



Journées RESSTE
Statistiques spatio-temporelles pour les données
issues de la télédétection

■ Fusion de données in-situ avec des données de rayonnement solaire estimées à partir d'images satellites

Yves-Marie Saint-Drenan, Hadrien Verbois, Philippe Blanc

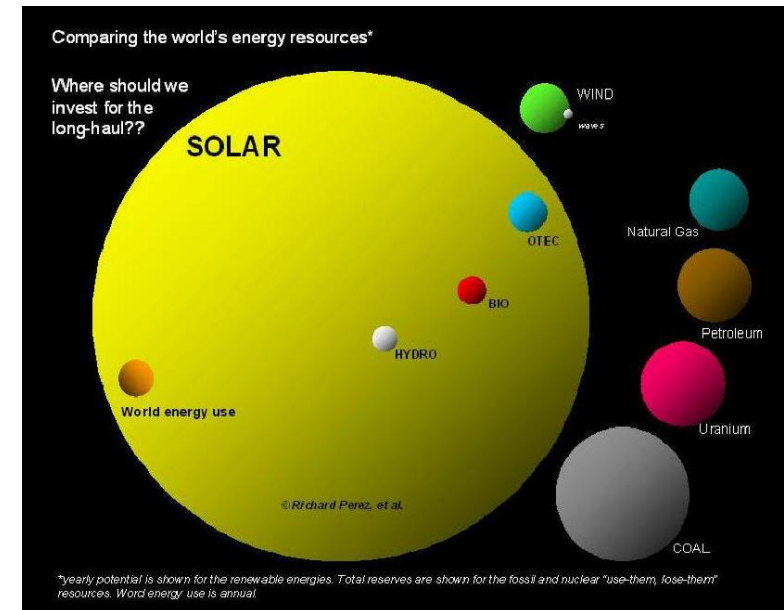
2022/05/10

Contenu de la présentation

1. Introduction
2. Présentation de la méthode heliosat
3. Données de référence de Météo-France
4. Analyse des erreurs des estimations satellitaires du rayonnement
5. Première approche d'ajustement avec une méthode de gradient boosting
6. Réflexions sur l'amélioration de l'approche de calibration

