



sesa
Solar Energy System Analytics

PRÉSENTATION JNES

Prévision spatio-temporelle de la ressource solaire

par Julien Nou

Targassonne, le 27 août 2021

Notre ambition

Généraliser l'utilisation d'outils de prévision de la ressource solaire sur les sites de production à des fins de contrôle/commande des actifs de production et de gestion de micro-réseaux intelligents.

START-UP SESA



OBJECTIFS | Optimiser l'exploitation des centrales solaires avec/sans systèmes de stockage pour à la fois améliorer les ROI de projets et mieux anticiper l'apparition de contraintes sur les réseaux de distribution.

Direction



Jean-Baptiste BEYSSAC

Porteur du projet de start-up

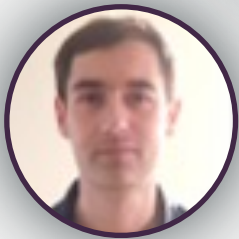
- Responsable plateau technique de l'UPVD
- Gestion de projet
- Aptitudes managériales



Julien NOU

Ingénieur maturation SATT

- Instrumentation scientifique
- Traitement d'images
- Intelligence artificielle



Stéphane GRIEU

PR. UPVD, PROMES-CNRS

- Analyse et prévision des séries temporelles
- Intelligence artificielle

Équipe

Hanany Tolba, Data Scientist (R&D)

Développement d'algorithmes de prévision fondés sur des outils IA

Ali Ouakach, Administrateur système

Mise en réseau de l'instrumentation du site et administration des serveurs de calcul

Comité scientifique et stratégique

Composé de profils complémentaires issus de la recherche publique et de l'industrie

SOMMAIRE



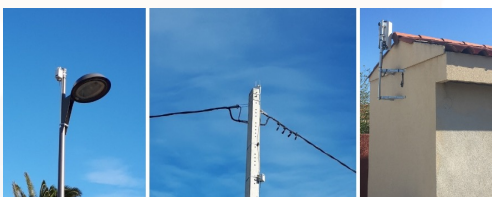
1. Contexte et marchés.
2. Estimation et prévision de la ressource solaire.
 - Estimation (distribution de l'éclairement sur toute la voûte céleste).
 - Prévision à court terme du GHI.
 - Résultats.
3. Conclusions et perspectives.

CONTEXTE

Historique scientifique



CSPIMP Eurogia (2012-2016) → Prédiction du DNI par sky imager et mesure du DNI
Projet porté par General Electric
Objectif : développement d'outils innovants pour l'amélioration de la compétitivité des centrales solaires thermodynamiques.



Smart Occitania (2017-2021) → Prédiction spatiale du GHI par sky imager et réseau de pyranomètres
Projet porté par ENEDIS
Objectif : développement d'un démonstrateur de réseau électrique intelligent en zone rurale/péri-urbaine.

