

# PROJECTIONS DU CLIMAT ANTARCTIQUE PAR ÉMULATION D'UN MODÈLE ATMOSPHÉRIQUE RÉGIONAL AVEC DES MÉTHODES DE MACHINE LEARNING.

Encadrement : P. Gallinari (LIP6), C. Agosta (LSCE), A. Doury (CNRM), Christophe Kittel (Université de Liège)

## Enjeux scientifiques

- Observation : pertes de masses accélérées de la calotte Antarctique depuis les années 2000
  - ▶ On observe une accélération des flux de glace de l'Antarctique vers l'océan
  - ▶ Mécanisme en jeu : couplage calotte-océan-atmosphère. Les parties flottantes de la calotte servent de bouchon pour l'écoulement de la glace. Leur affaiblissement entraîne une augmentation du flux de glace vers l'océan.
  - ▶ Variables importantes : **Température de surface** et **fonte**. L'augmentation de la fonte sur les parties flottantes de la calotte peut entraîner une accélération des flux de glace vers l'océan.
- Principaux outils de projection en Antarctiques : modèles de climat globaux
  - ✓ Projections centennales
  - ✗ Basse résolution
  - ✗ Mauvaise représentation de la neige

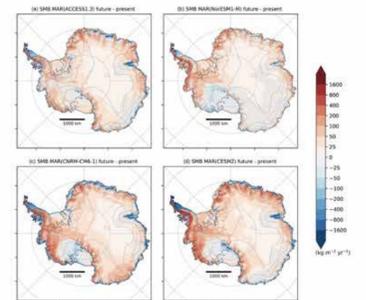
Enjeu : interface entre les modèles de climats globaux et les modèles de calotte

## Objectif du stage

- Les sorties des modèles globaux en Antarctique peuvent être améliorées par des modèles atmosphériques régionaux «polaires»
  - ✓ Haute résolution
  - ✓ Bonne représentation des processus spécifiques à l'Antarctique, notamment la neige
    - ▶ température et fonte de surface
  - ✗ Coûteux en ressources de calcul

Objectif : émuler un modèle régional polaire avec des méthodes de Machine Learning

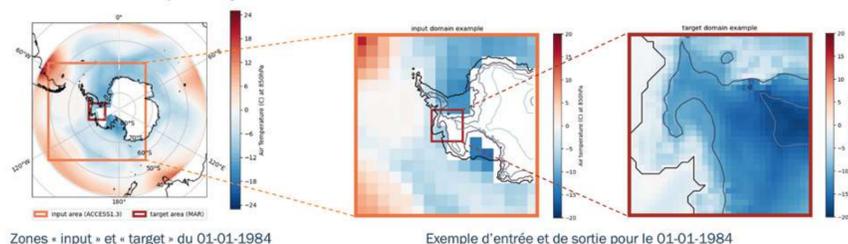
- ▶ Reproduction des sorties du modèle de climat régional MAR à partir des données de modèles globaux (CMIP) en entrée



Exemples de sorties du modèle régional MAR forcé par 4 modèles globaux : ACCESS1.3, NorESM1-M, CNRM-CM6-1 et CESM2. Kittel et al., 2021

## Cadre expérimental

- Entrée (« Input ») : variables journalières du modèle global ACCESS1.3
  - ▶ Domaine d'entrée : taille 16x16 et résolution 400km
  - ▶ Variables d'entrée : température (ta), humidité spécifique (hus), vents (ua, va) et hauteur du géopotential (zg) aux p-élevations 850hPa, 700hPa, 500hPa et 250hPa, et pression au niveau de la mer
- Objectif (« Target ») : Prédiction de la température de surface journalière modélisée par MAR forcé par le modèle global ACCESS1.3 en Antarctique de l'Ouest
  - ▶ Zone cible (MAR) : Antarctique de l'Ouest, taille 32x32 et résolution 35km
  - ▶ Variable cible : Température journalière à 2m



Zones « input » et « target » du 01-01-1984

Exemple d'entrée et de sortie pour le 01-01-1984

## Méthode

- Entraînement d'un réseau de neurones sur certaines années d'un ensemble de 1981 à 2010 (~60% des données)
- Validation et Test sur les années restantes (~20% des données chacun)

- Architecture du réseau : U-Net

▶ Doury et al. (in prep.)

- Bibliothèques python:

- ▶ Xarray
- ▶ PyTorch
- ▶ Xesmf

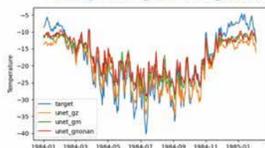


- Métriques sur l'ensemble de Test : moyennes, anomalies, RMSE et corrélations spatiales et temporelles, différences de pdf et cartes de ratio des variances (ratio de la variance de la sortie du modèle par rapport à la variance de la cible)

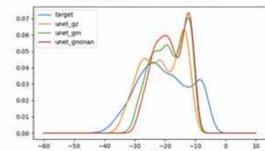
## Résultats : définition de métriques

Différents modèles en fonction de la gestion des données manquantes

▶ unet\_gz, unet\_gm et unet\_gnonan.



Séries temporelles des moyennes spatiales sur toute la période test

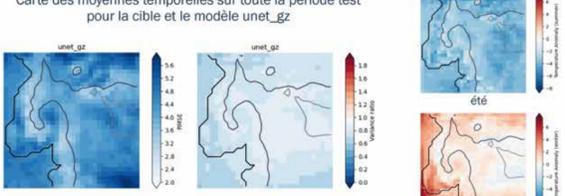


Densités de probabilités des moyennes spatiales sur toute la période test

Cartes des anomalies moyennes du modèle par rapport à la cible en 1984



Corr 0.9963, RMSE 0.9767



Carte des RMSEs temporelles sur la période test

Carte des variances-ratio sur la période test

année

été

hiver

## Conclusions et perspectives

### Interprétation des résultats

- Bonne représentation spatiale de la température à 2m sur la zone ciblée
- Difficultés à reproduire les valeurs extrêmes

### Poursuites envisagées

- Améliorer le modèle actuel
  - ▶ Tester différentes méthodes de normalisation des données
  - ▶ Etudier l'impact de la différenciation entre l'été et l'hiver (cycle saisonnier important)



Température de surface du 15<sup>e</sup> jour de chaque mois de 1984 dans MAR

- Tester la prédiction d'autres variables sur d'autres zones
- Prendre en compte la temporalité avec des réseaux de neurones récurrents