
Présentation du Groupe Thématique SFT *“Thermique atmosphérique et adaptation au changement climatique”*

Introduction

L'objectif principal du GT est **de créer des passerelles entre 3 communautés**, dont certaines ont souvent peu d'interactions :

- **La SFT**
- **FEDESOL**
- **TRATTORIA**

Par *passerelles*, nous entendons :

- Partage de connaissances (veille scientifique, incluant le qui fait quoi/point d'entrée sur certains sujets).
- Constitution de réseaux (échanges scientifiques, voire montage de projets, *etc*).

Afin d'introduire un peu plus ce GT, je vais ici : faire un bref historique du GT, puis décrire rapidement ses **acteurs**. Un exemple de sujet à l'interface FEDESOL/TRATTORIA sera présenté par Nicolas.

Bref historique

En 2019, dans son bulletin de liaison de septembre, le CA de la SFT note que :

“Réchauffement climatique

- Le constat est fait qu’aucun laboratoire de thermique ni la communauté thermicienne ne sont impliqués dans les études sur le climat, ce qui apparaît comme une anomalie.
- Le CA SFT a décidé de mettre en place un groupe de travail pour voir comment on peut *se rapprocher des groupes d’études sur le climat, trouver des interlocuteurs, et proposer nos compétences.”*

A cette époque, CETHIL et LAPLACE sont impliqués avec le LOA sur un projet PNTS. Je contacte la SFT pour l’en informer.

Quelques mois plus tard, on me propose d’animer le GT. J’y associe Nicolas (avec une vision “radiatiste” du GT).

Bref historique

En janvier 2020 est organisé à Météo France un atelier TRATTORIA. C'est à la suite de cet atelier que germe l'idée de croiser **SFT**, **TRATTORIA** et **FEDESOL**. Cyril nous rejoint.

Le noyau du GT appelé "Thermique atmosphérique et adaptation au changement climatique" est alors constitué.

Un groupe de discussion est mis en place afin de proposer une première journée d'étude (appel à participation dans le bulletin SFT d'avril 2020).

La première journée d'étude est organisée en novembre 2021 à l'INSA de Lyon (63 participants en mode hybride).

Bref historique

Suite à cette première initiative, une série de journées en partenariat avec le GT SFT “*Génie climatique – thermique de l’habitat*” est planifiée.

Il en résultera 3 journées d’étude inter-GT :

- en décembre 2022 à l’espace Hamelin sur le thème “Données climatiques pour le bâtiment” (41 participants).
- en décembre 2023 à la FIAP sur le thème “Température radiante en milieu urbain : mesures et modélisation” (41 participants).
- en décembre 2024 à la FIAP sur thème “Transferts convectifs en milieu urbain : mesures et modélisation”.

La SFT



- Est une association loi 1901 créée en 1961 (sous le nom de Société Française des Thermiciens).
- Devient la Société Française de Thermique en 1999.
- A pour objectifs (non exhaustif) :
 - Le développement et le rayonnement des sciences thermiques.
 - L'étude de problèmes divers, en lien direct ou indirect avec la thermique et l'énergétique.
 - La liaison entre les associations et groupements français de thermiciens, ainsi qu'avec d'autres disciplines scientifiques.
- Est constituée d'environ 450 membres individuels répartis sur environ 30 laboratoires.

La SFT

- Est constituée de 19 groupes thématiques (GT) couvrant un champs larges de domaines de la thermique (en termes d'échelles spatiales et de températures et d'applications).
- Le GT "*Thermique atmosphérique et adaptation au changement climatique*" est le petit dernier (sauf si un GT IA a été créé depuis).

TRATTORIA



- Rassemble une communauté autour d'ateliers consacrés aux codes de **transfert radiatif dans l'atmosphère terrestre** pour les applications de **télédétection spatiale**, de l'ultraviolet aux micro-ondes.
- Ces codes sont indispensables pour la **préparation des instruments de télédétection**, ainsi que pour le **traitement et l'exploitation des données satellites**.
- Les ateliers passés ont eu lieu sous l'impulsion de la **Direction des Programmes du CNES** (Fontainebleau en 2008, Villeneuve d'Ascq en 2015, Toulouse en 2020 – prochain 2025 ?)

TRATTORIA

Les objectifs des ateliers sont :

- d'évaluer les besoins des utilisateurs français et européens (météorologues et climatologues, agences spatiales, sociétés d'algorithmes) en **codes de transfert radiatif** sur les 5 ou 10 prochaines années. **Restreint à l'atmosphère terrestre.**
- recenser les codes actuels en les classant en fonction de leurs caractéristiques, présenter leurs évolutions et leurs champs d'applications.
- faire se croiser les communautés utilisatrices et mieux faire connaître les codes et bases de données associées, en particulier ceux soutenus par le CNES dans le cadre de ses propres missions scientifiques.

TRATTORIA

L'atelier se composait d'exposés de synthèse, de posters et de tables rondes.

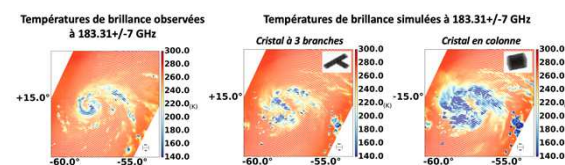
Tableau 2. Liste des présentations et tables rondes.

Titre	Intervenants (affiliation)
Présentations orales	
Présentation introductive et programmatique	A. Deschamps (Cnes), P. Tabary (Cnes) et E. Defer (LA)
Panorama des codes de transfert radiatif et état des derniers développements	R. Armante (LMD) et P. Dubuisson (LOA)
De l'intérêt d'une bonne spectroscopie pour connaître l'atmosphère	J.-M. Hartmann (LMD) et E. Turner (MetOffice)
Diffusion et particules	H. Herbin (LOA) et P. Chambon (CNRM)
Approches directe/inverse pour la restitution couplée de la composition atmosphérique et les propriétés de la surface	J. Cuesta (Lisa) et D. Carrer (CNRM)
Application à la météorologie opérationnelle et à la modélisation du climat	Q. Libois et J. Vidot (CNRM)
Modélisation tridimensionnelle du transfert radiatif pour des scènes terrestres naturelles	P. Chervet (Onera) et F. Szczap (LaMP)
Utilisation du transfert radiatif par les agences spatiales	C. Pierangelo (Cnes) et B. Fougnie (Eumetsat)
Tables rondes	
Particules : aérosols et nuages	J. Riedi (LOA) et P. Formenti (Lisa)
Lien entre modèles et transfert radiatif	V. Guidard (CNRM) et L. Landier (Cnes)
Instruments actifs : lidar et radar	V. Noël (LA) et P. Chambon (CNRM)
Codes de transfert radiatif rapides	C. Cornet (LOA) et J. Vidot (CNRM)
Spectroscopie	C. Crevoisier (LMD) et A. Deschamps (Cnes)
Corrections atmosphériques	M. Chami (Latmos) et O. Hagolle (Cesbio)