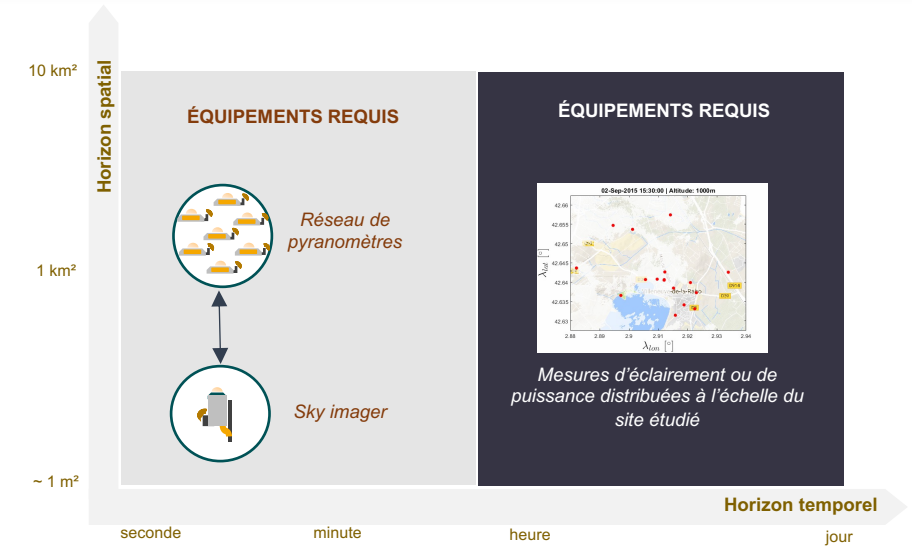
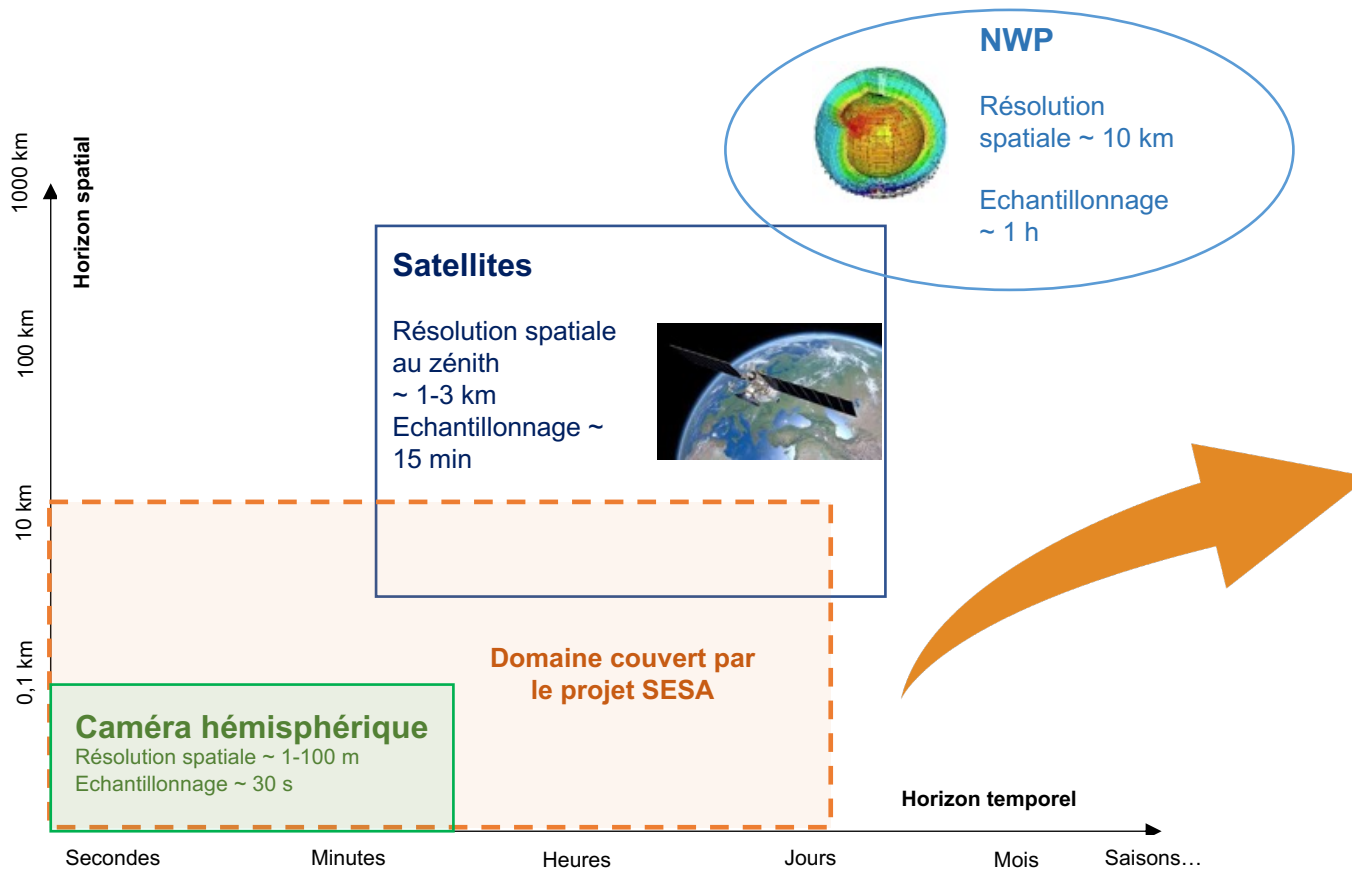


SFERA III EU H2020 (2019-2023) → Prédiction du DNI par sky imager et mesure du DNI
Projet coordonné par Ciemat-PSA
Objectif : contrôle dynamique d'un réacteur (Odeillo) destiné à la production de combustible solaire.

➔ **24 publications scientifiques, 4 thèses et 1 brevet d'invention du CNRS publié en 2019**

CONTEXTE

Positionnement : techniques de prévision



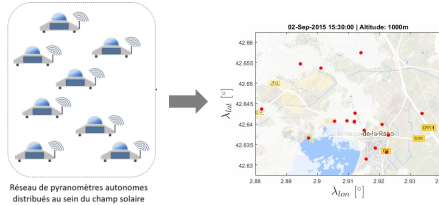
Points forts :

- **Performances**
- Coût global des solutions (possibilité de n'utiliser que l'instrumentation *in situ*)
- Modularité des solutions (selon les horizons spatio-temporels, les technologies, les objectifs...)
- Systèmes autonomes (système embarqué possible)

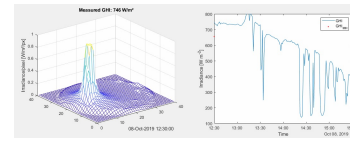
ROAD MAP DÉVELOPPEMENT TECHNOLOGIQUE



- Dépôt de brevet 14/09/2017 et publié en 2019 par le CNRS
- Dépôt logiciel « Mesure » : CNRS 10074-02 et CNRS 10074-03
- Dépôt logiciel « Prédiction » : CNRS 10074-04 et CNRS 10074-05



Nouveaux dépôts de logiciels prévus



Nouveaux dépôts de logiciels prévus

1

Maturation initial SATT AxLR - PROMES CNRS (2019-2021)

- **1^{er} dépôt de logiciel** : mesure des 3 composantes de l'éclairement solaire.
- **2^e dépôt de logiciel** : prévision à court terme du GHI (~ 20 min ; 1 ha)
- **Benchmark IEA (fin 2019)** : entre 1^{er} et 2^e système le plus performant parmi l'ensemble des participants.
- **Incubation SATT AxLR (10/2020)**
- **Partenariats industriels** : NDA Engie Green et Total, 1^{er} démonstrateur installé sur site TOTAL (fin 2020).

