



CHAIRE

SciDoSol

SCiences des DONnée
appliquées à l'énergie SOLaire

The lab : OIE (Observation, Impacts, Energie)

Sponsors : TotalEnergies, RTE, Somfy, TSE, SOLAÏS

université
PARIS-SACLAY

Prévision Énergétique Multi-Sources avec Réconciliation Optimale via une Approche MIMO-MH et Extreme Learning Machine (ELM)

Yoan Jheelan,
Master 1 Energie - Matériaux,
Université Paris-Saclay
yoan.jheelan@etu-upsaclay.fr

[Prof. Elena Magliaro](#),
Chercheur à Mines Paris – PSL (OIE)

[Prof. Cyril Voyant](#),
Directeur de recherche MINES Paris - PSL (OIE)

[Prof. Andrea Michiorri](#),
Chercheur à Mines Paris – PSL (PERSEE)

Sommaire

01 Introduction

02 Données utilisées

03 Méthodes

04 Résultats et discussion

05 Conclusion

01

Introduction

Objectifs

- Développer un modèle de prévision énergétique intégrant :
 - Extreme Learning Machine (ELM)
 - Multi-Input, Multi-Output, Multi-Horizon
 - Réconciliation optimale des prévisions.
- Optimiser la précision et la rapidité des prévisions sur un horizon de 24 heures, avec un pas horaire.
- Proposer un modèle rapide adaptée aux contraintes des gestionnaires de réseau.

02

Données utilisées

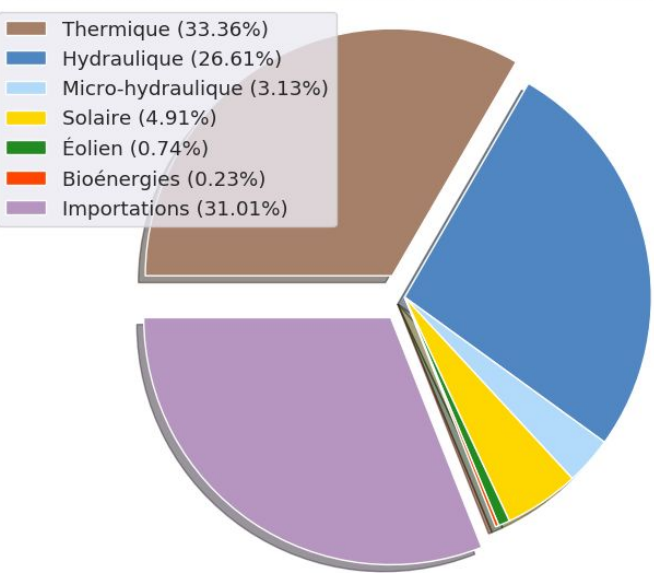
Présentation des données

- Une série temporelle est une suite d'observations indexée par le temps.
- Les séries temporelles utilisées représentent la production horaire d'électricité en MWh par différents moyens de production.
 - Ces séries sont gérées par EDF sur la région Corse, garantissant leur fiabilité.
 - Les données vont du 01/01/2016 au 31/12/2022 par pas horaire
 - Le split entre données d'entraînement et de test se fait à la date du 01/01/2021

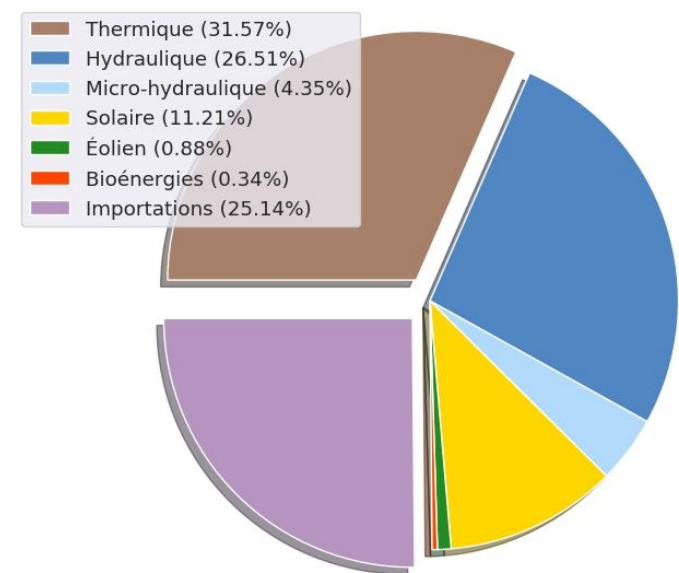
TOTAL_PRODUCTION,
THERMAL,
HYDRAULIC,
MICRO HYDRAULIC,
SOLAR PHOTOVOLTAIC,
WIND,
BIOENERGY,
IMPORTS

Saisonnalités et Tendances

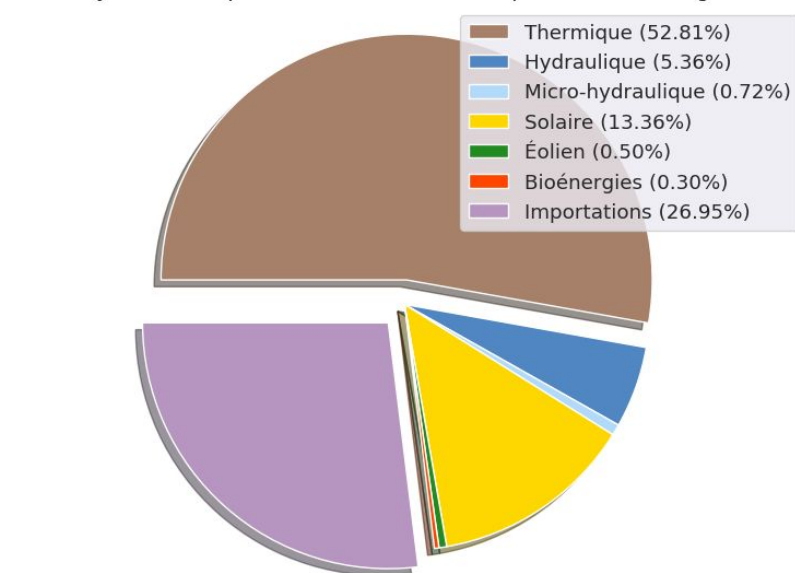
Part moyenne de la production horaire de chaque source d'énergie - Hiver



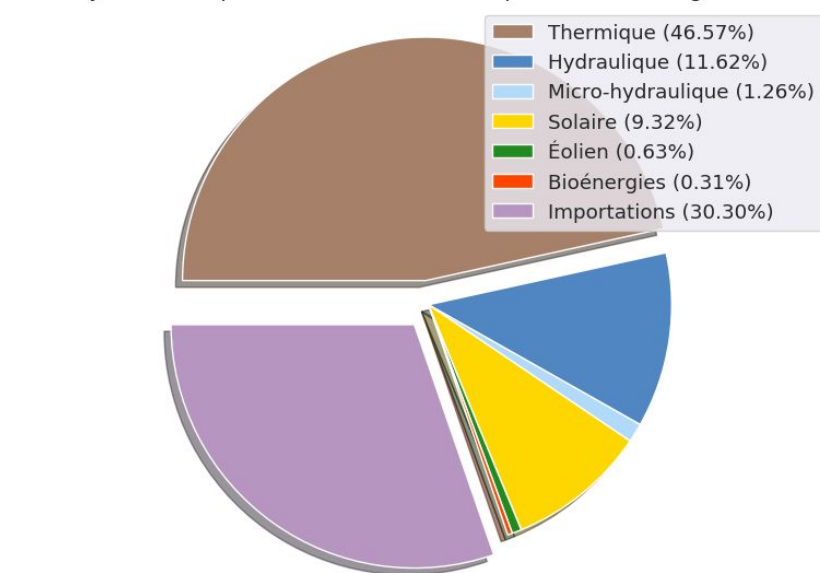
Part moyenne de la production horaire de chaque source d'énergie - Printemps



