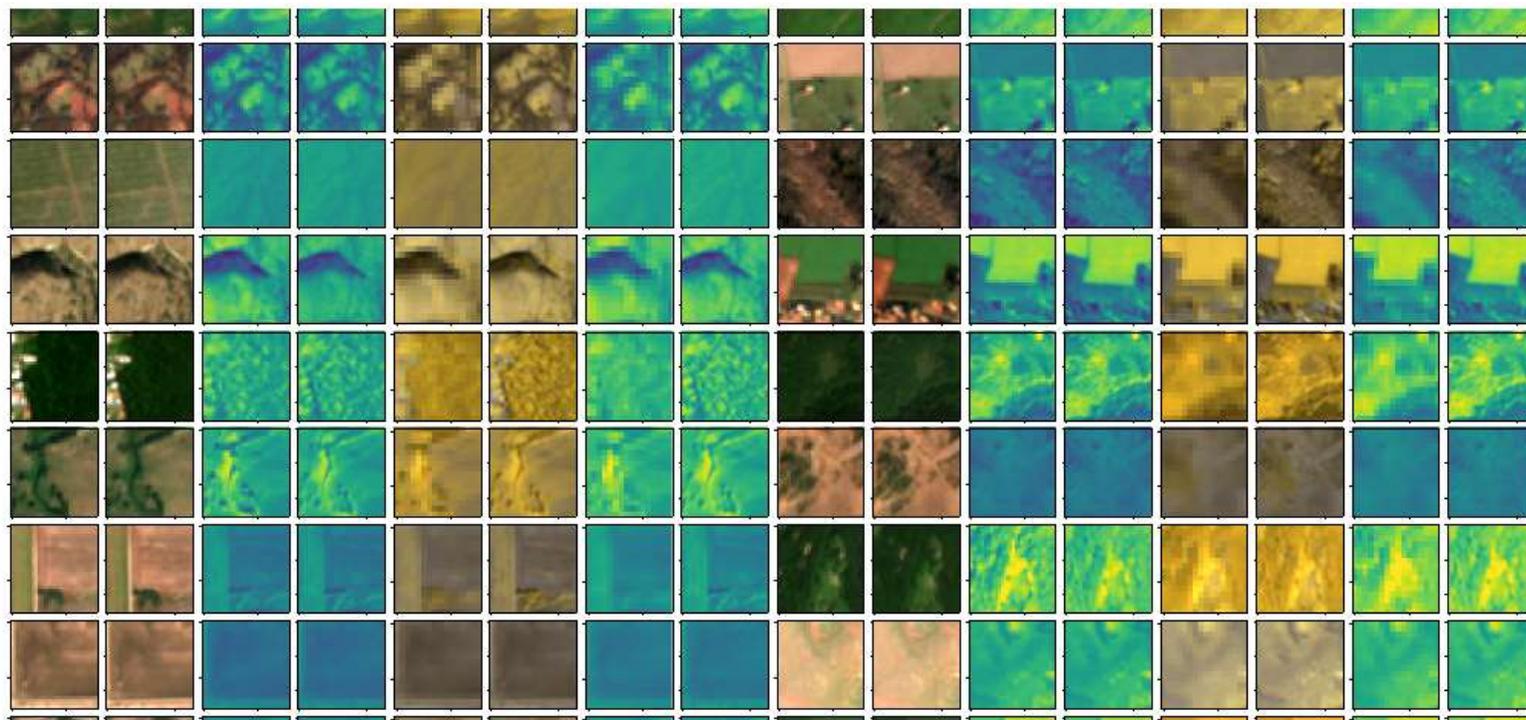


## Exemples d'application Sentinel 2 : Super résolution



Venµs

Super résolution à  
5m de Sentinel 2  
grâce à Venµs)



SEN2VENµS est un jeu de données en accès libre formé de 132 955 patches de  $256 \times 256$  pixels. Ces patches ont été extraits d'images Sentinel-2 (10 m et 20 m de résolution) et [Venµs](#) (5 m de résolution). Ils sont co-localisés spatialement et temporellement, ce qui permet l'entraînement d'algorithmes de super-résolution pour Sentinel-2, c'est-à-dire augmenter la résolution spatiale de Sentinel-2.