2

Maturation standard SATT AxLR - PROMES CNRS (2021-2023)

- **Développements logiciels** : prévision distribuée dans l'espace du GHI (~ 2 km²) et prévision sur des horizons de temps plus lointains.
- **Adaptation des algorithmes aux contraintes du temps réel**
- **Étude de robustesse SW/HW** : gestion d'erreurs, benchmark et tests de plusieurs HW.
- **Partenariats industriels** : NDA NEOEN et NEW HEAT, 2^e démonstrateur sur site NEOEN (sept. 2021) et 3^e démonstrateur sur site NEW HEAT (fin 2021). Structuration du partenariat avec ENEDIS.

3

Start-up SESA (à partir de sept. 2021)

- **Création de la start-up SESA septembre 2021.**
- **Équipe et recrutement à horizon 2024** : total de 10 personnes (3-4 pers. R&D).
- **Financement** : apports personnels, subventions (BPI, concours,...), acquisition clients, prêt d'honneur et levées de fonds.
- **Développements logiciels** : accompagnement et continuité des développements entrepris lors des programmes de maturation.

MARCHÉS (PRÉVISION)

Segments de marché



SEG 1 : Exploitants de centrales hybrides solaires PV en micro-réseaux (stockage, groupe électrogène backup). Pilotage via EMS.

Prévision destinée à améliorer le pilotage des centrales par anticipation des variations brutales de la ressource solaire

- Sécuriser l'approvisionnement des réseaux de distribution (avoir du stock au bon moment, démarrer les groupes électrogènes au bon moment, répondre aux pics de consommation...)
- Réduire la consommation en combustible des groupes électrogènes (conserver au maximum la production PV).
- Optimiser le stockage (optimisation coût CAPEX, réduire le nombre de sollicitations de la batterie pour allonger sa durée de vie...).



SEG 2 : Exploitants de centrales solaires photovoltaïques avec revente de la production sur les marchés de l'électricité

Prévision destinée à optimiser la valorisation des actifs de production

- Amélioration des revenus générés par la vente de la production sur les marchés / réduction des pénalités financières.
- Amélioration de la production des centrales PV (ex. : optimisation du pilotage des trackers solaires).



SEG 3 : Gestionnaires de réseau électrique

Prévision à l'échelle d'une zone résidentielle péri-urbaine destinée à anticiper les injections de production électrique solaire décentralisées sur le réseau BT

- Fournir des informations pertinentes aux outils de régulation des nœuds du réseau
- Réduire les coûts d'investissement de renforcement du réseau.



SOMMAIRE



1. Contexte et marchés.
2. Estimation et prévision de la ressource solaire.
 - Estimation (distribution de l'éclairement sur toute la voûte céleste).
 - Prévision à court terme du GHI.
 - Résultats.
3. Conclusions et perspectives.

ESTIMATION & PRÉVISION

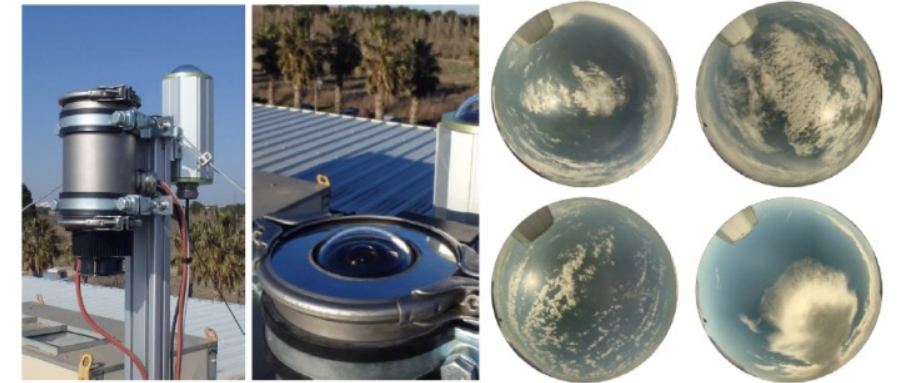
Estimation de l'éclairement sur toute la voûte céleste