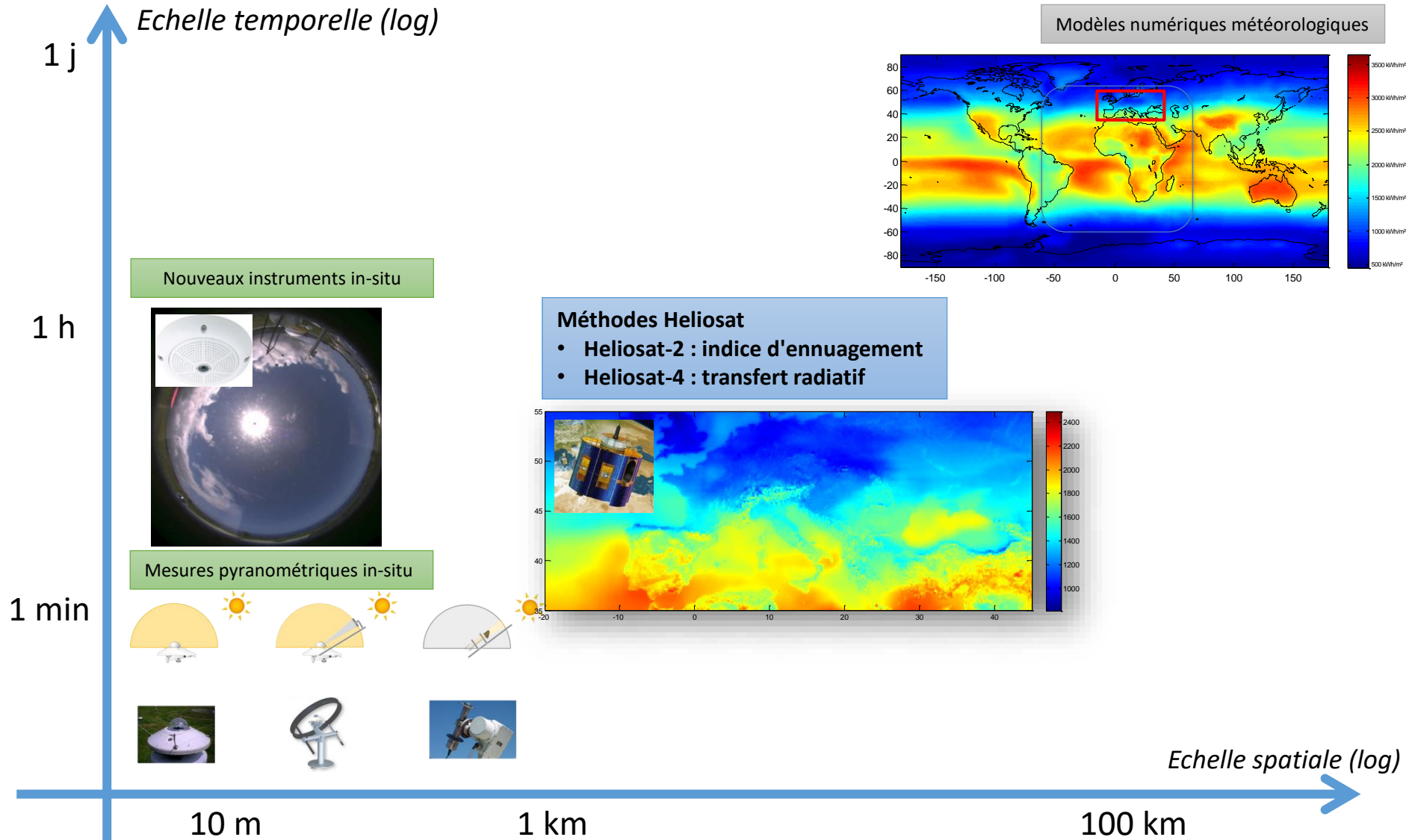
1. Motivation

- La connaissance et la prévision de la ressource solaire est importante pour optimiser son utilisation
- Un préliminaire à toute étude (prévision, analyse de variabilité...) est la détermination du rayonnement solaire
- L'estimation de la ressource solaire peut se faire par différents moyens:
 - Mesures in-situ
 - Images satellites
 - Modèles numériques météorologiques
 - ...



<http://www.asrc.cstm.albany.edu/perez/>

1. Motivation



2. Présentation de la méthode heliosat

- Principe de la méthode



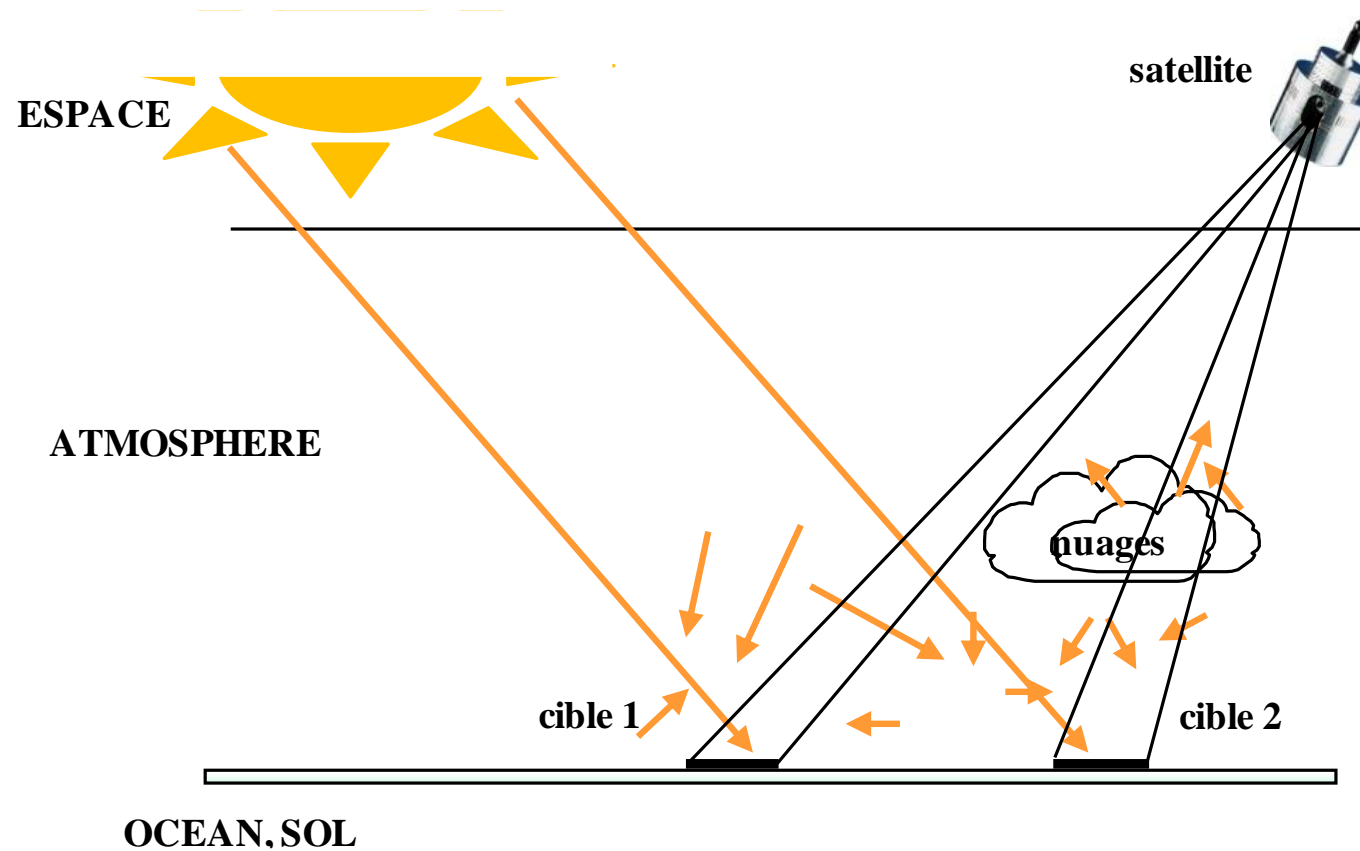
Luminance mesurée par le satellite



Irradiation (énergie)

2. Présentation de la méthode heliosat

- Principe de la méthode



2. Présentation de la méthode heliosat

- Principe de la méthode

Indice d'ennuagement

$$n_c = \frac{r_{\text{sat}} - r_{\text{sat-clair}}}{r_{\text{sat-nuage}} - r_{\text{sat-clair}}}$$