## Amélioration Deep Learning aux modèles climatiques

- Google Deepmind : Graph cast
  - En mars 2023, ECMWF a été sollicité par Google pour tester le modèle IA Google Deepmind Graphcast
  - D'après un article de la revue Science, ce modèle surpasse quasiment toujours les outils de prévision à 10 jours existants. Et ce en n'utilisant qu'une fraction de la puissance de calcul
  - Ce qui fait la différence, c'est que l'IA de GraphCast a ingurgité des décennies d'informations météorologiques ainsi qu'une quarantaine d'années de données issues des satellites, des stations météorologiques et des radars.

## AI – artificial intelligence

Ensemble de théories et de techniques visant à réaliser des machines capables de simuler l'intelligence humaine

### Machine Learning

Supervisé, non supervisé, semi-supervisé, Ré-enforcement

Algorithmes permettant aux ordinateurs d'apprendre et de prendre des décisions basées sur des données, plutôt que d'être explicitement programmés pour effectuer une tâche spécifique.

### Deep Learning

NLP, Computer vision

S'inspire du fonctionnement du cerveau humain. Utilise des réseaux de neurones artificiels, composés de couches interconnectées de neurones artificiels, pour apprendre à partir de données complexes

### Foundational models dont LLM

NLP, Computer vision, code, science

Modèles capables d'effectuer un large éventail de tâches. Ils sont entraînés sur un ensemble de données massif de données brutes, telles que du texte, du code, des images et des vidéos. Cela leur permet d'apprendre les relations entre les différents types de données et de générer des résultats pertinents pour un large éventail de demandes. Ainsi, au lieu de former un modèle à partir de zéro pour chaque tâche spécifique, on peut utiliser un modèle de base pré-entraîné et l'affiner pour une application particulière, ce qui permet d'économiser beaucoup de temps et de ressources. Ils appartiennent à la catégorie de l'apprentissage profond mais représentent une évolution vers des solutions d'IA plus généralisées, adaptables et évolutives.

GPT-4 Open AI	Megatron-Turing NLG (Microsoft et NVIDIA)	WuDao 2.0 (CAS Chine)	Bloom (Hugging Face)	Dark Bert
------------------	--	--------------------------	-------------------------	-----------

Gemini Google	PaLM 2 Google	LLaMA 3 META	Mixtral 8x22B Mistral	Claude 3 Anthropic
------------------	------------------	-----------------	--------------------------	-----------------------

CNN convolutional neural network	RNN recurrent neural network	Auto encoder	CapsNet	GAN
-------------------------------------	---------------------------------	-----------------	---------	-----

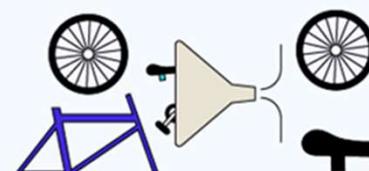
LSTM	ResNet	Transformers	Transfer learning	Federated learning
------	--------	--------------	----------------------	-----------------------

Linear regression	Decision trees	support vector machines	support vector machines
----------------------	-------------------	----------------------------	----------------------------

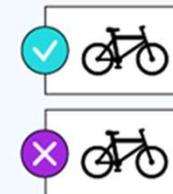
Systèmes à base de règles, symboliques, basés sur l'optimisation



INPUT



FEATURE EXTRACTION + CLASSIFICATION



OUTPUT

### Caractéristiques communes des modèles fondation:

- **Grande taille:** Ils ont généralement des milliards, voire des milliards de paramètres, ce qui leur permet d'apprendre des modèles complexes dans les données.

- **Apprentissage non supervisé:** Ils sont souvent entraînés sur de grandes quantités de données non étiquetées, ce qui leur permet d'apprendre des corrélations et des modèles dans les données sans intervention humaine.

- **Polyvalence:** Ils peuvent être adaptés à une large gamme de tâches, y compris la génération de texte, la traduction, la réponse aux questions et le résumé automatique.

