



# Évaluation des modèles climatiques pour les prévisions saisonnieress dans la région MENA



Berrahmouch & El-Badri

**Encadrants Externes :**

*Mme. Wafae Badi*

DGM, Maroc

*M. Nicholas Savage*

Met Office, Exeter, Royaume-Uni

**Encadrant Interne :**

*M. Driss Bari*

École Hassanienne des Travaux Publics  
et Direction Générale de la Météorologie,  
Maroc

13 janvier 2025

# Plan

- 1 Introduction
- 2 méthodologie
  - Évaluation déterministe
  - Évaluation probabiliste
- 3 Evaluation de la Température
  - Evaluation Déterministe
  - Evaluation Probabiliste
- 4 Evaluation des Précipitations
  - Evaluation Déterministe
  - Evaluation Probabiliste

# Principe

Que veut dire une prévision saisonnière ?



Figure – les 4 saisons.

# Principe

Comment la prévision est faite ?

- Calculer l'anomalie du modèle.
- déterminer les quantiles ( $1/3$  ,  $2/3$ ).
- projeter les ensembles.

# Principe

Comment la prévision est faite ?

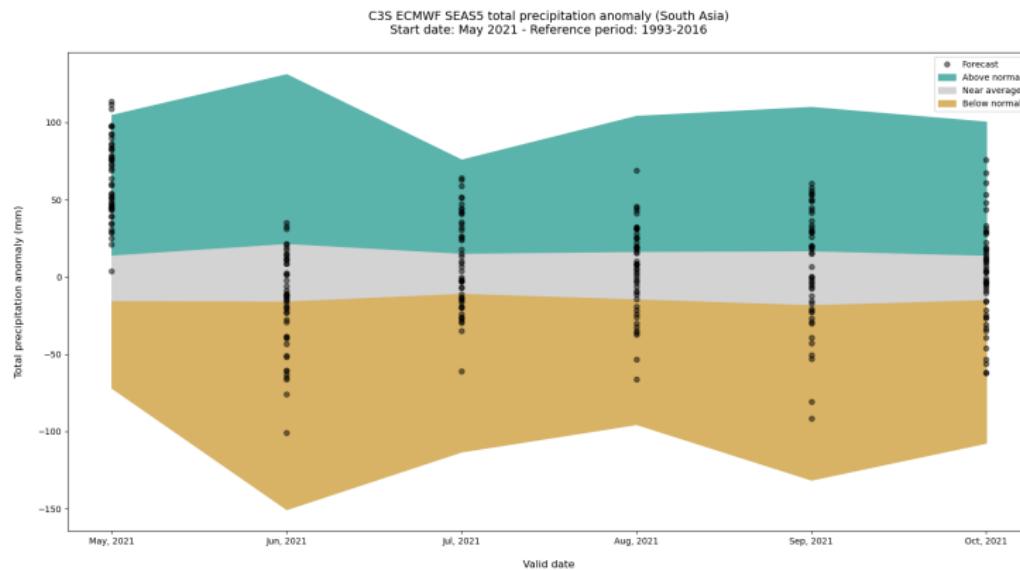


Figure – Precipitation Forecast

# Données utilisées

## ERA5-HINDCAST(1993-2016)

- **Source des données :** Service Copernicus Climate Change (C3S).
- **Période temporelle :** 1993 – 2016.
- **Variables analysées :**
  - Température de l'air à 2 mètres (t2m).
  - Le cumul des précipitations.

# LES CENTRES DE HINDCASTS

- ukmo : UK Met Office.
- meteo\_france : Modèles français de Météo-France.
- ecmwf : Modèles du Centre Européen pour les Prévisions Météorologiques à Moyen Terme.
- eccc : Environnement Canada (ECCC).
- dwd : Service météorologique allemand (Deutscher Wetterdienst).
- cmcc : Modèles du Centre Euro-Méditerranéen sur les Changements climatiques.

# Zone étudiée



Figure – Mena

# Zonne étudiée

arabian peninsula



# Zonne étudiée

Afrique du nord

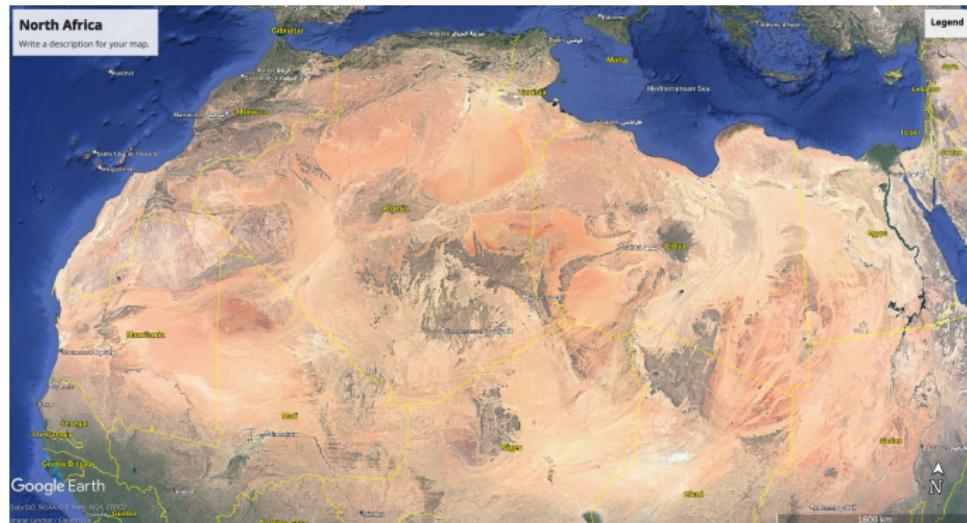


Figure – Afrique du nord

# Concept

**Objectif :** Évaluer la précision des prévisions par rapport aux observations.

- **Anomaly Correlation Coefficient (ACC) :**
- **Root Mean Square Error (RMSE) :**
- **Coefficient de Détermination ( $R^2$ ) :**

# Anomaly Correlation Coefficient (ACC)

Formule :

$$ACC = \frac{\sum_{i=1}^N (P_i - \bar{P})(O_i - \bar{O})}{\sqrt{\sum_{i=1}^N (P_i - \bar{P})^2 \sum_{i=1}^N (O_i - \bar{O})^2}}$$

- $N$  : Nombre total de données .
- $P_i$  : Valeur prévue pour le  $i$ -ième point.
- $O_i$  : Valeur observée pour le  $i$ -ième point.
- $\bar{P}$  : Moyenne des valeurs prévues .
- $\bar{O}$  : Moyenne des valeurs observées .