Rapport de ciel clair

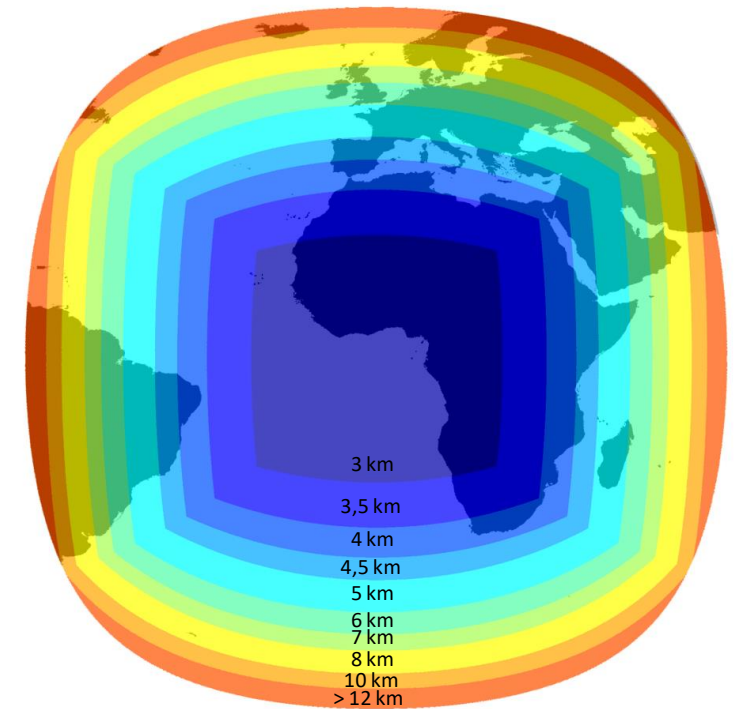
$$\begin{array}{ll} n < -0,2 & K_c = 1,2 \\ -0,2 < n < 0,8 & K_c = 1 - n \\ 0,8 < n < 1,1 & K_c = 2,0667 - 3,6667 n + 1,6667 n^2 \\ n > 1,1 & K_c = 0,05 \end{array}$$

Modèle de ciel clair

$$E = K_c E_{\text{clair}}$$

2. Présentation de la méthode heliosat

- Bases de données de rayonnement solaire HelioClim
 - www.helioclim.net, www.soda-is.com
 - Estimation du rayonnement solaire à partir d'images satellites METEOSAT
 - HelioClim-1 (HC-1)
 - Résolution spatiale : 20 à 30 km
 - Résolution temporelle : journalière
 - Etendue temporelle : 1985 -2005
 - HelioClim-3 (HC-3)
 - Résolution spatiale : 4 km
 - Résolution temporelle : ¼ horaire
 - Etendue temporelle : depuis 2004