Part moyenne de la production horaire de chaque source d'énergie - Été



Part moyenne de la production horaire de chaque source d'énergie - Automne



03

Méthodes

Approche MIMO-MH et Réconciliation

- Basé sur l'**Extreme learning machine (ELM)**
 - Réseau de neurones à une seule couche cachée
 - Apprentissage très rapide, faible charge de calcul, adapté au temps quasi réel
- Modèle **Single Input Single Output (SISO)**
 - Prédit une seule source pour un horizon donné
 - Bonne précision, mais limité et lent
- Modèle **Multi Input Multi Output (MIMO)**
 - Prédit toutes les sources pour un horizon donné
 - Exploite les corrélations entre sources et leur variabilité partagée pour améliorer la robustesse des prévisions
- Modèle **Multi-Input Multi-Output Multi-Horizon (MIMO-MH)**
 - Prédit toutes les sources sur plusieurs horizons en même temps
 - Généralise le **MIMO** en intégrant simultanément plusieurs horizons de prévision
- Suivi d'une étape de **réconciliation optimale des prévisions**
 - Pour que la somme des prévisions de chaque source corresponde toujours au total attendu à chaque horizon.

Données et encodage

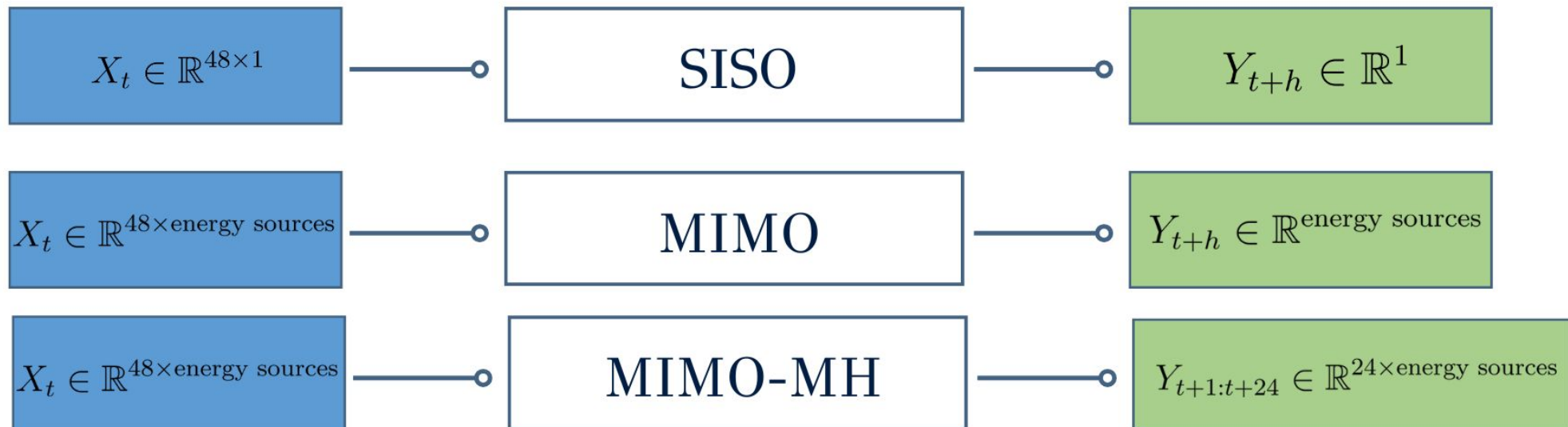
- Un encodage sinusoïdal est utilisé pour représenter les caractéristiques cycliques :

$$\sin_T(t) = \sin\left(2\pi \frac{t}{T}\right), \quad \cos_T(t) = \cos\left(2\pi \frac{t}{T}\right)$$

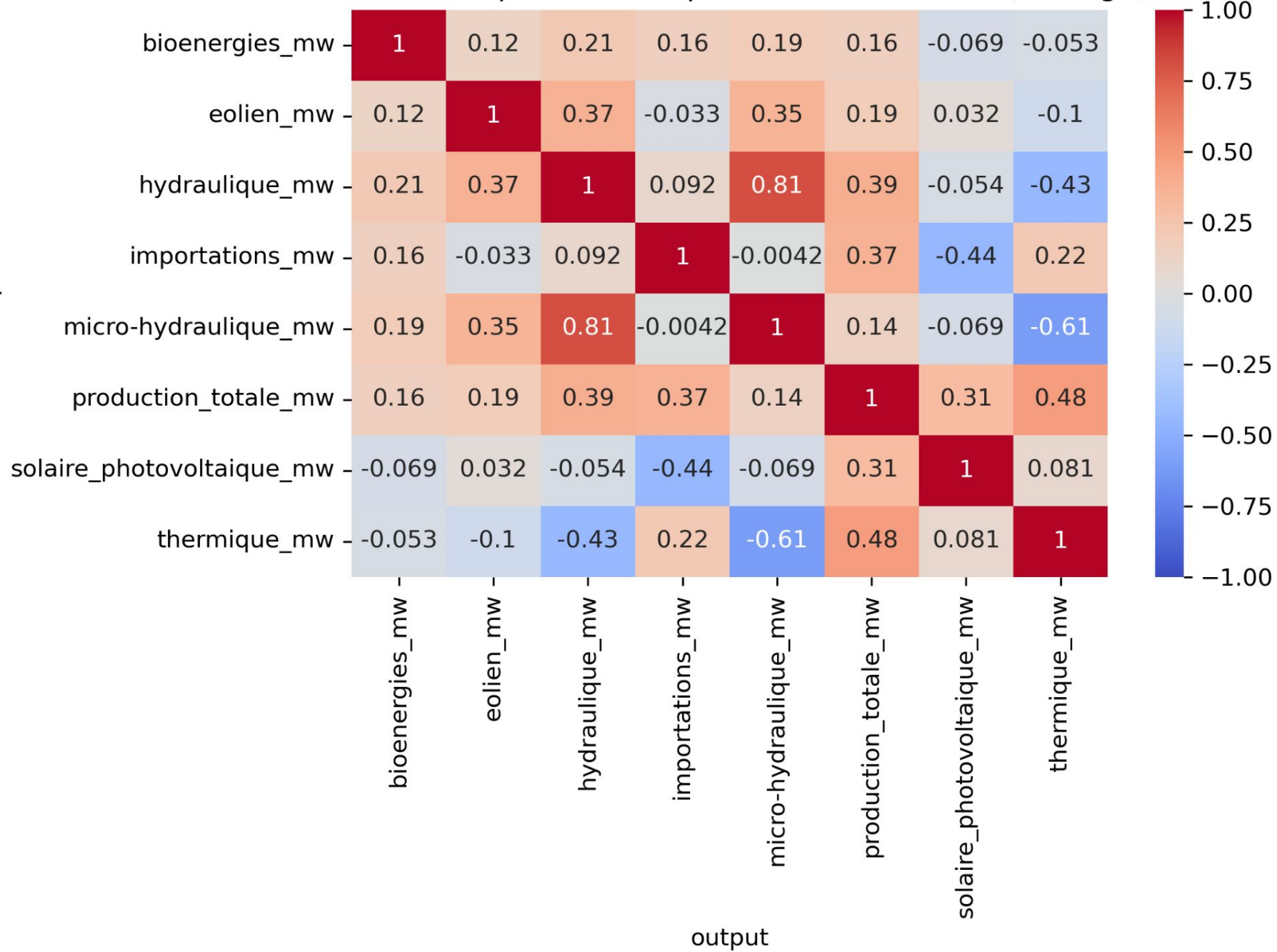
- Paramétrisation des modèles MIMO :

- Entrées : 8 sources énergétiques observées sur 48 heures et 2 composantes temporelles, soit 386 entrées ;
- Couche cachée : 1000 neurones ;
- Sorties : $8 \times 24 = 192$;
- Horizon de prévision : 24 heure par pas horaire (par run).

