



Évaluation des modèles climatiques pour les prévisions saisonnières 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

16 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 ?

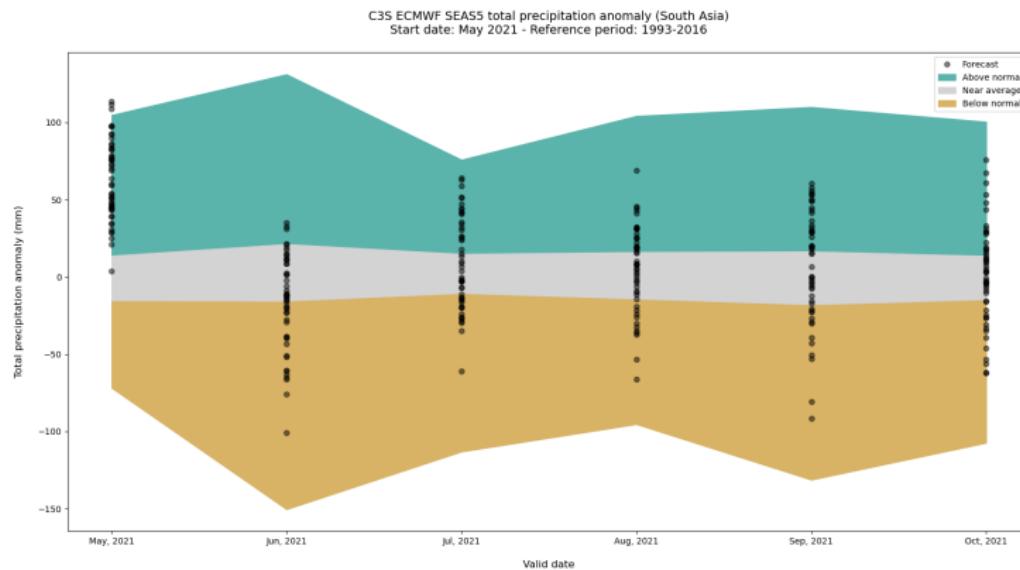


Figure – Precipitation Forecast

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

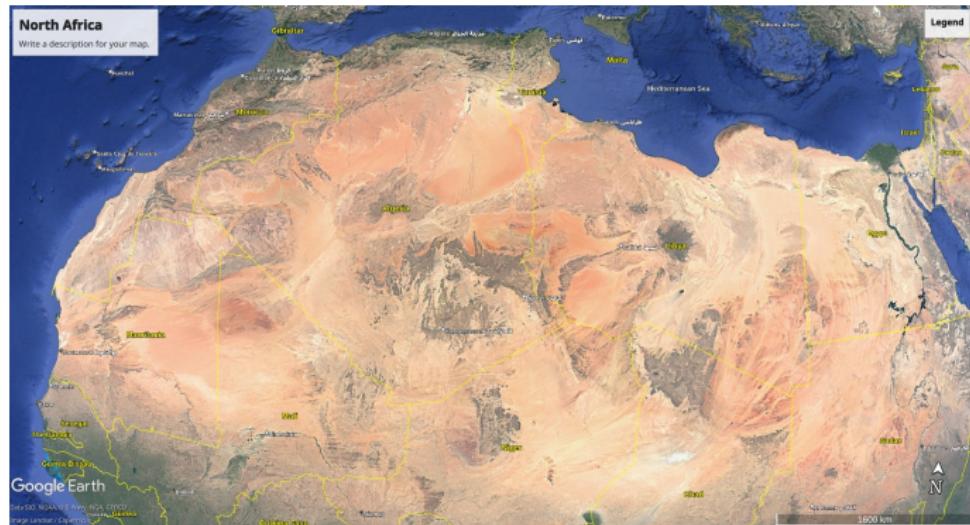


Figure – Afrique du nord

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 :

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

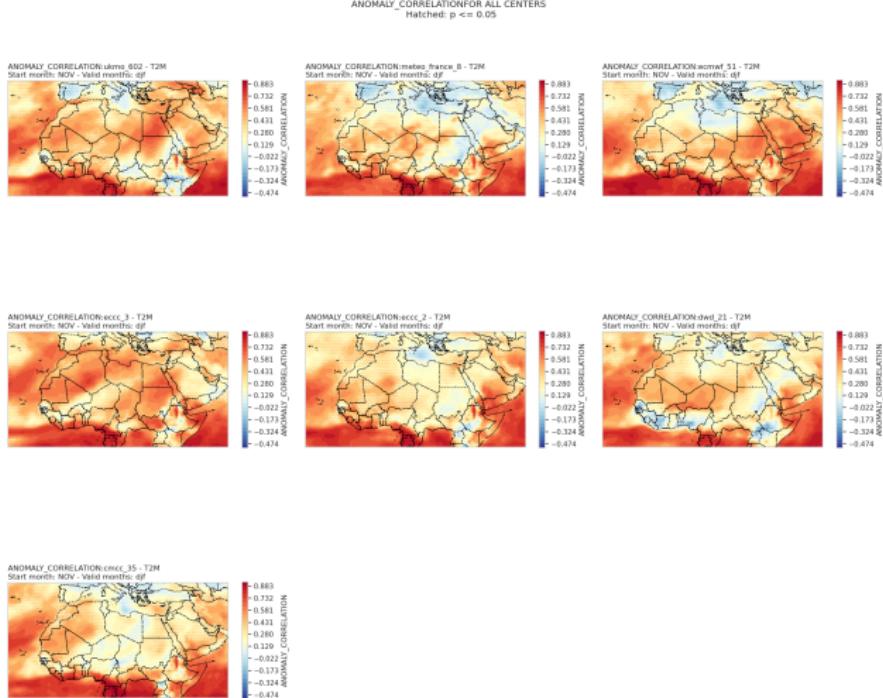
- AUC : Aire sous la courbe ROC pour le modèle testé.
- AUC_random : AUC pour un modèle aléatoire (généralement 0.5).

