

Projet IMPACTS, phase préparatoire.
Suivi du projet HORIZEO, Saucats, 11 janvier 2023.

Volet 1. Observations comparatives des flux de chaleur et bilan d'énergie d'un parc photovoltaïque et d'une forêt de pins maritimes. Année 2022.

D. Loustau, C. Chipeaux, J.-L. Denou, J.-C. Domec, S. Dupont, C. Garrigou, M. Irvine, A. Kruszewski, P. Trichet.



BORDEAUX
SCIENCES
AGRO

INRAE
science for people, life & earth

Géosciences pour une Terre durable
brgm

neoen
renouvelle l'énergie

ENGIE

CIVB
BORDEAUX

AGENCE DE L'EAU
ADOUR-GARONNE

CNPF
Centre Régional
de la Propriété Forestière
NOUVELLE-AQUITAINE

**METEO
FRANCE**

ADEME
AGENCE DE LA
TRANSITION
ÉCOLOGIQUE

Contexte: phase préparatoire du projet IMPACTS



- Installation d'une station de mesure en juillet 2022 sur le parc PV de Salaunes;
(Convention INRAE – ENGIE – NEOEN)
- Station ICOS de Salles en forêt de Pins maritimes créée en 1999;
- Cofinancements INRAE, BRGM, ADEME et Bordeaux-Sciences Agro (Thèses, post Doc)
- Installation station Vignoble en 2023 (convention CIVB).
(Conventions avec CIVB, AEAG)
- Inauguration officielle de IMPACTS en octobre 2023, mise en place gouvernance participative
- Modélisation microclimatique et hydrologique du paysage Forêt – parc PV – Vigne en 2024-25.