Cesbio, Centre d'études spatiales de la biosphère
Eumetsat, Organisation européenne pour l'exploitation des satellites météorologiques
LA, Laboratoire d'aérodynamique
LaMP, Laboratoire de météorologie physique
Latmos, Laboratoire atmosphères, milieux, observations spatiales
Lisa, Laboratoire interuniversitaire des systèmes atmosphériques
LMD, Laboratoire de météorologie dynamique
LOA, Laboratoire d'optique atmosphérique
MetOffice, Meteorological Office
Onera, Office national d'études et de recherches aérospatiales



Trattoria 2020 a réuni plus d'une centaine de personnes



À gauche : Observations issues du radiomètre micro-ondes GMI à bord du satellite américano-japonais GPM-Core, pour le canal 183.31 +/- 7 GHz. Le cyclone observé est le cyclone Maria dans le bassin de l'Atlantique Nord, le 18 Septembre 2017. À droite : deux simulations de températures de brillance, à partir de prévisions du modèle AROME-Antilles de Météo-France. Les simulations ont été réalisées avec le code de transfert radiatif RTTOV-SCATT Version 12, pour deux formes de cristaux différentes afin de représenter les propriétés radiatives de la neige.

TRATTORIA

Pour plus de details

L'ensemble des présentations (captations vidéo) est disponible sur les [sites](#).

Article dans La Météorologie : Dubuisson, Philippe ; Deschamps, Adrien. *Troisième atelier Trattoria consacré au transfert radiatif atmosphérique*. La Météorologie, 113, 19-34, 2021. [10.37053/lameteorologie-2021-0041](https://doi.org/10.37053/lameteorologie-2021-0041)

<http://www.meteo.fr/cic/meetings/2020/trattoria/trattoria2015.html>

<http://www-loa.univ-lille1.fr/workshops/Trattoria-2015/>

<http://www.meteo.fr/cic/meetings/2020/trattoria/>



FEDESOL

Est structurée autour de 5 axes :

- **Optimisation de la collecte et stratégie de conversion de la ressource.**
- **Bâtiments et villes solaires.**
- Concentration et solaire thermodynamique.
- Photo-procédés.
- Stockage et gestion de l'intermittence.

[un exemple de travail à l'interface avec TRATTORIA sera présenté par Nicolas]

Conclusion

L'activité principale du GT, depuis sa création il y a 4-5 ans, est de proposer une animation scientifique via la mise en place de journées d'étude (... *se rapprocher des groupes d'études sur le climat, trouver des interlocuteurs, et proposer nos compétences*).

Les thèmes développés ces dernières années ont un peu déplacé le curseur vers la SFT, même si les participants viennent aussi d'autres communautés. Un recentrage à l'interface SFT / FEDESOL / TRATTORIA est envisagé à court terme.

N'hésitez pas à nous soumettre des thèmes de journées. Nous ferons notre possible pour répondre positivement à vos demandes. Notre objectif principal est d'être utile.

MERCI POUR VOTRE ATTENTION !

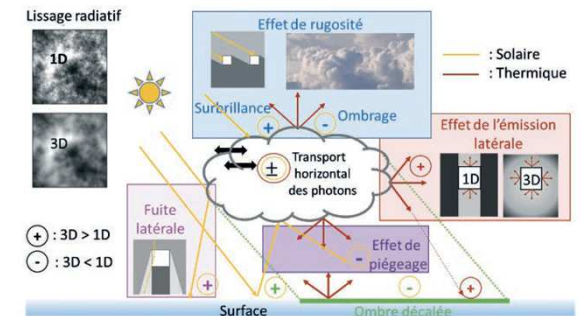


Figure 5.1. Illustration des principaux effets radiatifs 3D des nuages. La théorie du transfert radiatif 1D, par essence, ne prend pas en compte le transport horizontal des photons (flèches noires horizontales), dont les effets sont plus importants dans le domaine visible (traits jaunes) que thermique (traits rouges). Dans le visible, ce processus est à l'origine du lissage radiatif (quand le soleil est au zénith, le champ de luminances 3D d'un nuage est plus lisse qu'en 1D), de l'effet de rugosité (quand l'angle d'incidence solaire est élevé, le champ de radiance 3D apparaît plus rugueux qu'en 1D en lien avec les phénomènes de surbrillance et d'ombrage), de l'effet de fuite en bord de nuage (contribuant par exemple à une augmentation de l'éclairement au sol) et à l'effet de piégeage (des photons peuvent être piégés entre la base du nuage et le sol ou entre différentes couches nuageuses et ne plus contribuer à la luminance zénithale). Dans le thermique, le principal effet radiatif 3D des nuages est l'émission thermique du bord des nuages qui peut contribuer, par exemple, à une augmentation significative du rayonnement à la surface.

Pas de logo TRATTORIA pour l'instant
Mais structuration en réseau thématique
Envisagée...depuis au moins 2015.

Activité de recherche sur la ressource solaire dans un laboratoire « TRATTORIA » : exemple du Laboratoire d'Optique Atmosphérique (Université de Lille/CNRS)

Objectifs

Soutien/Collaboration

Exploitation de mesures sol du LOA

Simulation du rayonnement ciel clair et pristine

Classification des scènes et analyse des variabilités observées

Activité de recherche sur la ressource solaire dans un laboratoire « TRATTORIA » : exemple du Laboratoire d'Optique Atmosphérique (Université de Lille/CNRS)

Objectifs (actuels) :

Contribuer à **décrire l'environnement solaire** en surface en conditions réelles :
obtenir des **climatologies solaires** détaillées (flux sur des surfaces horizontale ou inclinée, composantes direct/diffus/global ; contenu spectral) à partir de mesures sol, globale ou **par type de situation**

Analyser la **sensibilité** du rayonnement solaire au contenu atmosphérique

Analyser ses variabilités (« extrêmes » , tendance temporelle) récente et future, développement d'une analyse multivariée

Analyse des **situations complexes** très énergétiques CSWC (clear sun with **cloud**)

Activité de recherche sur la ressource solaire dans un laboratoire « TRATTORIA » : exemple du Laboratoire d'Optique Atmosphérique (Université de Lille/CNRS)

Soutien / Collaboration :

Laboratoire : pas un thème historique : recherche sur le 'Solaire' depuis ~2015
thème émergeant au laboratoire (évaluation HCERES 2024)
moyens instrumental (plateforme ATOLL) et humain (AI, IE, IR)

Tutelle : Programme LEFE-IMAGO (INSU)