- Nombre de paramètres :
 - Entre l'entrée et la couche cachée : $386 \times 1000 = 386\,000$
 - Entre la couche cachée et la sortie : $1000 \times 8 = 8\,000$
 - Le modèle comporte un total de 394 000 paramètres

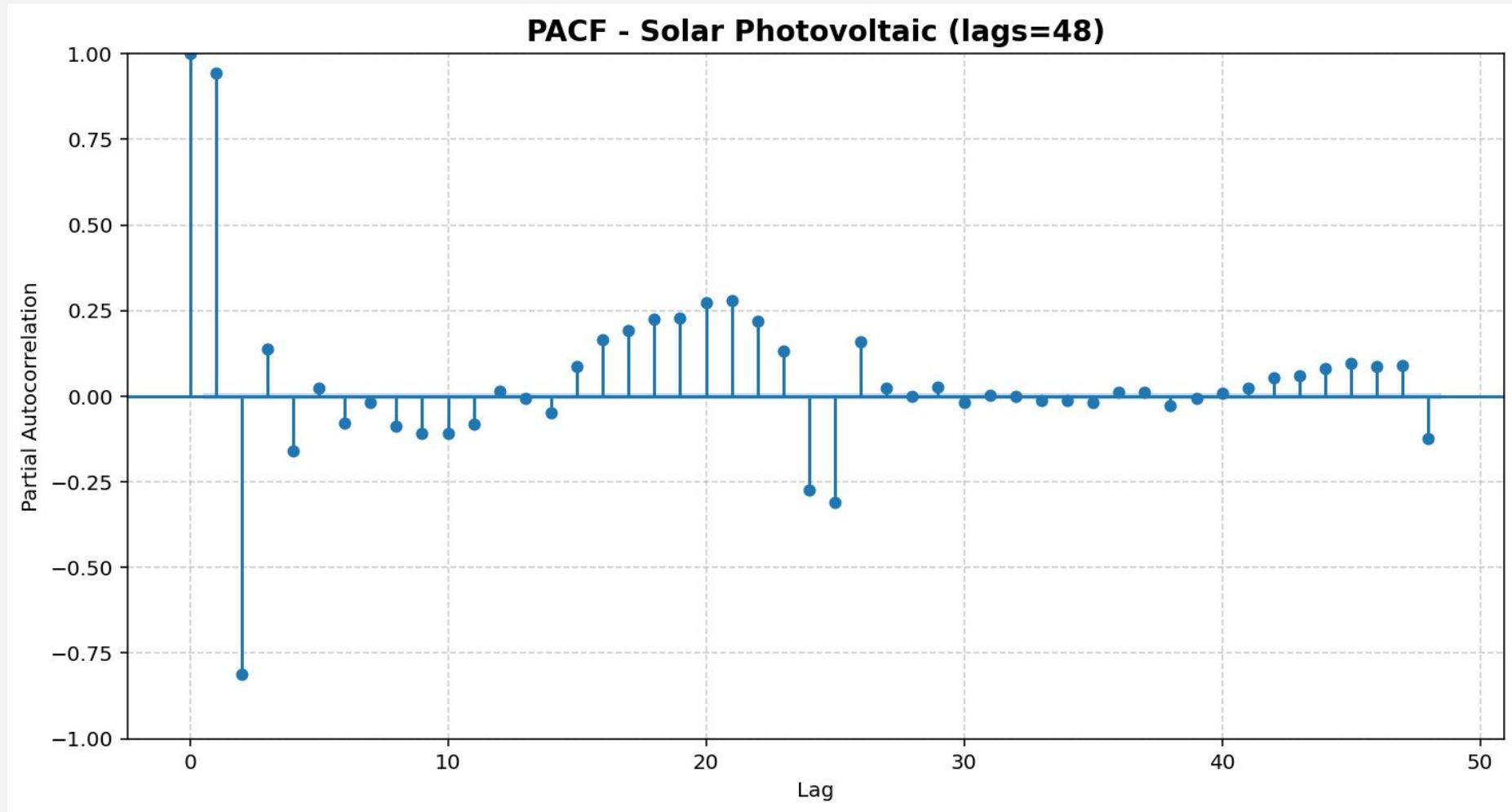


Correlation Spearman Output for MIMO-MH-REC (Average)