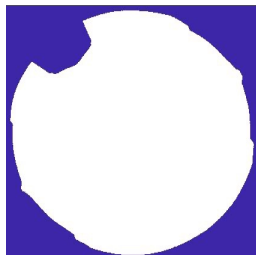
➤ Brevet déposé⁽¹⁾ → DNI, DHI, GHI

$$GHI_{CAM} = C_0 + C_1 \sum_{p \in \Lambda_1} L_p \Omega_p \cos(PZA_p)$$

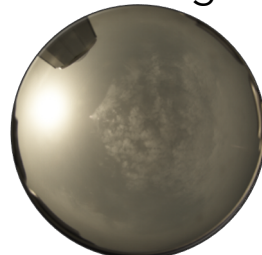
C_0, C_1 : paramètres qui dépendent des caractéristiques de la caméra



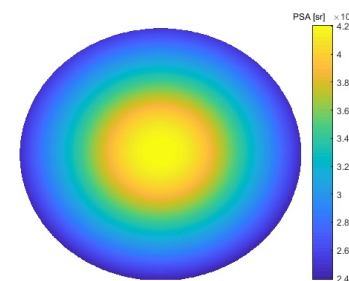
Λ_1 : masque



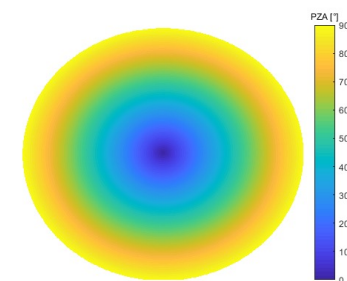
L_p : valeur du pixel (niveau de gris)



Ω_p : angle solide



PZA_p : angle zénithal



(1) Brevet déposé le 14/09/2017 - réf. FR1758549

ESTIMATION & PRÉVISION

Estimation de l'éclairement sur toute la voûte céleste



- Pour palier les phénomènes de saturation dans la zone du disque solaire, on peut compléter l'instrumentation avec un pyranomètre.
- Matériel/système : sky imager + pyranomètre



Sky imager
version (PSI4)



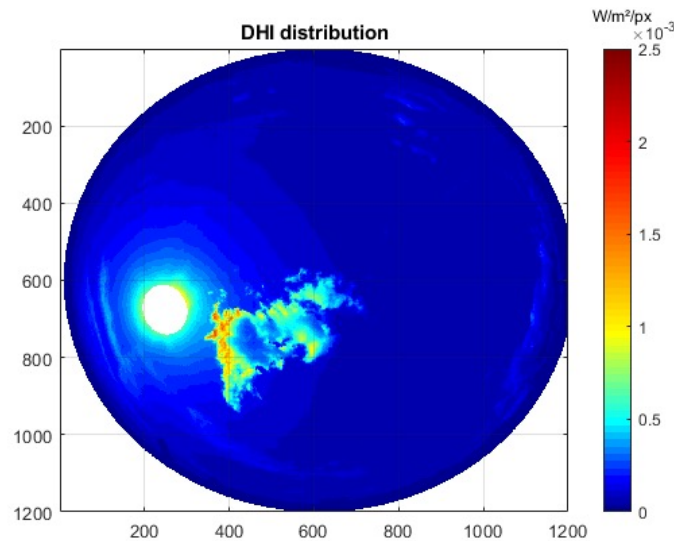
RSI

ESTIMATION & PRÉVISION

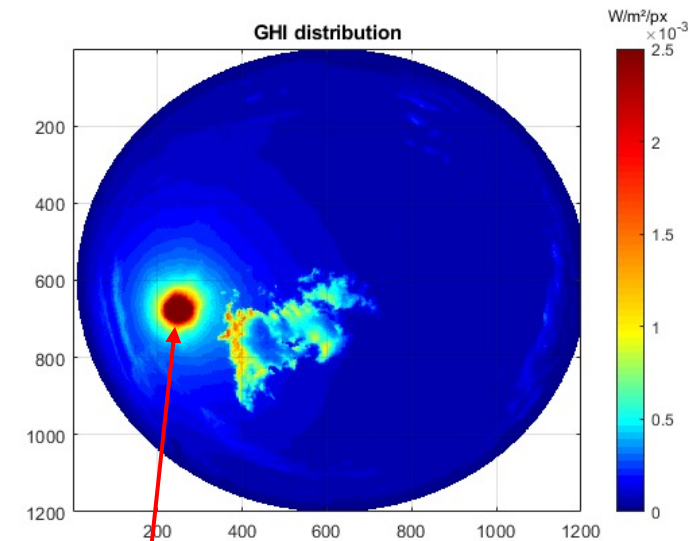
Estimation de l'éclairement sur toute la voûte céleste



- Information de plus grande qualité :
 - pour l'estimation du GTI⁽¹⁾,
 - pour la prévision du GHI et du GTI.