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

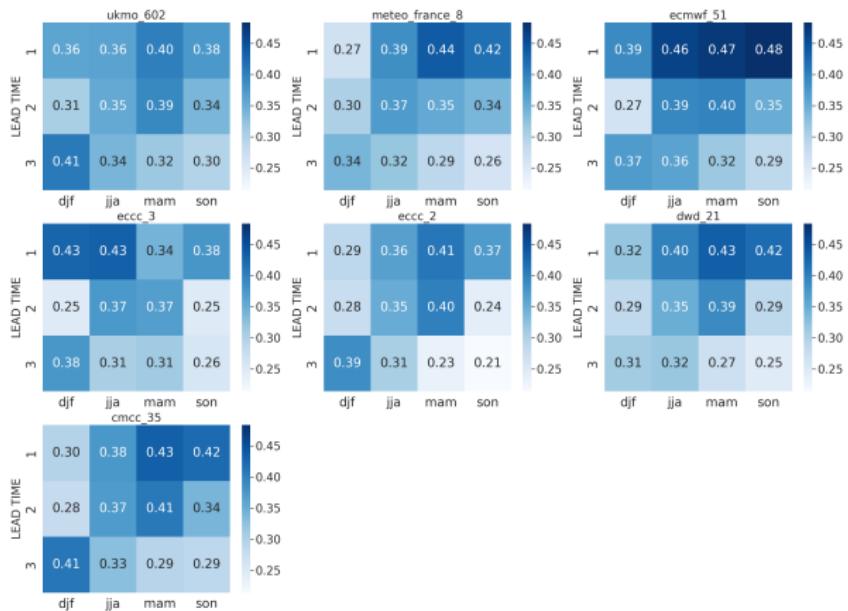
Déterministe - ACC



Température

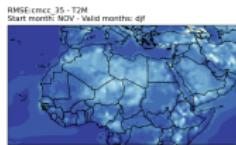
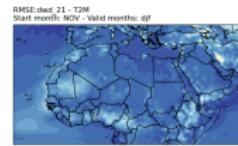
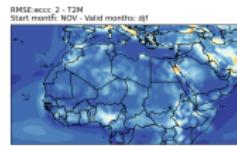
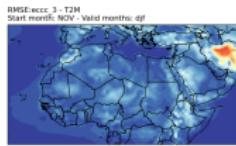
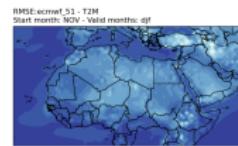
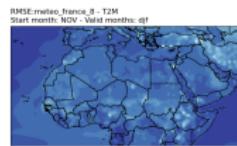
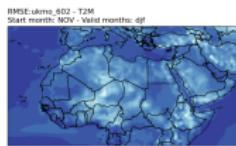
Déterministe - ACC