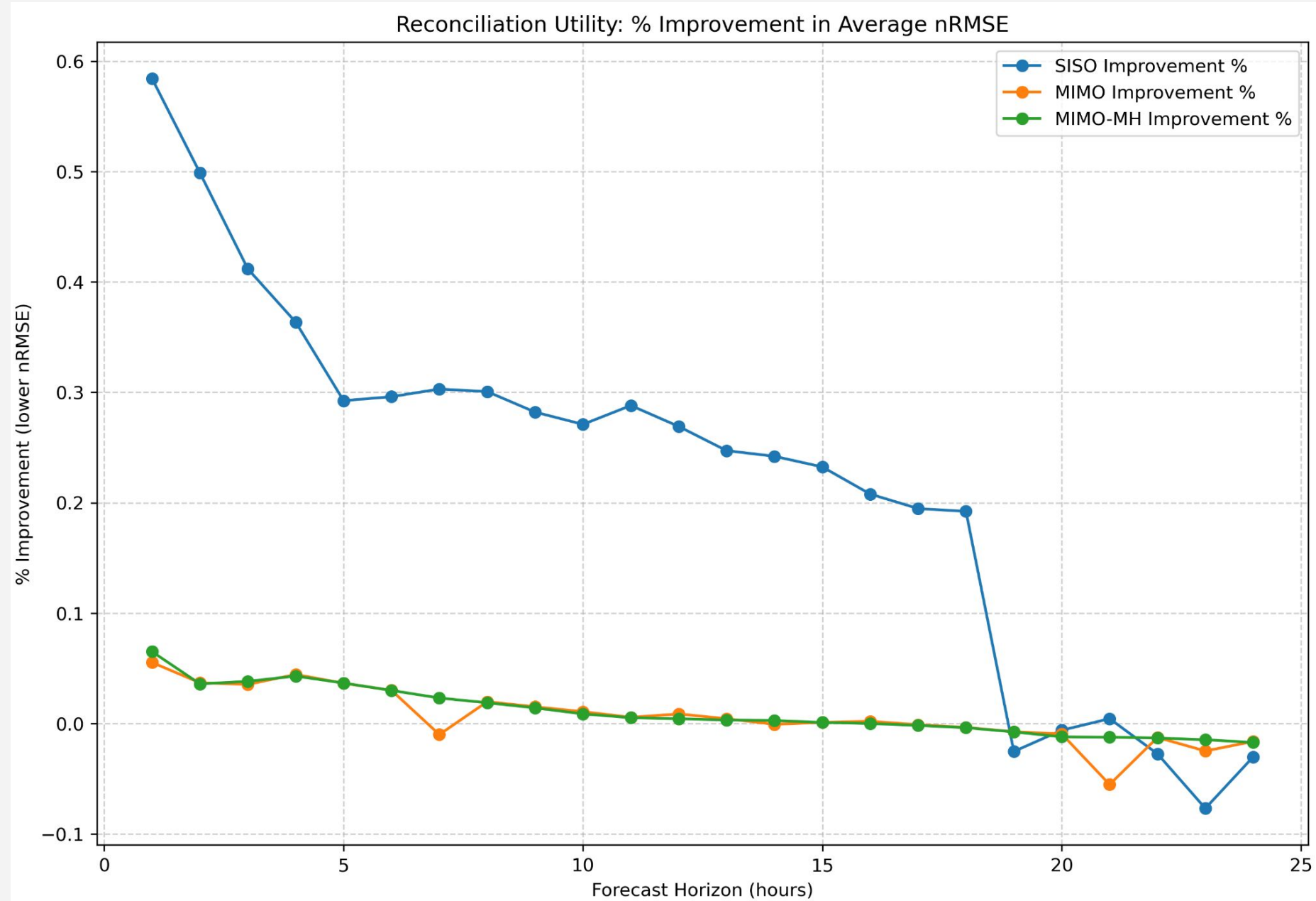
Corrélation de Spearman MIMO-MH-REC

Partial correlation function (PACF)



- La production solaire a une forte continuité d'une heure à l'autre et suit un rythme quotidien
- MIMO-MH capture ces liens pour avoir des prévisions plus précises

Réconciliation



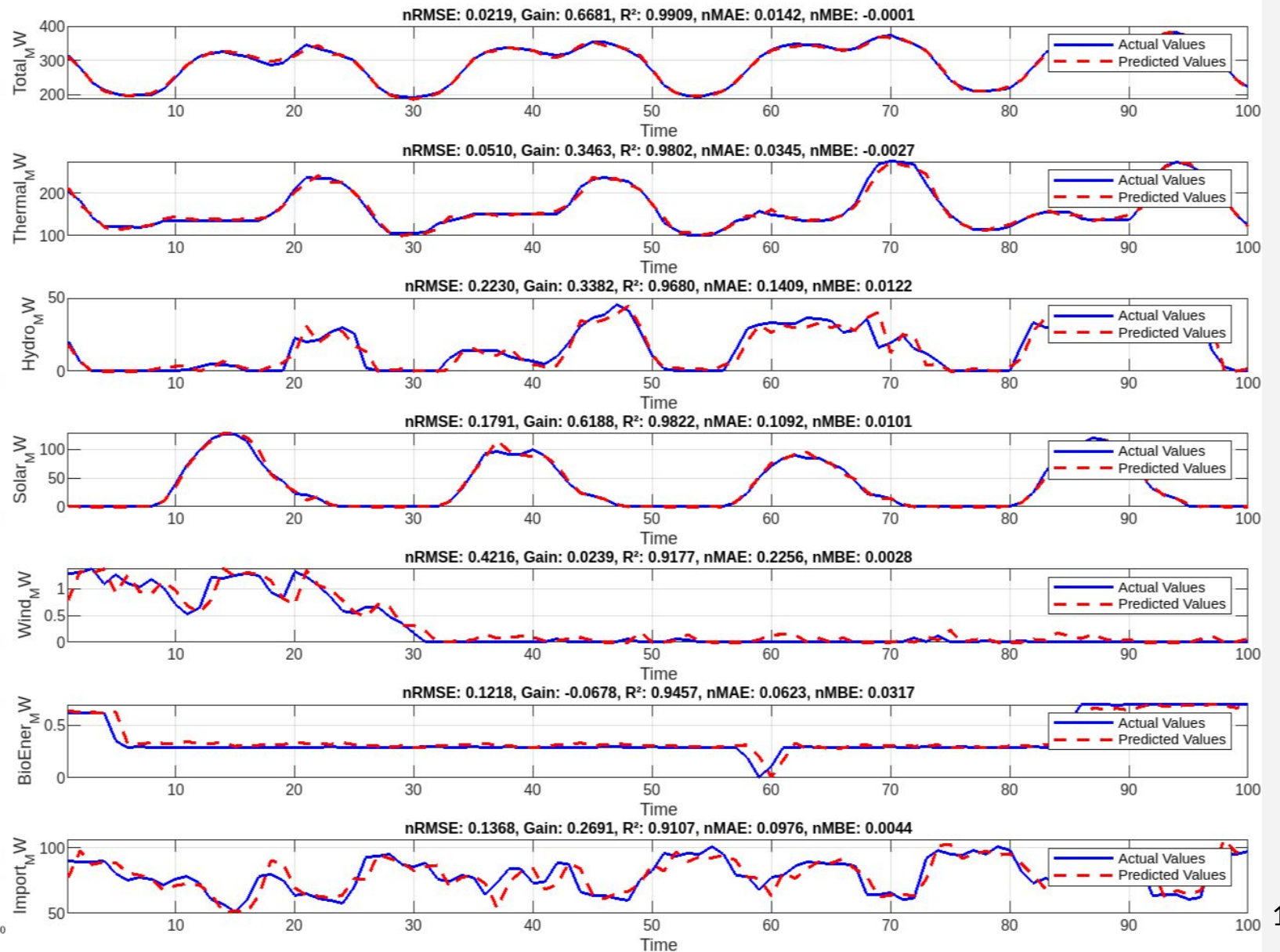
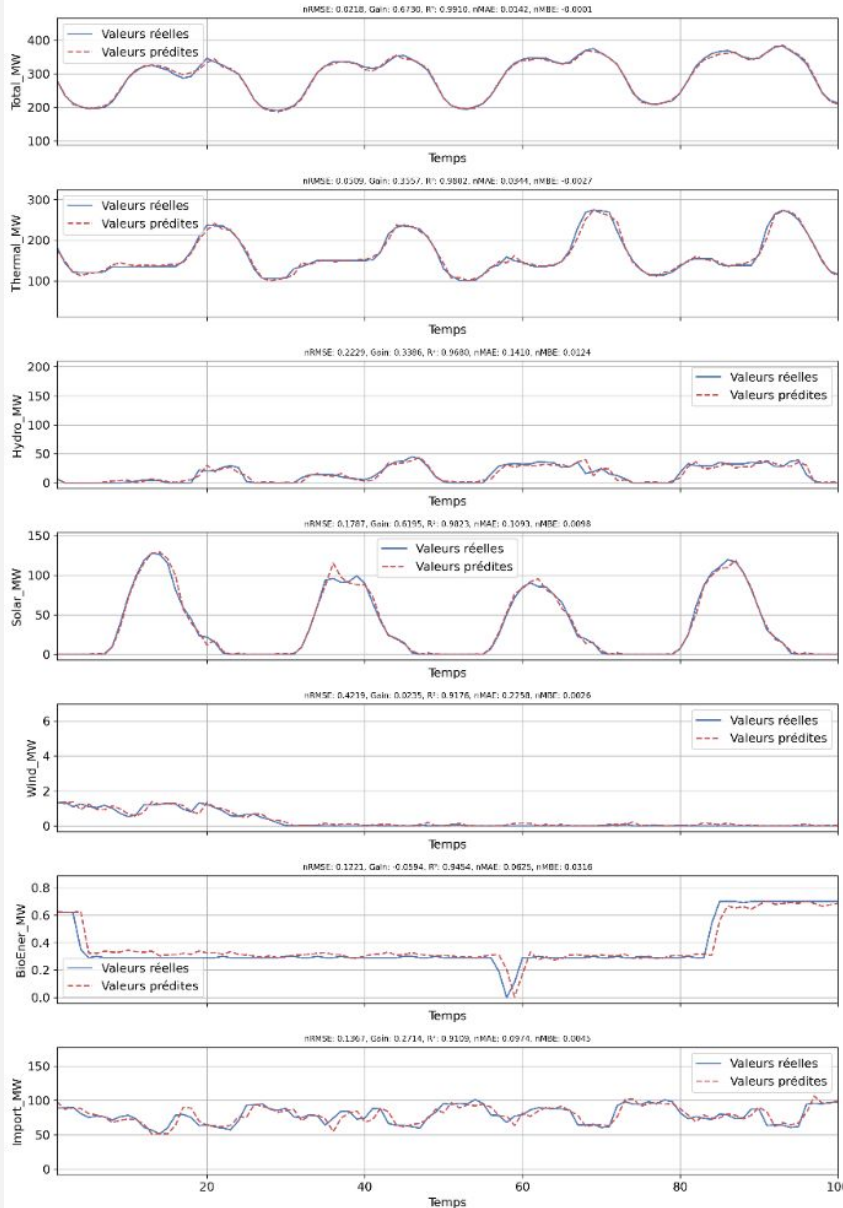
04