## 'Modèle fondation' ↔ Exemple du LLM – Large Langage Model

- LLM : modèle de langage de grande taille.
  - Type d'IA capable de comprendre et de générer du texte en langage humain.
  - Les LLM sont basés sur des réseaux de neurones profonds, en particulier des modèles de transformateur. Ils sont entraînés sur d'énormes ensembles de données textuelles, ce qui leur permet d'apprendre les patterns du langage humain et de générer un texte à la fois cohérent et précis.
- Les LLM peuvent effectuer une variété de tâches, notamment :
  - Rédaction de texte: Ils peuvent générer différents types de contenu textuel, comme des articles de blog, des emails, des scripts, des poèmes, etc.
  - Traduction: Ils peuvent traduire du texte d'une langue à l'autre.
  - Réponses aux questions: Ils peuvent répondre à des questions de manière informative, même si elles sont ouvertes ou complexes.
  - Résumé de texte: Ils peuvent condenser un texte long en un résumé concis.
  - Génération de code: Ils peuvent écrire du code informatique simple.
- Limites : biais, manque de créativité, manque de fiabilité

## 'Foundational model' ⇔ Exemple « Modèle de vision »

- Outils de génération d'image par IA
  - dall-e, MidJourney, ...
  - Modèles entraînés sur d'immenses bases de données d'images associées à des descriptions textuelles. Au cours de cet entraînement, il apprend à établir des correspondances entre les mots et les éléments visuels.

350M



750M



3B



20B



Image générée par Parti à partir de la consigne suivante « Une photo portrait d'un kangourou portant un sweat à capuche orange et des lunettes de soleil bleues debout sur l'herbe devant l'Opéra de Sydney, tenant une pancarte sur la poitrine indiquant 'Welcome Friends!' » en fonction du nombre de paramètres

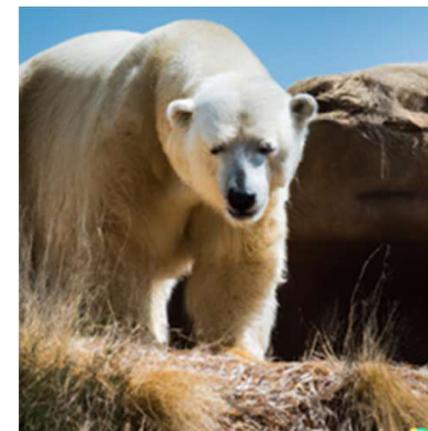
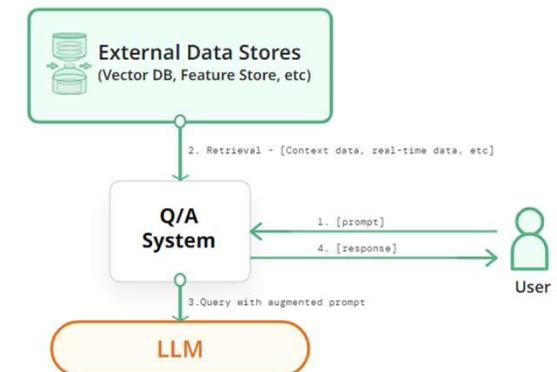


Image générée par DALL-E à partir de la consigne suivante « Ours polaire dans le désert »

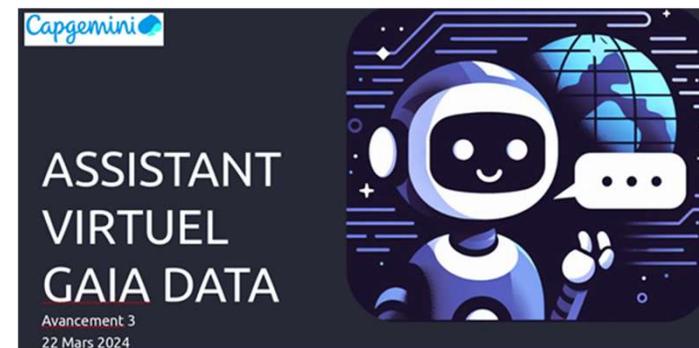
## Amélioration des LLM pour des tâches spécifiques