DHI_{PSI}



$$\text{DNI}_{\text{PSI|PYR}} = (\text{GHI}_{\text{PYR}} - \text{DHI}_{\text{PSI}}) / \cos(\text{SZA})$$

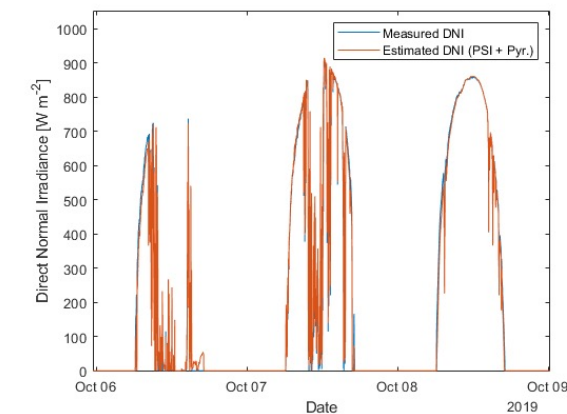
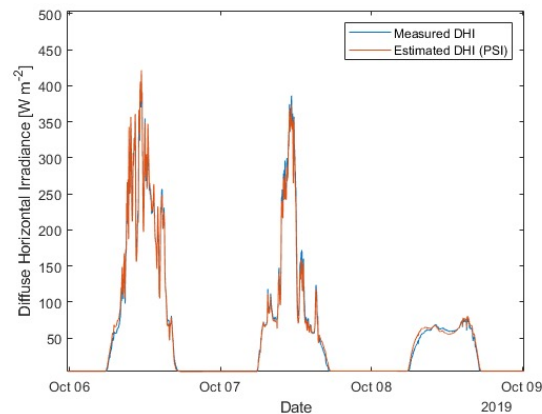
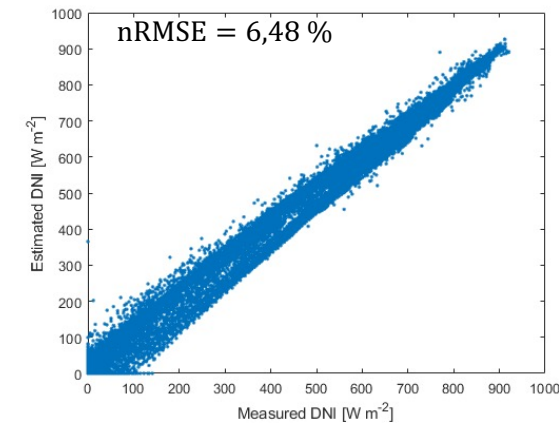
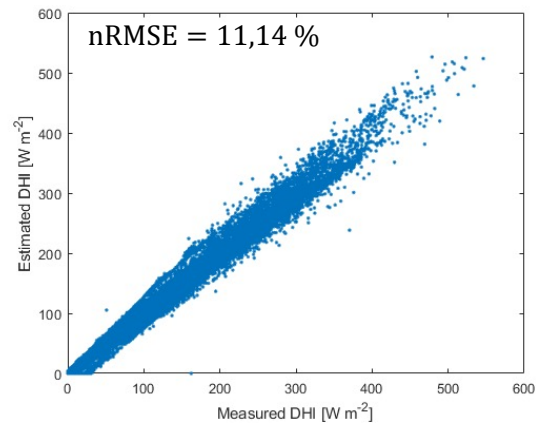
(1) GTI : Global Tilted Irradiance (Éclairement global sur plan incliné)

ESTIMATION & PRÉVISION

Estimation de l'éclairement sur toute la voûte céleste



- Calculs de DHI_{PSI} et de $DNI_{PSI|PYR}$ à partir de GHI (45 jours de données).



ESTIMATION & PRÉVISION

Estimation de l'éclairement sur toute la voûte céleste



- Faibles erreurs avec cette méthode hybride (PSI + Pyranomètre) : concurrence le RSI (coût, précision, maintenance)



PSI

8 k€ H.T.



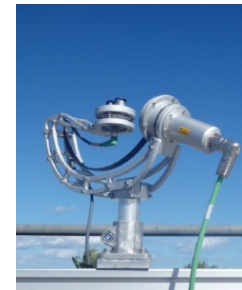
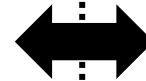
Prix actuel

(version haut de gamme)



Pyranomètre

150-300 € H.T.



RSI

7 k€ H.T.

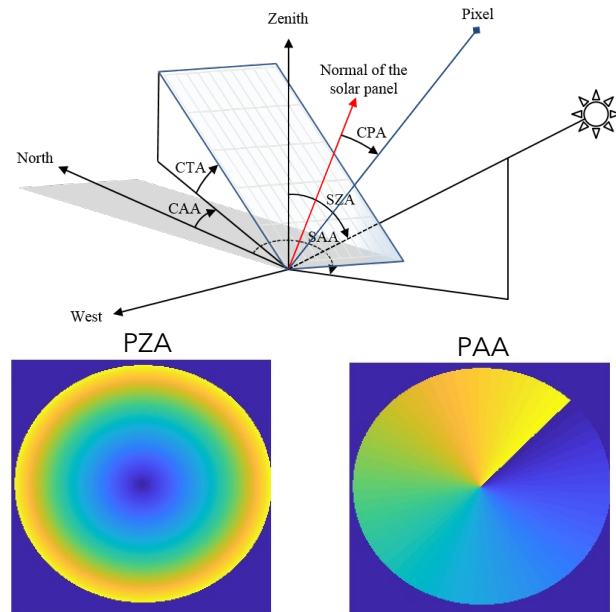
- Information plus riche pour la phase de prévision et pour le calcul du GTI.