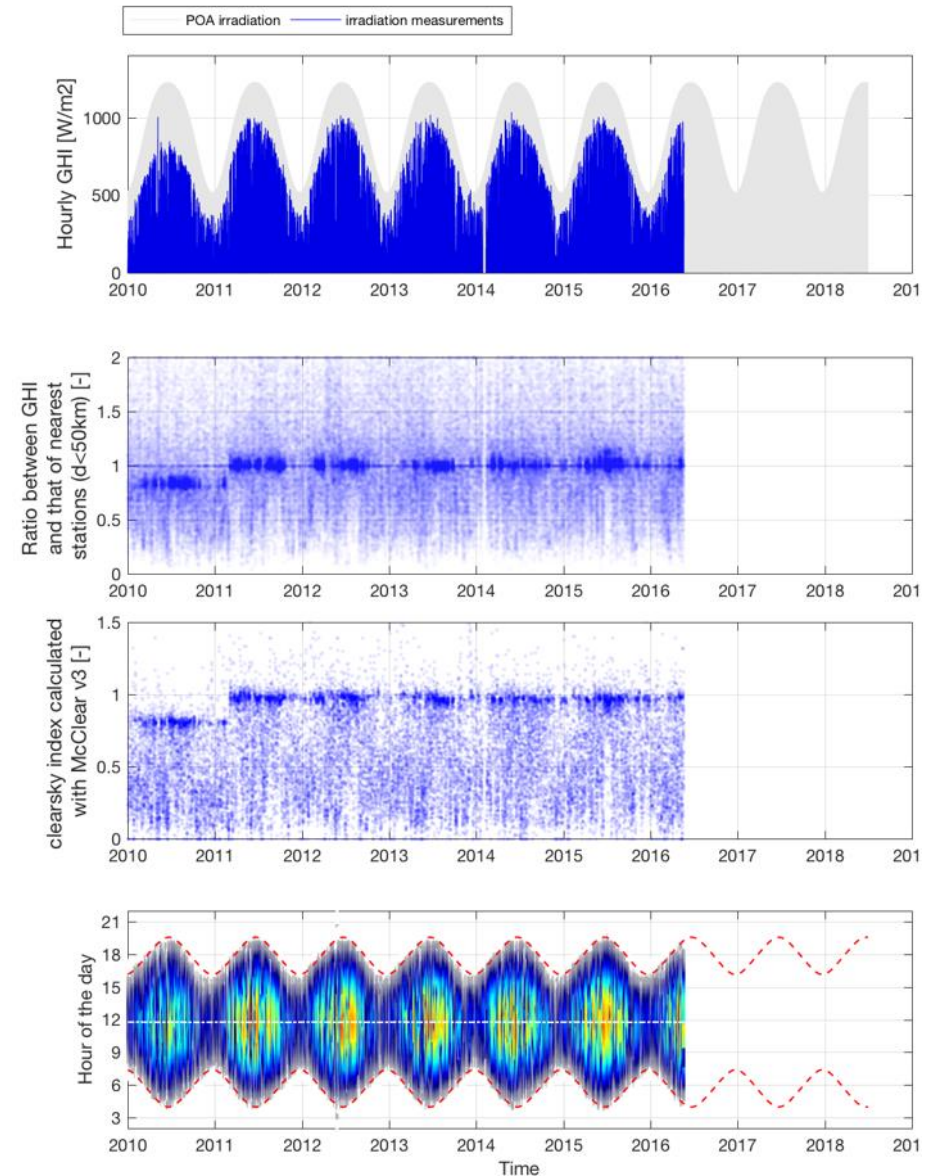


Couverture et résolution de HelioClim-3

3. Mesures de rayonnement de référence

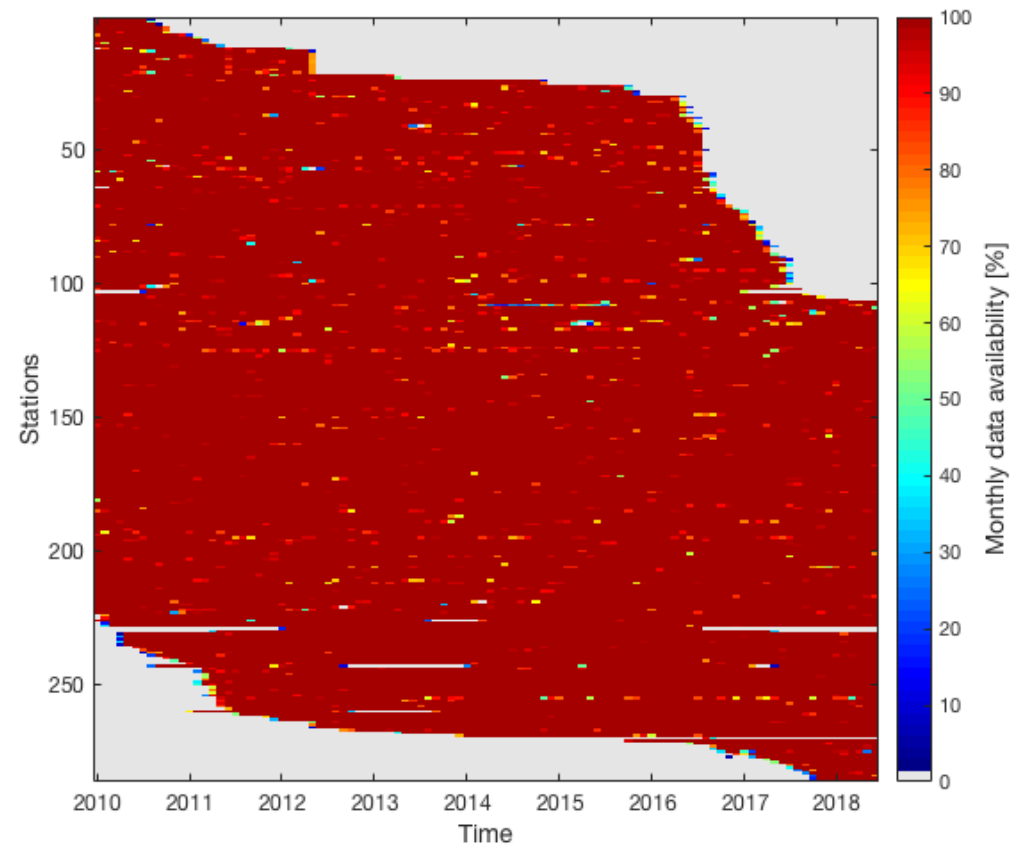
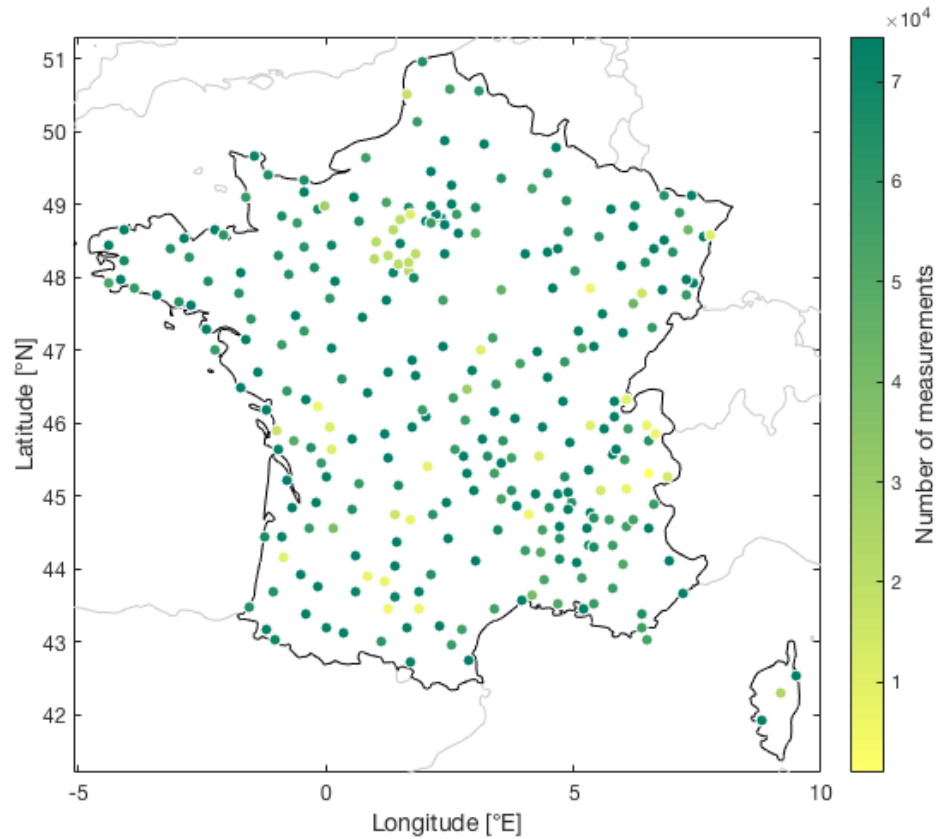
Mesures de rayonnement de la bibliothèque de Météo-France