Interprétation :

- Le **ACC** mesure la corrélation entre les anomalies prévues ( $P_i$ ) et observées ( $O_i$ ).
- Un score proche de 1 indique une excellente correspondance entre les prévisions et les observations.

# Root Mean Square Error (RMSE)

Formule :

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (P_i - O_i)^2}$$

Interprétation :

- Le **RMSE** mesure les écarts quadratiques moyens entre les prévisions ( $P_i$ ) et les observations ( $O_i$ ).
- Une valeur faible indique un modèle performant avec de petites erreurs.
- Sensible aux erreurs extrêmes, ce qui le rend idéal pour identifier les grands écarts.

# Coefficient de Détermination ( $R^2$ )

## Formule :

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^N (O_i - P_i)^2}{\sum_{i=1}^N (O_i - \bar{O})^2}$$

## Interprétation :

- Le  $R^2$  représente la proportion de variance des observations ( $O_i$ ) expliquée par les prévisions ( $P_i$ ).
- Un  $R^2$  proche de 1 indique une bonne performance du modèle.
- Si  $R^2$  est négatif, le modèle est moins performant qu'une moyenne constante.

# Concept

## Objectif

Fournir une évaluation des performances d'un modèle en tenant compte de l'incertitude et en utilisant des distributions de probabilités.

## Catégories (Terciles)

- **En dessous de la moyenne** : Inférieur au premier tiers (1/3).
- **Proche de la moyenne** : Entre 1/3 et 2/3.
- **Au-dessus de la moyenne** : Supérieur au dernier tiers (2/3).

# Les métriques probabilistiques évaluent :

Concept	Définition	Métriques Associées
Fiabilité	Cohérence entre les probabilités prédites et les observations, reflétant la capacité du modèle à produire des prévisions fiables.	Brier Score (BS), Calibration, Diagramme de Fiabilité
Résolution	Capacité du modèle à différencier les diverses situations climatiques en prédisant des probabilités variées selon les scénarios.	Brier Score (BS), Ranked Probability Score (RPS)
Discrimination	Aptitude du modèle à distinguer correctement les événements observés (succès) des non-événements (échecs).	Receiver Operating Characteristic (ROC), Area Under Curve (AUC), Accuracy (ACC)

# Brier Score

Formule :

$$BS = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (P_i - O_i)^2$$

- $N$  : Nombre total de points de données.
- $P_i$  : Probabilité prévue pour le  $i$ -ième point.
- $O_i$  : Valeur observée pour le  $i$ -ième point (0 ou 1).

Interprétation :

- Le **Brier Score** mesure l'erreur quadratique moyenne entre les probabilités prévues et les résultats observés.
- Un score de Brier faible indique une meilleure précision des prévisions probabilistes.

# Fiabilité (Reliability)

Formule :

$$\text{Fiabilité} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N |P_i - O_i|$$

- $N$  : Nombre total de données.
- $P_i$  : Probabilité prévue pour le  $i$ -ième point.
- $O_i$  : Résultat observé pour le  $i$ -ième point (0 ou 1).

Interprétation :

- La **fiabilité** mesure l'écart entre la probabilité prévue et la fréquence réelle des événements observés.
- Une bonne fiabilité signifie que les probabilités prévues correspondent bien aux fréquences observées.

# Ranked Probability Score (RPS)

Formule :

$$RPS = \sum_{i=1}^N \left( \sum_{j=1}^M (P_{i,j} - O_{i,j})^2 \right)$$

- $N$  : Nombre total de points de données.
- $M$  : Nombre de catégories possibles.
- $P_{i,j}$  : Probabilité prévue pour la catégorie  $j$ -ième pour le  $i$ -ième point.
- $O_{i,j}$  : Indicateur binaire (0 ou 1) pour la catégorie  $j$ -ième du  $i$ -ième point observé.

Interprétation :

- Le **RPS** mesure la différence entre les prévisions classées et les résultats observés, en prenant en compte toutes les catégories.
- Un RPS faible indique une meilleure correspondance entre les prévisions classées et les observations.

# Receiver Operating Characteristic (ROC)

## Formule :

$$\text{AUC} = \int_0^1 \text{True Positive Rate}(x) \text{ False Positive Rate}(x) dx$$

- Taux de vrais positifs (TPR) :  $\text{TPR} = \frac{TP}{TP+FN}$
- Taux de faux positifs (FPR) :  $\text{FPR} = \frac{FP}{FP+TN}$
- L'aire sous la courbe (AUC) mesure la performance du classificateur à distinguer les classes.

## Interprétation :

- Une AUC de 1 indique une parfaite séparation entre les classes positives et négatives.
- Une AUC de 0.5 indique une performance équivalente à un tirage au sort.