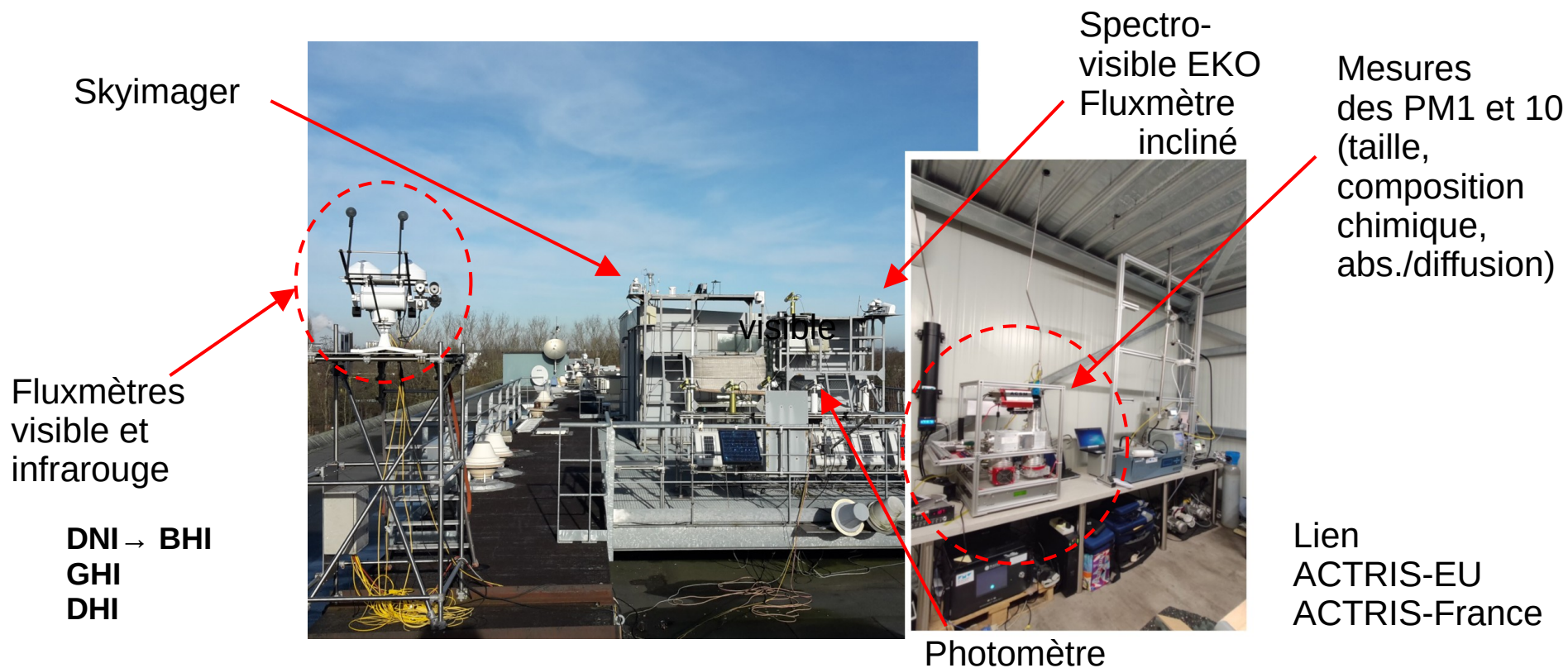
Soutien région HdF et ADEME :

- Thèse région HdF/ADEME financée en 2020-2023 sur « Environnement solaire et pollutions atmosphériques particulières en région Hauts-de-France : évolution récente et scénarios futurs » : soutenu en déc. 2023, Gabriel Chesnoiu (→ postdoc O.I.E. Mines Paris)
- CPER Climibio et ECRIN : financement d'instruments, postdoc PP à venir

Collaboration : Hygeos (Lille) → code de transfert radiatif et leur validations,
applications, thèse CIFRE
CNRM (MétéoFrance) → scénario futur
L2EP (Uilille)
Acteurs du solaire en région) → passerelle vers PV

Activité de recherche sur la ressource solaire dans un laboratoire « TRATTORIA » : exemple du Laboratoire d'Optique Atmosphérique (Université de Lille/CNRS)

Exploitation de mesures sol du LOA plateforme ATOLL (ATmospheric Observations in LiLle)



Activité de recherche sur la ressource solaire dans un laboratoire « TRATTORIA » : exemple du Laboratoire d'Optique Atmosphérique (Université de Lille/CNRS)

Exploitation de mesures sol continues du LOA

plateforme ATOLL (ATmospheric Observations in LiLle)

rayonnement → kit Kipp&Zonen (depuis 2009, 1 min : DNI, GHI, DifHI)
+ pyranomètre incliné

photomètre → réseau AERONET (depuis 2000)
contenu de la colonne en aérosols, et vapeur d'eau

skyimager → depuis 2009 ; intégration en cours (validation de filtres,
vers l'obtention de la fraction nuageuse)

exploitation d'un lidar → classement des couvertures nuageuses
(synergie lidar/fluxmètre)

Activité de recherche sur la ressource solaire dans un laboratoire « TRATTORIA » : exemple du Laboratoire d'Optique Atmosphérique (Université de Lille/CNRS)

Simulation du rayonnement ciel clair et pristine

Code 'maison' ARTDECO (accès libre, sur <https://www.icare.univ-lille.fr/>)

- banque de propriétés radiatifs (aérosol, nuage)
- différentes résolutions spectrales (kdis. 32, 128, ...)
- différentes résolutions de l'ETR (DISORT, adding-doubling, MC)
- SW et LW
- version SOLARTDECO dédiée au solaire