Approches et méthodes

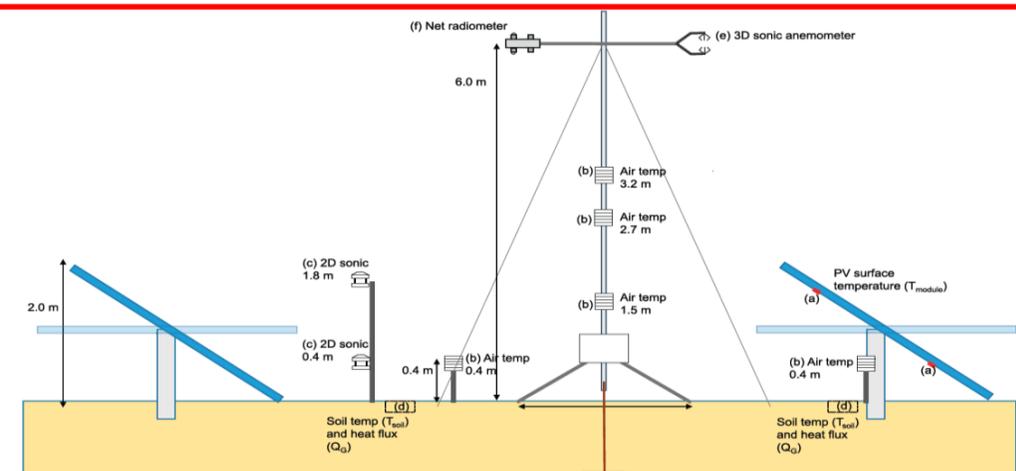


Volet 1. Observations et suivi comparatif

Forêt, parc photovoltaïque, Vigne

Instruments et méthodes aux standards ICOS-RI

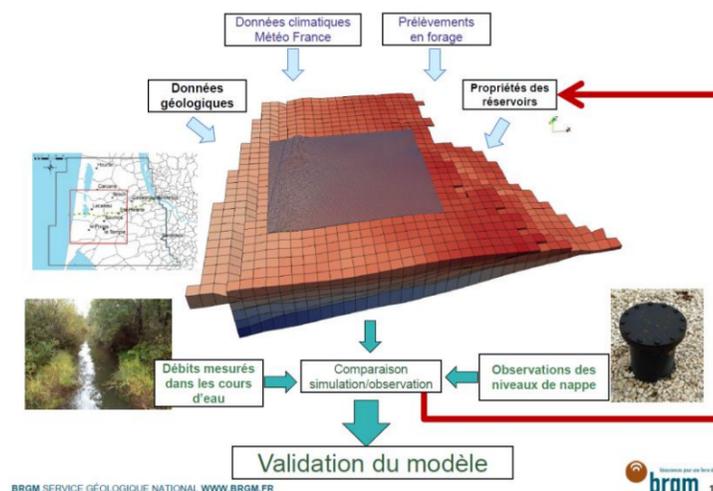
Données ouvertes



Volet 2. Simulation paysage modèle

Modèles de surface

Paysage modèle



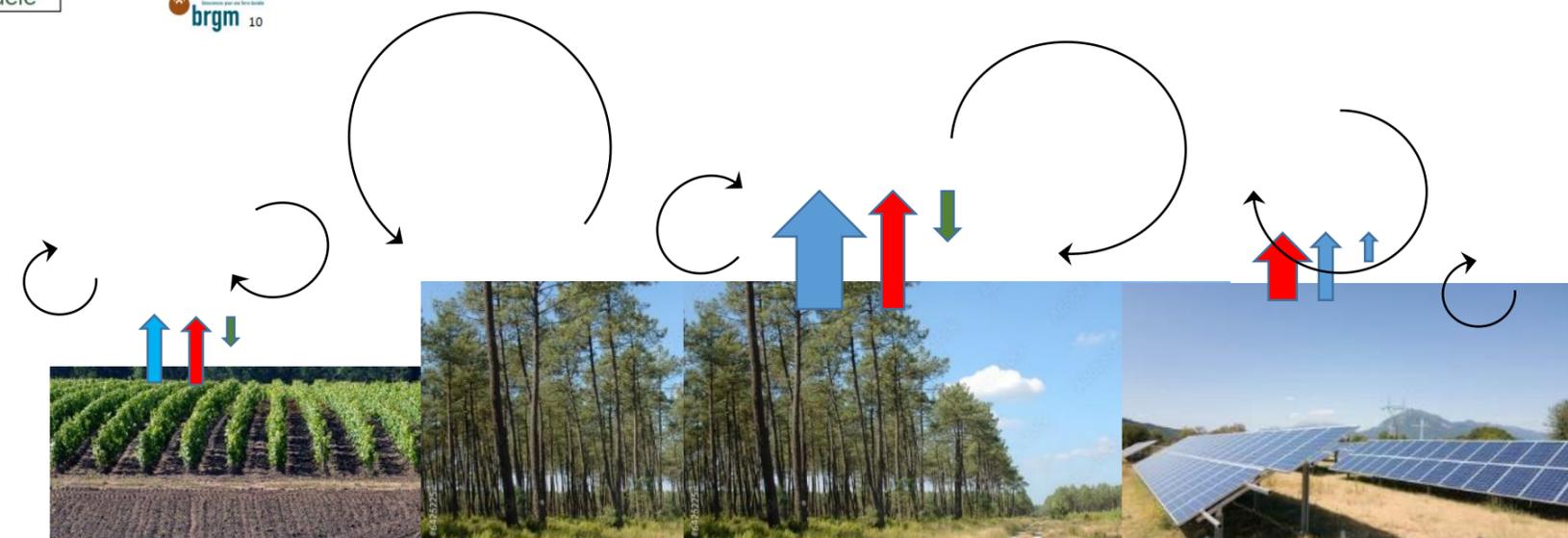
Volet 3. Projections 2050

Modèles couplés végétation – nappes

Scénarios de climat

Simulations des pratiques Vigne, Forêt, Parc PV

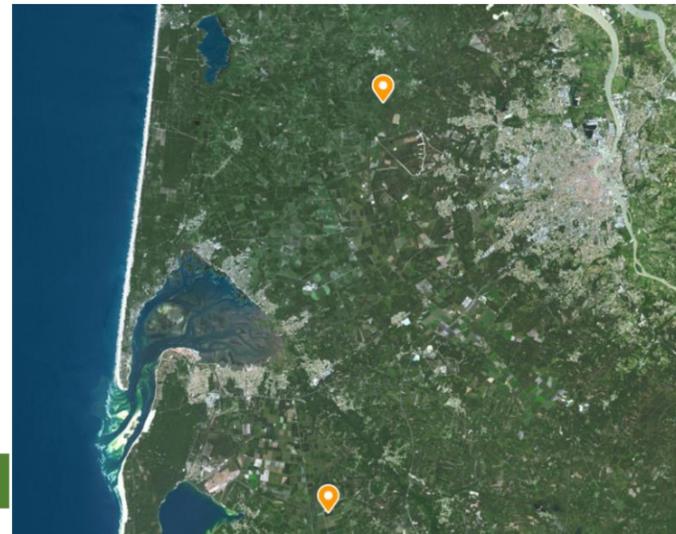
Impacts sur régime nappe et écoulements



Observations comparatives des flux de chaleur et bilan d'énergie d'un parc photovoltaïque et d'une forêt de pins maritimes. Année 2022.

Station de Salles.

Pins maritimes de 18 ans (2022), 60 ha.
H=10.5m, densité =900 ha⁻¹ LAI= 3.5



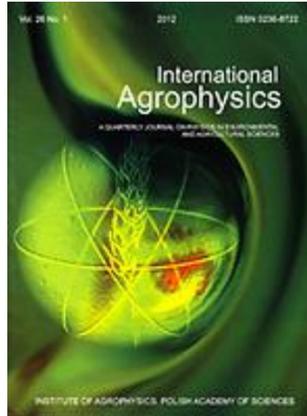