# Relative Operating Characteristic Score (ROCSS)

Formule :

$$\text{ROCSS} = \frac{\text{AUC} - \text{AUC}_{\text{random}}}{1 - \text{AUC}_{\text{random}}}$$

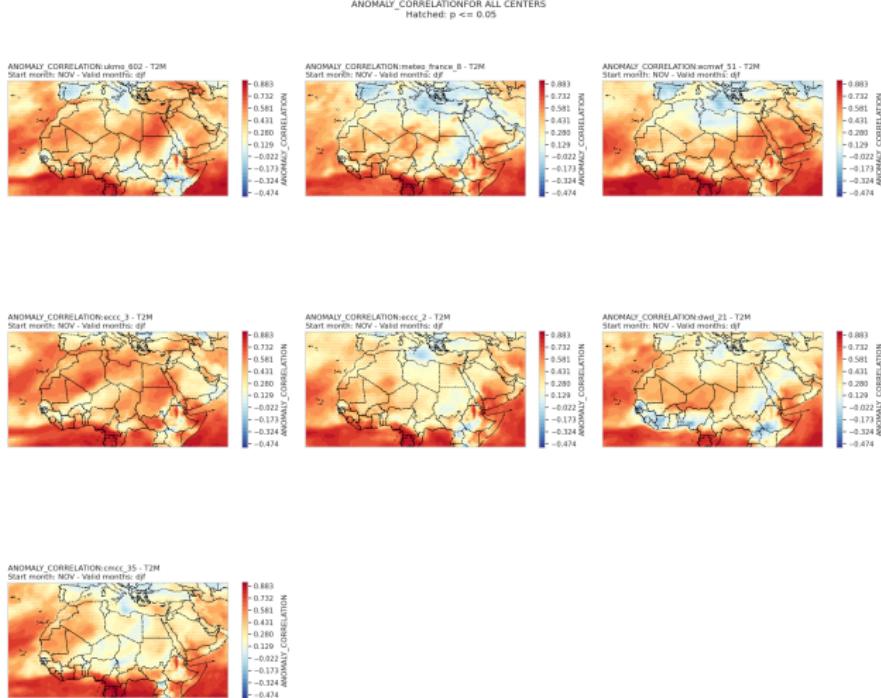
- AUC : Aire sous la courbe ROC pour le modèle testé.
- AUC\_random : AUC pour un modèle aléatoire (généralement 0.5).

Interprétation :

- La **ROCSS** donne une évaluation de la performance relative du modèle par rapport à un modèle aléatoire.
- Un score plus élevé indique une meilleure performance du modèle par rapport au hasard.

# Température

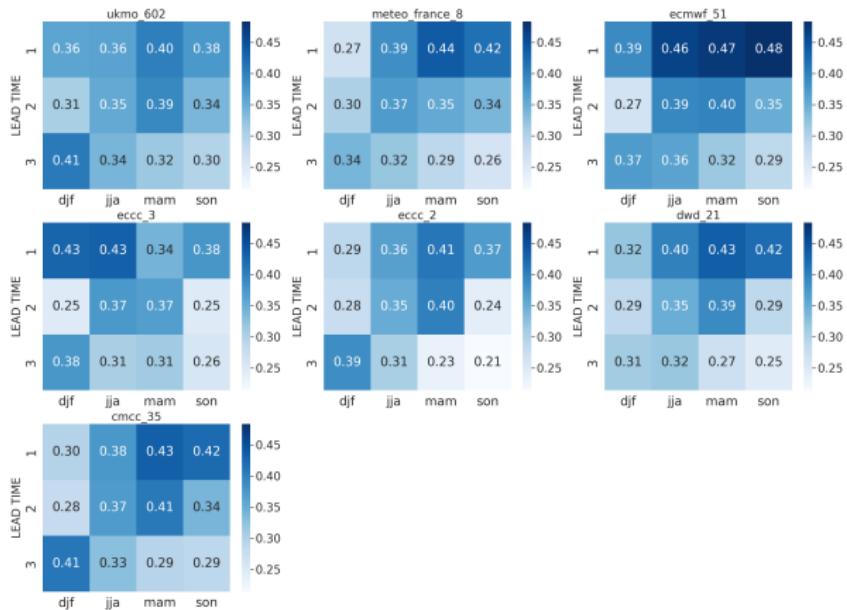
## Déterministe - ACC



# Température

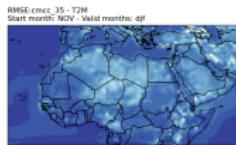
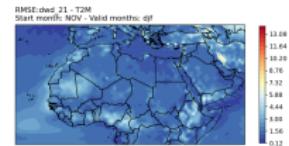
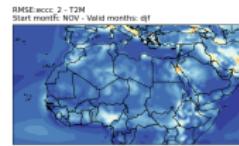
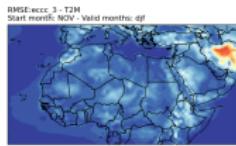
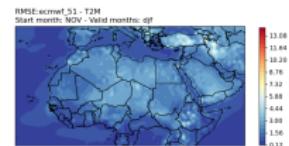
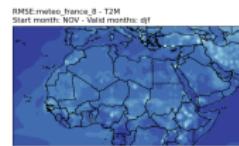
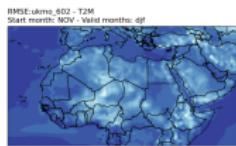
## Déterministe - ACC