Précision obtenue pour SOLARTDECO

Analyse de l'effet radiatif des aérosols

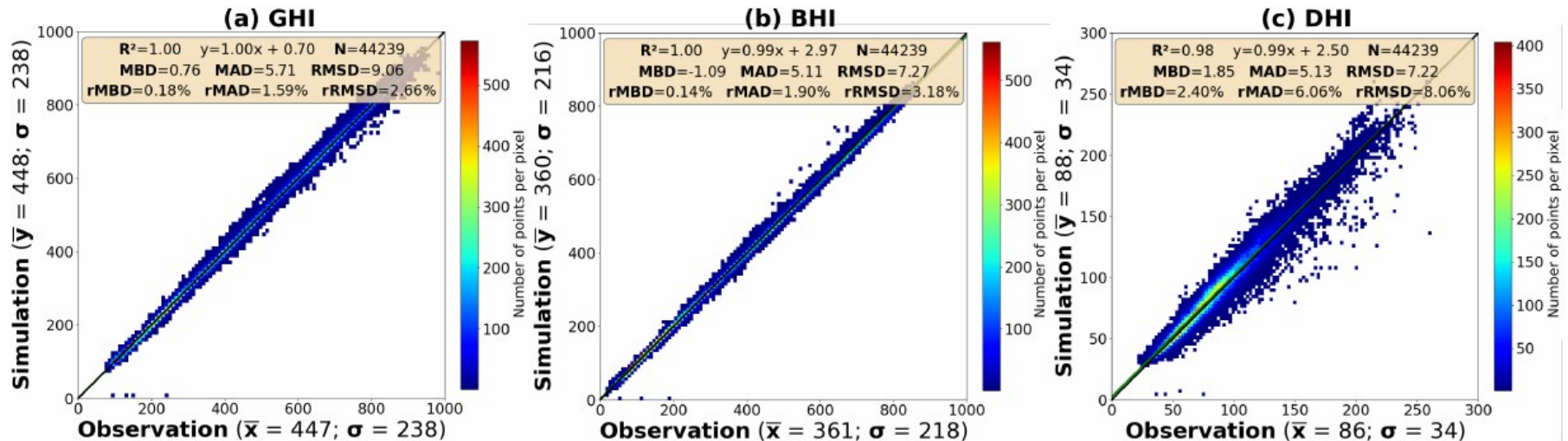
Analyse de sensibilité

Activité de recherche sur la ressource solaire dans un laboratoire « TRATTORIA » : exemple du Laboratoire d'Optique Atmosphérique (Université de Lille/CNRS)

Simulation du rayonnement ciel clair et pristine

Précision obtenue pour SOLARTDECO

Mesures LOA - ciel clair – 2010/2022 – input : AERONET level2.0



Activité de recherche sur la ressource solaire dans un laboratoire « TRATTORIA » : exemple du Laboratoire d'Optique Atmosphérique (Université de Lille/CNRS)

Simulation du rayonnement ciel clair et pristine

Analyse de l'effet radiatif des aérosols en ciel clair

DRE of aerosols in CSKY conditions in Lille (2010- 2022)			
	$(W/m^2) [\%] < \frac{W/m^2}{\text{unit of } AOD_{440}} >$		
	GHI	BHI	DHI
Total	(-19.7) [-5.5] <-125>	(-61.4) [-17.5] <-379>	(41.7) [91.7] <254>
Winter	(-15.6) [-6.4] <-158>	(-37.9) [-18.3] <-386>	(22.3) [59.8] <227>
Spring	(-21.4) [-5.9] <-116>	(-68.3) [-19.1] <-377>	(46.8) [101.7] <261>
Summer	(-18.8) [-4.8] <-120>	(-62.7) [-16.4] <-376>	(43.9) [93.5] <256>
Autumn	(-19.2) [-5.5] <-139>	(-53.7) [-15.9] <-385>	(34.5) [80.2] <245>
Continental	(-15.0) [-4.0] <-129>	(-43.2) [-11.7] <-362>	(28.2) [61.5] <233>
Continental polluted	(-31.6) [-8.7] <-105>	(-98.6) [-27.5] <-326>	(67.0) [144.4] <221>
Mixed	(-22.3) [-6.2] <-120>	(-73.8) [-21.2] <-396>	(51.5) [112.6] <276>
Maritime	(-11.5) [-4.2] <-152>	(-36.2) [-14.7] <-463>	(24.7) [61.3] <311>
Desert dusts	(-25.4) [-6.2] <-126>	(-92.1) [-21.2] <-456>	(66.7) [149.3] <330>
Clean	(-10.5) [-2.9] <-144>	(-30.1) [-9.2] <-403>	(19.6) [45.8] <259>
Polluted	(-23.2) [-6.4] <-118>	(-73.5) [-20.7] <-369>	(50.2) [109.5] <252>

$$DRE_{aer, CSKY} = F_{meas} - F_{pristine}$$

$$DREE_{aer, CSKY} = \frac{DRE_{aer, CSKY}}{AOD_{440}}$$

Chesnoiu et al (2024a, ACP)

Activité de recherche sur la ressource solaire dans un laboratoire « TRATTORIA » : exemple du Laboratoire d'Optique Atmosphérique (Université de Lille/CNRS)

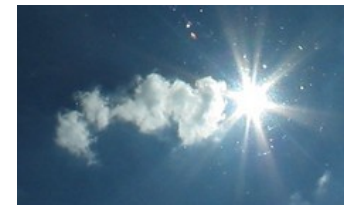
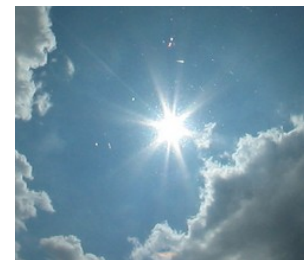
Classification des scènes et analyse des variabilités observées

classement des situations en aérosols (AOD440 et AE ; 6 classes)

classement trinaire des situations solaires → focus en particulier
CSKY, CSWC, CSUN sur les scènes CSWC
(filtres Garcia et al (2014) et Batlles et al (2000))

climatologie et analyse multivariée des variabilités

CSKY = Clear SKY
CSWC = Clear Sun With Cloud
CSUN = Cloudy SUN



Activité de recherche sur la ressource solaire dans un laboratoire « TRATTORIA » : exemple du Laboratoire d'Optique Atmosphérique (Université de Lille/CNRS)

Classification des scènes et analyse des variabilités observées

classement des situations en aérosols (AOD440 et AE ; 6 classes)

classement trinaire des situations solaires → focus en particulier
CSKY, CSWC, CSUN sur les scènes CSWC
(filtres Garcia et al (2014) et Batlles et al (2000))

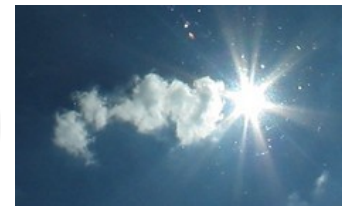
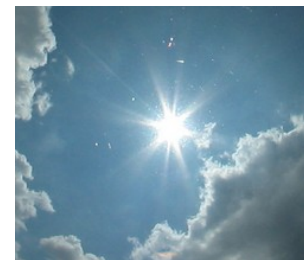
climatologie et analyse multivariée des variabilités

$$F_{ASKY} = \sum_k F_k \times freq_k$$

$$\frac{dF_{ASKY}}{dt} = \sum_k \left(\frac{dF_k}{dt} \times freq_k + F_k \times \frac{dfreq_k}{dt} \right)$$

$$F_{clear} = \sum_i F_i \times freq_i$$

$$\frac{dF_{clear}}{dt} = \sum_i \left(\frac{dF_i}{dt} \times freq_i + F_i \times \frac{dfreq_i}{dt} \right)$$
$$\frac{dF_i}{dt} = \sum_x \left[\frac{\partial F}{\partial x} \right]_i \times \frac{dx_i}{dt}$$

