

# Appropriation de l'IA au CNRM-CECI

Climat, composition atmosphérique et prévision  
numérique du temps

Sophie Pelletier, David Salas y Melia, et (nombreux) collègues

AG TRACCS 2026\_03/02/2026

# Climat et composition atmosphérique

# Stratégie IA / Climat au CECI

## Approche

→ Tester l'intérêt de ces méthodes pour quelques applications, autour de l'enrichissement d'ensembles, dans un contexte de **capacité de calcul** limitée et de **coût carbone** à maîtriser

- **Downscaling / émulation de RCM**, en collaboration avec le CNRM, pour pouvoir régionaliser de grands ensembles
- Génération de membres additionnels de GCM pour réaliser de **très grands ensembles**
- Génération d'événements extrêmes plausibles

## Ressenti des collègues

Pas d'interrogations spécifiques sur l'utilisation de l'IA dans ce contexte

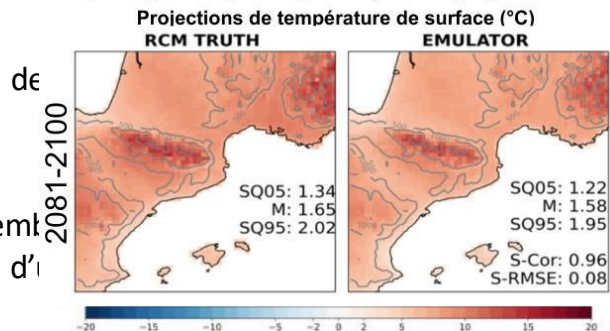
# Stratégie IA au GMGEC

Une place grandissante de l'IA en climat et CA pour 3 motivations - (i) faire plus à moindre coût, (ii) faire mieux, (iii) faire autrement - et pour 4 types d'applications :

## 1. Descente d'échelle

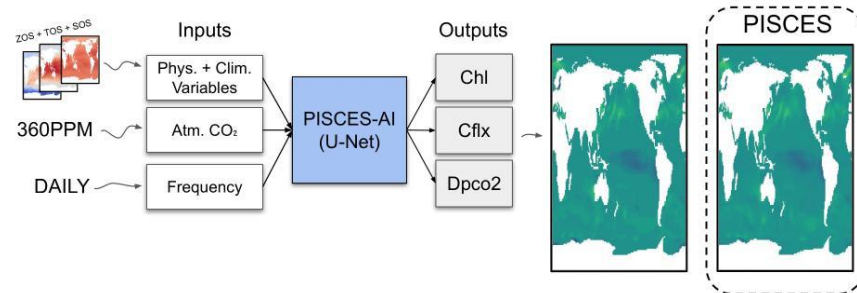
- Essentiellement en modélisation régionale du climat, pour la **production ensembles**
- Dvt d'un émulateur statistique de modèles régionaux de climat à base neurones (CNRM-UNET)
  - **Downscaling spatial** → données quotidiennes de précip. + T°
    - CNRM-ALADIN (HR) : Mise en œuvre pour la production d'un grand ensemble de projections climatiques pour le projet SOCLE Métropole Dvt en cours d'implémentation
    - Prévu : CNRM-AROME (VHR)
    - À venir : **Downscaling spatio-temporel** grâce au dvt d'un émulateur multivarié
- Objectif à terme : Pouvoir caractériser l'évolution des événements extrêmes à enjeu

d) (Doury et al., 2023, 2024, ClimDyn)



## 2. Remplacement d'une partie d'un modèle → modélisation hybride

- Dvt et implémentation d'une interface « réseau de neurones » ↔ GCM (*Balogh et al, 2025*).
- **Remplacement** d'une paramétrisation physique / d'une méthode mathématique
  - **En modélisation globale du climat :**
    - Dvt d'un émulateur pour la convection profonde (2 NN : décl. + intensité) (*Germain et al., 2025*)
    - Estimation des flux de surface turbulents en régions polaires par IA (*Cummins et al., 2023*)
    - À venir : Modélisation des surfaces brûlées à l'aide de méthodes d'apprentissage statistique
  - **En modélisation de la composition atmosphérique :** Émulation d'un solveur chimique par IA (dvt d'un émulateur capable de résoudre le système d'équations du schéma chimique RACMOBUS)
- **Remplacement** d'une composante physique d'un ESM :
  - Ex : Émulateur IA de PISCES pour les flux de carbone et la chlorophylle de surface