acc for T2M per LEAD TIME menu



# Température

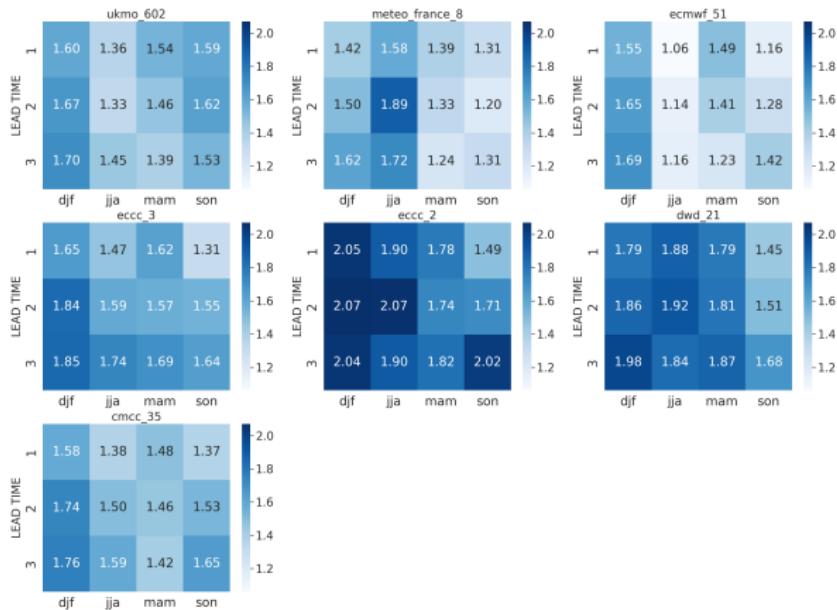
## Déterministe - RMSE



# température

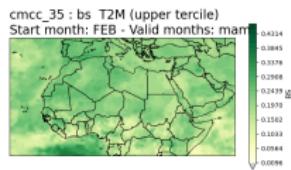
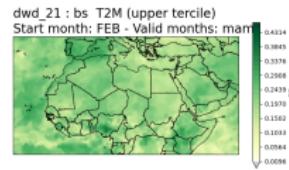
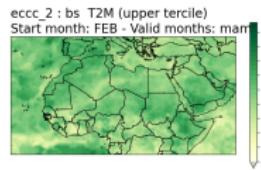
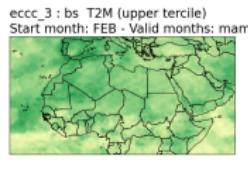
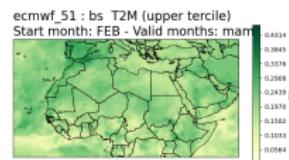
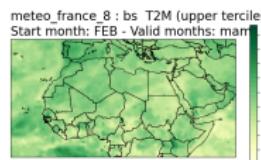
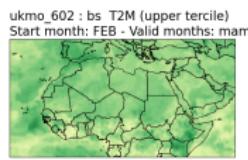
## Déterministe - RMSE

rmse for T2M per LEAD TIME menu



# Température

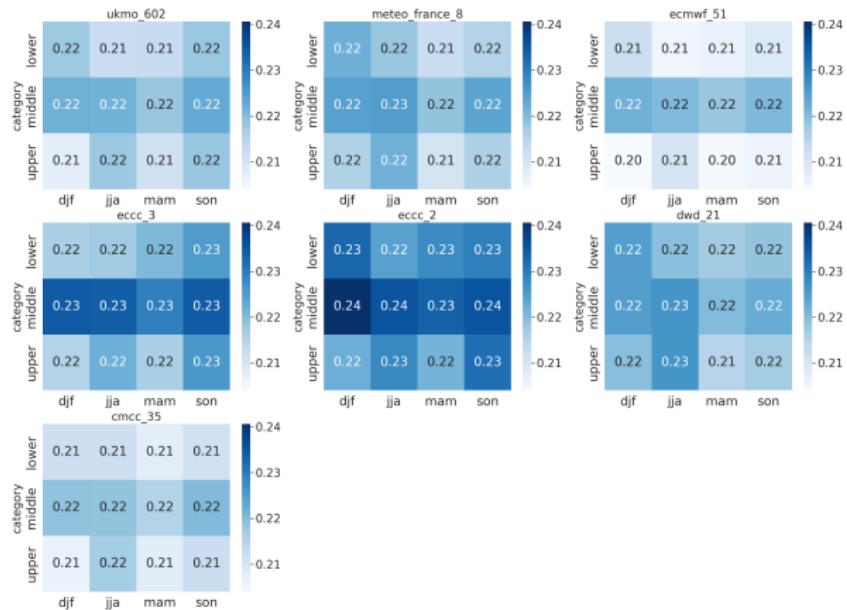
Probabiliste - BS (0 pour un BS meilleur)



# Température

Probabiliste - BS (0 pour un BS meilleur)

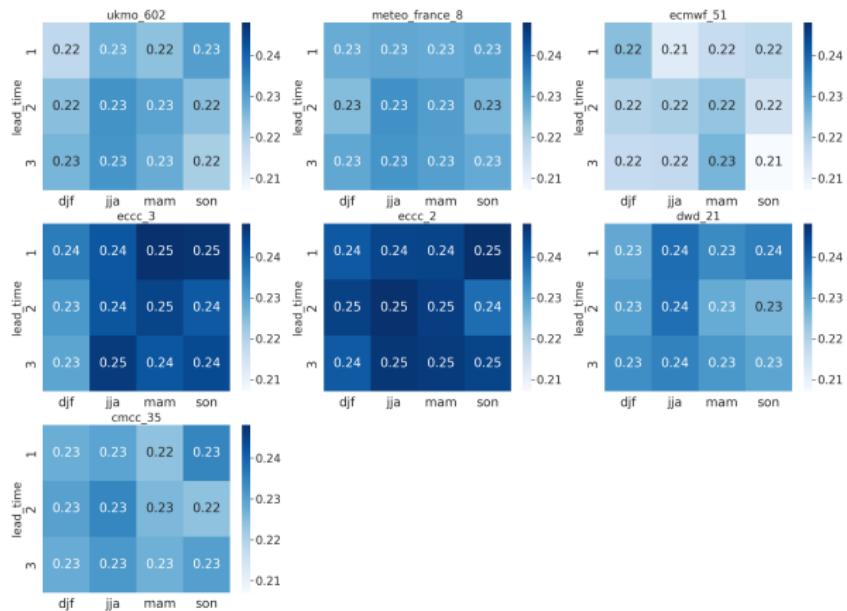
bs for T2M per category mена



# Température

Probabiliste - BS (0 pour un BS meilleur)