- 286 stations sur la France métropolitaine
- L'archive comprend des données de Météo-France mais aussi des mesures de station de l'INRAE
- Données disponibles dans le cadre de R&D
- Mesures horaires de GHI
- Nous avons collecté ~9 ans de données
- Contrôle de qualité



3. Mesures de rayonnement de référence

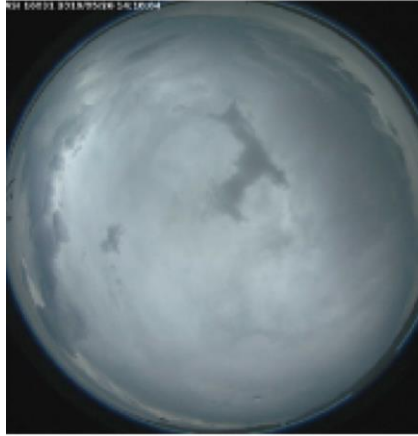
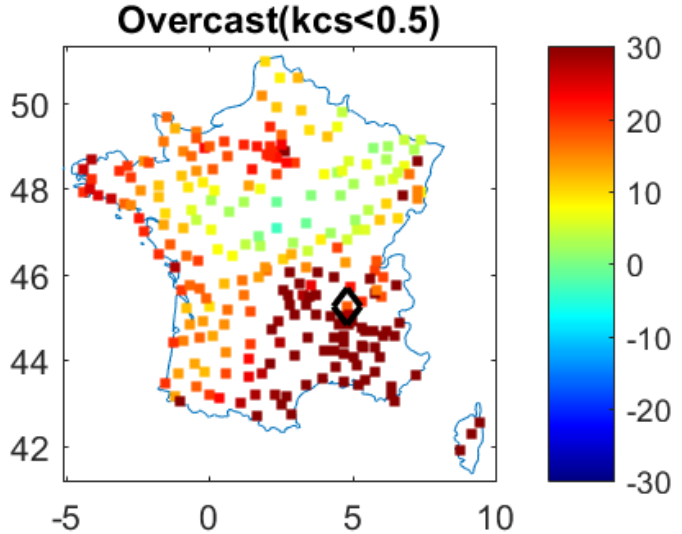
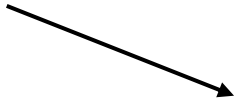
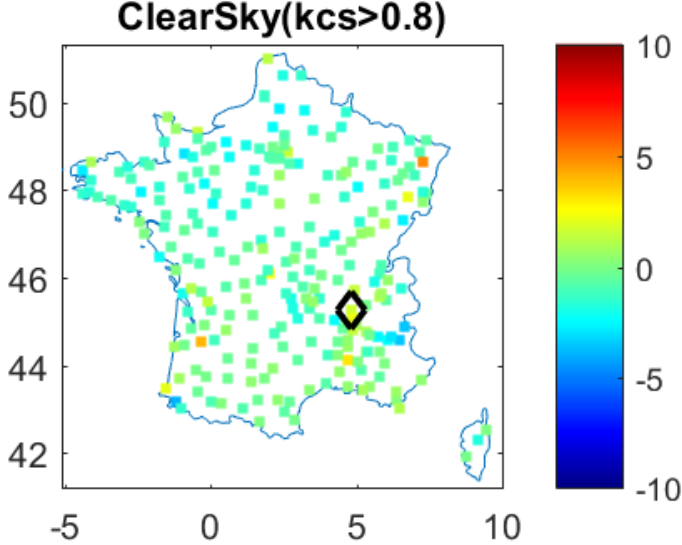
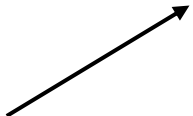
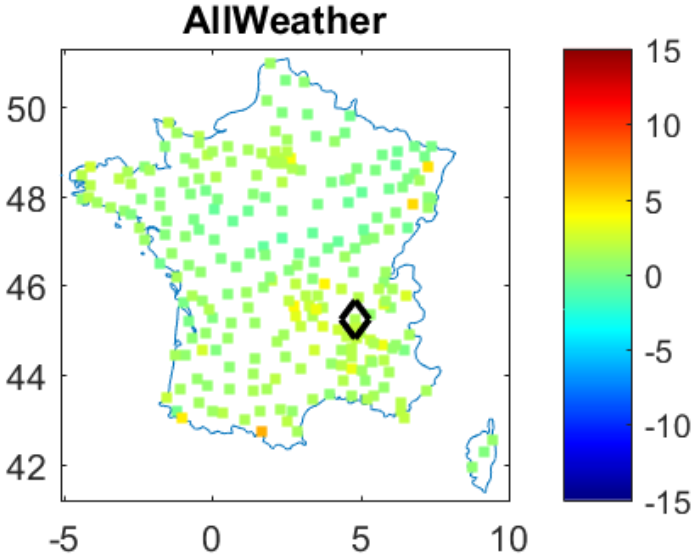
Disponibilité des données



