

# L'intelligence artificielle en science du climat à Ouranos

Session : Intelligence artificielle et changements climatiques,  
Symposium Ouranos, 29 janvier 2025

Blaise Gauvin St-Denis  
Spécialiste en intelligence artificielle  
Scénarios et services climatiques





# Plan de présentation

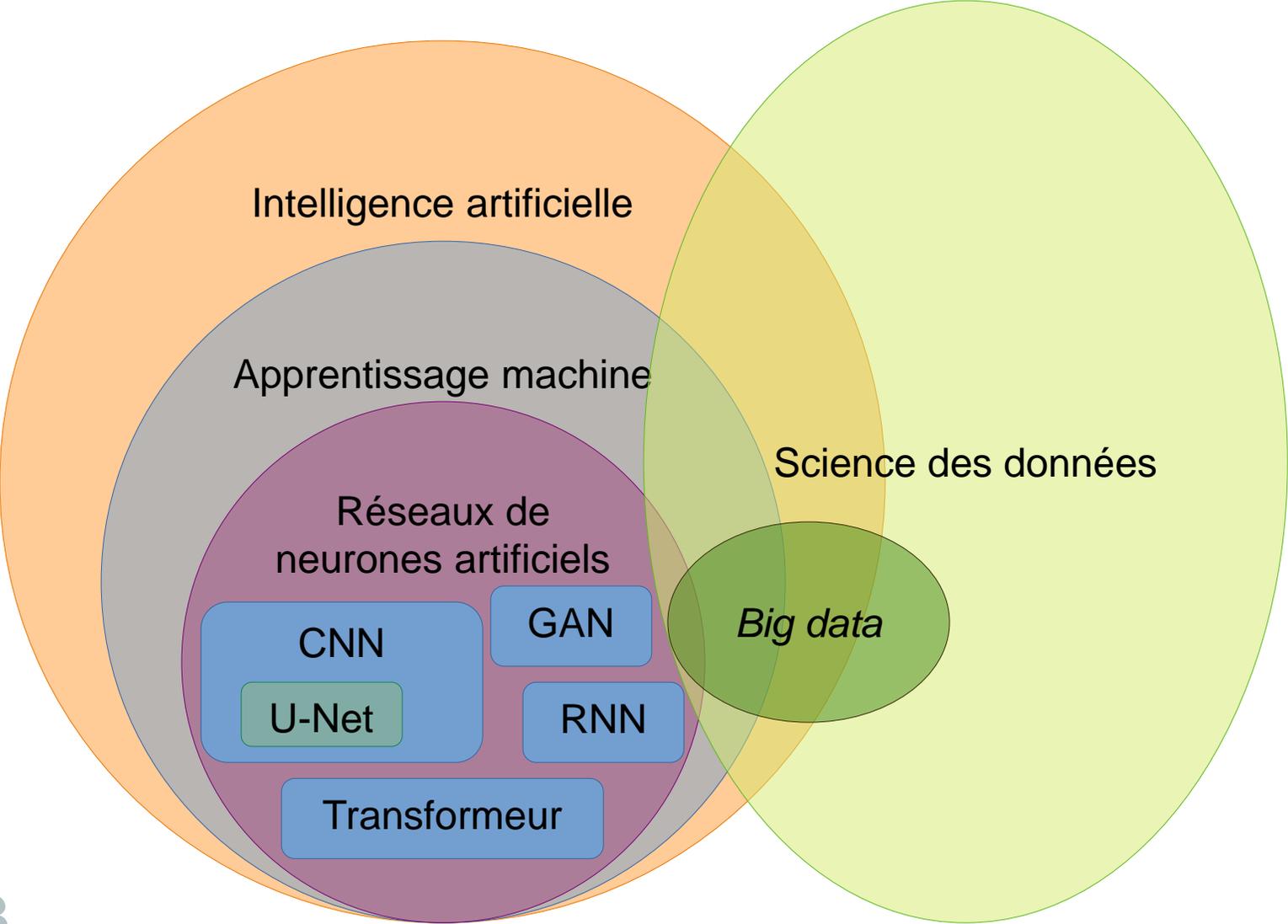
Introduction des concepts généraux d'IA

Pourquoi l'intelligence artificielle en science du climat ?