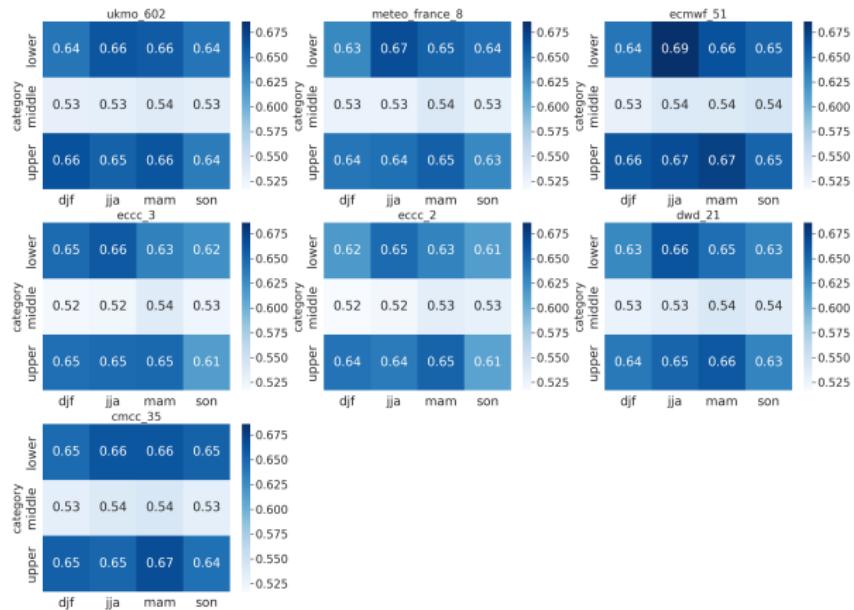
bs for T2M per lead\_time meno



# Température

## Probabiliste - ROC (1 pour un ROC meilleur)

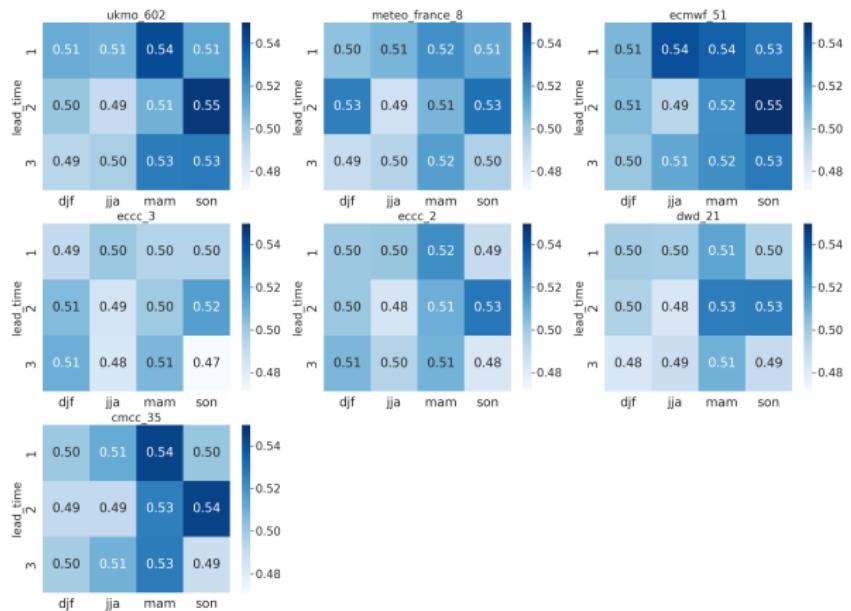
roc for T2M per category menu



# Température

Probabiliste - ROC (1 pour un ROC meilleur)

roc for T2M per lead\_time meno



# Précipitation

Probabiliste - Reliability (45 ° pour un score meilleur)

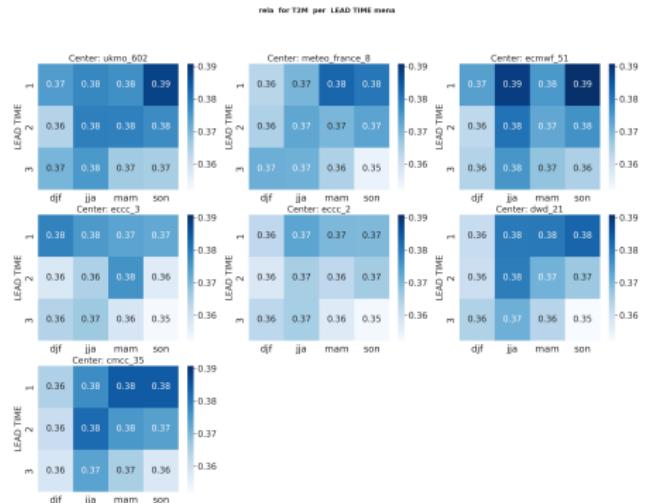
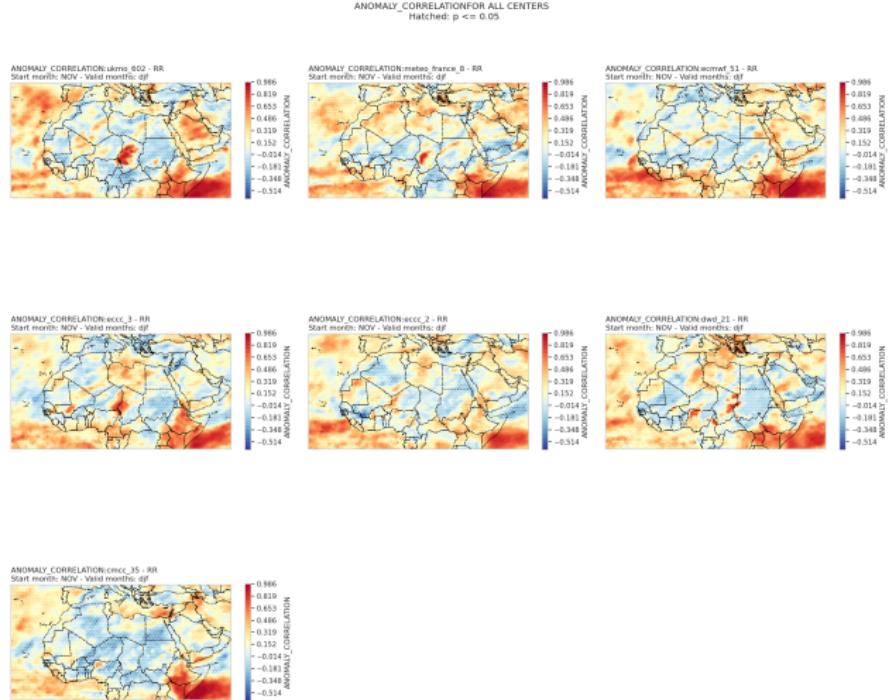


Figure – Diagramme de Reliability.