Parc photovoltaïque de Salaunes.

250 ha, H= 1.9m, couverture de 60%. LAI 1.5



Méthodologie et instruments utilisés

- Méthodes de mesure définies par la communauté scientifique (18 articles scientifiques *Int. Agrophysics*, 2018)
- Station de Salles labellisée ICOS classe 2 depuis 2018
(rapport de labellisation disponible sur demande (en anglais))





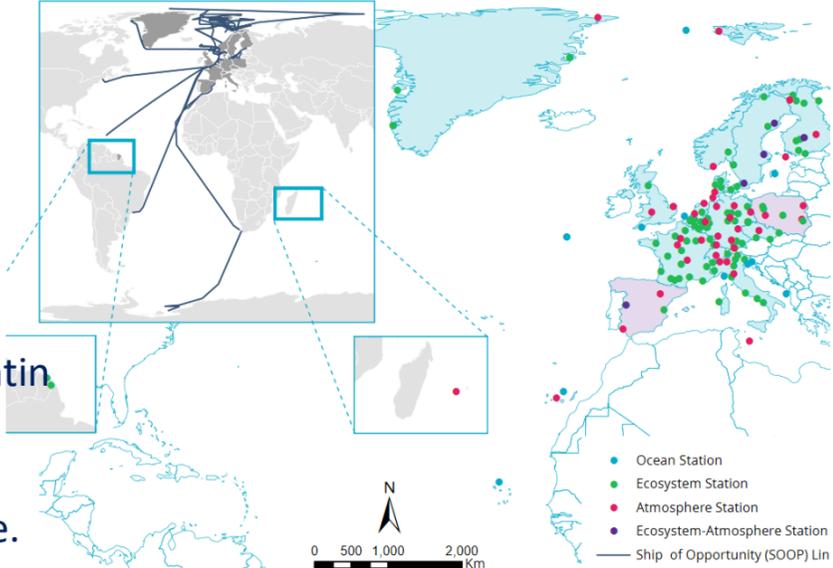
ICOS: Integrated Carbon Observing System.

<https://www.icos-cp.eu/>



Infrastructure de recherche nationale et européenne
Classée IR* , feuille de route nationale des IR, ALLEVI-MESRI.
Données, codes et protocoles transparents et ouverts, (FAIR).

- CNRS, CEA, INRAE, ANDRA, Université de Versailles-Saint-Quentin.
- + 21 universités et instituts partenaires.
- 24 stations en France (Océan, Atmosphère, Écosystèmes)
- 120 chercheur(se)s , ingénieur(e)s et technicien(ne)s en France.