acc for T2M per LEAD TIME menu



Température

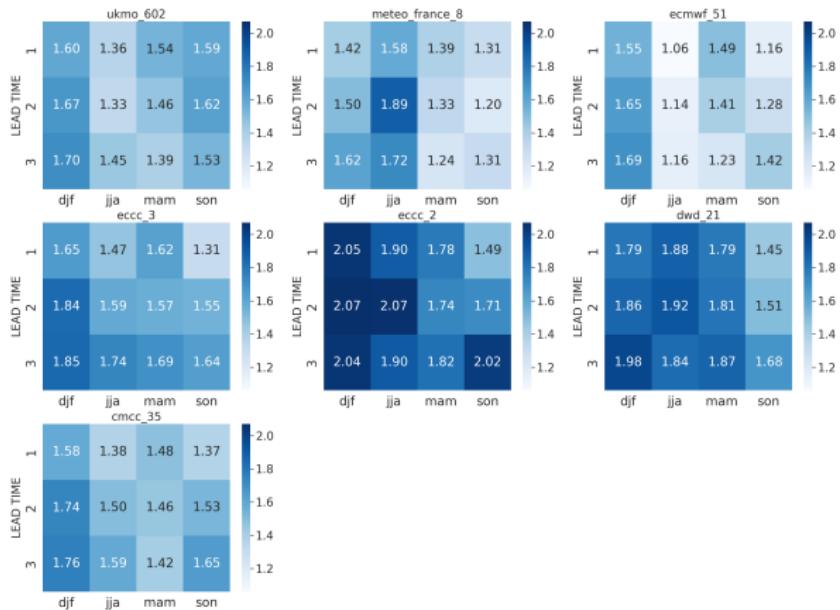
Déterministe - RMSE



température

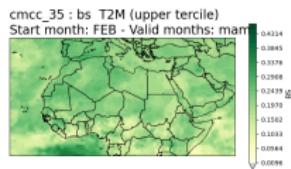
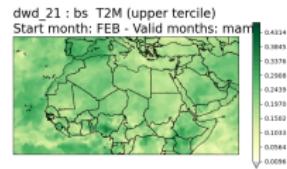
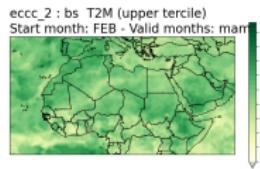
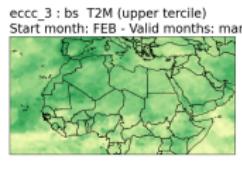
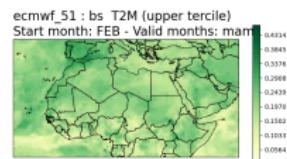
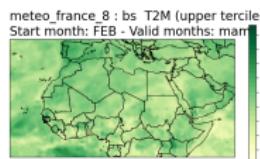
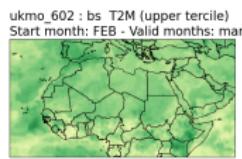
Déterministe - RMSE

rmse for T2M per LEAD TIME menu



Température

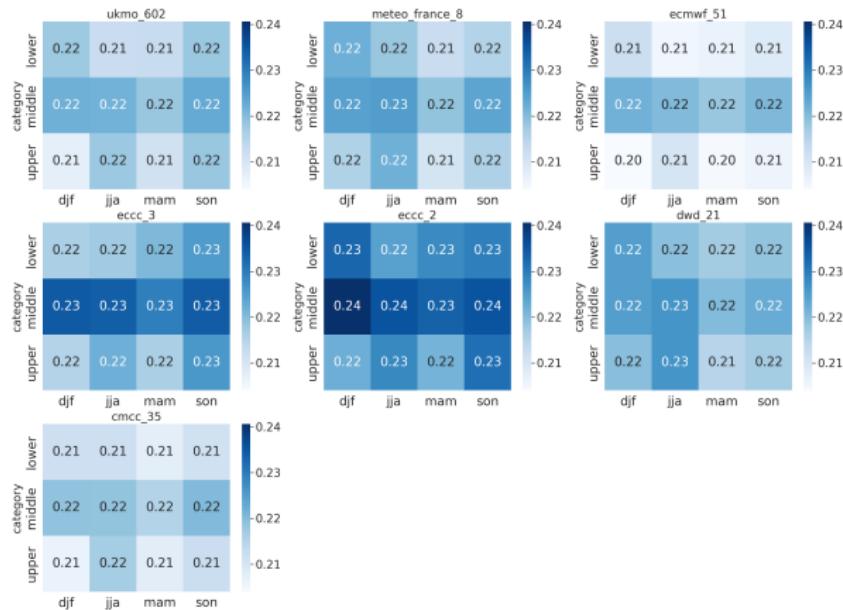
Probabiliste - BS (0 pour un BS meilleur)



Température

Probabiliste - BS (0 pour un BS meilleur)