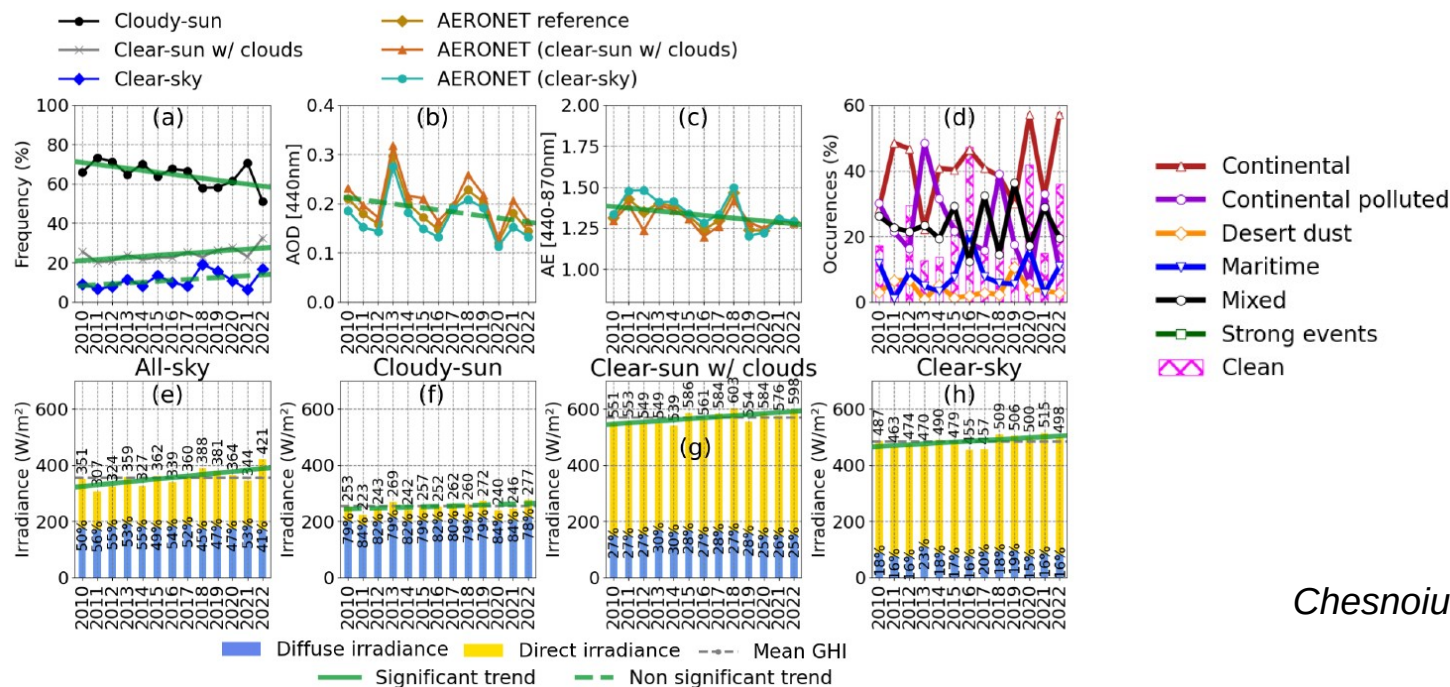


Activité de recherche sur la ressource solaire dans un laboratoire « TRATTORIA » : exemple du Laboratoire d'Optique Atmosphérique (Université de Lille/CNRS)

Classification des scènes et analyse des variabilités observées

climatologie et analyse multivariée des variabilités

yearly variations in summer between 2010 and 2022.



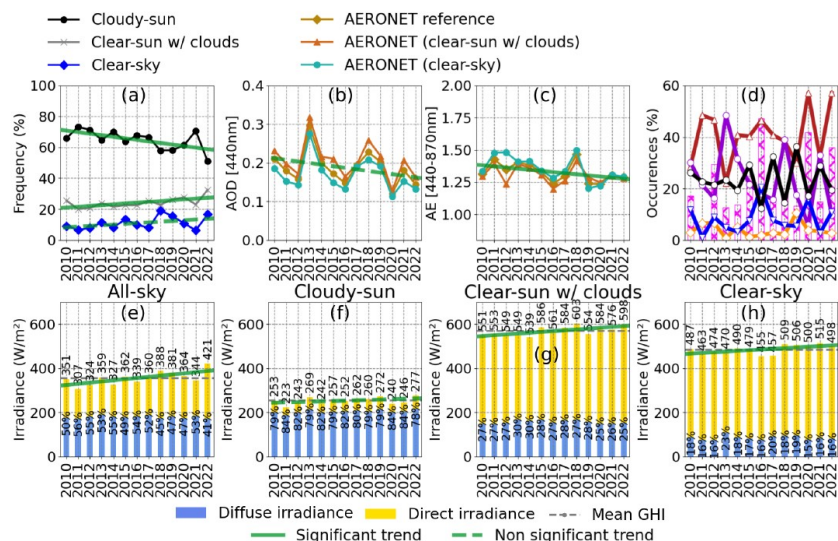
Chesnoiu et al (2024a, ACP)

Activité de recherche sur la ressource solaire dans un laboratoire « TRATTORIA » : exemple du Laboratoire d'Optique Atmosphérique (Université de Lille/CNRS)

Classification des scènes et analyse des variabilités observées

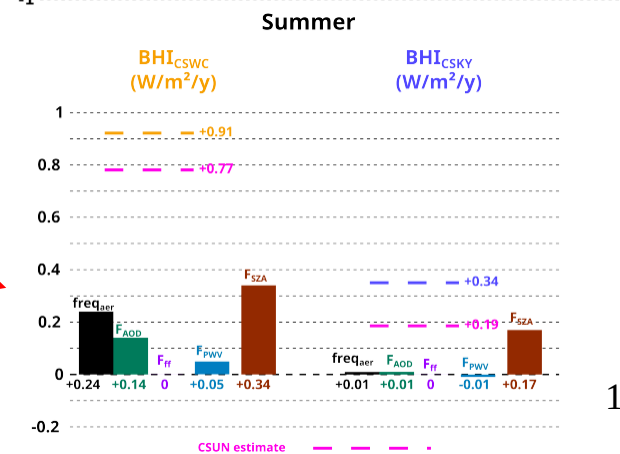
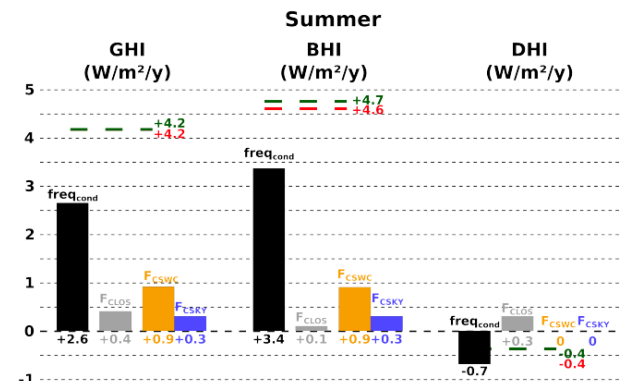
climatologie et analyse multivariée des variabilités

yearly variations in summer between 2010 and 2022.