### 3. Prévision numérique

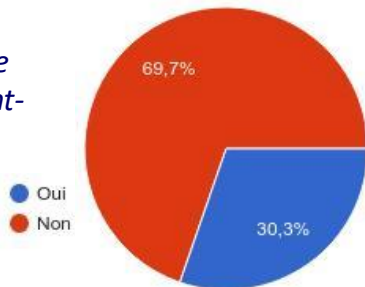
- Dvt d'un premier prototype de **prévision saisonnière** par IA, utilisant une architecture UNet avec un nombre limité de variables → résultats prometteurs / modèles physiques. À terme : intégration de nouvelles variables et/ou génération d'ensembles
- Pour la **composition atmosphérique** (a/c 05/2025) : opportunité & faisabilité d'utiliser des méthodes d'IA pour la prévision quotidienne et accidentelle (1ère variable cible : concentration d'O<sub>3</sub> en surface)

### 4. Analyse de données

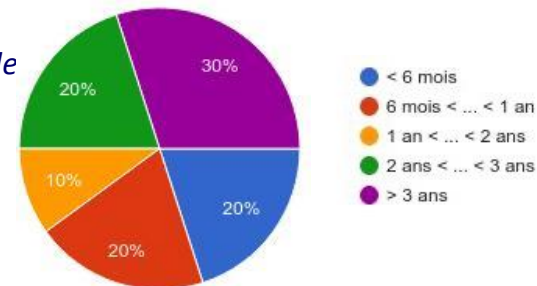
- **Dvt d'une méthode IA** pour estimer la contribution de la variabilité interne aux tendances récentes de température en Europe (+ particulièrement l'anomalie de T° "attendue" pour une carte de pression donnée) dans les observations et les projections CMIP6 (Cariou et al. 2025)
- **Dvt d'un nouvel outil de classification objective** des sites de mesure de la qualité de l'air européens reposant sur des méthodes de Machine Learning (détection d'outliers) et de Deep Learning (classification supervisée) → amélioration des performances de l'outil / méthode initiale [CAM52\_40bis]

# Importance de l'IA au GMGEC

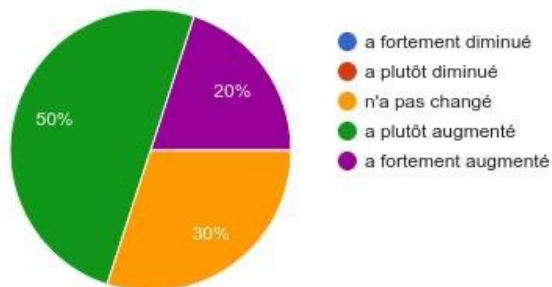
*Vos activités scientifiques de développement/analyse font-elles appel à l'IA ?*



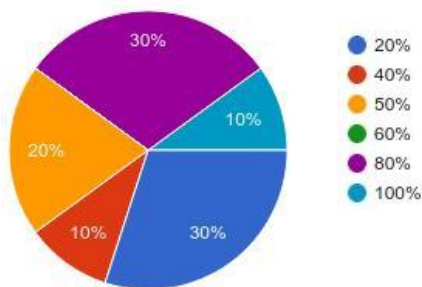
*Si oui, depuis combien de temps faites-vous appel aux outils d'IA pour vos activités scientifiques ?*



*Au cours de cette période, diriez-vous que votre utilisation de l'IA :*



*Quelle part de vos activités de recherche/développement l'utilisation de l'IA représente-t-elle aujourd'hui ?*