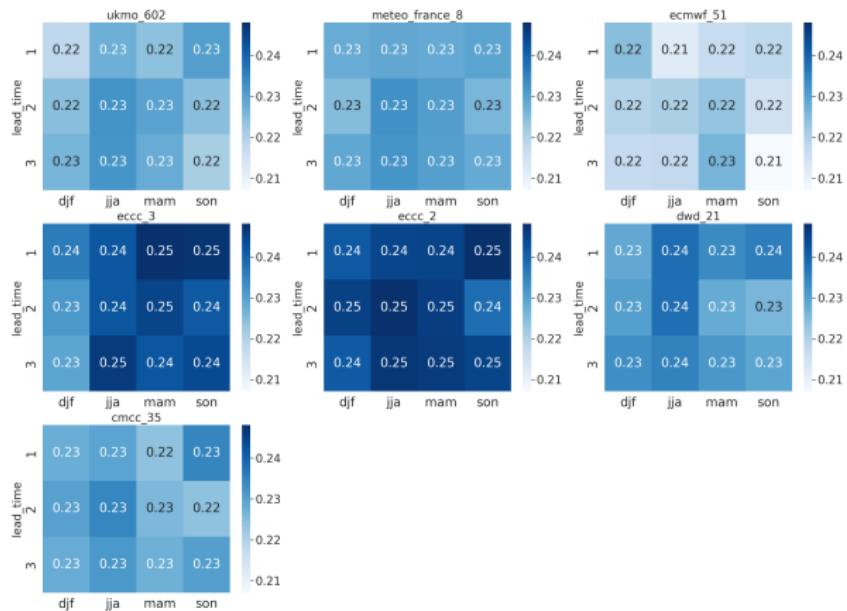
bs for T2M per category mena



Température

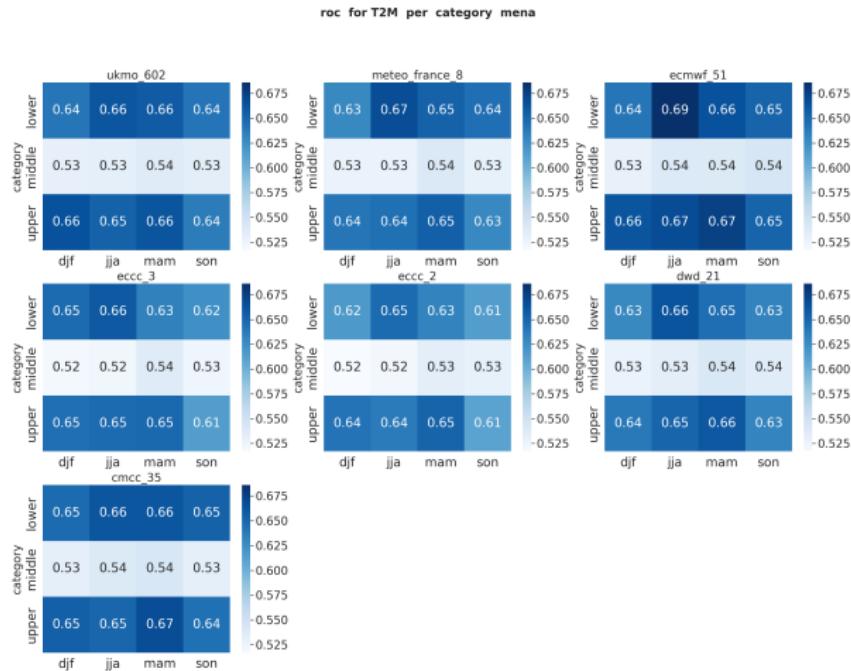
Probabiliste - BS (0 pour un BS meilleur)

bs for T2M per lead_time meno



Température

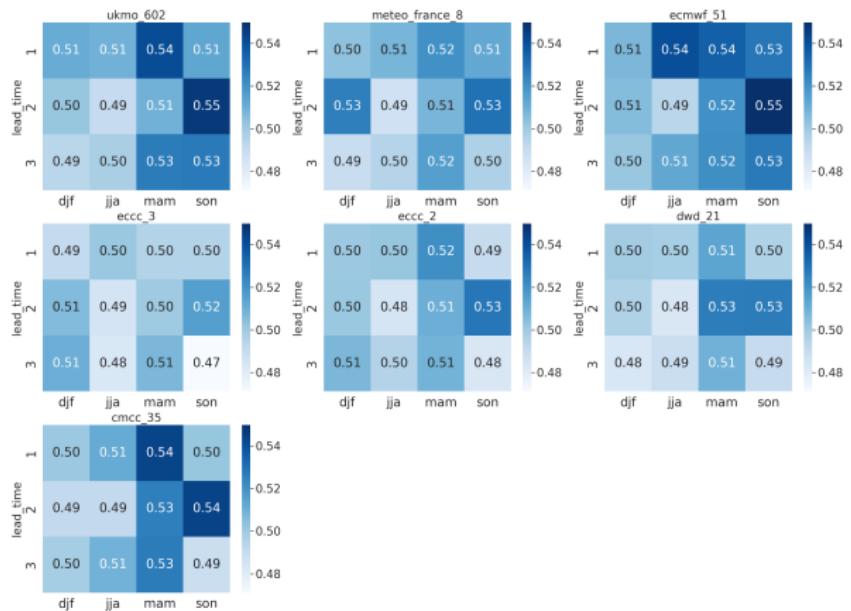
Probabiliste - ROC (1 pour un ROC meilleur)



Température

Probabiliste - ROC (1 pour un ROC meilleur)

roc for T2M per lead_time meno



Température

Probabiliste - Reliability (0 pour un score meilleur)