Importance de la variation des situations d'ensoleillement

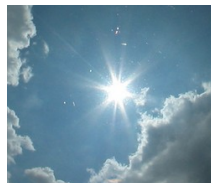
Effets angulaires non négligeables



Activité de recherche sur la ressource solaire dans un laboratoire « TRATTORIA » : exemple du Laboratoire d'Optique Atmosphérique (Université de Lille/CNRS)

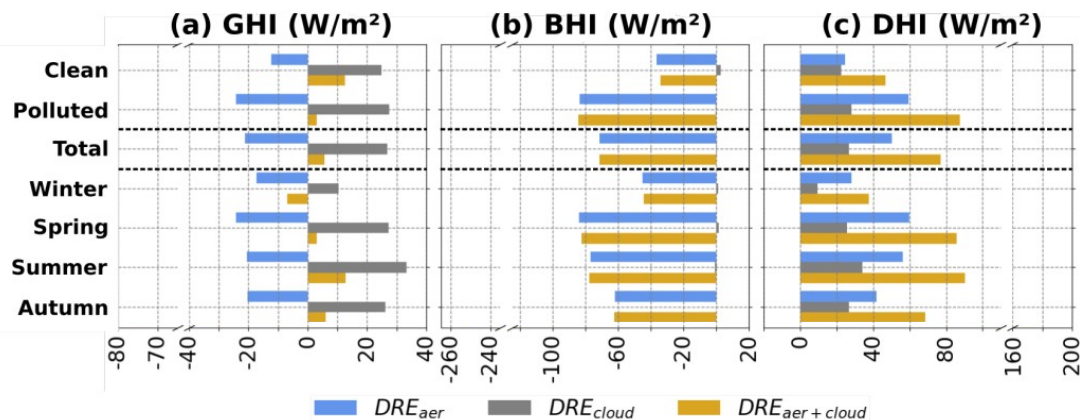
Classification des scènes et analyse des variabilités observées

analyse des situations CSWC



Direct Radiative Effects

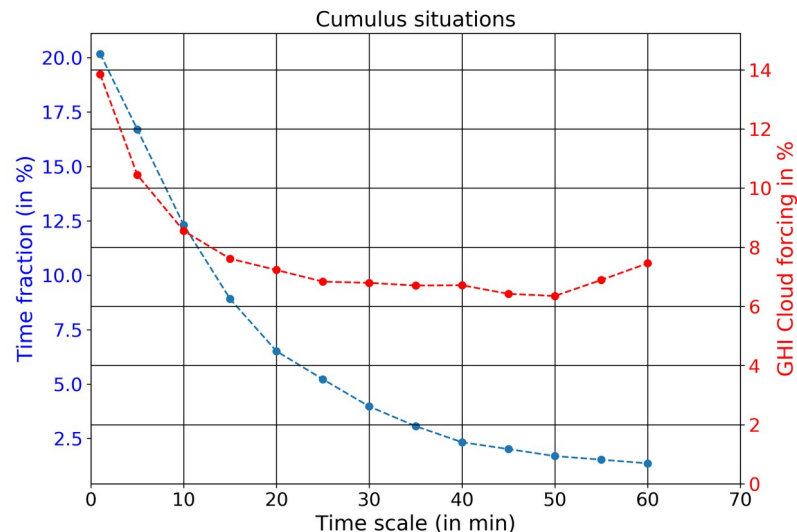
$$DRE_{all} = F_{meas} - F_{pristine} = F_{meas} - F_{csky} + F_{csky} - F_{pristine}$$



➡ $GHI_{CSWC} \geq$ niveau pristine (ie 20 % du temps) !

Chesnoiu et al (2024a, ACP)

Evolution des forçages radiatifs nuageux *positifs* avec la moyenne temporelle



Ferlay et al (2022, IRS)

Conclusions :

Thème émergeant au LOA mais longue archive de mesures continues (solaire, aérosols, nuages)
Premiers résultats intéressants concernant les climatologies
(tendance ; CSWC : Irradiance Enhancement)

Ouvert à des collaborations (climatologie, validation de paramétrisations, test de modélisation,
performance de modules PV)

Dataper publié Chesnoiu et al (2024)
Chesnoiu et al (2024a,b, ACP, en révision)

Perspectives

Poursuite d'analyse des situations nuageuses avec effet de surbrillance

Intégration des informations du skyimager (taux de couverture nuageuse)

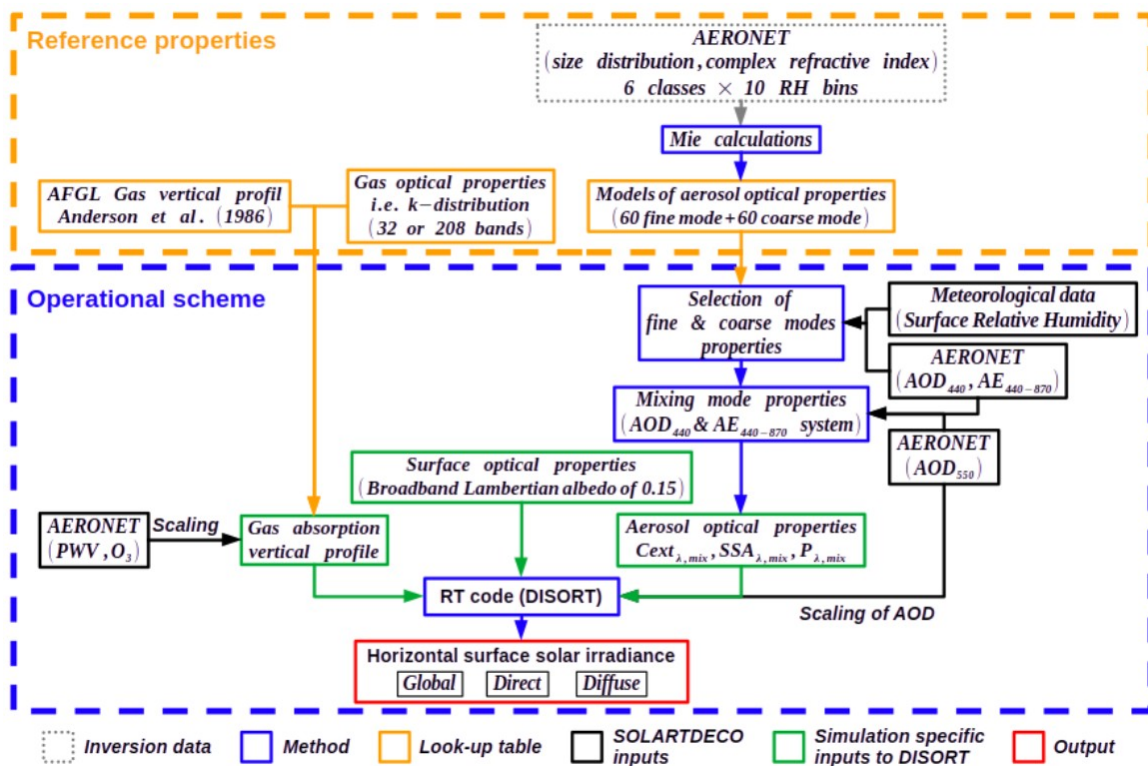
Passage au spectral : mesures : kit EKO MS711 + RSB01 (depuis 2023)
Outil de modélisation : développement et validation à venir