# Précipitation

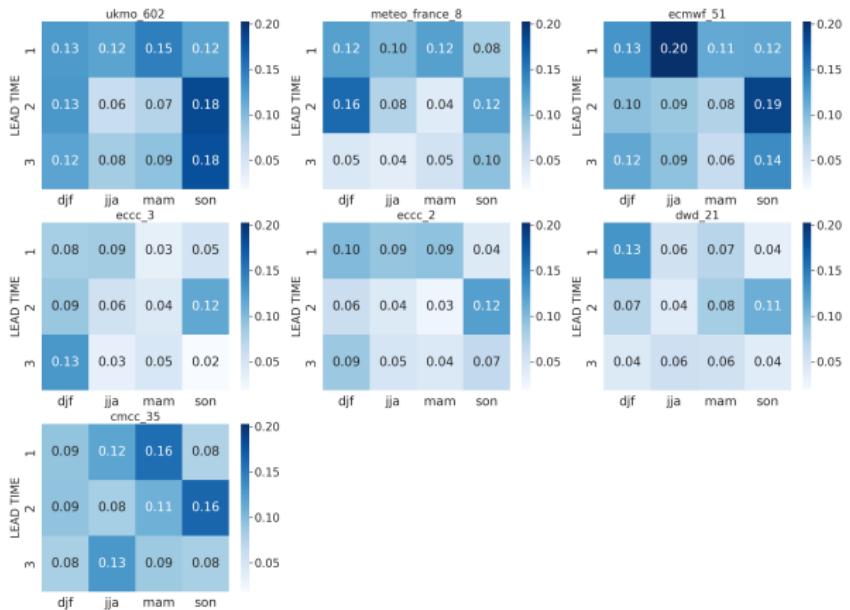
## Déterministe - ACC



# Précipitation

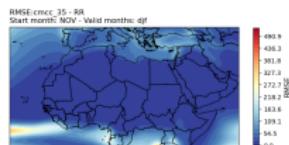
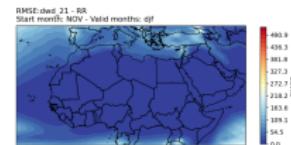
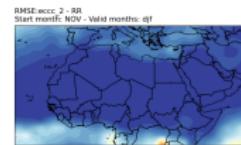
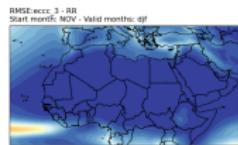
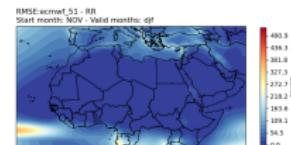
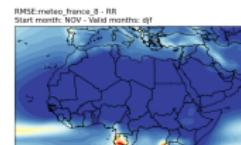
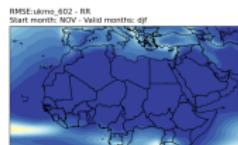
## Déterministe - ACC

acc for RR per LEAD TIME menu



# Précipitation

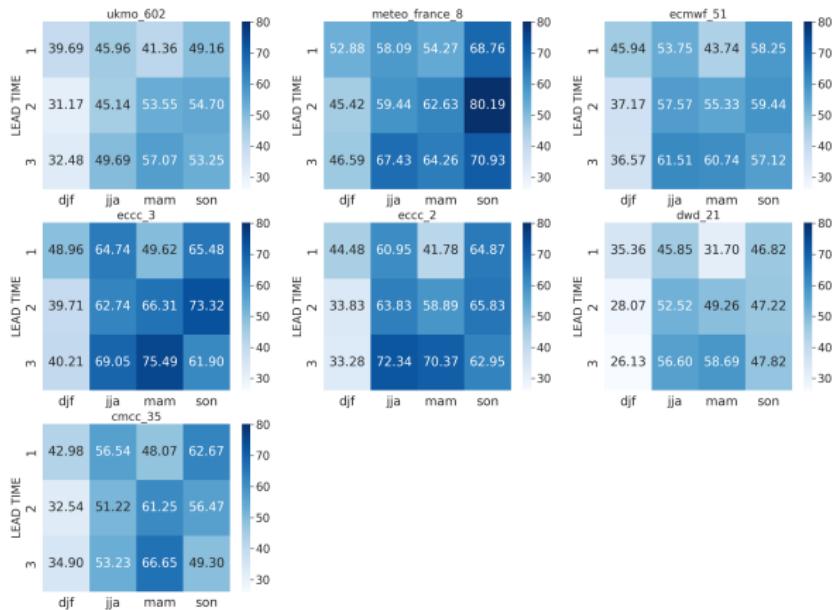
## Déterministe - RMSE



# Précipitation

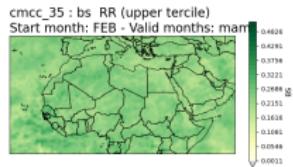
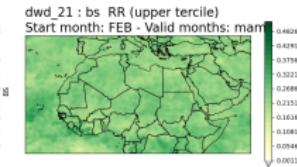
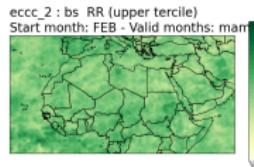
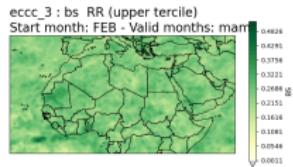
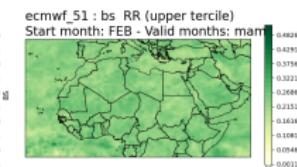
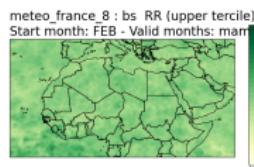
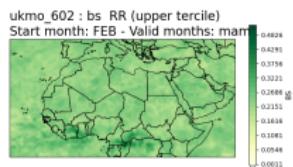
## Déterministe - RMSE