- Les LLM ne connaissent pas nos données, nos documents
  - Ils sont entraînés sur un large éventail de données publiques, de façon à pouvoir accomplir un grand nombre de tâches et répondre à toutes sortes de questions.
  - Une fois entraînés, la plupart des LLM ne peuvent plus accéder à de nouvelles données au-delà de leurs données d'entraînement. Cette nature statique est à l'origine de réponses incorrectes ou obsolètes, voire d'hallucinations quand la réponse qu'on leur demande ne se trouve pas dans leurs données d'entraînement.
  - Pour qu'un LLM puisse donner à une entreprise des réponses pertinentes et spécifiques, il faut qu'il comprenne son domaine et s'appuie sur ses données pour répondre, au lieu de donner des réponses généralistes et imprécises.
- Deux méthodes :
  - RAG (Retrieval Augmented Generation)
    - permet au modèle de « consulter » une base de données ou un corpus de documents externes en temps réel pour enrichir sa génération de texte.
  - Fine tuning
    - Afin d'être spécialisés pour répondre aux questions sur des sujets précis, le LLM peut être ajusté



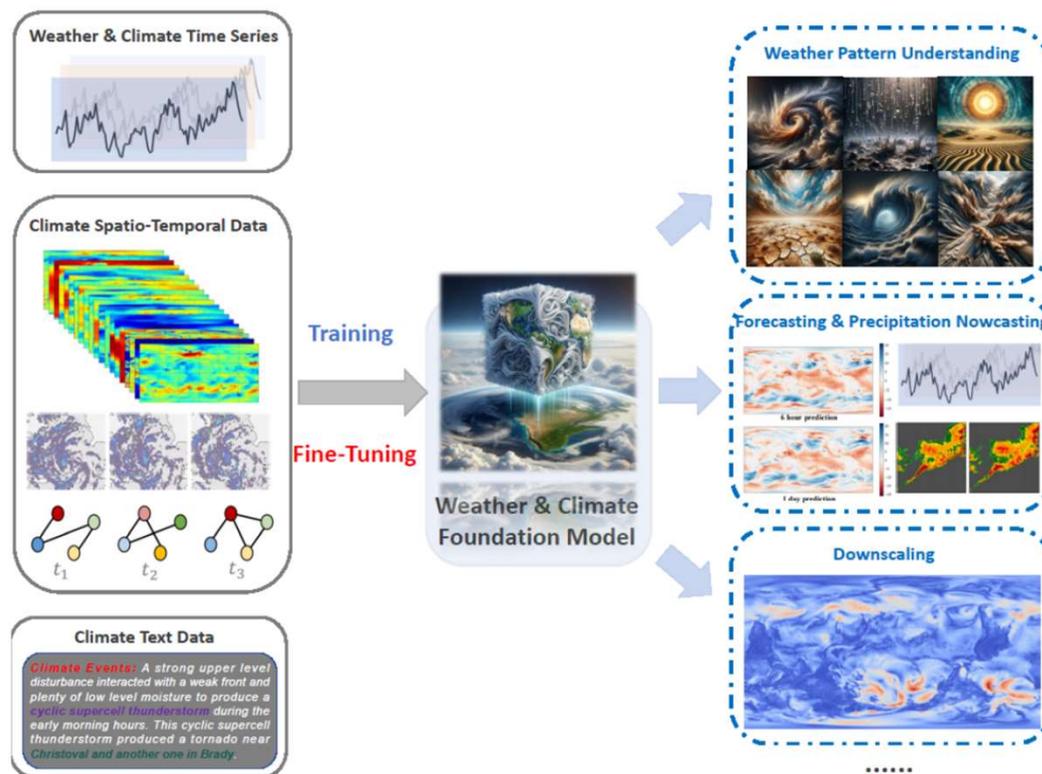
## Amélioration des LLM pour assistant Data Terra

- Cas d'usage 1 : **Chatbot DINAMIS**
  - Présentation du dispositif DINAMIS - caractéristiques des capteurs - expliquer le fonctionnement des services et usages de DINAMIS - 1er niveau de support utilisateur
- Cas d'usage 2 : **projet GAIA DATA**
  - Aide à la découverte de données grâce à des échanges textuels 'complexes'
  - Aide à l'établissement de liens entre jeux de données et documents (publications, thèses, documents techniques, code source, ...)