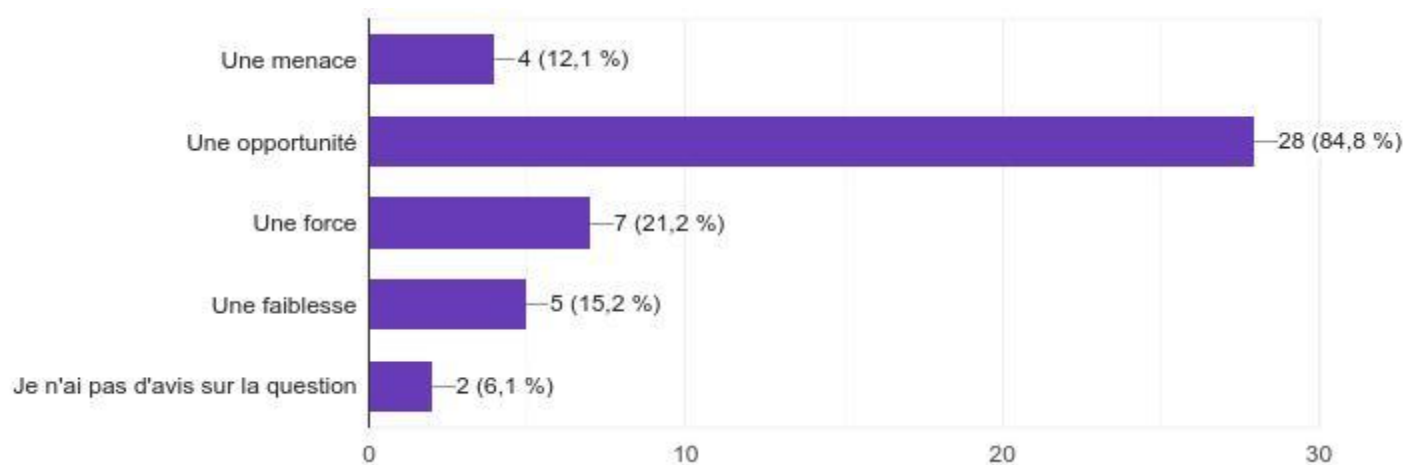


*Pour quel type d'application ?*



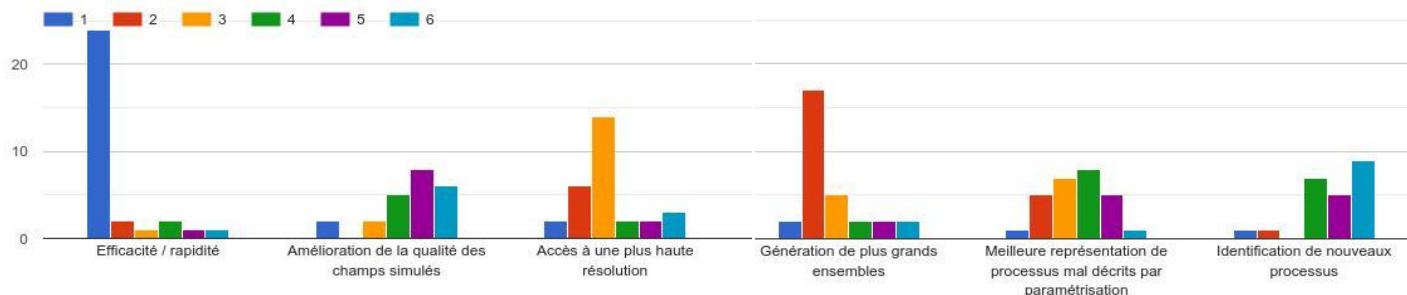
# Ressenti vis à vis de l'IA pour la modélisation au GMGEC

*Dans le domaine de la modélisation, considérez-vous l'utilisation de l'IA comme :*