Projet de mise à l'échelle avec réseau de neurones

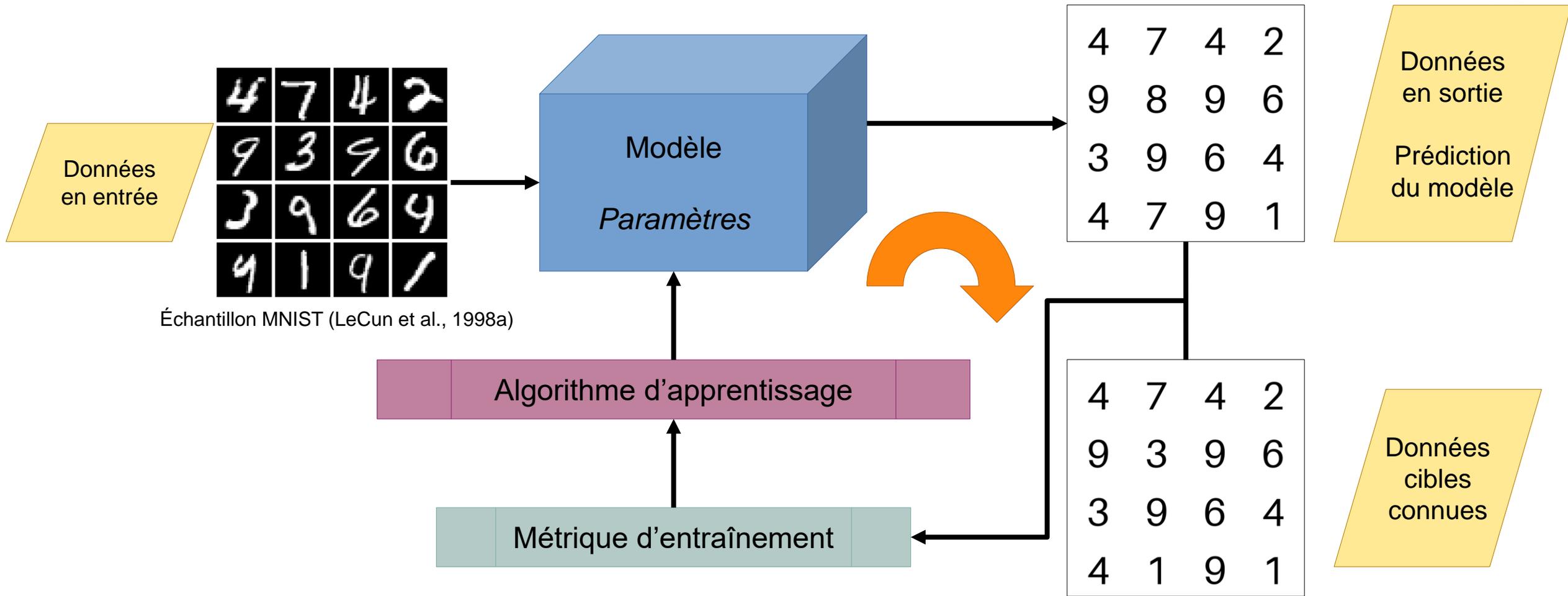


# L'intelligence artificielle et ses applications



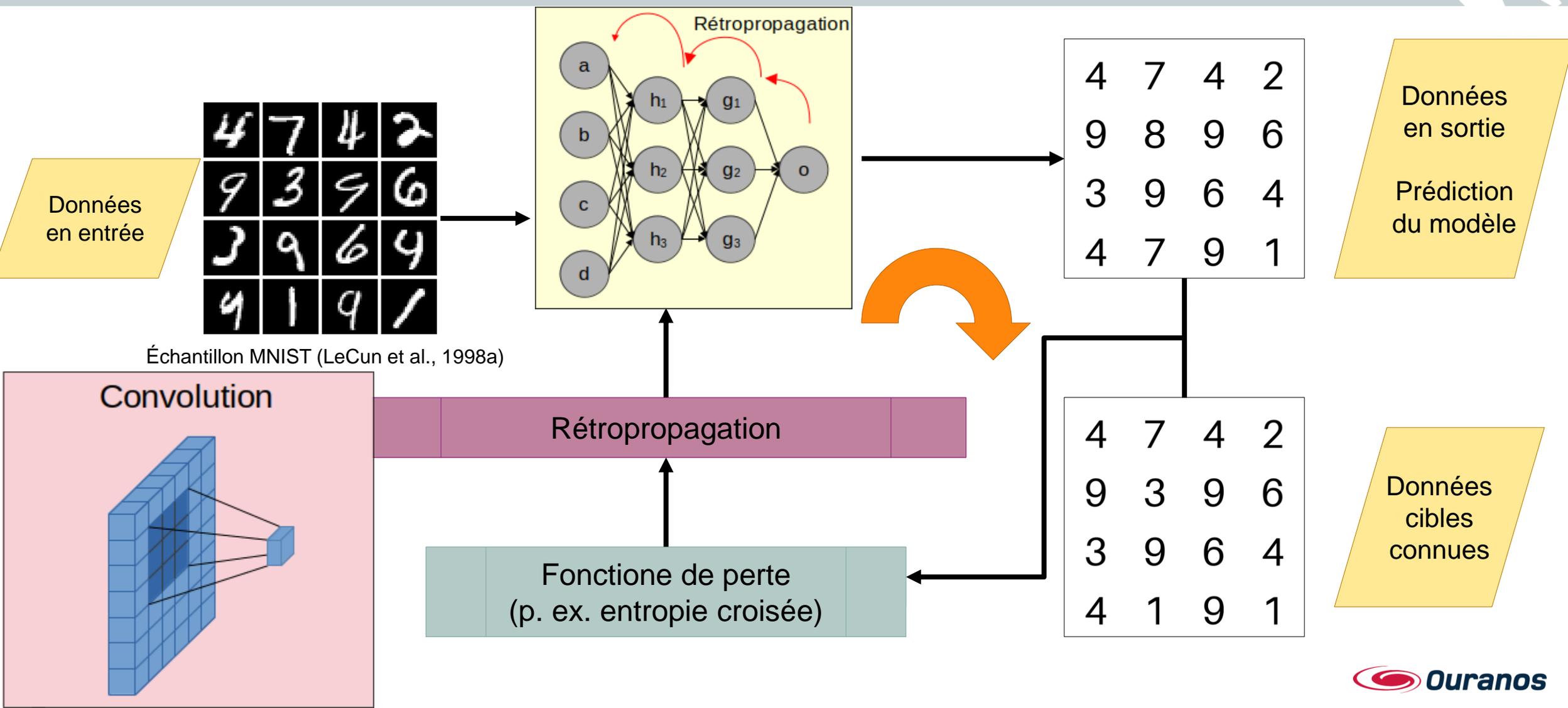
- Applications IA
- Moteur de recherche
  - Système de recommandation
  - Approximation de fonction**
  - Générateur de contenu
  - Véhicule autonome
  - Traduction
  - Prévisions météorologiques**
  - Découverte de médicaments
  - Agent conversationnel
  - Aide à la programmation
  - ⋮