Résultats et discussion

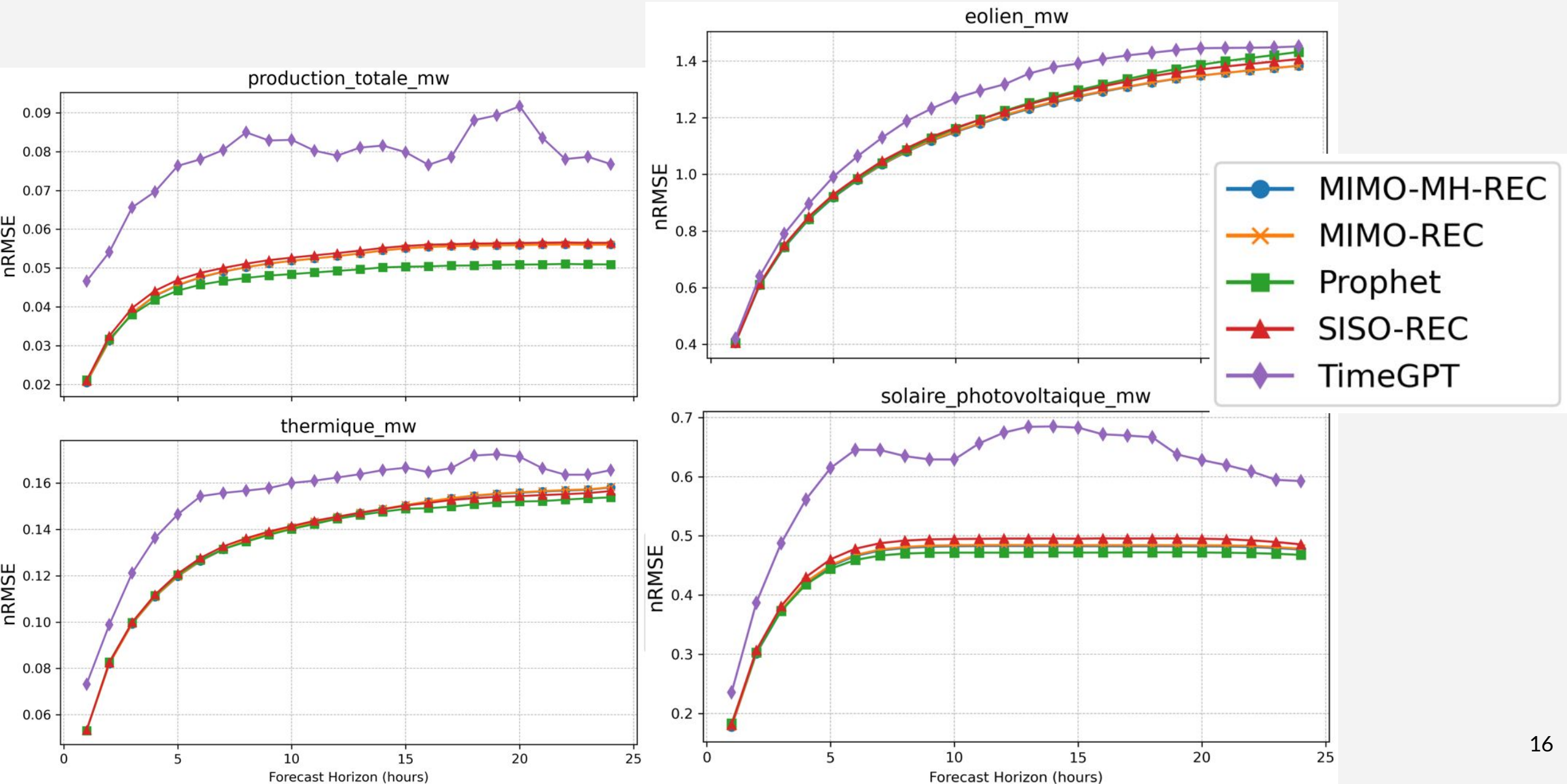
Comparaison Python / Matlab à l'horizon 1h :