ESTIMATION & PRÉVISION

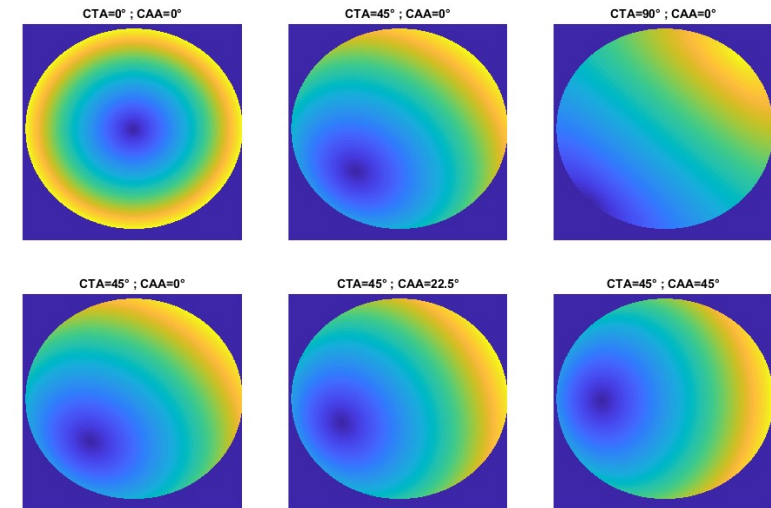
Estimation de l'éclairement reçu sur un plan incliné



➤ Estimation du GTI : calcul de la matrice CPA



Matrices
CPA :



$$CPA = \cos^{-1}(\cos(CTA) \cos(PZA) + \sin(CTA) \sin(PZA) \cos(|CAA - PAA|))$$

$$GHI_{CAM} = C_0 + C_1 \sum_{p \in \Lambda_1} L_p \Omega_p \cos(PZA_p)$$

$$GTI_{CAM} = C_0 + C_1 \sum_{p \in \Lambda_1} L_p \Omega_p \max(\cos(CPA_p), 0) + f(L_p, \alpha)$$

CAA : Cell Azimuth Angle
CPA_p : Cell Pixel Azimuth
CTA : Cell Tilted Angle

C₀, C₁ : paramètres caméra
L_p : valeur du pixel
PZA_p : Pixel Zenith Angle

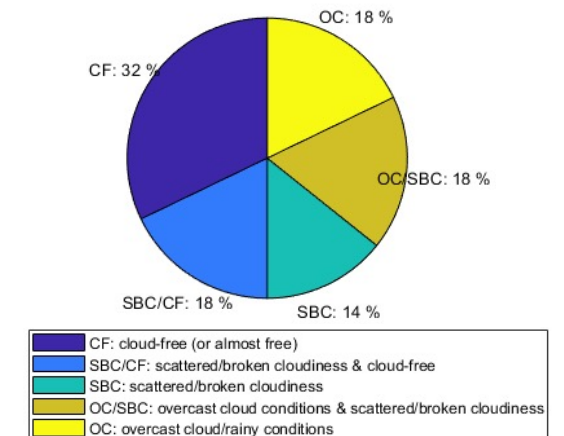
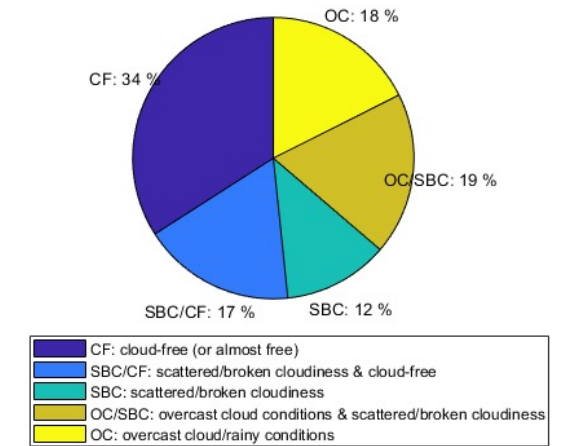
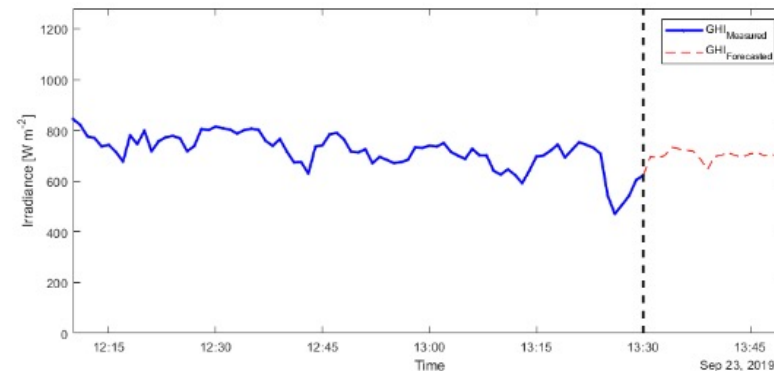
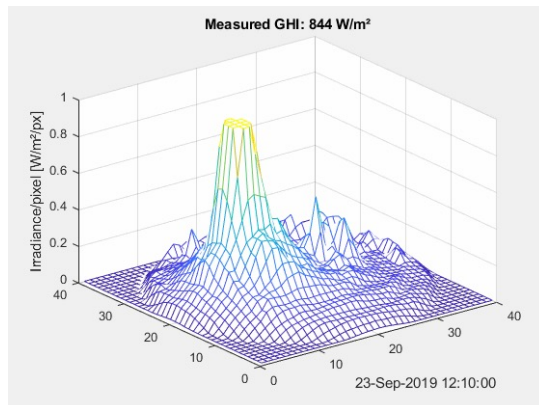
α : albédo
Λ₁ : masque
Ω_p : angle solide