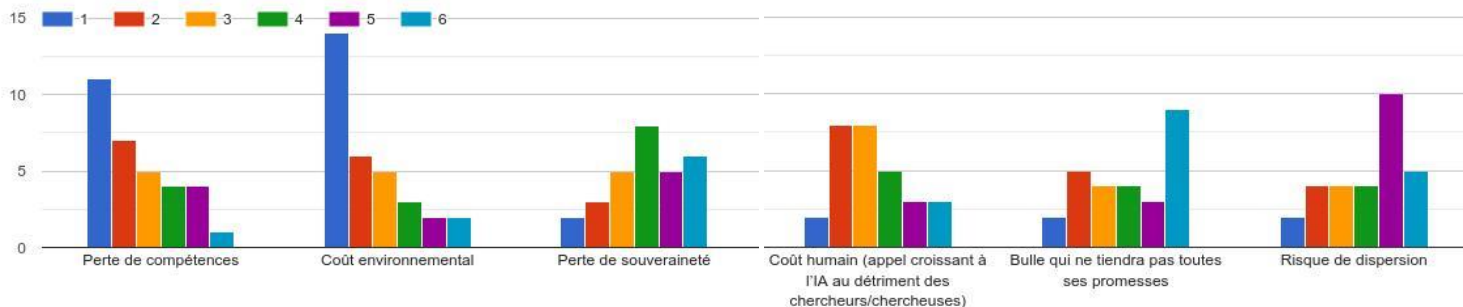


# Ressenti vis à vis de l'IA en modélisation au GMGEC

Quels sont selon vous les **principaux bénéfices/avantages** de l'utilisation de l'IA pour la modélisation ?



Quels sont selon vous les **principaux risques/inconvénients** de l'utilisation de l'IA pour la modélisation ?



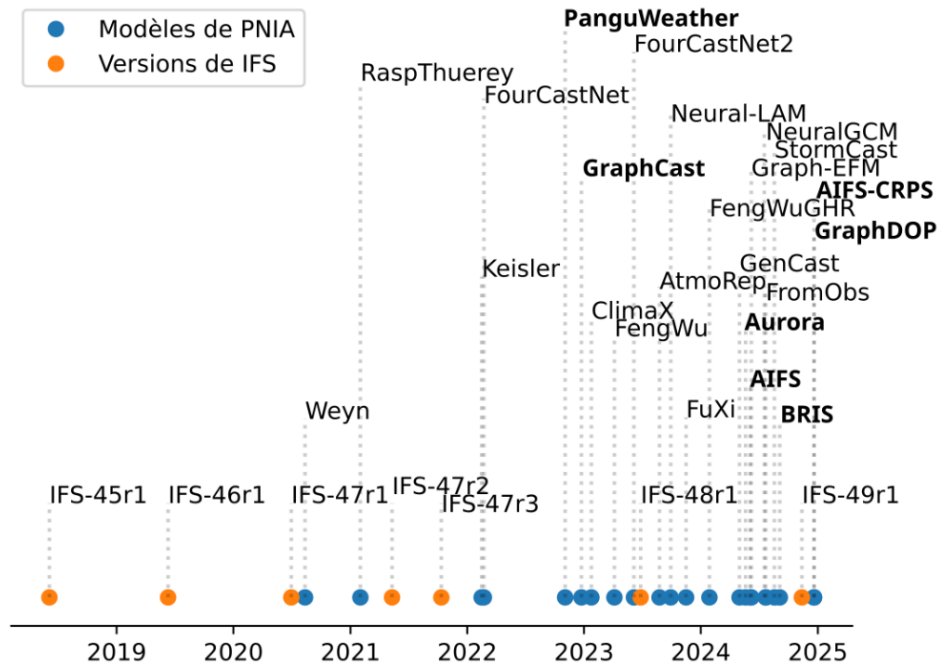
# Prévision numérique du temps

---

# Prévision Numérique du temps par IA (PNIA) :

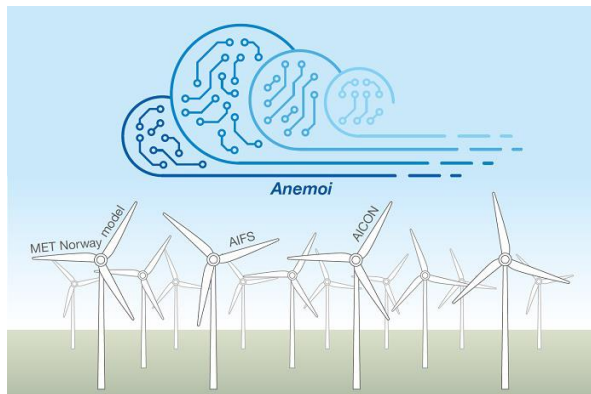
Une littérature qui explose !