Prévisions des variables énergétiques en Corse pour l'horizon 1h

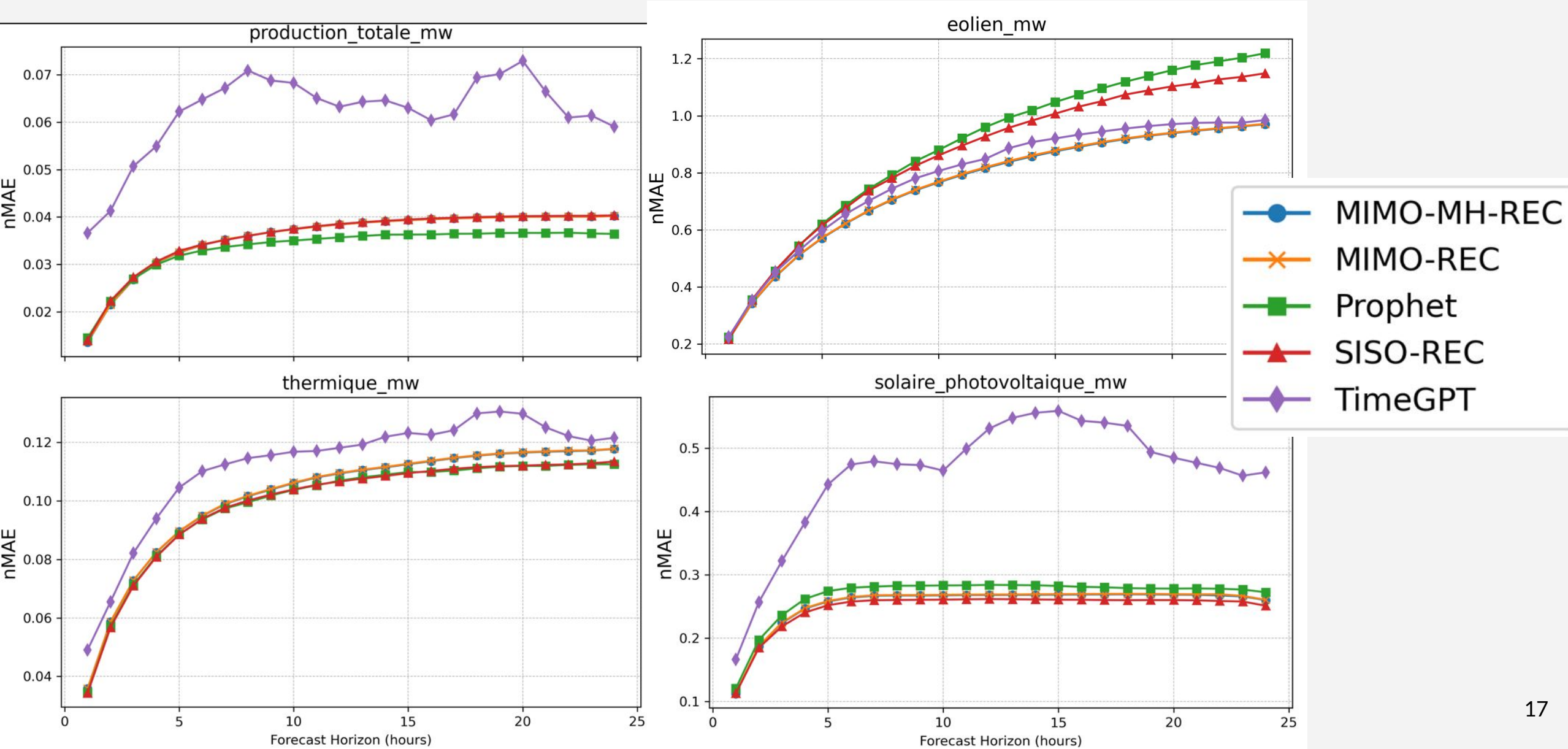
Forecasts of Output Energy Variables in Corsica For horizon 1h



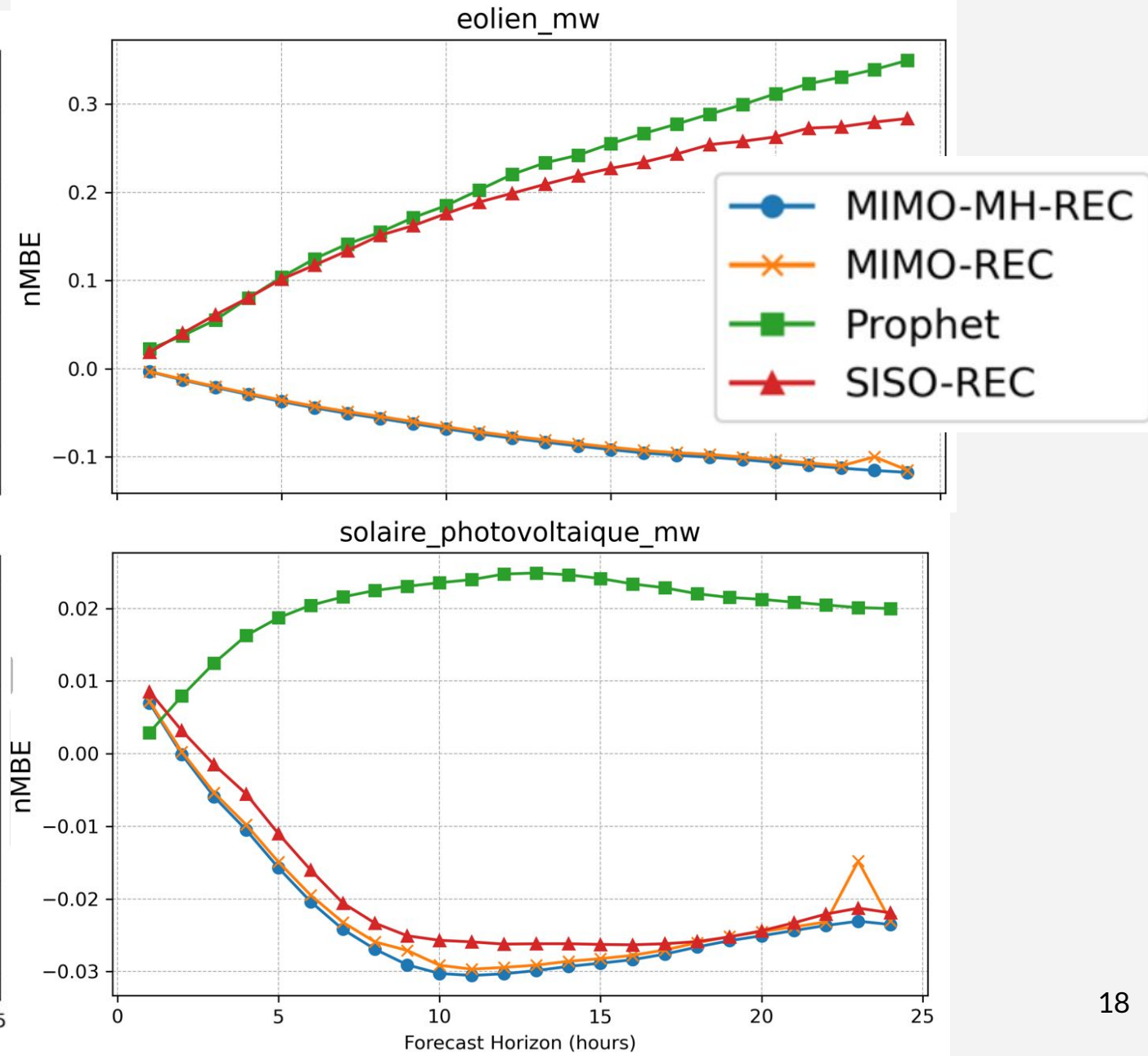
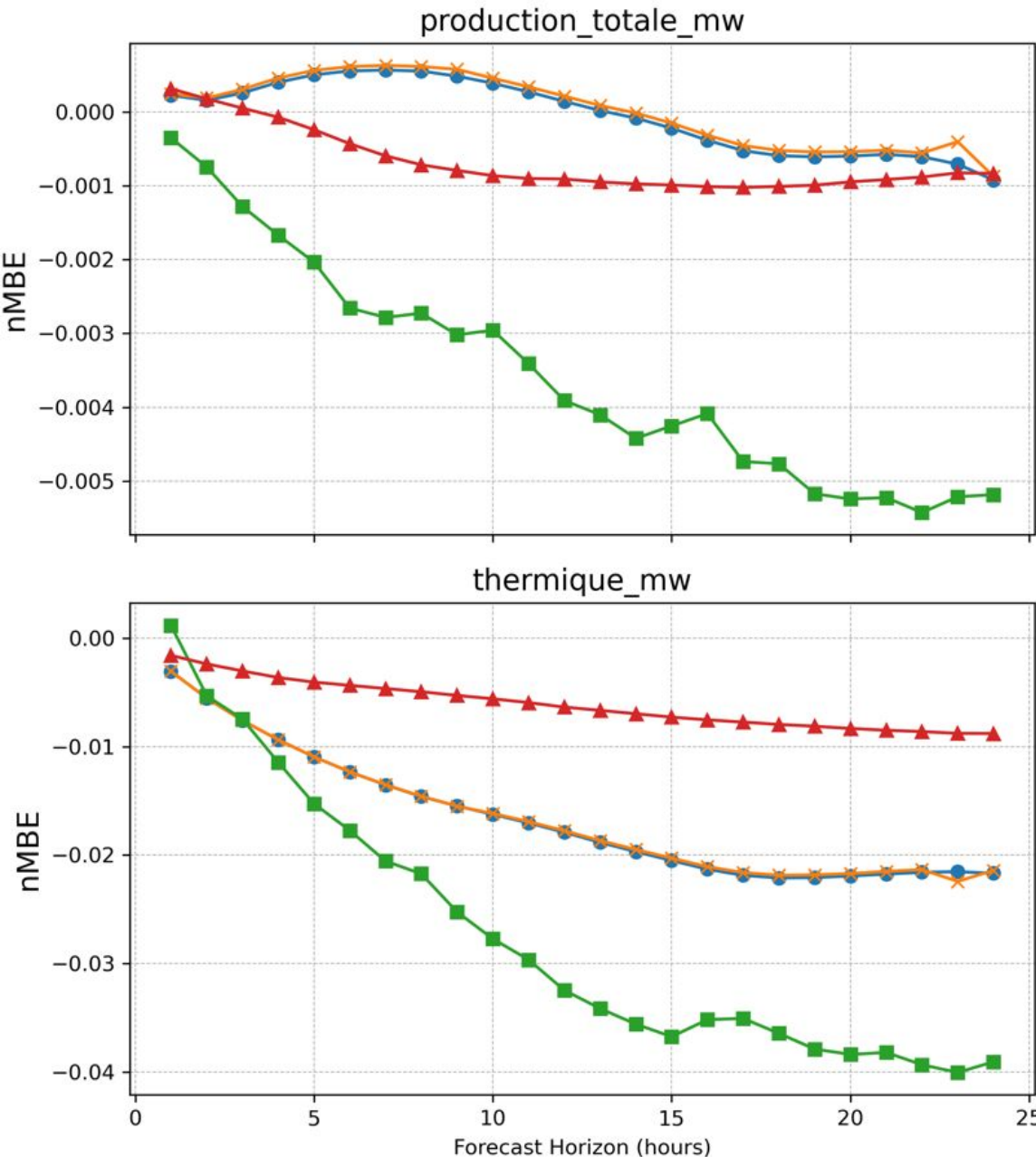
Benchmarks nRMSE Multi-Horizon