## Modèles fondation et Météo / Climat

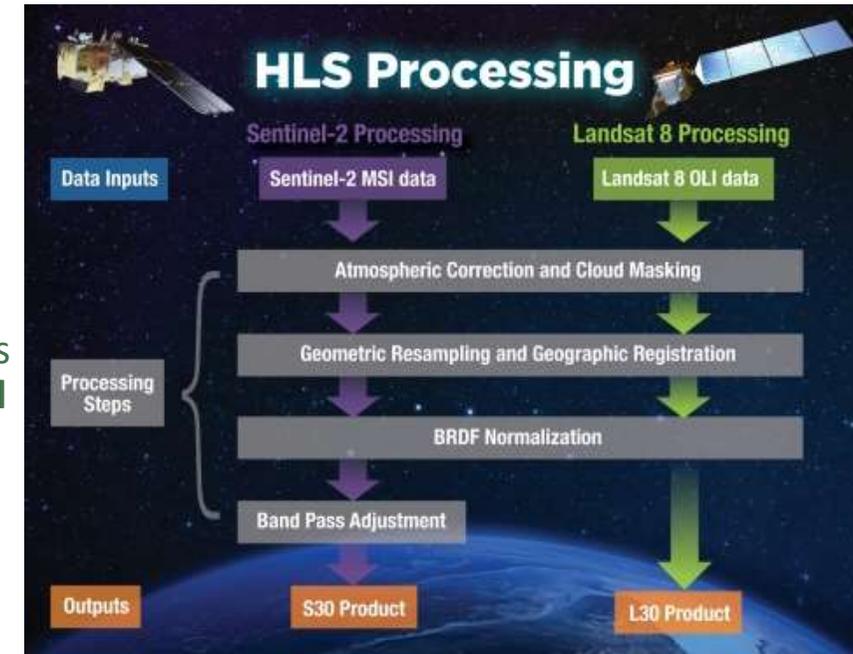
- Alors que l'intelligence artificielle (IA) continue d'évoluer rapidement, les sciences de la Terre et de l'atmosphère adoptent de plus en plus de modèles basés sur les données, alimentés par les développements progressifs de l'apprentissage profond (DL).
- L'essor des grands modèles, en particulier des grands modèles de langage (LLM), a permis des processus de réglage fin qui donnent des résultats remarquables sur diverses tâches en aval, propulsant ainsi l'avancement de l'IA générale. Cependant, nous en sommes encore aux premières étapes de la création d'une IA générale pour la météo et le climat.



Extrait du papier : Foundation Models for Weather and Climate Data Understanding: A Comprehensive Survey - <https://arxiv.org/pdf/2312.03014.pdf>

## 'Foundational model' et données d'observation de la Terre HLS Geospatial FM

- Un partenariat public/privé impliquant la NASA et IBM Research a conduit à la publication du premier **Modèle de Fondation d'intelligence artificielle (IA) géospatiale open source de la NASA** pour les données d'observation de la Terre.
- Construit à l'aide de l'ensemble de **données harmonisées Landsat et Sentinel-2 (HLS)** de la NASA, la publication du modèle de base géospatiale HLS (HLS Geospatial FM) constitue une étape importante dans l'application de l'IA aux sciences de la Terre. Le modèle a un **large éventail d'applications potentielles**, notamment le suivi des changements dans l'utilisation des terres, la surveillance des catastrophes naturelles et la prévision des rendements des cultures. Le HLS Geospatial FM est disponible sur Hugging Face, un référentiel public de modèles d'apprentissage automatique open source.
- « Les modèles de base de l'IA pour l'observation de la Terre présentent un énorme potentiel pour résoudre des problèmes scientifiques complexes et accélérer le déploiement plus large de l'IA dans diverses applications », déclare le Dr Rahul Ramachandran (NASA).



<https://www.earthdata.nasa.gov/esds/harmonized-landsat-sentinel-2>



PROGRAMME  
DE RECHERCHE

RÉSILIENCE  
DES FORÊTS

Retrouvez toutes nos actualités