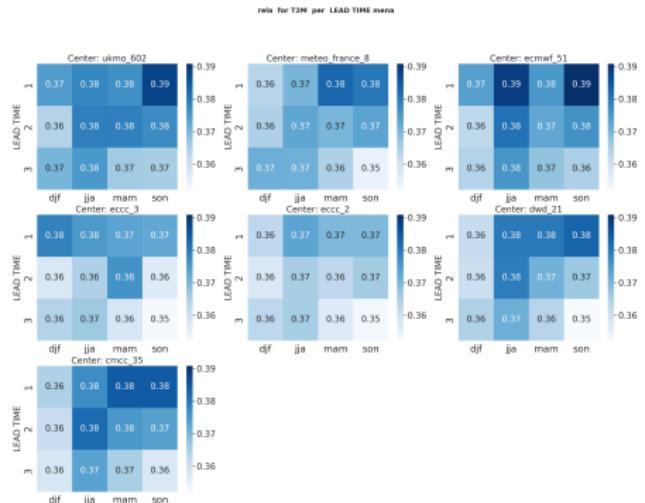
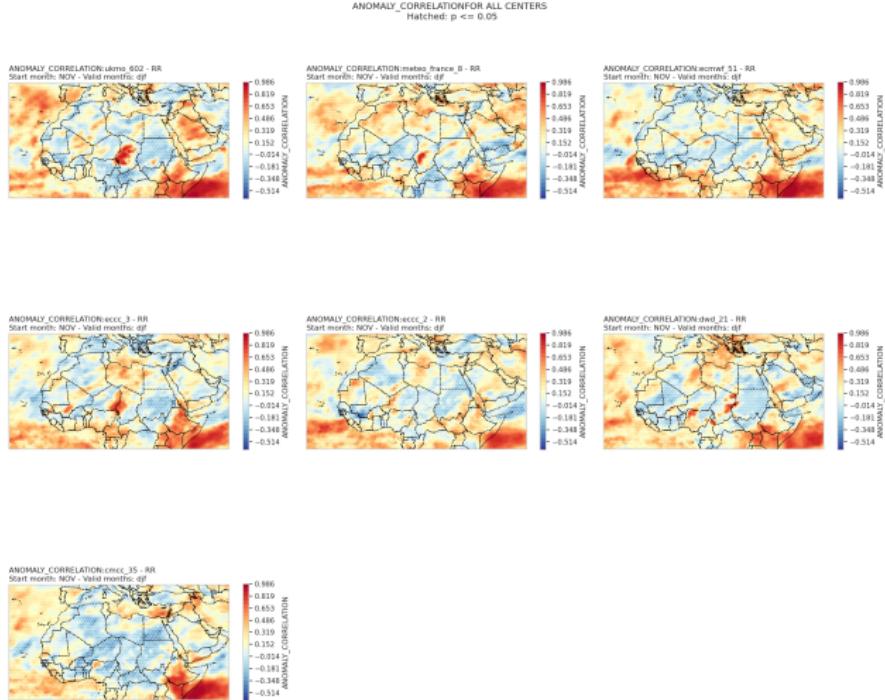


Figure – Diagramme de Reliability.

Précipitation

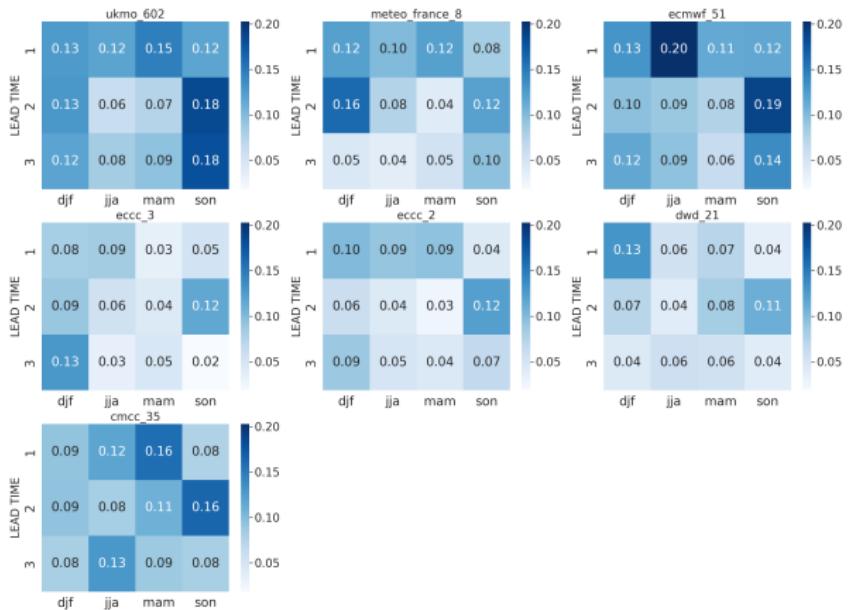
Déterministe - ACC



Précipitation

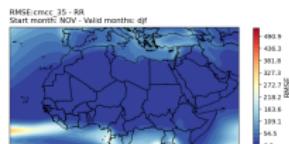
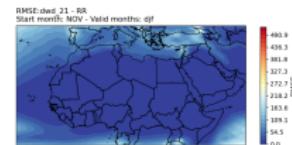
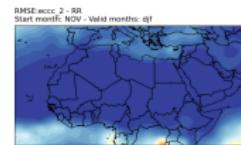
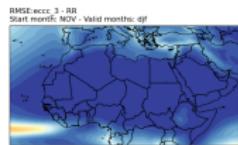
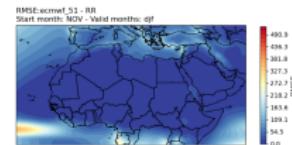
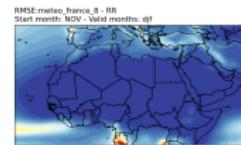
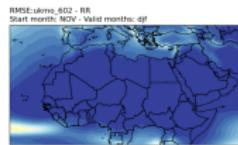
Déterministe - ACC