Actualités : **recherche de postdoc : 13 mois à partir de l'automne/hiver 2024**
(APP CPER ECRIN LOA/Hygeos) **Me contacter !**

Activité de recherche sur la ressource solaire dans un laboratoire « TRATTORIA » : exemple du Laboratoire d'Optique Atmosphérique (Université de Lille/CNRS)

Simulation du rayonnement ciel clair et pristine

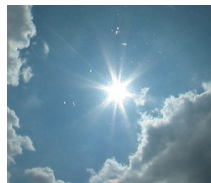
Code maison SOLARTDECO



Activité de recherche sur la ressource solaire dans un laboratoire « TRATTORIA » : exemple du Laboratoire d'Optique Atmosphérique (Université de Lille/CNRS)

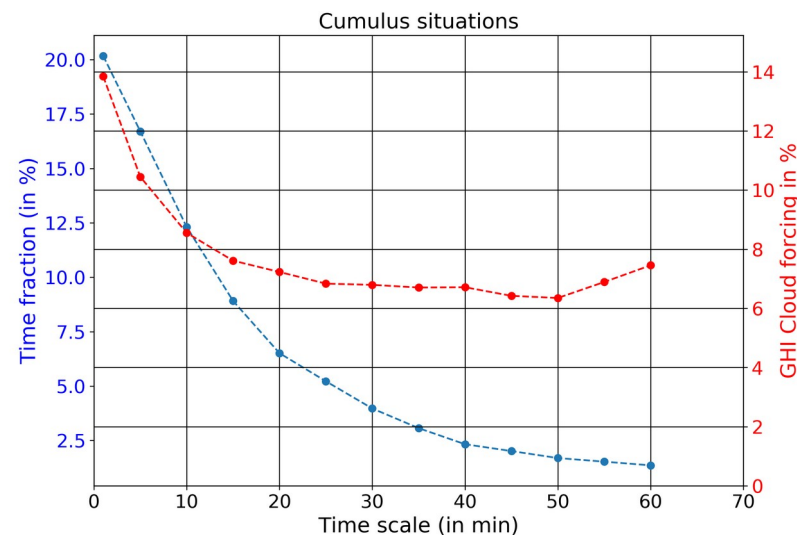
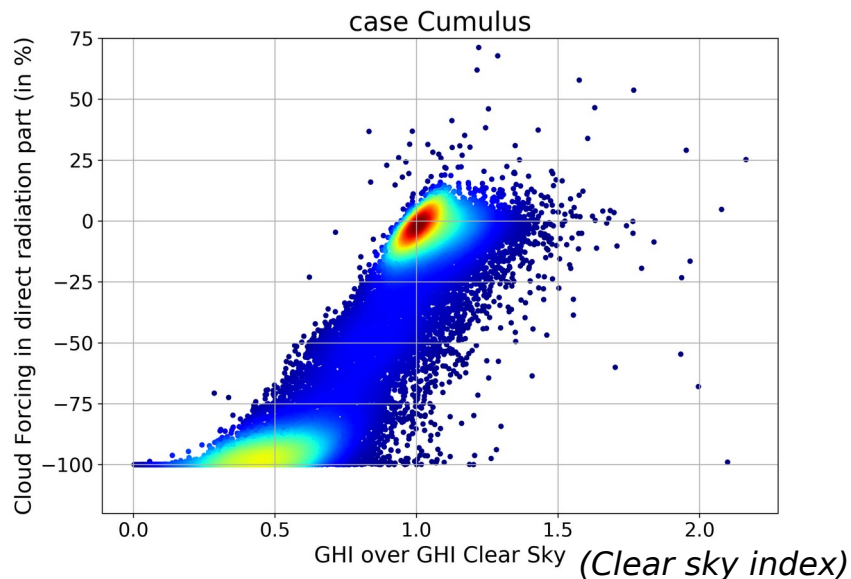
Classification des scènes et analyse des variabilités observées

analyse des situations CSWC



*Analyse du flux solaire et du forçage radiatif nuageux
en surface par type de couvertures nuageuses*

*Etude des statistiques des forçages
radiatifs nuageux positifs*



Activité de recherche sur la ressource solaire dans un laboratoire « TRATTORIA » : exemple du Laboratoire d'Optique Atmosphérique (Université de Lille/CNRS)

Simulation du rayonnement ciel clair et pristine

Analyse de sensibilité

Logarithmic sensitivities

	GHI	BHI	DHI
SZA (°)	-2.47e+00	-2.80e+00	-1.18e+00
AOD₅₅₀	-4.92e-02	-1.67e-01	4.08e-01
SSA₅₅₀	1.71e-01	0.00e+00	8.38e-01
ff	1.59e-03	2.18e-02	-7.69e-02
H_{aer} (km)	-2.12e-04	0.00e+00	-1.04e-03
RH (%)	2.81e-03	-3.98e-04	1.53e-02
PWV (cm)	-5.68e-02	-6.68e-02	-1.78e-02
O₃ (DU)	-2.74e-02	-2.41e-02	-4.01e-02
O₂ (ppmv)	-7.55e-03	-8.03e-03	-5.69e-03
CO₂ (ppmv)	-2.64e-03	-3.25e-03	-2.55e-04
α	1.30e-02	0.00e+00	6.34e-02

(a)