# Apprentissage machine



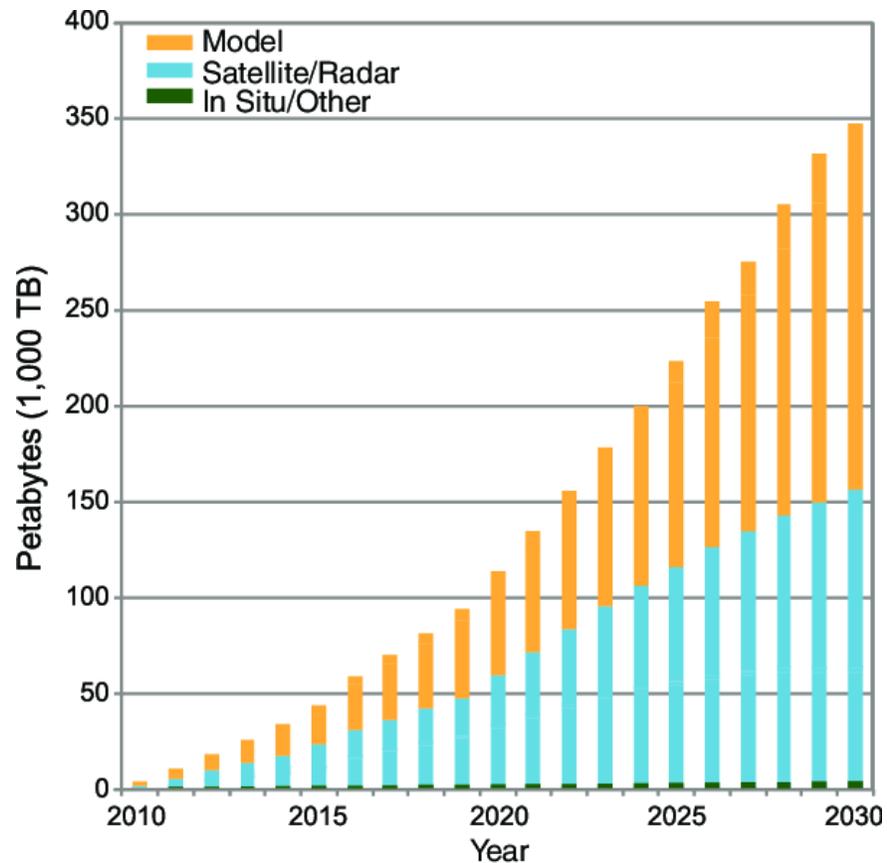


# Réseau de neurones



# Pourquoi l'intelligence artificielle en science du climat ?

Quantité énorme de données



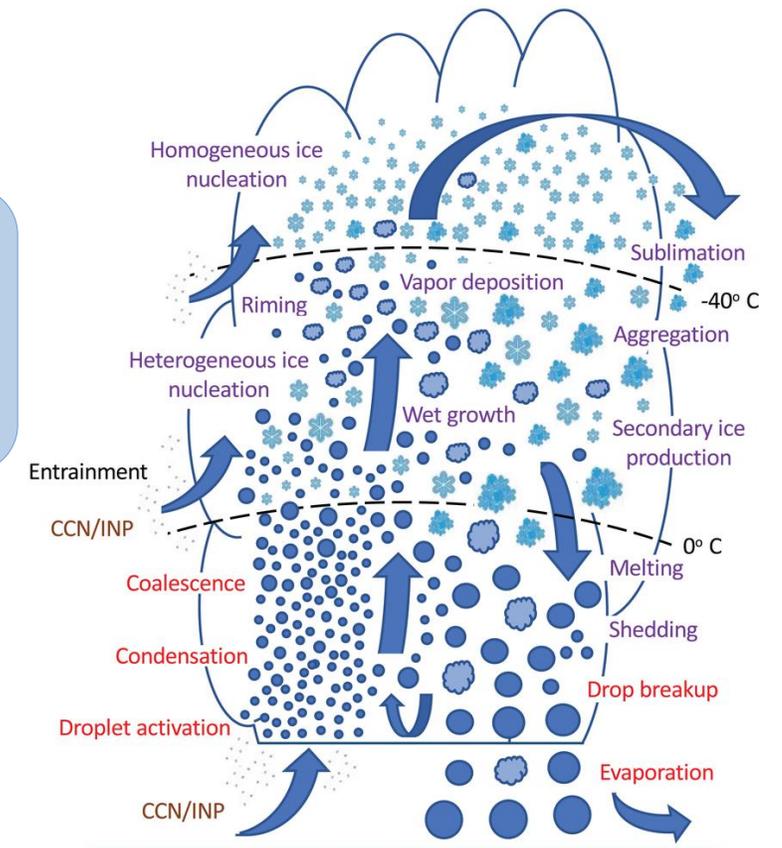
Overpeck et al. 2011

+



Candidat pour de l'apprentissage machine

Processus complexes paramétrés



Morisson et al. 2020



# Exemples d'applications récentes IA-Climat

## Applications IA-Climat

Simulations climatiques  
Simulation des interactions  
terre-atmosphère  
Mise à l'échelle  
Correction de biais  
Impact des changements  
climatiques sur l'hydrologie



# Exemples d'applications récentes IA-Climat

## Applications IA-Climat

### **Simulations climatiques**

Simulation des interactions  
terre-atmosphère  
Mise à l'échelle  
Correction de biais  
Impact des changements  
climatiques sur l'hydrologie

### **Regional climate model emulator based on deep learning: concept and first evaluation of a novel hybrid downscaling approach**

Antoine Doury<sup>1</sup>  · Samuel Somot<sup>1</sup> · Sebastien Gadat<sup>2</sup> · Aurélien Ribes<sup>1</sup> · Lola Corre<sup>3</sup>

Received: 17 July 2021 / Accepted: 7 May 2022 / Published online: 20 July 2022  
© The Author(s) 2022



# Exemples d'applications récentes IA-Climat

## Applications IA-Climat

Simulations climatiques

**Simulation des interactions  
terre-atmosphère**

Mise à l'échelle

Correction de biais

Impact des changements  
climatiques sur l'hydrologie

## **Physics-Constrained Machine Learning of Evapotranspiration**

**Wen Li Zhao<sup>1,2</sup>, Pierre Gentine<sup>2</sup>, Markus Reichstein<sup>3,4</sup>, Yao Zhang<sup>2</sup>, Sha Zhou<sup>2</sup>, Yeqiang Wen<sup>2,5</sup>,  
Changjie Lin<sup>5</sup>, Xi Li<sup>6</sup>, and Guo Yu Qiu<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>School of Environment and Energy, Peking University Shenzhen Graduate School, Peking University, Shenzhen, China, <sup>2</sup>Department of Earth and Environmental Engineering, Columbia University, New York, NY, USA, <sup>3</sup>Department of Biogeochemical Integration, Max Planck Institute for Biogeochemistry, Jena, Germany, <sup>4</sup>Michael-Stifel-Center Jena for Data-Driven and Simulation Science, Jena, Germany, <sup>5</sup>State Key Laboratory of Hydrosience and Engineering, Department of Hydraulic Engineering, Tsinghua University, Beijing, China, <sup>6</sup>Institute of Water Sciences, College of Engineering, Peking University, Beijing, China



# Exemples d'applications récentes IA-Climat

## Applications IA-Climat

Simulations climatiques  
Simulation des interactions  
terre-atmosphère  
**Mise à l'échelle**  
Correction de biais  
Impact des changements  
climatiques sur l'hydrologie

---

## TRANSFORMER BASED SUPER-RESOLUTION DOWNSCALING FOR REGIONAL REANALYSIS: FULL DOMAIN VS TILING APPROACHES

---

Antonio Pérez<sup>1</sup>, Mario Santa Cruz<sup>1</sup>, Daniel San Martín<sup>1</sup>, and José Manuel Gutiérrez<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Predictia Intelligent Data Solutions S.L. (Predictia), Santander, Spain

<sup>2</sup>Instituto de Física de Cantabria (IFCA), CSIC-Universidad de Cantabria, Santander, Spain



# Exemples d'applications récentes IA-Climat

## Applications IA-Climat

Simulations climatiques  
Simulation des interactions  
terre-atmosphère  
Mise à l'échelle  
**Correction de biais**  
Impact des changements  
climatiques sur l'hydrologie

## Deep Learning for Bias-Correcting CMIP6-Class Earth System Models

Philipp Hess<sup>1,2</sup> , Stefan Lange<sup>2</sup> , Christof Schötz<sup>2</sup> , and Niklas Boers<sup>1,2,3</sup> 

<sup>1</sup>Earth System Modelling, School of Engineering and Design, Technical University of Munich, Munich, Germany, <sup>2</sup>Potsdam Institute for Climate Impact Research, Member of the Leibniz Association, Potsdam, Germany, <sup>3</sup>Department of Mathematics, Global Systems Institute, University of Exeter, Exeter, UK



# Exemples d'applications récentes IA-Climat

## Applications IA-Climat

Simulations climatiques

Simulation des interactions  
terre-atmosphère

Mise à l'échelle

Correction de biais

**Impact des changements  
climatiques sur l'hydrologie**

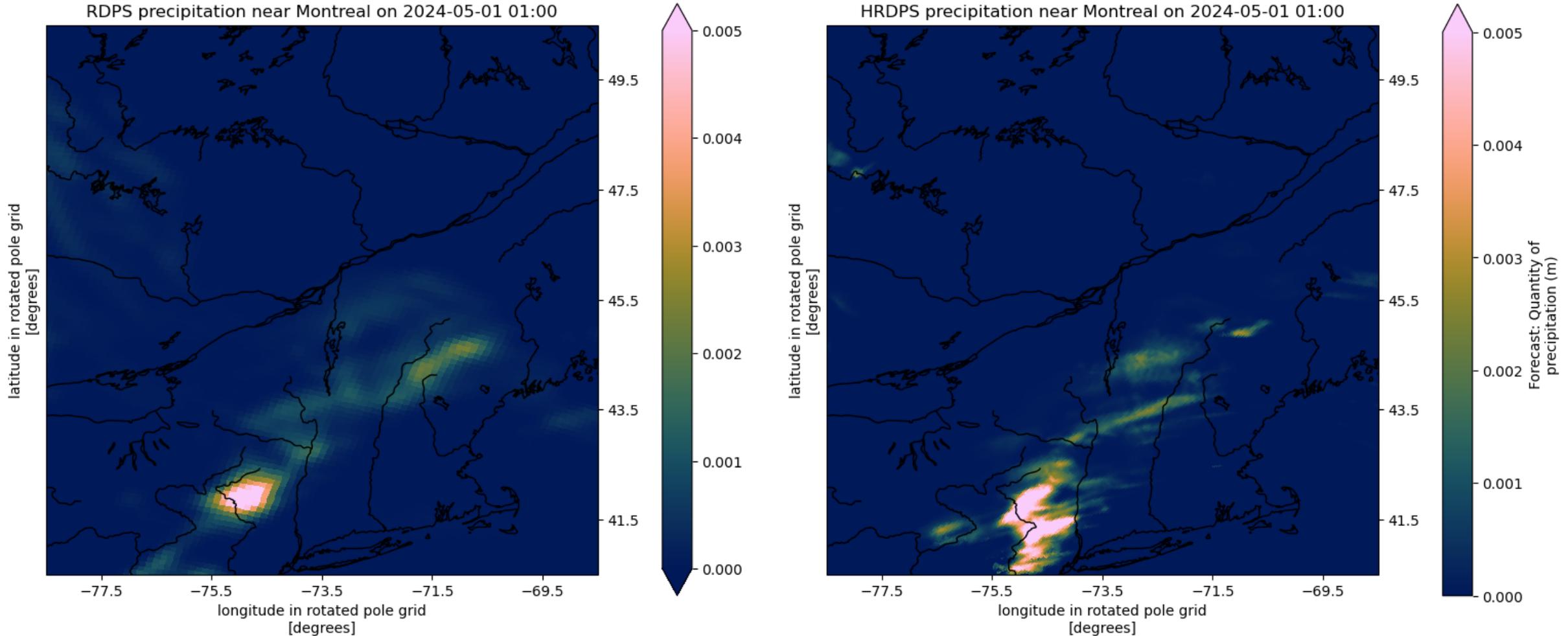
### **Applying machine learning for drought prediction in a perfect model framework using data from a large ensemble of climate simulations**