acc for RR per LEAD TIME menu



Précipitation

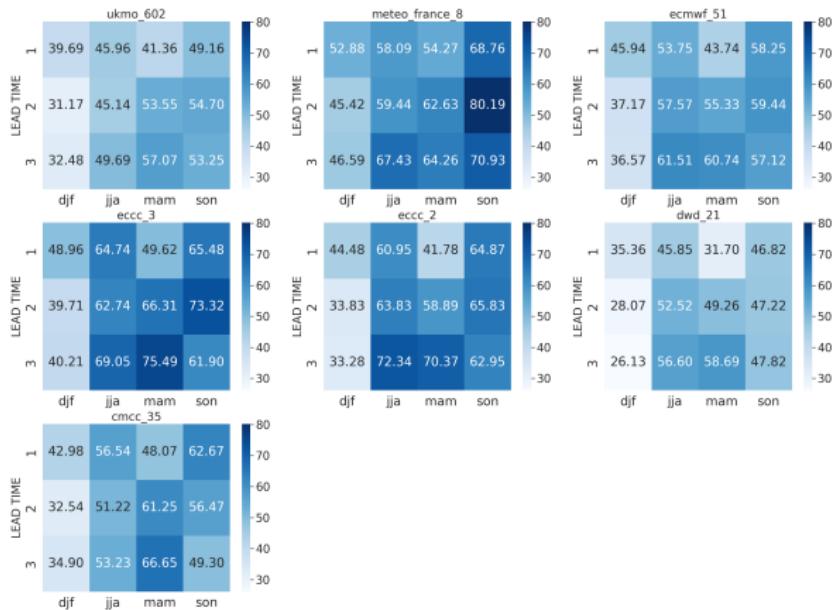
Déterministe - RMSE



Précipitation

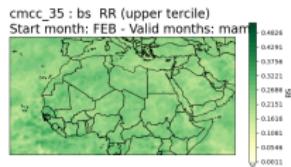
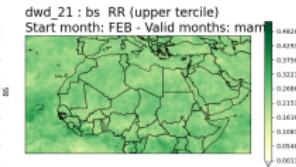
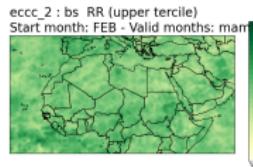
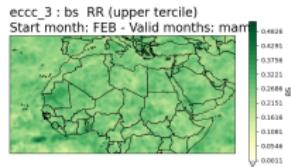
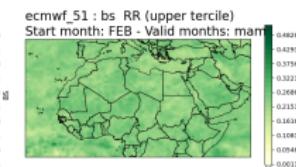
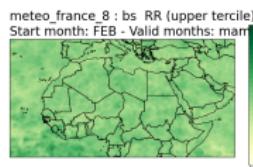
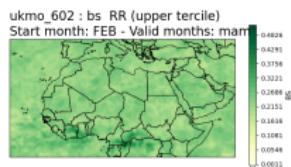
Déterministe - RMSE

rmse for RR per LEAD TIME menu



Précipitation

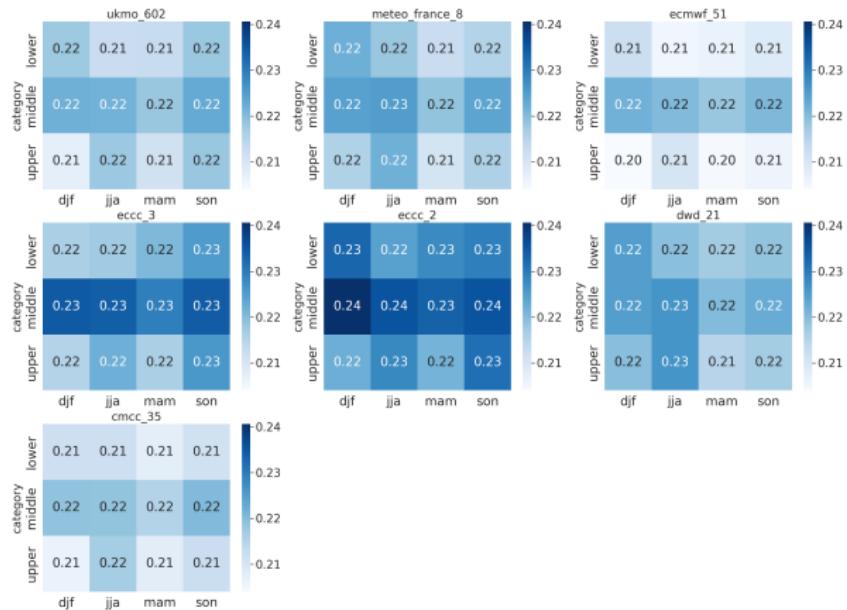
Probabiliste - BS (0 pour un BS meilleur)



Précipitation

Probabiliste - BS (0 pour un BS meilleur)