4. Analyse de l'erreur d'HelioClim3-v5

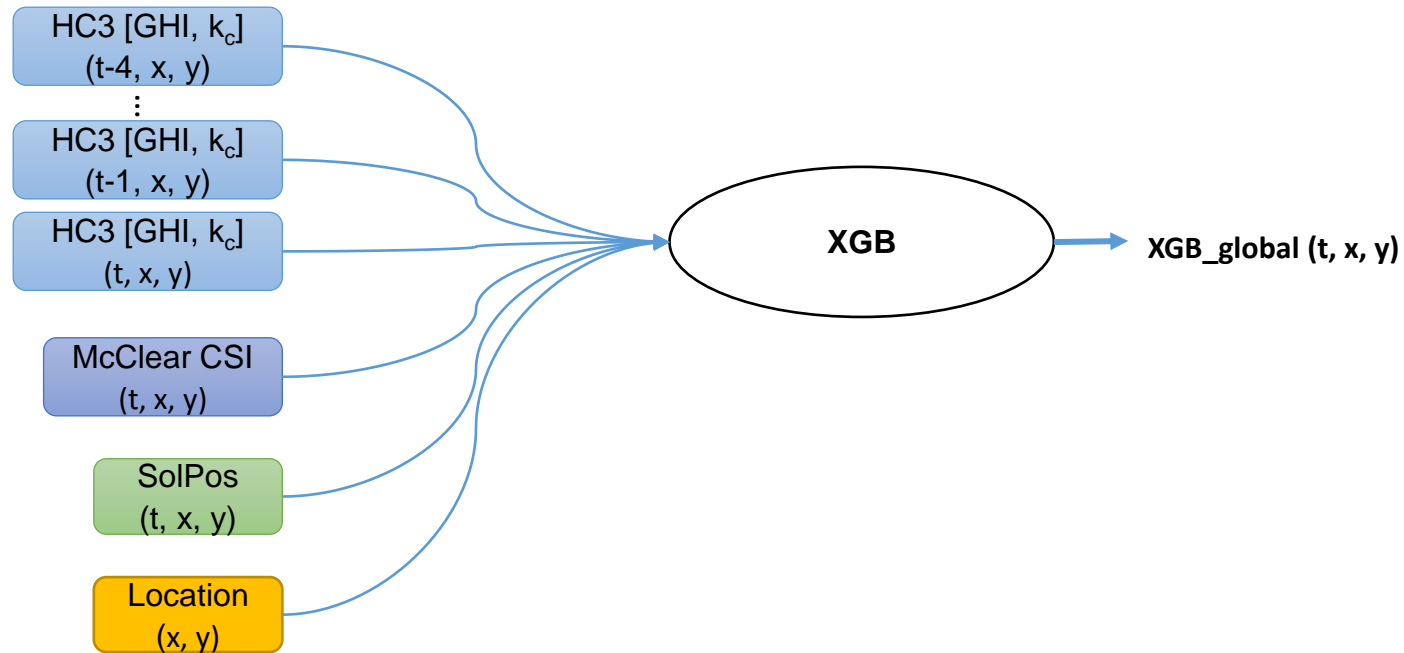
Analyse du biais sur l'intégralité de la période pour chacune des stations:

$$MBE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (P_i - O_i)$$



5. Première approche

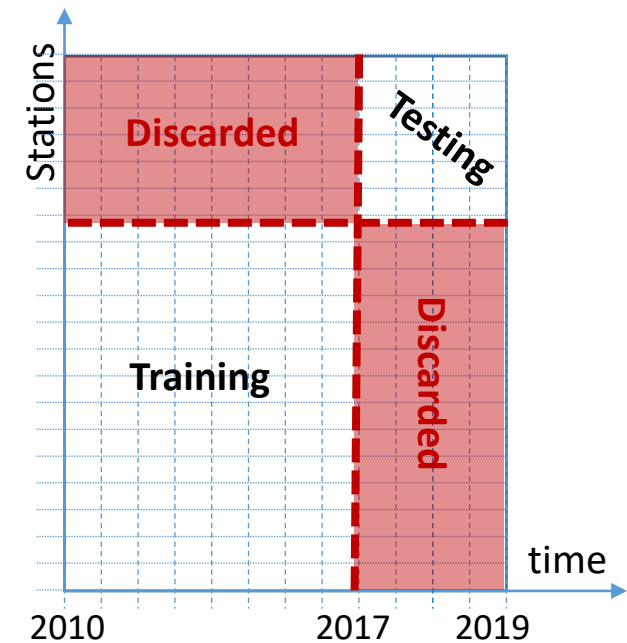
- On utilise l'algorithme Extreme Gradient Boosting (XGB) pour réaliser une régression entre les mesures in-situ et un jeu de prédicteurs