Timeline de la littérature en PNIA



Thomas Rieutord, CNRM / GMAP

# AROME-IA : premiers résultats

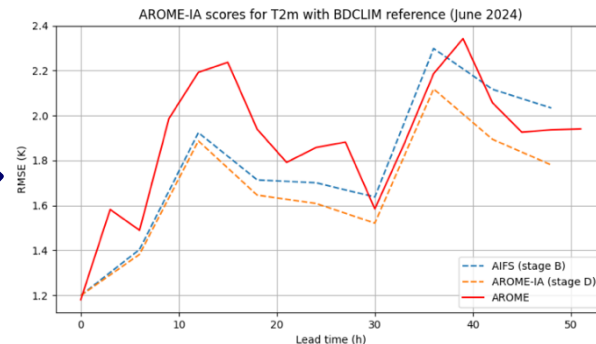


Cadre de travail ANEMOI (CEPMMT et partenaires)

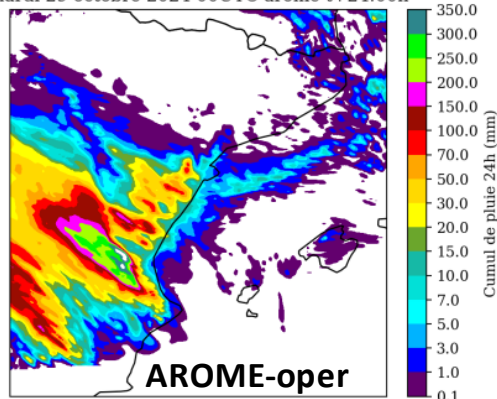
<https://github.com/ecmwf/anemoi-core>

Scores moyens à 48h d'échéance (T2m) - juin 2024

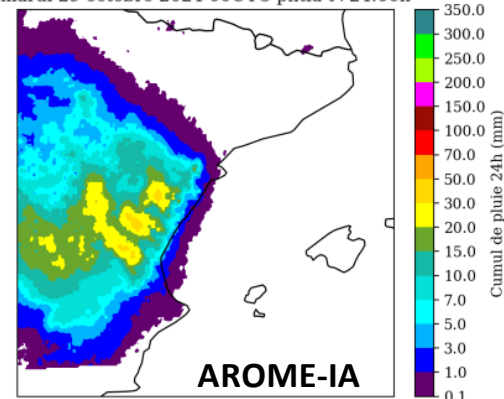
Cas de Valence (29/10/2024) : prévisions cumul pluies à 24h



Cumul de pluie 24h  
OPER  
mardi 29 octobre 2024 00UTC arome t+24:00h



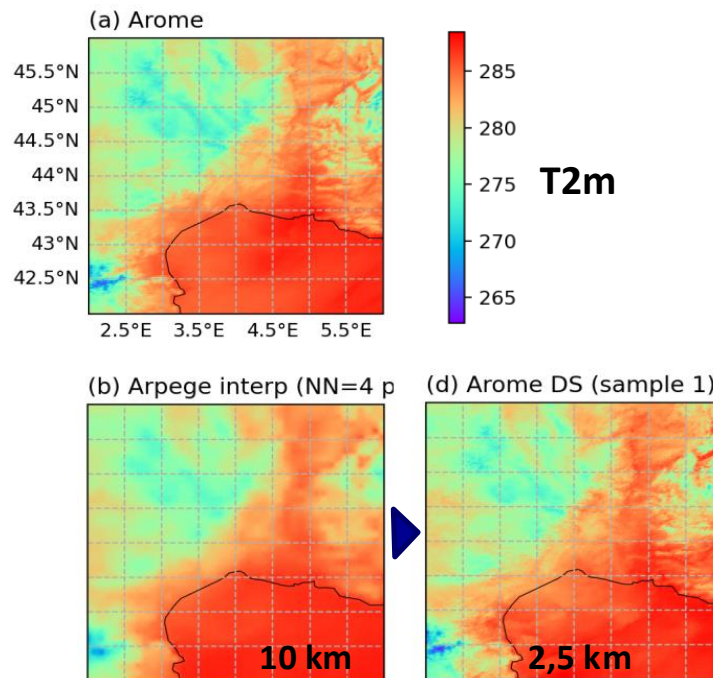
Cumul de pluie 24h  
ORANGESHEEP  
mardi 29 octobre 2024 00UTC pntia t+24:00h