Elizaveta Felsche<sup>1,2</sup> and Ralf Ludwig<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Center for Digital Technology and Management, Munich, Germany

<sup>2</sup>Department of Geography, Ludwig Maximilian University of Munich, Munich, Germany

# Mise à l'échelle RDPS (~10 km) vers HRDPS (~2.5 km)





# Regional Deterministic Prediction System (RDPS)

## High Resolution Deterministic Prediction System (HRDPS)

### Détails techniques RDPS

- . Amérique du Nord
- . 10 km (grille 1076 x 1102)
- . 2017-01 à 2024-05
- . Prévisions horaires 0-12 h
- . Prévisions à chaque 6 h
- . Fichiers GRIB (EC)

### Liste de variables

(\* = 850, 700, 500, 250 hPa)

- . Geopotential height\*
- . Relative humidity\*
- . Temperature\*
- . U-component of winds\*
- . V-component of winds\*
- . Total precipitation
- . Convective precipitation
- . Snow precipitation
- . Dew point temperature
- . Surface temperature
- . U-component of surface winds
- . V-component of surface winds

### Détails techniques HRDPS

- . Canada continental
- . 2.5 km (grille 1290 x 2540)
- . 2017-05-22 à 2024-06-30
- . Prévisions horaires 0-12 h
- . Prévisions à chaque 6 h
- . Fichiers NetCDF (CaSPAr)

### Liste de variables

- . Surface temperature
- . Total precipitation
- . Rain (liquid) precipitation
- . Incoming short-wave radiation
- . Relative humidity
- . U-component of surface winds
- . V-component of surface winds



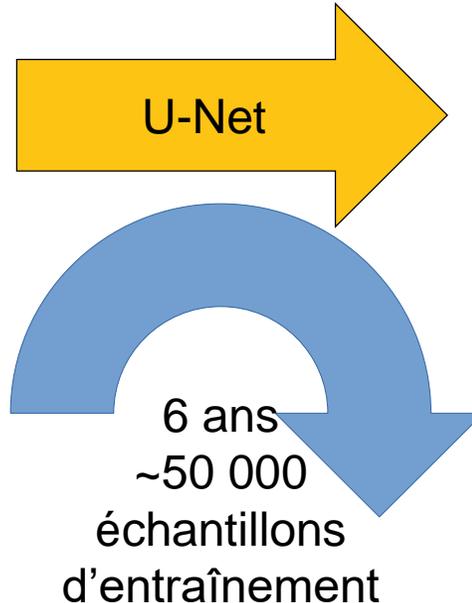
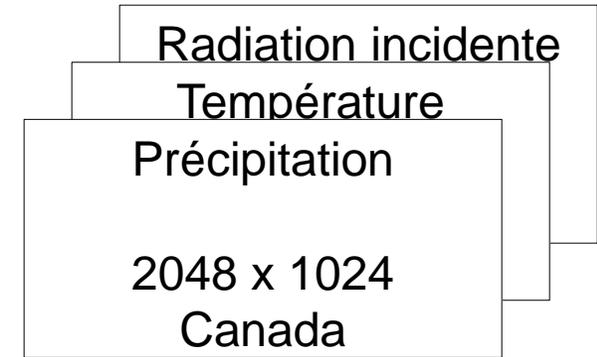
# Mise à l'échelle avec réseau de neurones

Données en entrée  
(RDPS, variables horaires)

Données en sortie  
(HRDPS, variables de surface horaires)

Prétraitement :

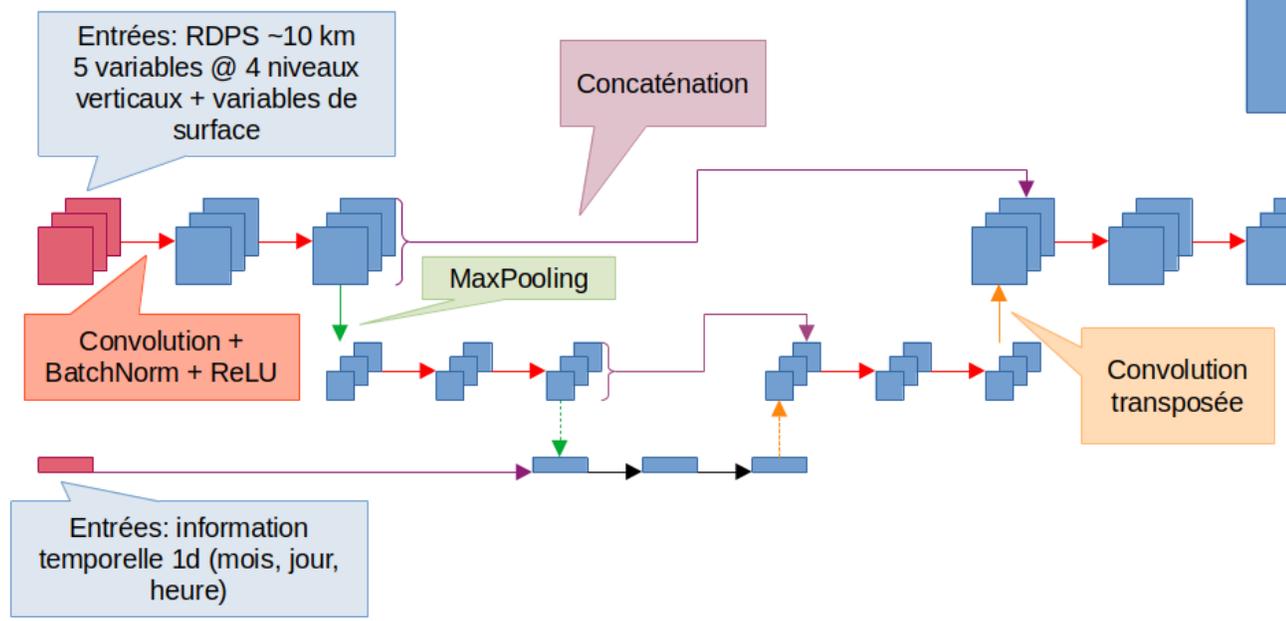
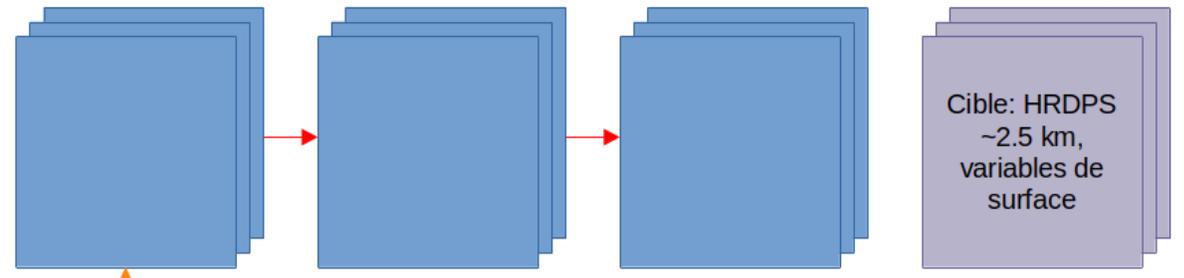
- Contrôle de qualité
- Interpolation
- Normalisation