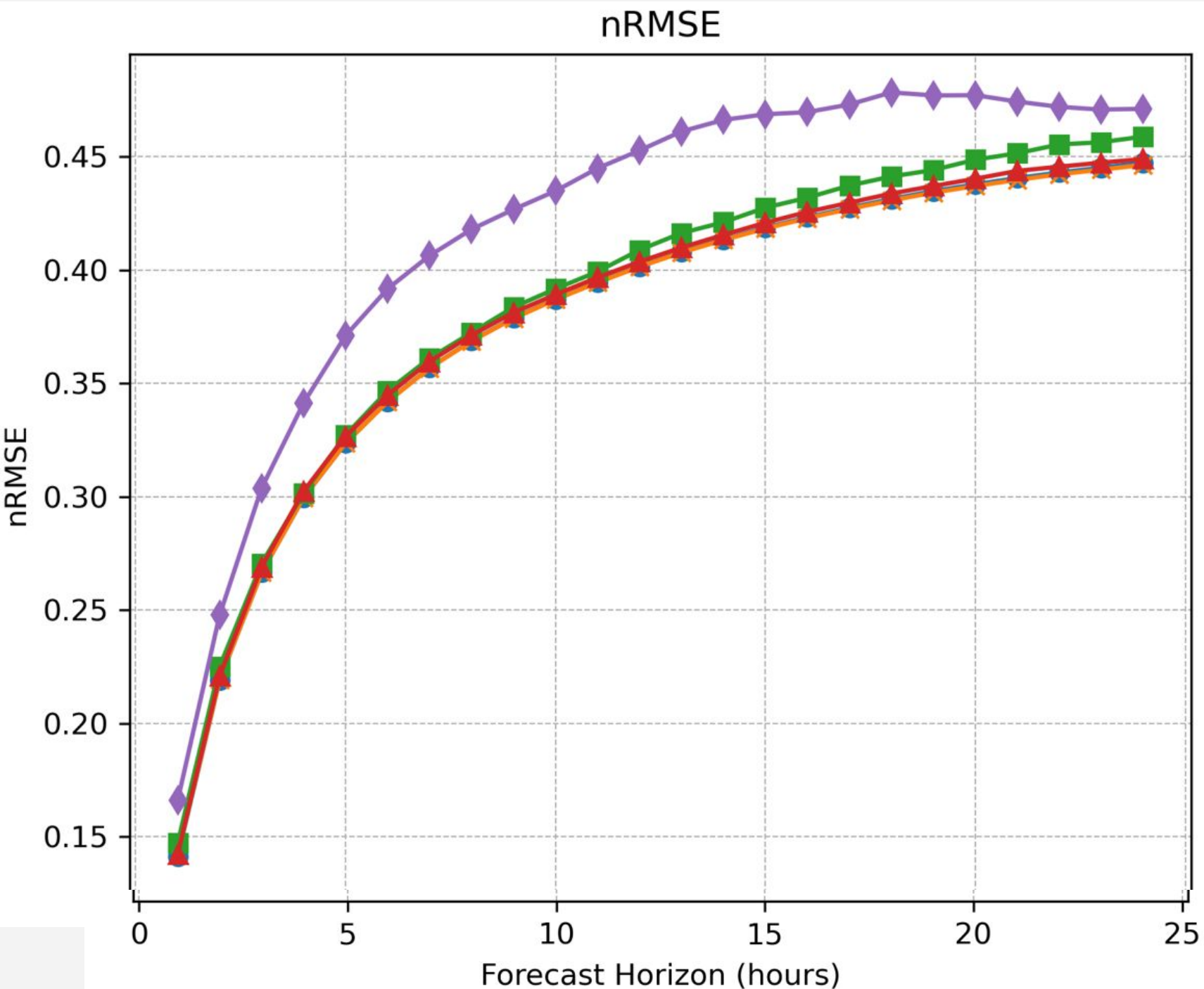


Benchmarks nMAE Multi-Horizon

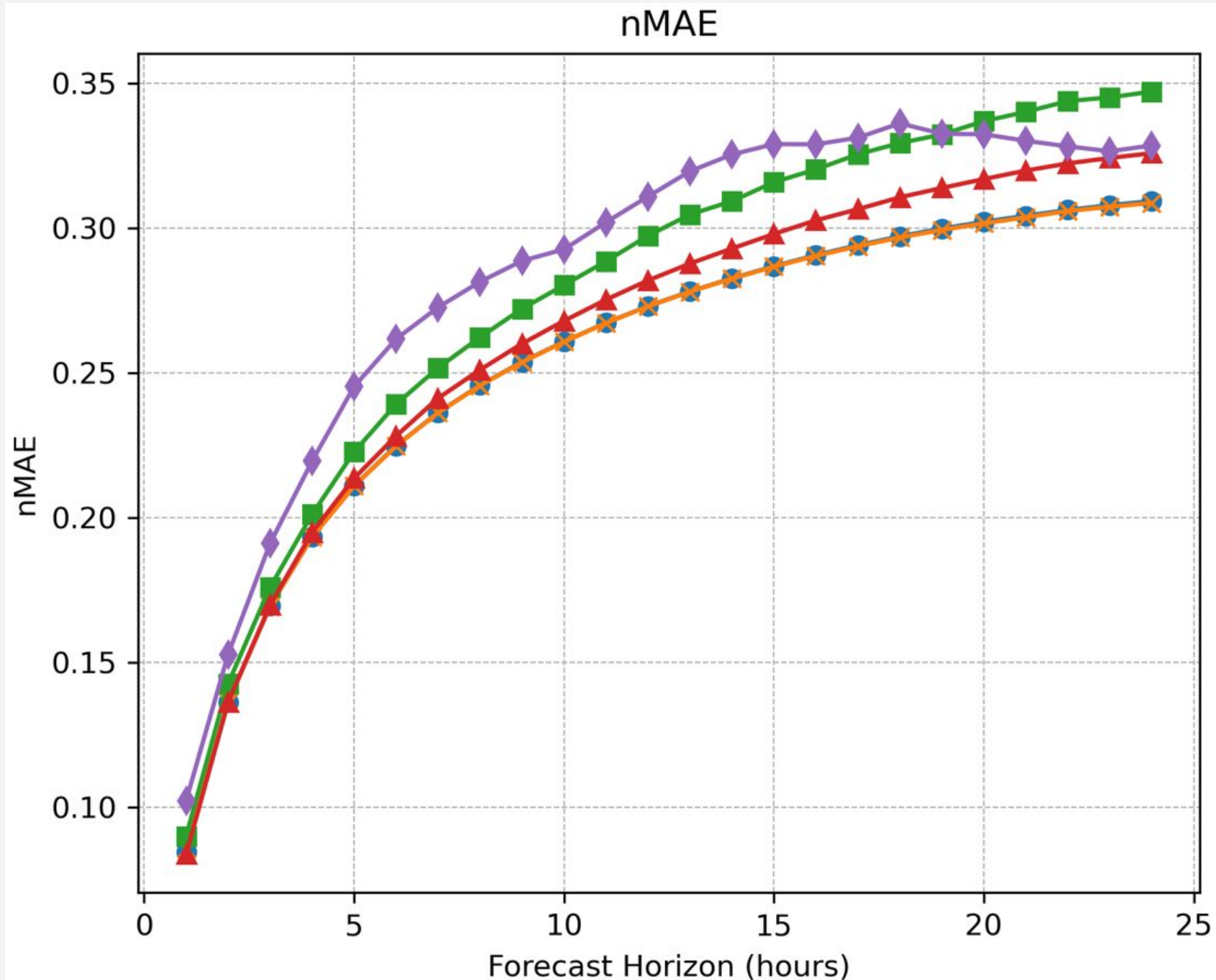


Benchmarks nMBE Multi-Horizon





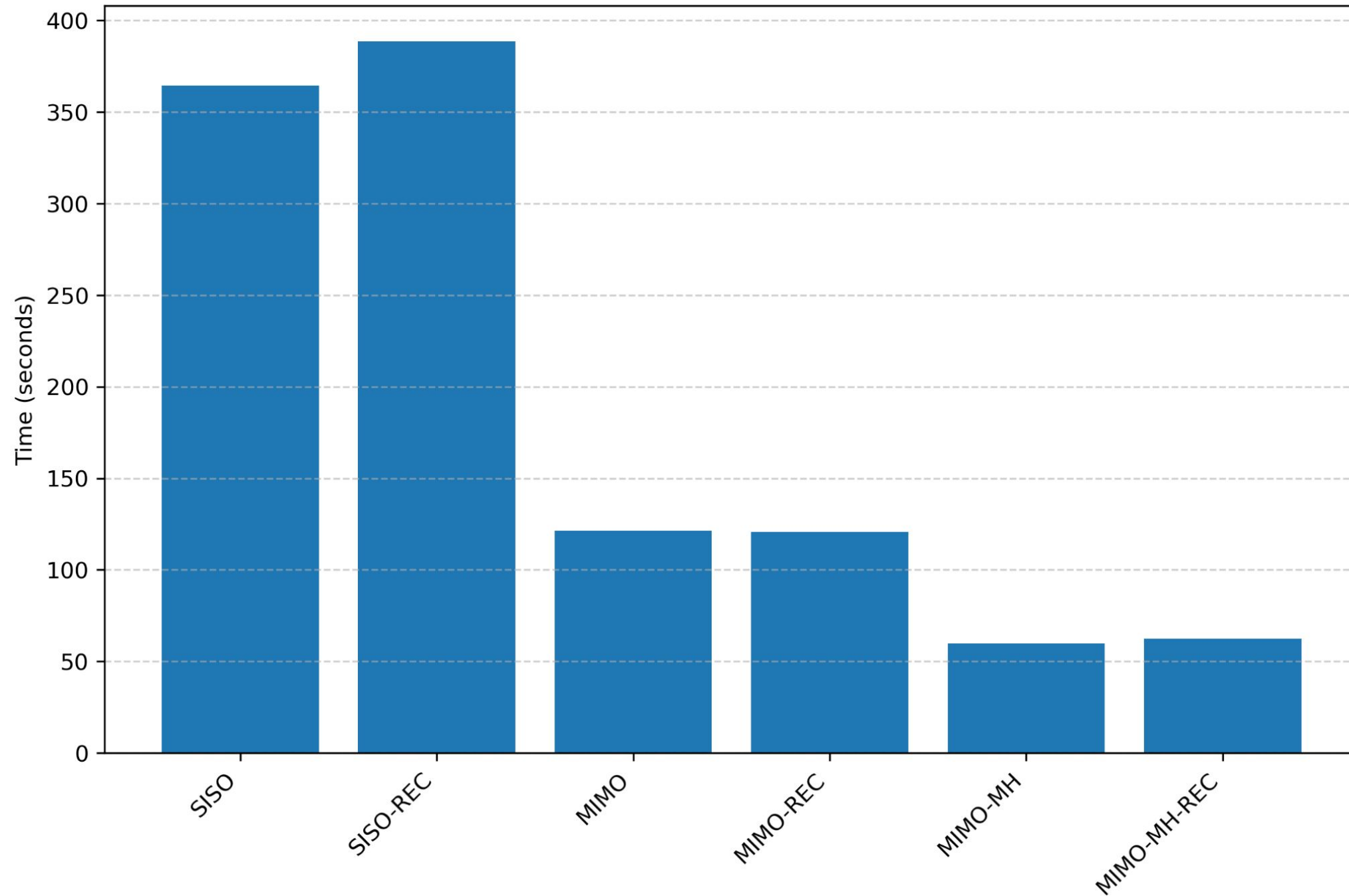
**Résultats
moyen par
horizon
(nRMSE)**



**Résultats
moyen par
horizon
(nMAE)**



Execution Time per Model



**Temps de
calculs**

05

Conclusion

Conclusion

- Le Modèle MIMO-MH est un outil de prévision rapide à entraîner et possède un bon compromis entre performance, temps de calcul et complexité.
- Modèle développé en réponse aux besoins opérationnels exprimés par des acteurs comme EDF et RTE.
- Enjeux de transition énergétique, prévision fiable et open science ([dépôt Git](#)), reproductibilité et robustesse méthodologique.

Merci de votre attention