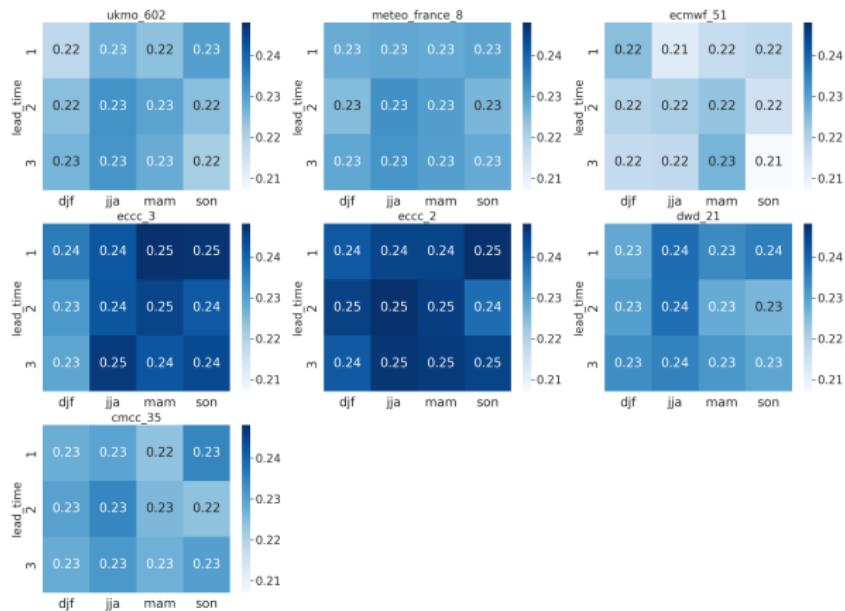
bs for RR per category mean



Précipitation

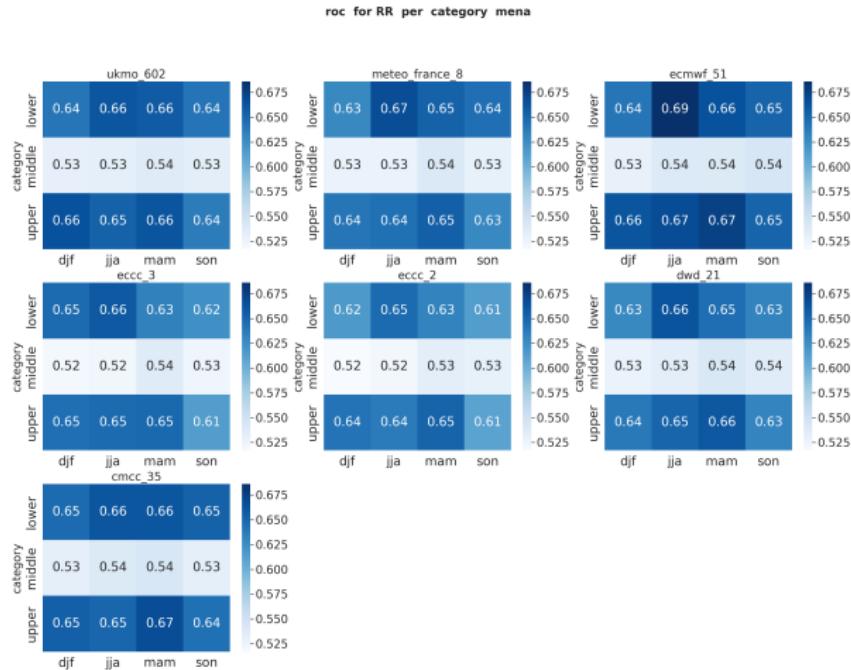
Probabiliste - BS (0 pour un BS meilleur)

bs for RR per lead_time menu



Précipitation

Probabiliste - ROC (1 pour un ROC meilleur)



Précipitation

Probabiliste - ROC (1 pour un ROC meilleur)

ukmo_602 : roc RR (middle tercile)

Start month: FEB - Valid months: marn



meteo_france_8 : roc RR (middle tercile)

Start month: FEB - Valid months: marn



ecmwf_51 : roc RR (middle tercile)

Start month: FEB - Valid months: marn



eccc_3 : roc RR (middle tercile)

Start month: FEB - Valid months: marn



eccc_2 : roc RR (middle tercile)

Start month: FEB - Valid months: marn



dwd_21 : roc RR (middle tercile)

Start month: FEB - Valid months: marn



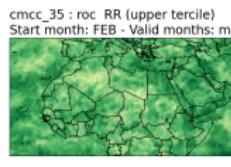
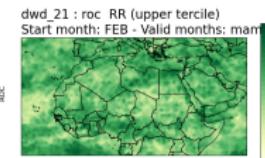
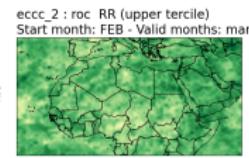
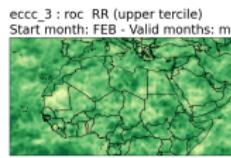
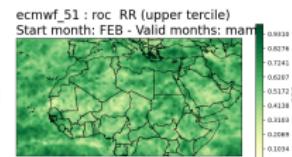
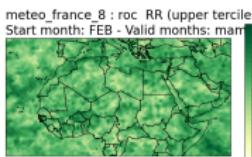
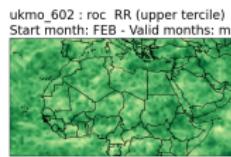
cmcc_35 : roc RR (middle tercile)