# U-Net

- Réseau neuronal convolutif
- Permet la transformation d'images
- Augmentation de résolution possible
- Apprentissage de contextes multi-échelles
- Multivarié

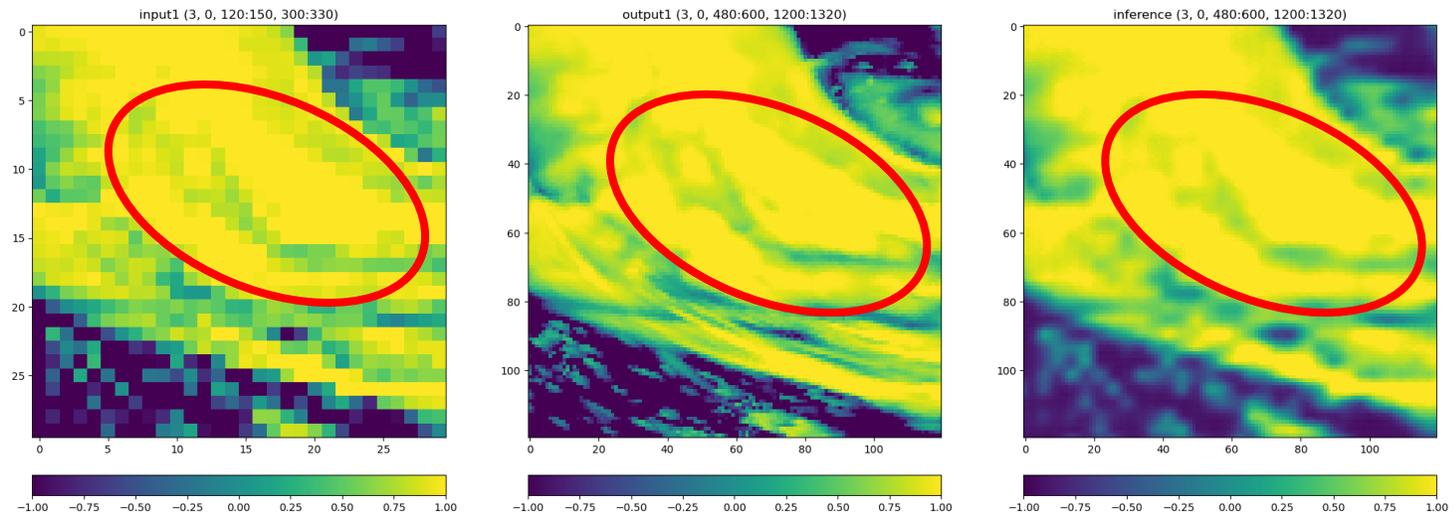


# Mise à l'échelle avec réseau de neurones

## Tests préliminaires

- U-Net de ~10,000,000 paramètres
- Tâche connexe HRDPS dégradé à 10 km vers HRDPS 2.5 km
- Température & Précipitation
- Entraînements complets sur la tâche RDPS vers HRDPS à venir durant les prochains mois !

### Échantillon de log-précipitation normalisé (zoom) Après *seulement* 2 époques d'entraînement



# Mise à l'échelle avec réseau de neurones

## Travaux à venir

### Sélection de variables

Liste de variables  
(\* = 850, 700, 500, 250 hPa)

- . Geopotential height\*
- . Relative humidity\*
- . Temperature\*
- . U-component of winds\*
- . V-component of winds\*
- . Total precipitation
- . Convective precipitation
- . Snow precipitation
- . Dew point temperature
- . Surface temperature
- . U-component of surface winds
- . V-component of surface winds

# Mise à l'échelle avec réseau de neurones

## Travaux à venir



Sélection de variables

Analyse spatio-temporelle

**Table 1.** List of Example Indices<sup>a</sup>

Aspect	Index	Performance Measure
Marginal	mean	bias/relative error
	variance	relative error
	20 season/year return level	bias/relative error
	number of threshold exceedances	bias
Temporal	time series	mean squared error/ correlation
	ACF lag 1, 2, 3	N.A.
	median of spell length distribution	bias
	90th percentile of spell length distrib.	bias
	minimum/maximum of annual cycle	bias/relative error
Spatial	decorrelation length	relative error
	variogram range	relative error
	decay length of tail dependence	relative error
Multivariate	Pearson/rank correlation	N.A.
	probability of joint exceedances	N.A.
	indices conditional on (no) exceedance	as above

<sup>a</sup>The complete list of indices may be found on [www.value-cost.eu/indices](http://www.value-cost.eu/indices). In some cases, model and observational indices will be affected by high uncertainties. Here no performance measures will be calculated (N.A. in the table), but just the index values will be given.

# Mise à l'échelle avec réseau de neurones

## Travaux à venir



Sélection de variables

Analyse spatio-temporelle

Comparaisons

*Méthodes statistiques*

*Autres méthodes IA*

**Table 1.** List of Example Indices<sup>a</sup>

Aspect	Index	Performance Measure
Marginal	mean	bias/relative error
	variance	relative error
	20 season/year return level	bias/relative error
Temporal	number of threshold exceedances	bias
	time series	mean squared error/ correlation
	ACF lag 1, 2, 3	N.A.
	median of spell length distribution	bias
	90th percentile of spell length distrib.	bias
Spatial	minimum/maximum of annual cycle	bias/relative error
	decorrelation length	relative error
	variogram range	relative error
	decay length of tail dependence	relative error
Multivariate	Pearson/rank correlation	N.A.
	probability of joint exceedances	N.A.
	indices conditional on (no) exceedance	as above

<sup>a</sup>The complete list of indices may be found on [www.value-cost.eu/indices](http://www.value-cost.eu/indices). In some cases, model and observational indices will be affected by high uncertainties. Here no performance measures will be calculated (N.A. in the table), but just the index values will be given.