5. Première approche

Training & testing

- On choisit les données d'apprentissage et de test de manière à s'assurer que le modèle généralise bien dans le temps et l'espace
- Le jeu de test doit donc contenir des stations et des années non utilisées pour l'apprentissage:
 - Années 2017 à 2019 utilisées pour le test
 - 50 stations choisies au hasard pour le test



5. Première approche

- Les précisions des estimations brutes (HC3) et corrigées (XGB_global) sont quantifiées à l'aide du RMSE et du MBE:

$$RMSE = \sqrt{\sum_{t=1..n} (I_{ref} - I_{estim})^2} ; MBE = \sum_{t=1..n} (I_{ref} - I_{estim})$$

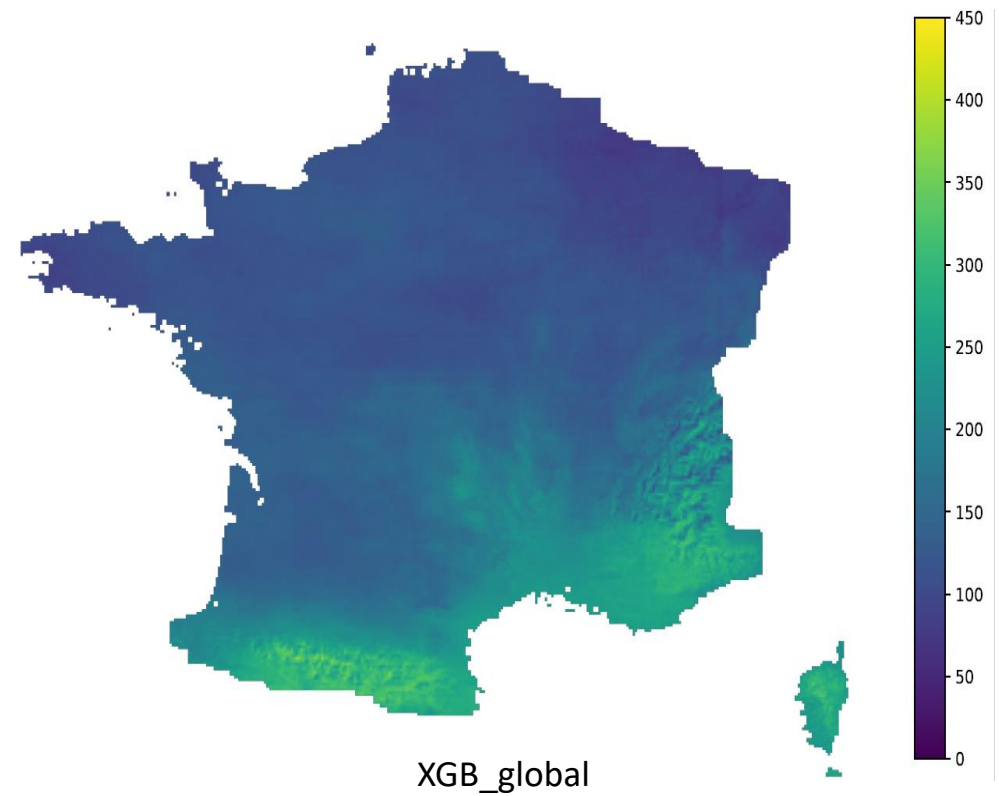
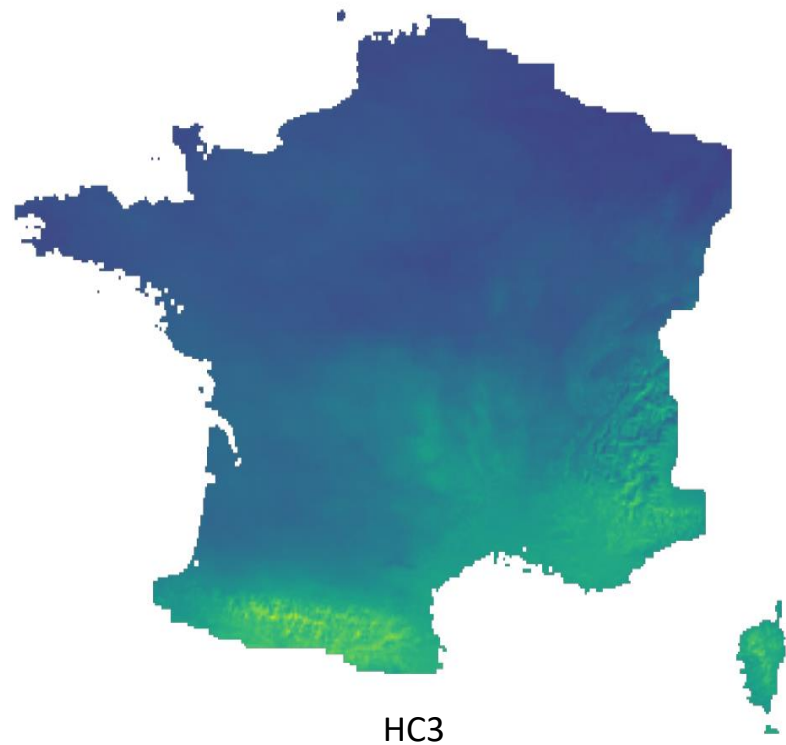
- Performances globales (moyennées sur les 50 stations test et les 2 années de test):

	MBE (W/m ²)	RMSE (W/m ²)
HC3	14.9	63.8
XGB_global	3.1	57.2

- L'ajustement avec XGB réduit de manière notable le MBE par rapport à HC3
- L'amélioration du RMSE est plus modeste.