ESTIMATION & PRÉVISION

Prévision à court terme du GHI



- Benchmark - PSA - Almería Espagne - 2019
- **Constat** sur 3 mois d'étude → situations très disparates
 - profondeur optique,
 - vitesse/direction, dispersion, phénomènes complexes



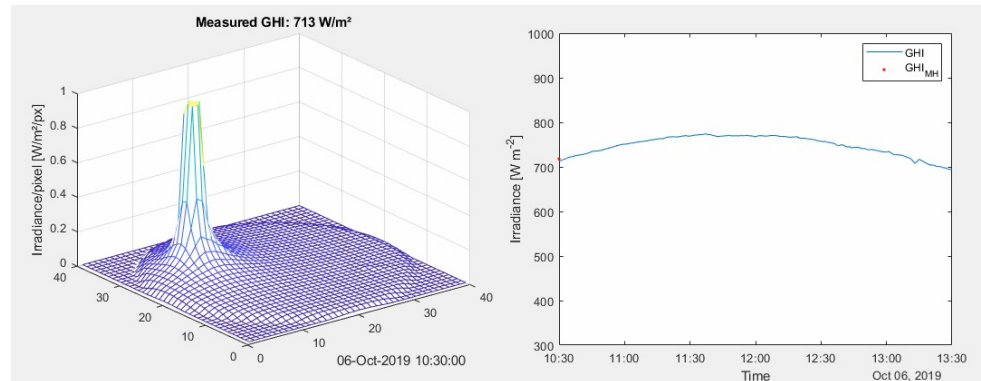
ESTIMATION & PRÉVISION

Prévision à court terme du GHI

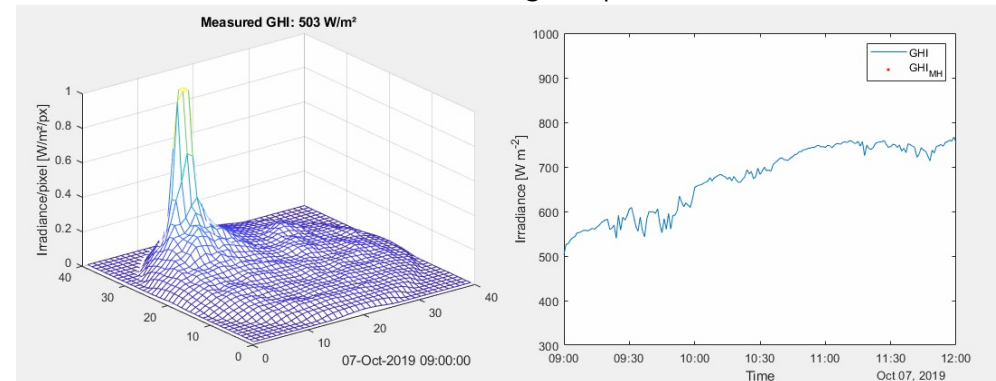


➤ Prévision du GHI (exemples)

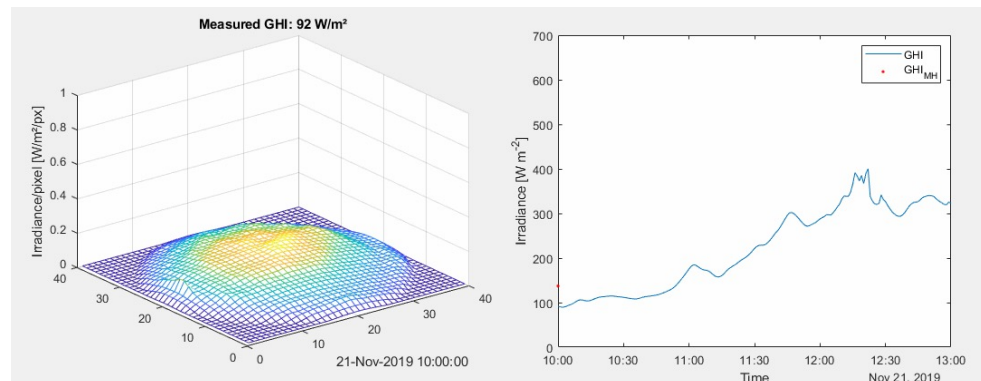
Cas ciel clair :