# Mise à l'échelle avec réseau de neurones

## Travaux à venir



Sélection de variables

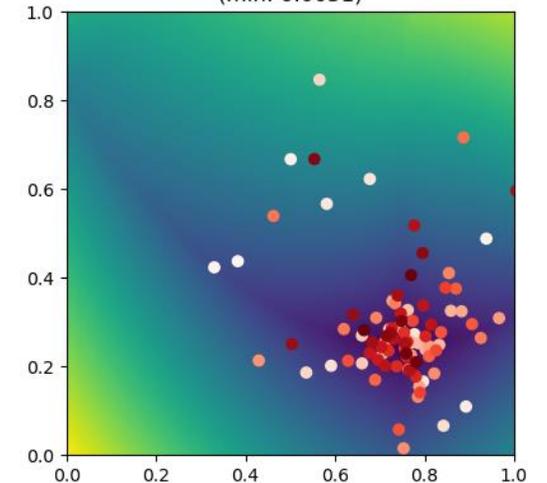
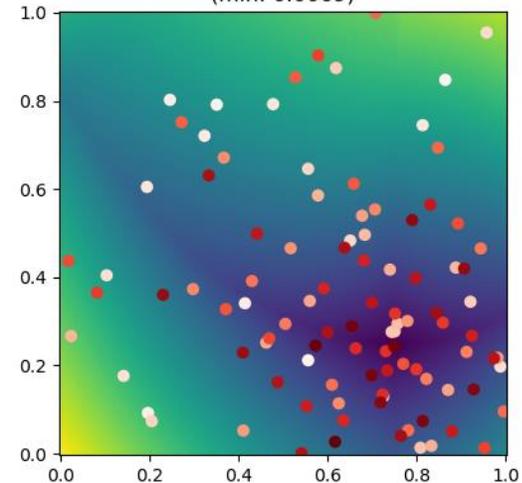
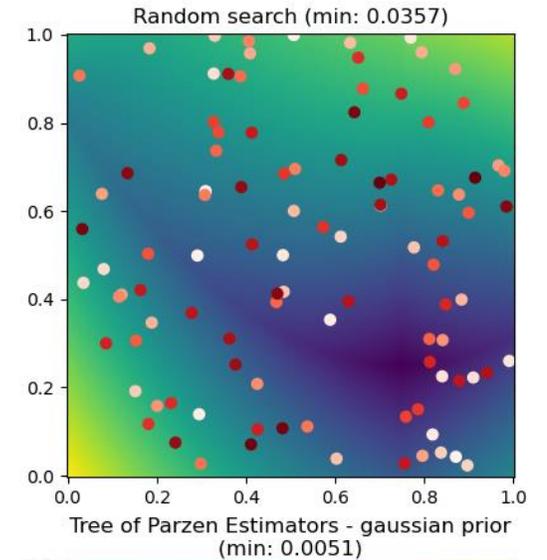
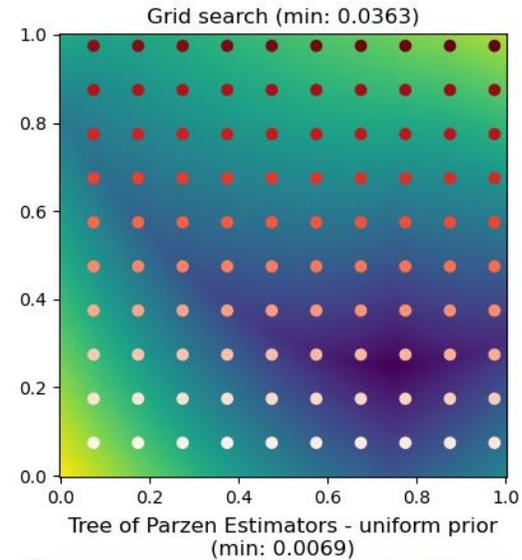
Analyse spatio-temporelle

Comparaisons

*Méthodes statistiques*

*Autres méthodes IA*

Recherche d'hyperparamètres



# Mise à l'échelle avec réseau de neurones

## Travaux à venir

Sélection de variables

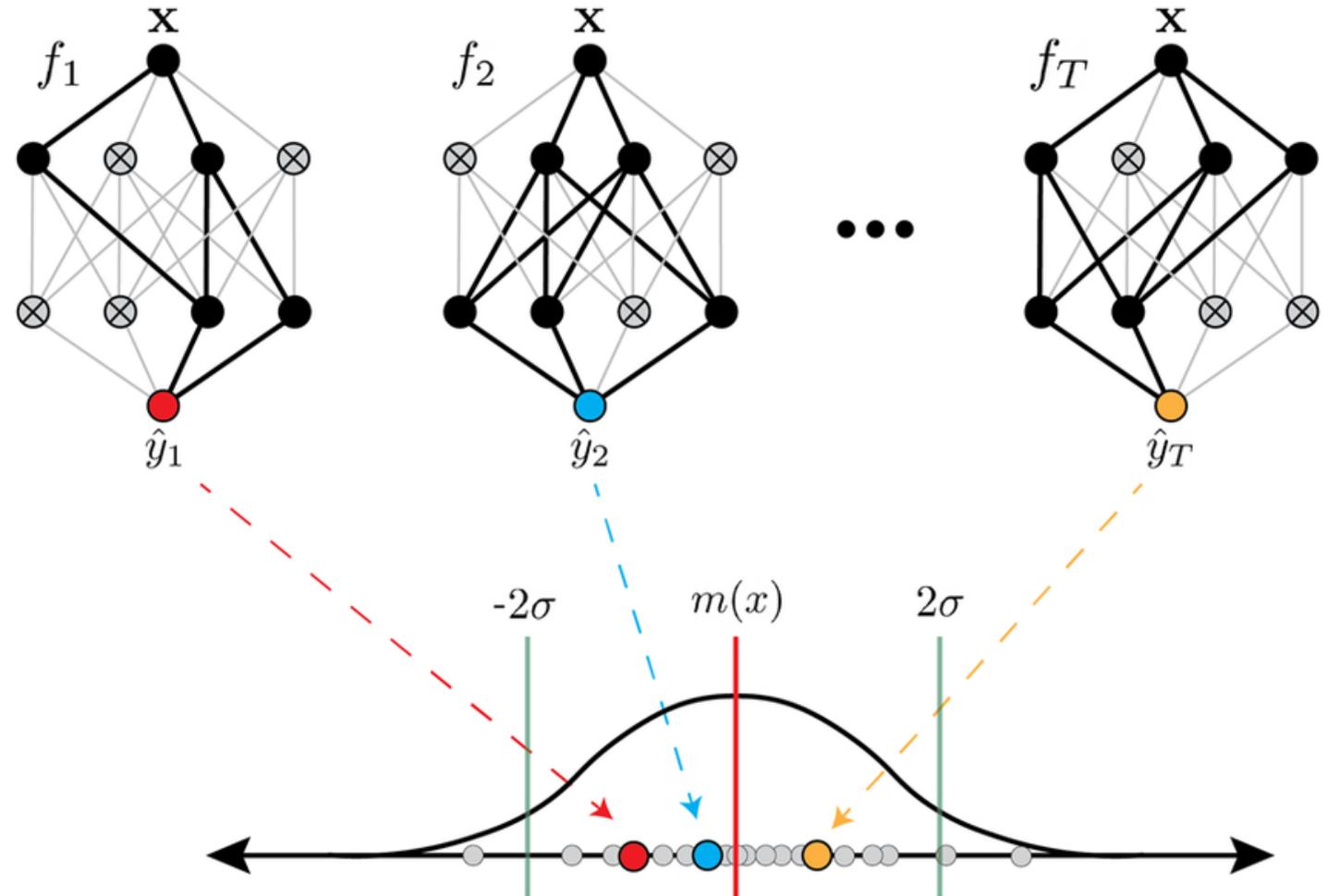
Analyse spatio-temporelle

Comparaisons

*Méthodes statistiques*  
*Autres méthodes IA*

Recherche d'hyperparamètres

Évaluation de l'incertitude





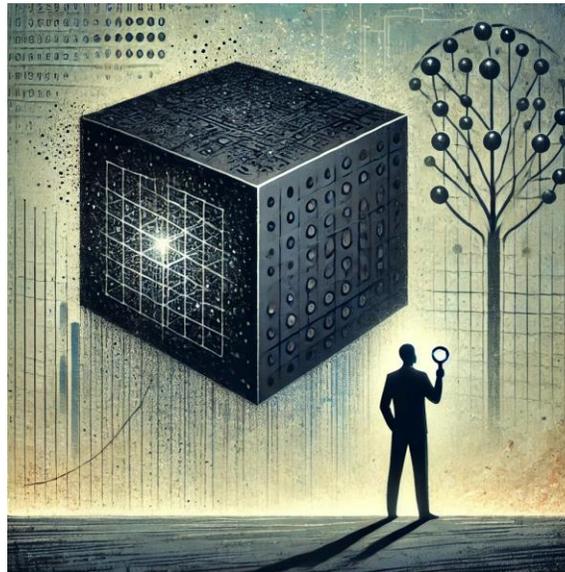
# Enjeux liés à l'utilisation de l'IA

On veut des modèles d'IA...