rmse for RR per LEAD TIME menu



# Précipitation

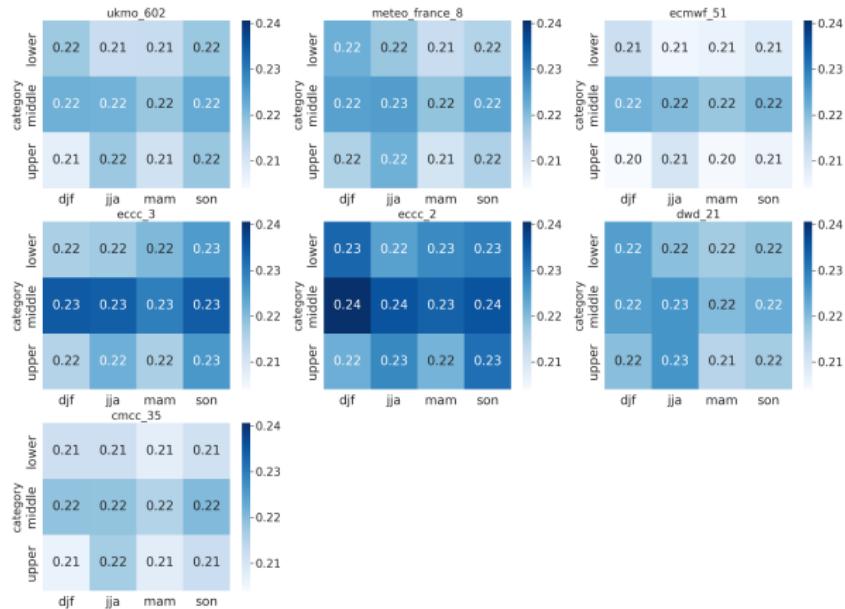
Probabiliste - BS (0 pour un BS meilleur)



# Précipitation

Probabiliste - BS (0 pour un BS meilleur)

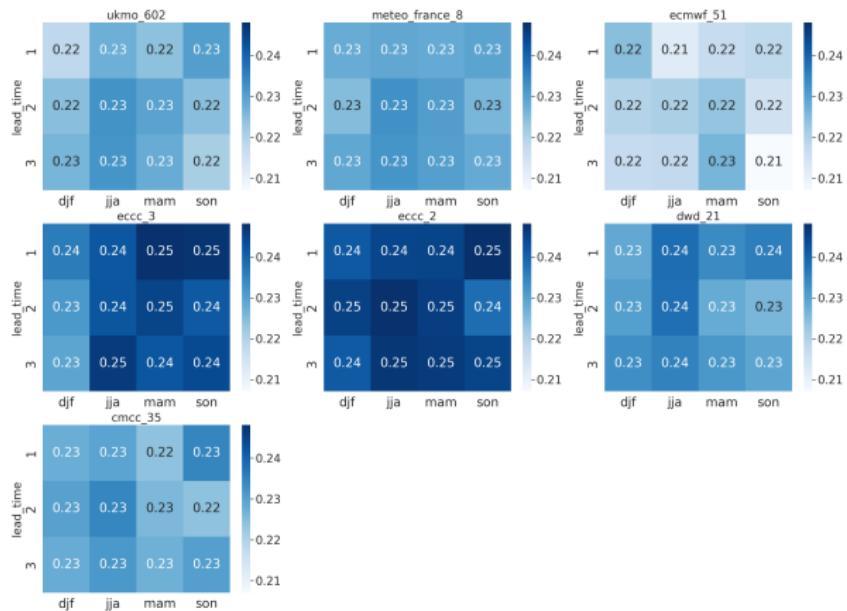
bs for RR per category mean



# Précipitation

Probabiliste - BS (0 pour un BS meilleur)

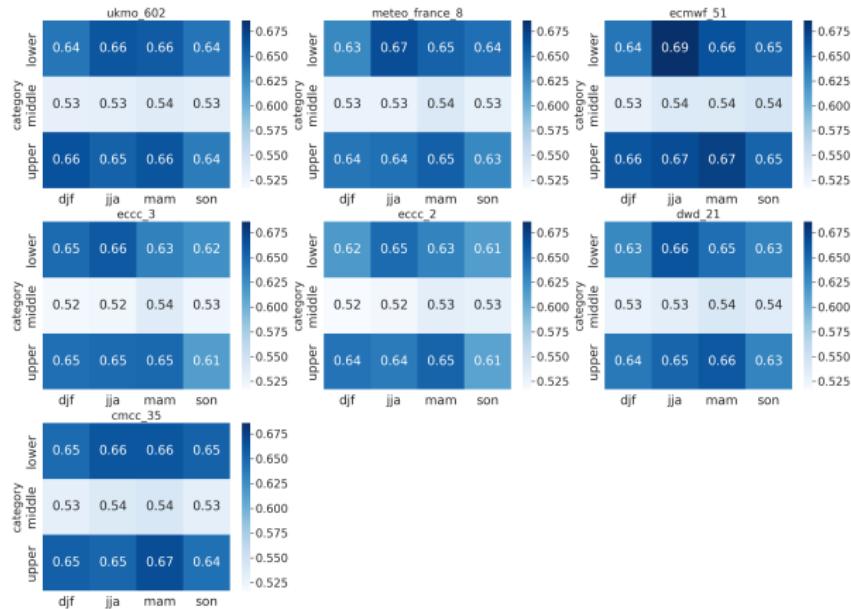
bs for RR per lead\_time menu



# Précipitation

Probabiliste - ROC (1 pour un ROC meilleur)

roc for RR per category menu



# Précipitation

Probabiliste - ROC (1 pour un ROC meilleur)

ukmo\_602 : roc RR (middle tercile)



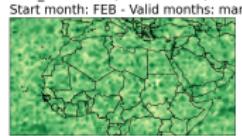
meteo\_france\_8 : roc RR (middle tercile)



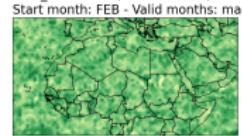
ecmwf\_51 : roc RR (middle tercile)



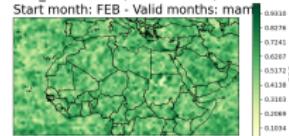
eccc\_3 : roc RR (middle tercile)