## Autres approches en PNT

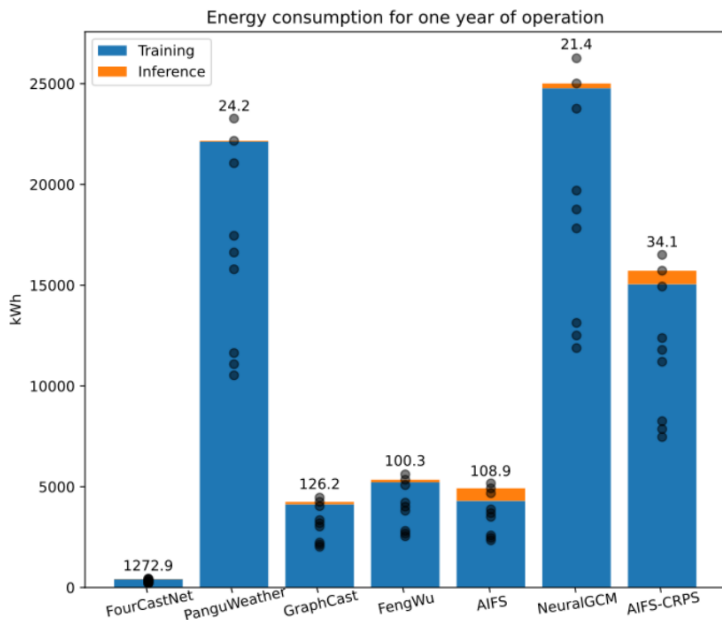
- Descente d'échelle de prévisions à plus basse résolution avec ARPEGE
- Génération d'ensembles
- Identification de structures dans les prévisions (e.g. échos arqués)

Eliott Lumet, CNRM / GMAP



**Anemoi (diffusion), 30 variables**  
(pour certaines variables e.g. les précipitations)

## L'empreinte énergétique et carbone de la PNIA



### Principales conclusions :

- Coût énergétique de la PNIA largement dominé par l'entraînement
- Inférence ~800 fois moins coûteuse en énergie qu'une PNT « classique »
- Entraînement de modèle IA déterministe ~300 fois plus coûteux qu'une PNT ; coût supplémentaire pour entraîner un modèle IA probabiliste (AIFS-CRPS ~ 3 x AIFS)

### Limitations :

- coûts estimés à partir de la littérature (et non d'un profilage)
- pas de prise en compte du cycle de vie global des HPC (fabrication, maintenance, recyclage...)
- la PNT et PNIA sont actuellement des produits différents (résolution, nombre de variables, qualité...)

# Ressenti face à l'irruption de l'IA en recherche PNT et chez les prévisionnistes : quelques éléments

## En général :

- Curiosité sur les approches IA mais crainte de la « boîte noire »
- Questionnements sur une appropriation de l'IA qui semble incontournable... mais avec des effectifs contraints

## Au sein d'une même équipe (équipe PREV du CNRM) :

- Acculturation relativement avancée, bonne vision du potentiel et des limites de l'IA
- L'émergence de l'IA n'est pas vue comme une menace mais plutôt comme une perspective de synergie avec les approches classiques

## Chez les prévisionnistes

- Beaucoup sont plutôt « agnostiques » quant à l'outil qui permet de faire des prévisions météo
  - Mais le manque d'explicabilité du comportement des modèles IA reste un problème, notamment pour les personnes attachées aux schémas conceptuels simples
  - Les précédentes « révolutions » en PNT n'ont pas fait l'unanimité d'emblée (utilisation des modèles, arrivée d'AROME)
-



PROGRAMME  
DE RECHERCHE  
CLIMAT



Et abonnez-vous à la newsletter  
pour recevoir toute l'actualité TRACCS !

[pepr-traccs.fr/contact/](https://pepr-traccs.fr/contact/)