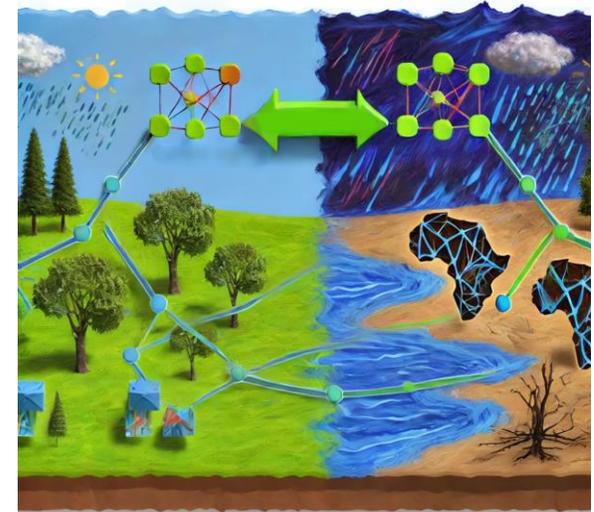
Efficaces



Interprétables



Transférables

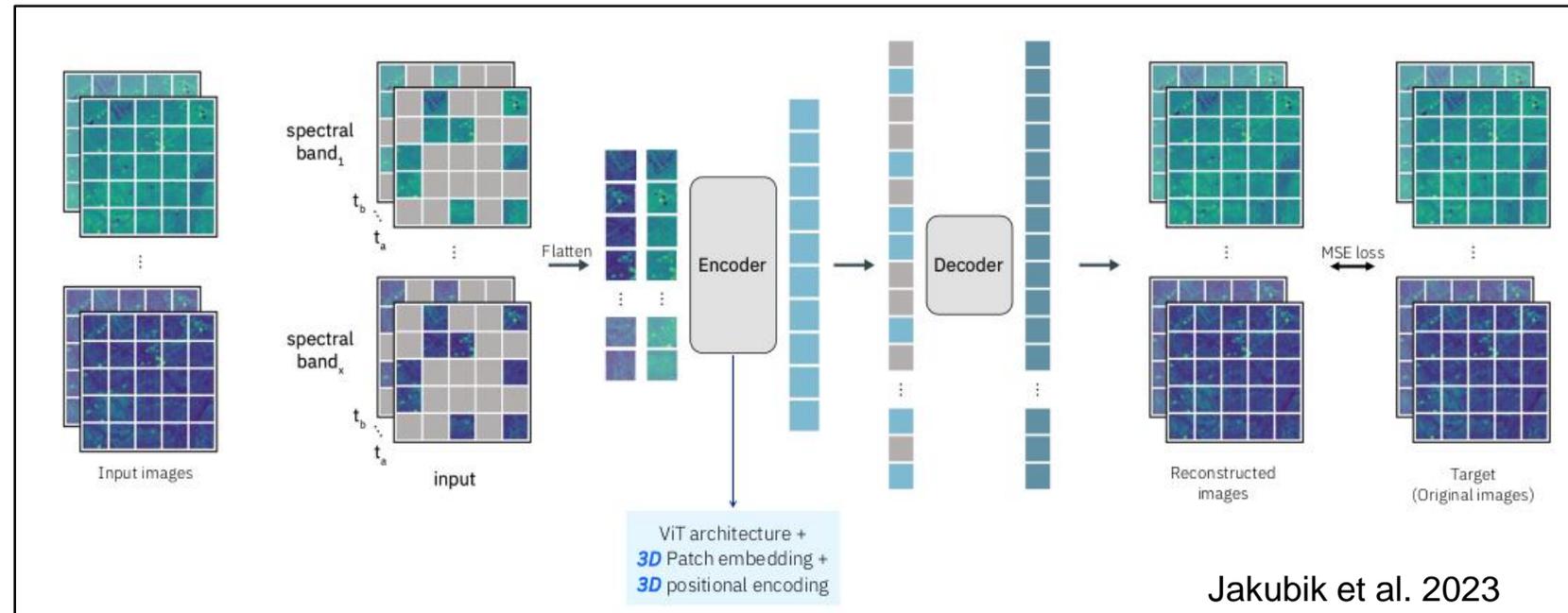




# Enjeux liés à l'utilisation de l'IA

On veut des modèles d'IA...

Efficaces

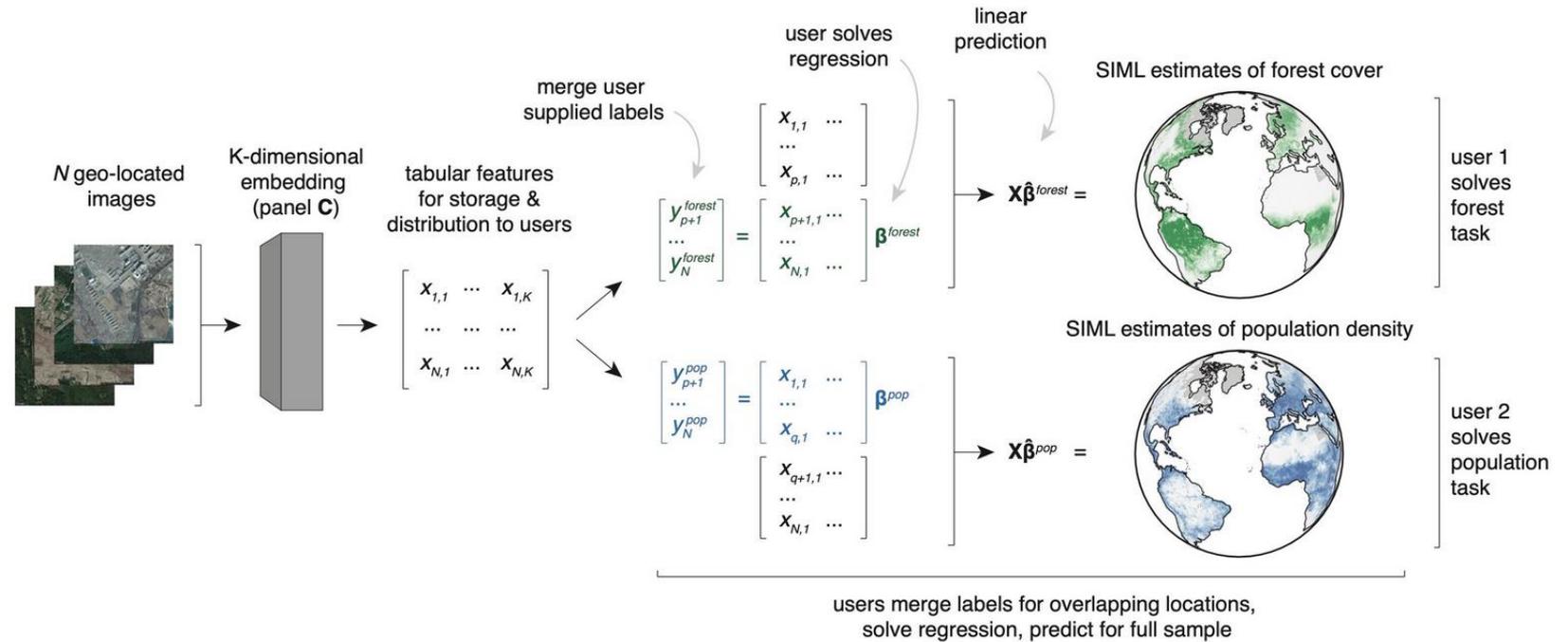




# Enjeux liés à l'utilisation de l'IA

On veut des modèles d'IA...