Start month: FEB - Valid months: marn



Précipitation

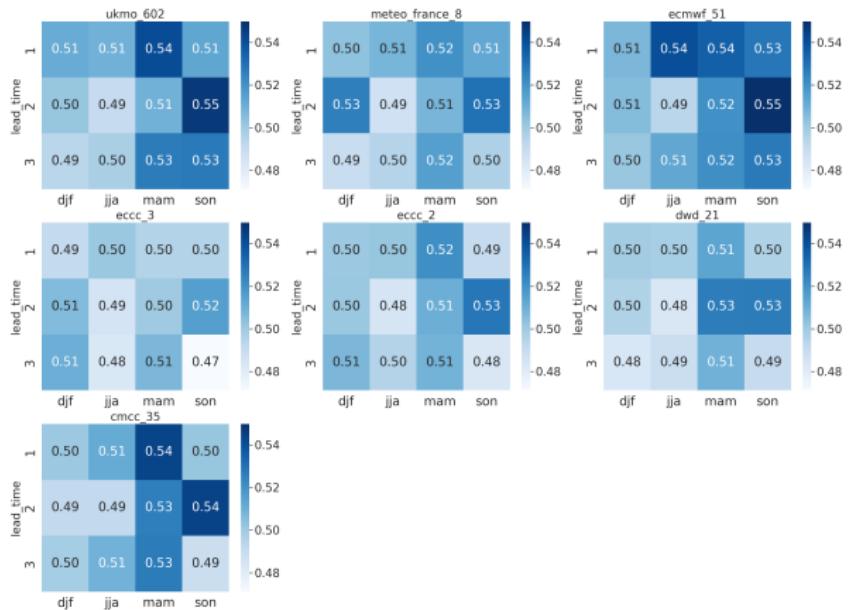
Probabiliste - ROC (1 pour un ROC meilleur)



Précipitation

Probabiliste - ROC (1 pour un ROC meilleur)

roc for RR per lead_time meno



Précipitation

Probabiliste - Reliability (45 ° pour un score meilleur)

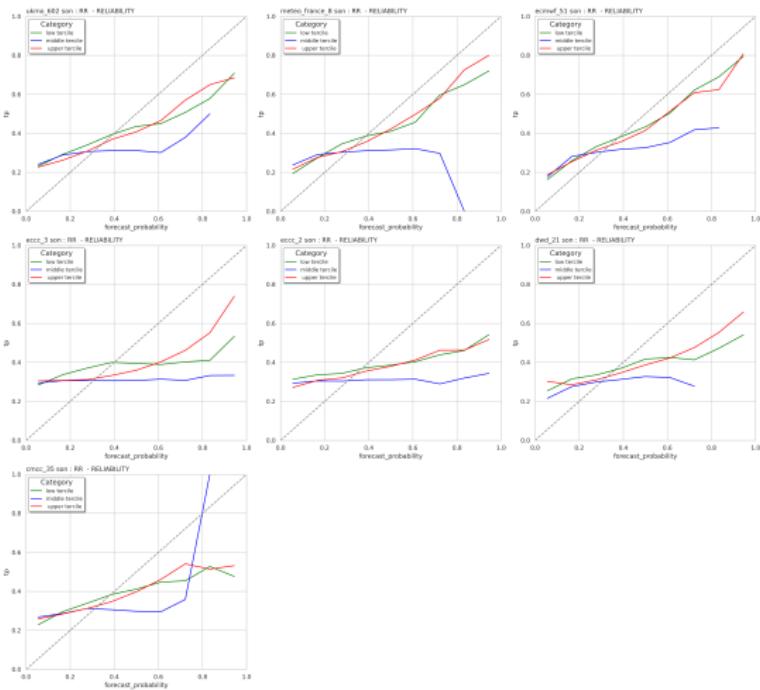


Figure – Diagramme de Reliability.

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 ²	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

Metric	MENA	North Africa	Arabian Peninsula
ACC	ECMWF, METEO-FRANCE, ECCC-3	ECMWF, UKMO, ECCC-3	ECMWF, UKMO, DWD
RMSE	UKMO, ECMWF	METEO-FRANCE	METEO-FRANCE
R ²	ECMWF	ECMWF	ECMWF
BS	METEO-FRANCE, ECMWF, CMCC-35, UKMO	ECMWF, UKMO, CMCC-35	ECMWF, UKMO, CMCC-35
RELA	ALL	ALL	ALL
RPS	ECMWF	ECMWF	ECMWF
ROC	ALL	ALL	ALL
ROCSS	ALL	ALL	ALL

Table – Comparaison des Metriques dans MENA, North Africa, et Arabian Peninsula pour la TEMPERATURE.