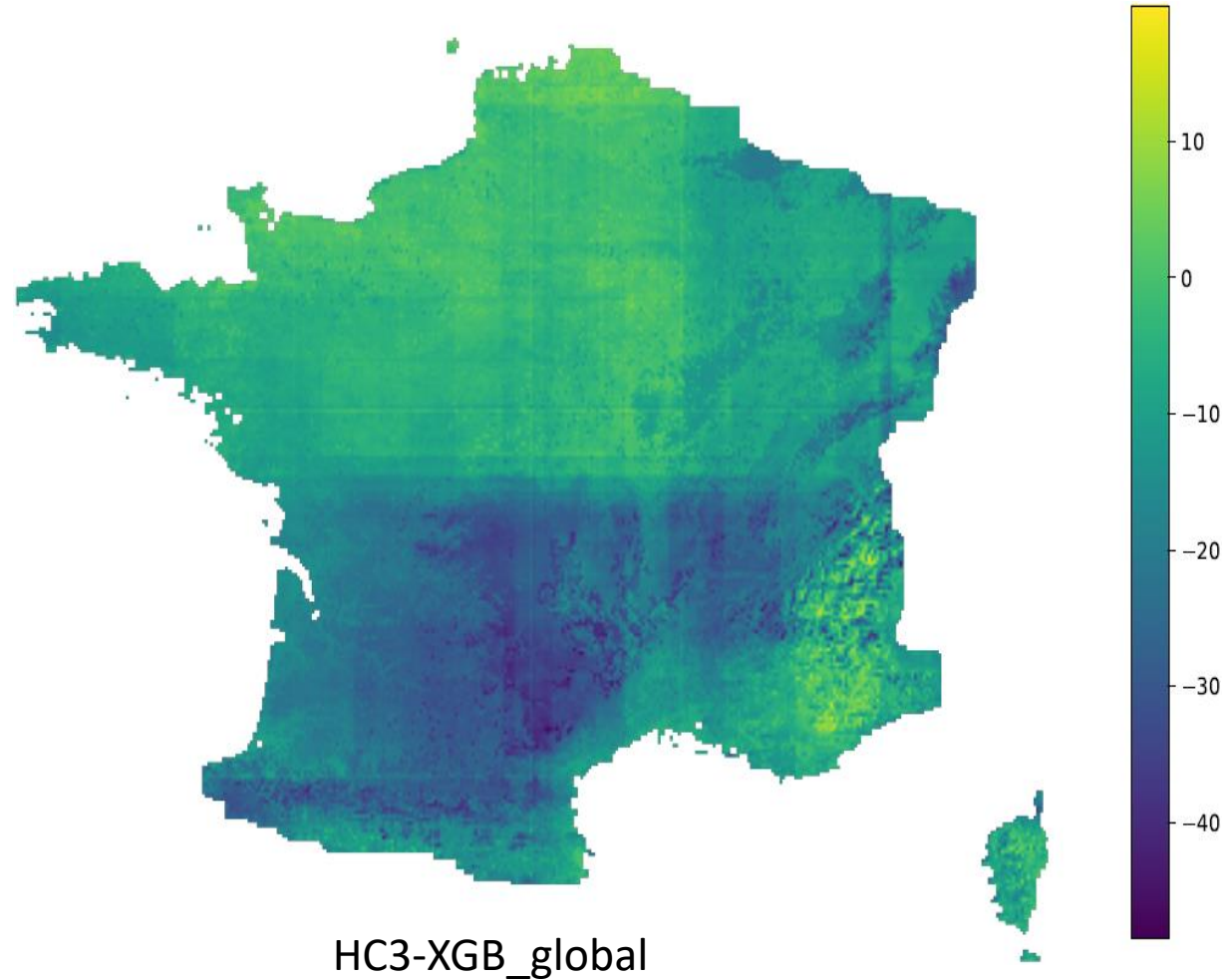
5. Première approche

Valeurs moyennes des données brutes et ajustées:



5. Première approche

Artefacts spatiaux résultant de la méthode choisie



Carte de **différence de GHI** entre HC3 and XGB_global, moyennée pour l'année 2018:

6. Réflexions sur l'amélioration de l'approche de calibration

- Utilisation d'une méthode spatiale:
 - geographically weighted regression (GWR),
 - Krigeage,
 - SPDE,
 - interpolation optimale,
 - nD-Var
 - ...
 - Stochastique vs. non-stochastique?
 - Si stochastique, validité de l'hypothèse de stationarité?
 - Méthode locale vs. globale ?
 - Si locale, stratégie pour choix de l'échelle spatiale?
 - Méthode statique ou dynamique?
- + Estimation d'incertitude, approches robustes...