Efficaces



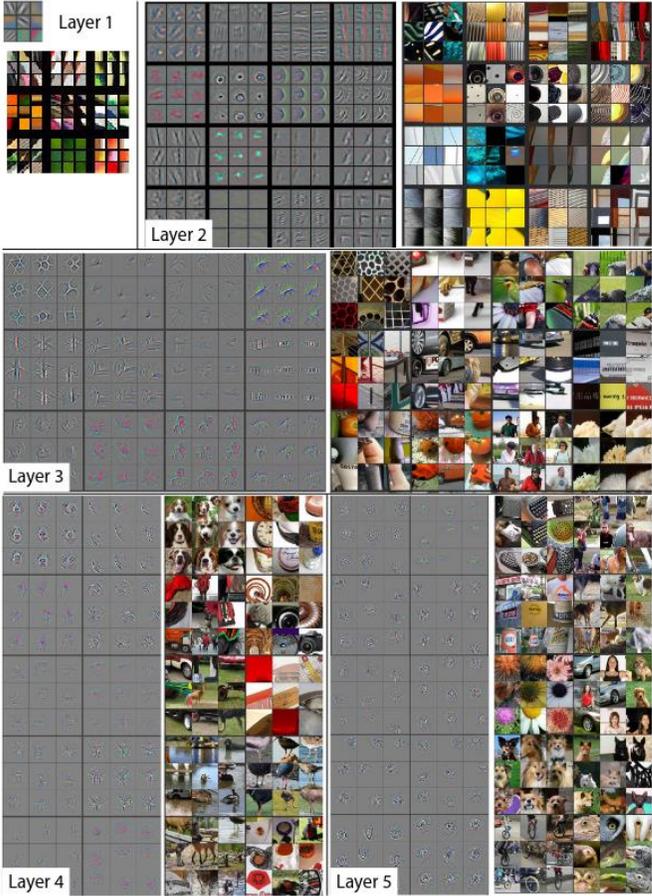
Rolf et al. 2024, mosaiks.org



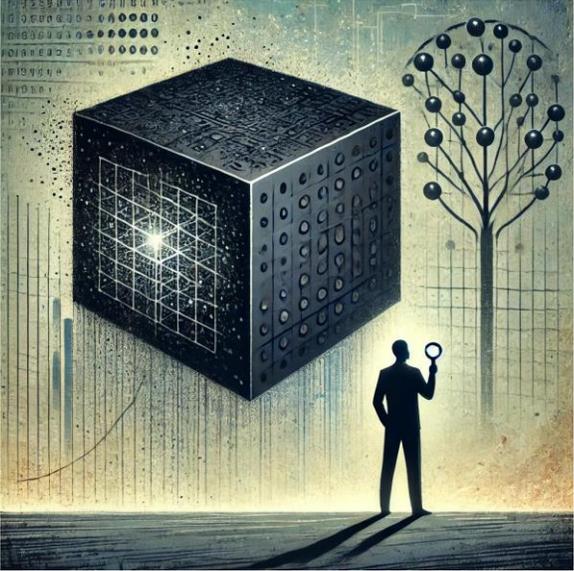


# Enjeux liés à l'utilisation de l'IA

On veut des modèles d'IA...



Interprétables

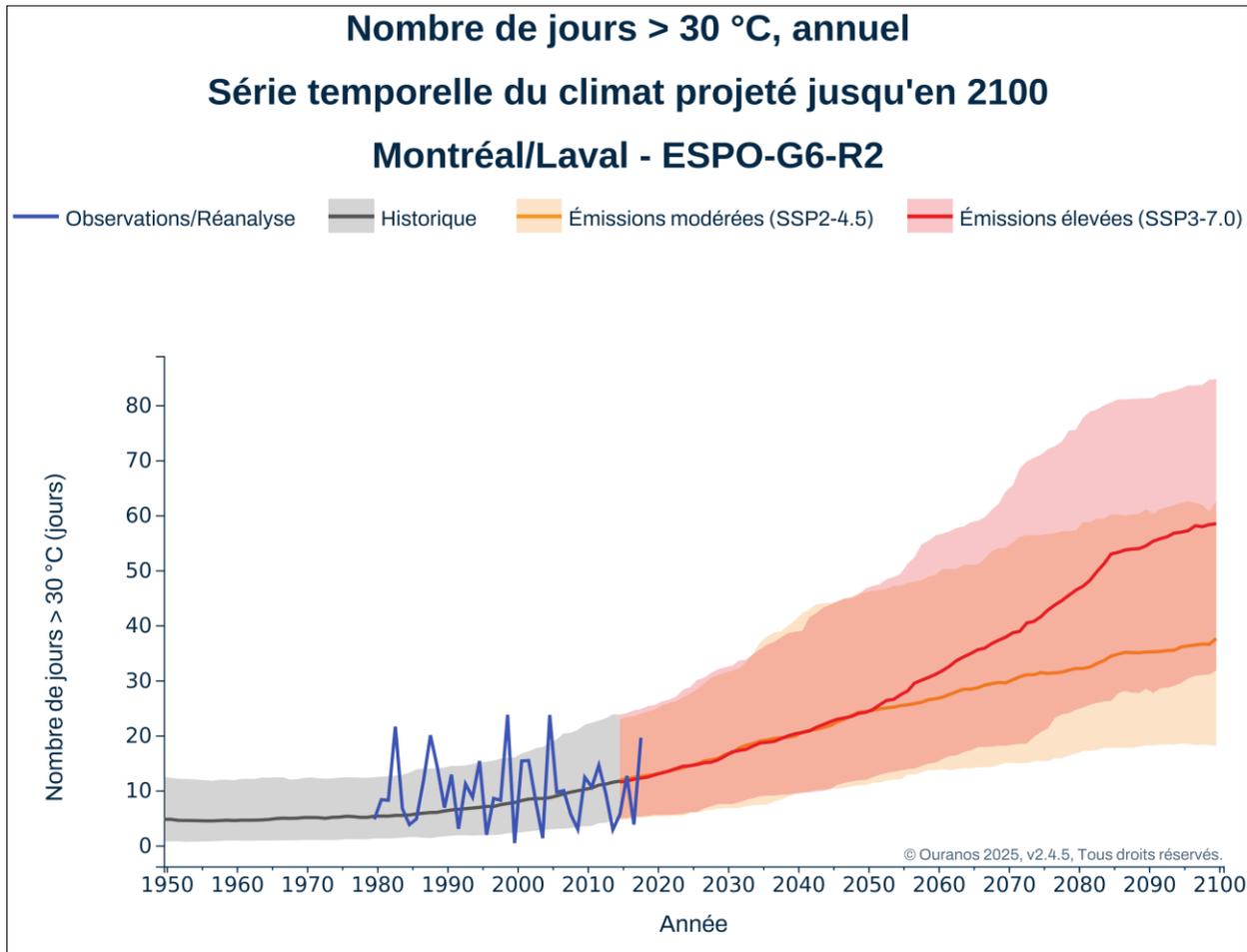


?



# Enjeux liés à l'utilisation de l'IA

On veut des modèles d'IA...



Transférables