Δ par coefficient de variation

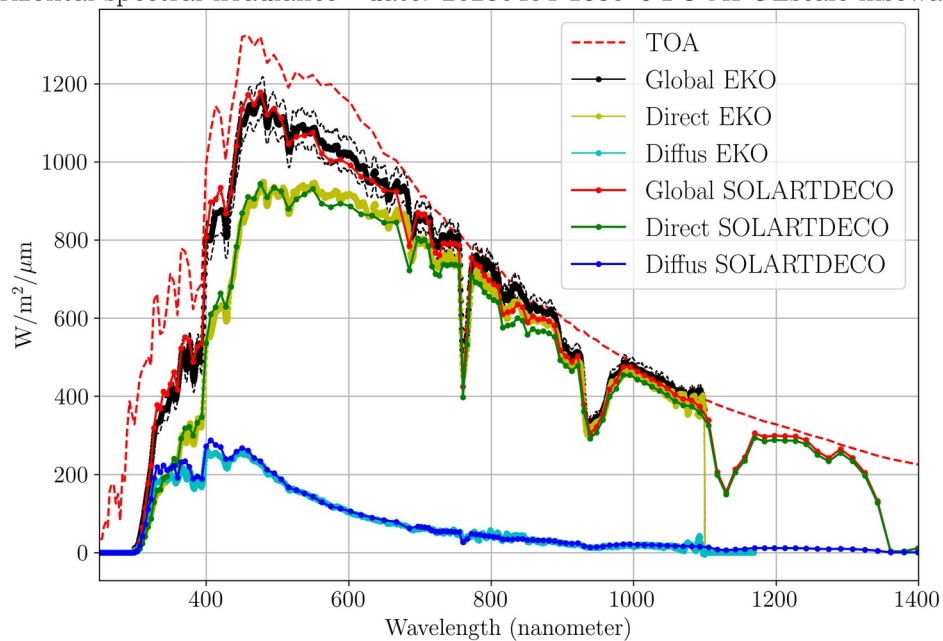
	GHI	BHI	DHI
SZA (°)	-58.6	-66.5	-28.0
AOD₅₅₀	-3.0	-10.3	25.1
SSA₅₅₀	0.6	0.0	2.7
ff	0.0	0.5	-1.9
RH (%)	0.1	-0.0	0.5
PWV (cm)	-2.6	-3.0	-0.8
O₃ (DU)	-0.3	-0.2	-0.4

(b)

Activité de recherche sur la ressource solaire dans un laboratoire « TRATTORIA » : exemple du Laboratoire d'Optique Atmosphérique (Université de Lille/CNRS)

kit EKO MS711 + RSB01 (depuis 2023)

Horizontal spectral irradiance - date: 20230404 1330 UTC AFGLscale insowaso70.v



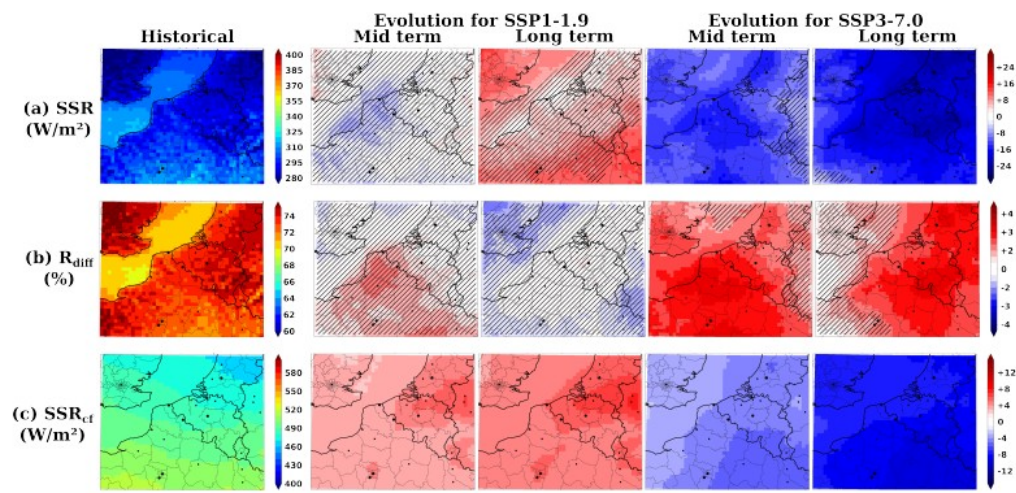


Figure 8. Maps representing the future evolution in spring for CMIP6 scenarios SSP1-1.9 and SSP3-7.0 of the daytime all-sky (a) SSR, (b) diffuse ratio (R_{diff}) and (c) cloud-free SSR (SSR_{cf}) simulated by ALADIN compared to the reference climate simulations over the period 2005-2014 (left panels). Hatched areas correspond to areas characterized by non-significant changes relative to a Student t-test with a significance level of 10%.

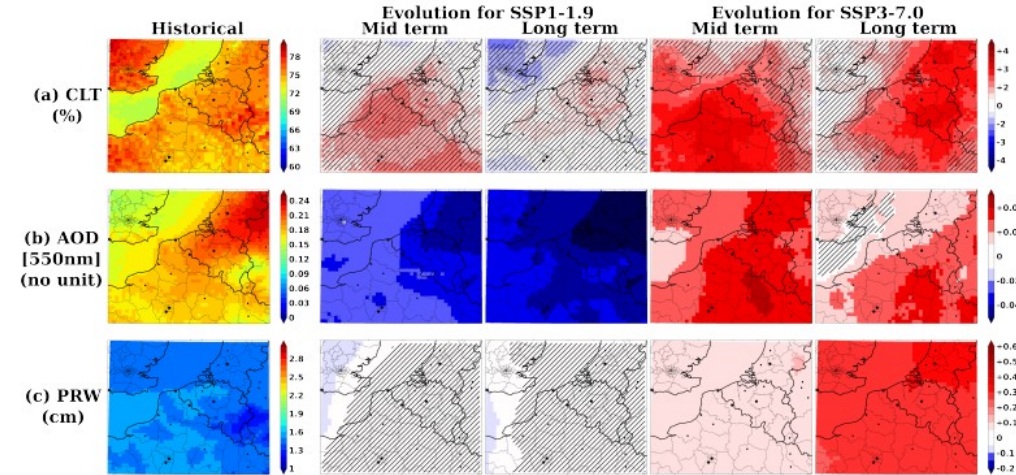


Figure 9. Maps representing the future evolution in spring for CMIP6 scenarios SSP1-1.9 and SSP3-7.0 of the daytime all-sky (a) cloud fraction, (b) AOD at 550 nm and (c) precipitable water vapor content simulated by ALADIN compared to the reference climate simulations over the period 2005-2014 (left panels). Hatched areas correspond to areas characterized by non-significant changes relative to a Student t-test with a significance level of 10%.