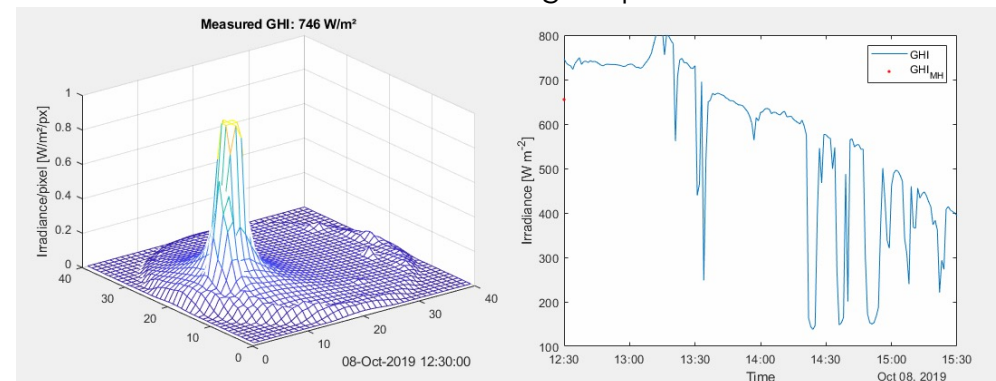
Cas nuages épars :



Cas ciel totalement couvert :



Cas nuages épars :



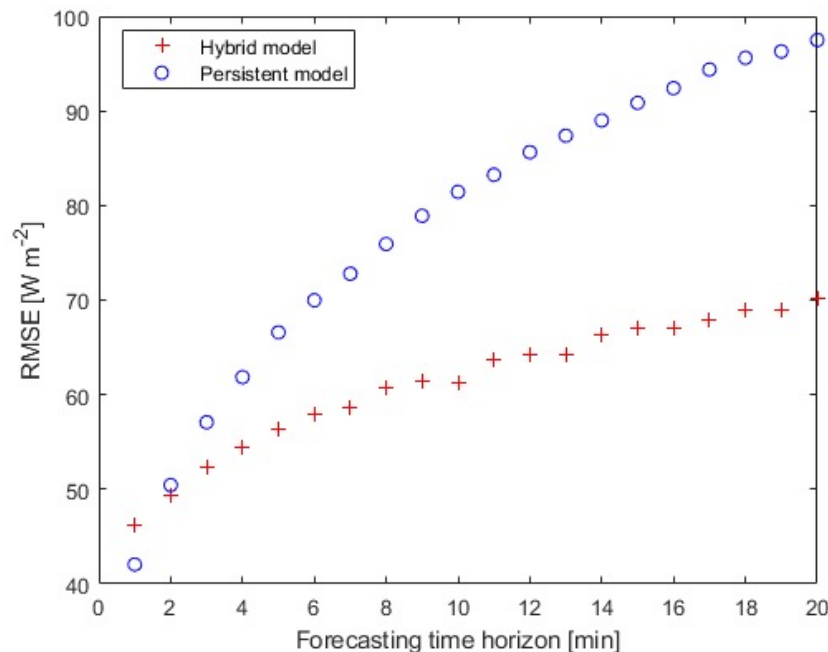
ESTIMATION & PRÉVISION

Prévision à court terme du GHI



Prévisions du GHI (bilan des résultats)

Benchmark PSA : prévision sur 28 jours de données, horizon de prévision 20 min et pas de temps 1 min



Modèle hybride plus performant que le modèle persistant pour tous les horizons supérieurs à la minute.

Résultats pouvant s'améliorer en intégrant plus de données à la phase d'apprentissage.

Résultats prometteurs pour des horizons de temps plus élevés.

SOMMAIRE



1. Contexte et marchés.
2. Estimation et prévision de la ressource solaire.
 - Estimation (distribution de l'éclairement sur toute la voûte céleste).
 - Prévision à court terme du GHI.
 - Résultats.
3. Conclusions et perspectives.

CONCLUSIONS & PERSPECTIVES



- Mise en production (passage du « hors-ligne » au « temps réel »).
 - Savoir-faire qui permet une approche modulaire (instrumentation, algorithmes).
 - Prévion de la ressource solaire est déjà très présente pour de nombreuses applications et aura tendance à se généraliser (bâtiment, *micro-grids*, *Power To Gas*).
-
- Accompagnement vers du contrôle-commande.
 - Forts développements R&D prévus les deux prochaines années.
 - Premier produit commercialisable courant 2022.

The logo for sesa, featuring the word "sesa" in a sans-serif font. The "s" is orange and the "esa" is dark blue. To the left of the text is a vertical orange bar.

Une innovation qui accompagne le déploiement massif de l'énergie solaire partout dans le monde.



Contact

contact@sesa-analytics.com

<https://sesa-analytics.com/>



Rambla de la thermodynamique
ZE Tecnosud
66100 Perpignan - France

Merci de votre attention.

Présenté par Julien Nou

Targassonne, le 27 août 2021