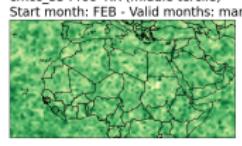
eccc\_2 : roc RR (middle tercile)



dwd\_21 : roc RR (middle tercile)

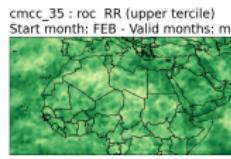
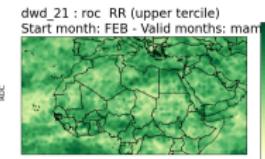
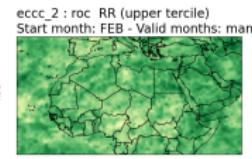
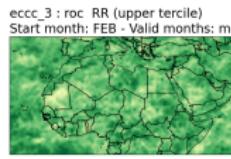
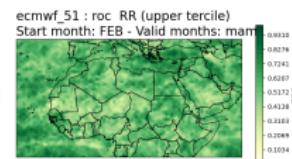
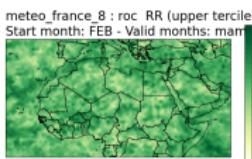
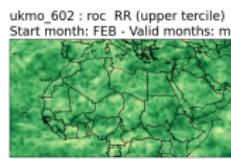


cmcc\_35 : roc RR (middle tercile)



# Précipitation

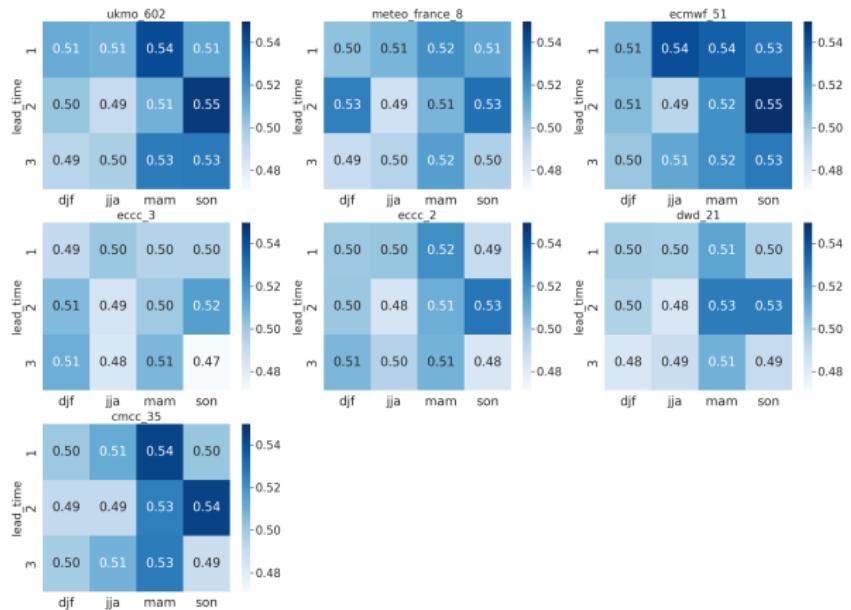
Probabiliste - ROC (1 pour un ROC meilleur)



# Précipitation

Probabiliste - ROC (1 pour un ROC meilleur)

roc for RR per lead\_time meno



# Précipitation

Probabiliste - Reliability (45 ° pour un score meilleur)

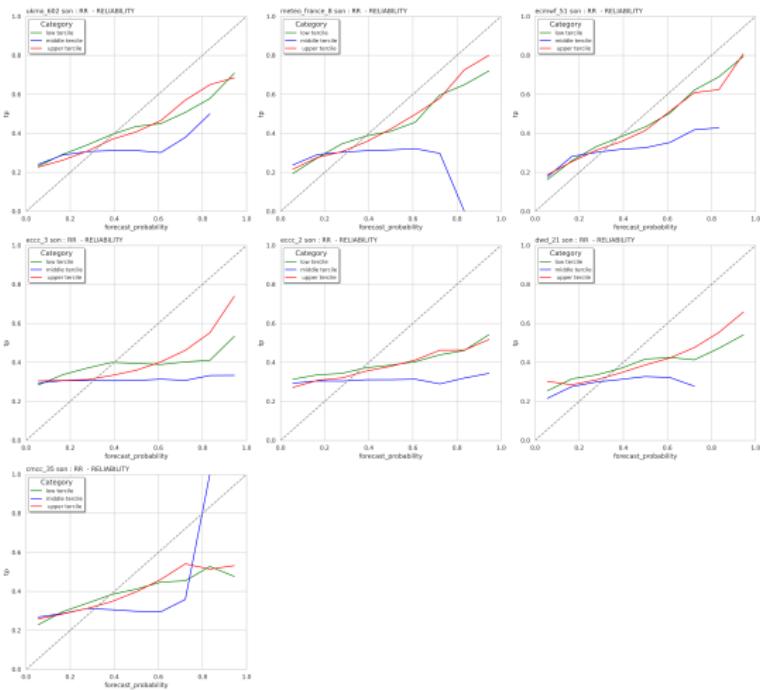


Figure – Diagramme de Reliability.

# CONCLUSION

Metric	MENA	North Africa	Arabian Peninsula
ACC	ECMWF, CMCC-35, UKMO	ECMWF, UKMO and METEO-FRANCE	ECMWF, CMCC-35, UKMO
RMSE	DWD, ECMWF and UKMO	ECMWF, UKMO and DWD	ECMWF, UKMO and DWD
R <sup>2</sup>	ECMWF	ECMWF	CMCC-35, ECCC2
BS	ECMWF, METEO-FRANCE and CMCC-35	ECMWF, METEO-FRANCE and CMCC-35	ECMWF, METEO-FRANCE and CMCC-35
RELA	ECMWF, CMCC and UKMO	ECMWF, CMCC-35 and UKMO	METEO- FRANCE, DWD
RPS	ALL	ALL	ALL
ROC	ALL	ALL	ALL