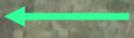


Station ECOSYSTEME de la forêt de Salles : Monitoring des flux de chaleur, évapotranspiration, CO₂ et micrométéorologiques

Rayonnement :
SW ↓↑,
LW ↓↑,
PAR
Tir,
Webcam,
Pluie,



Flux CO₂, H₂O,
Chaleur sensible,
vent 3D,
Pression,



Profil :
vent,
Temp.,
[H₂O],
[CO₂]



Tsol, Hum_sol
Hauteur de nappe



Volet 1. Observations comparatives des flux de chaleur et bilan d'énergie d'un parc photovoltaïque et d'une forêt de pins maritimes. Année 2022.

L'analyse comparative qui suit comprend:

- 1. une comparaison systématique des bilans mensuels mesurés (juin-décembre)
- 2. une analyse détaillée des deux couverts lors de journées identiques



Installation de la station micrométéorologique du parc de Salaunes, 26 juin 2022.

L'observatoire IMPACTS: stations de Salles et de Salaunes

Données ouvertes, publiques, disponibles, en continu sur le web.

<https://xylofront.pierroton.inra.fr/index.html>

Variables micrométéorologiques et sol suivies en continu (30mn)

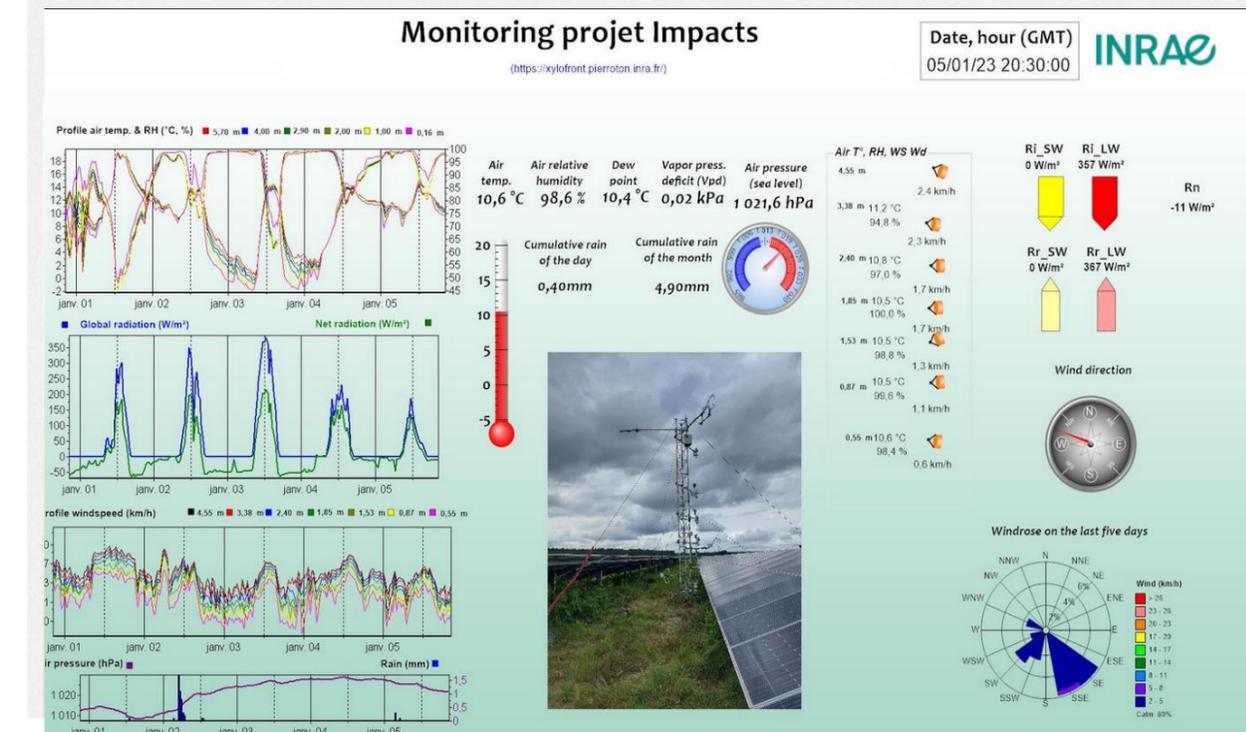
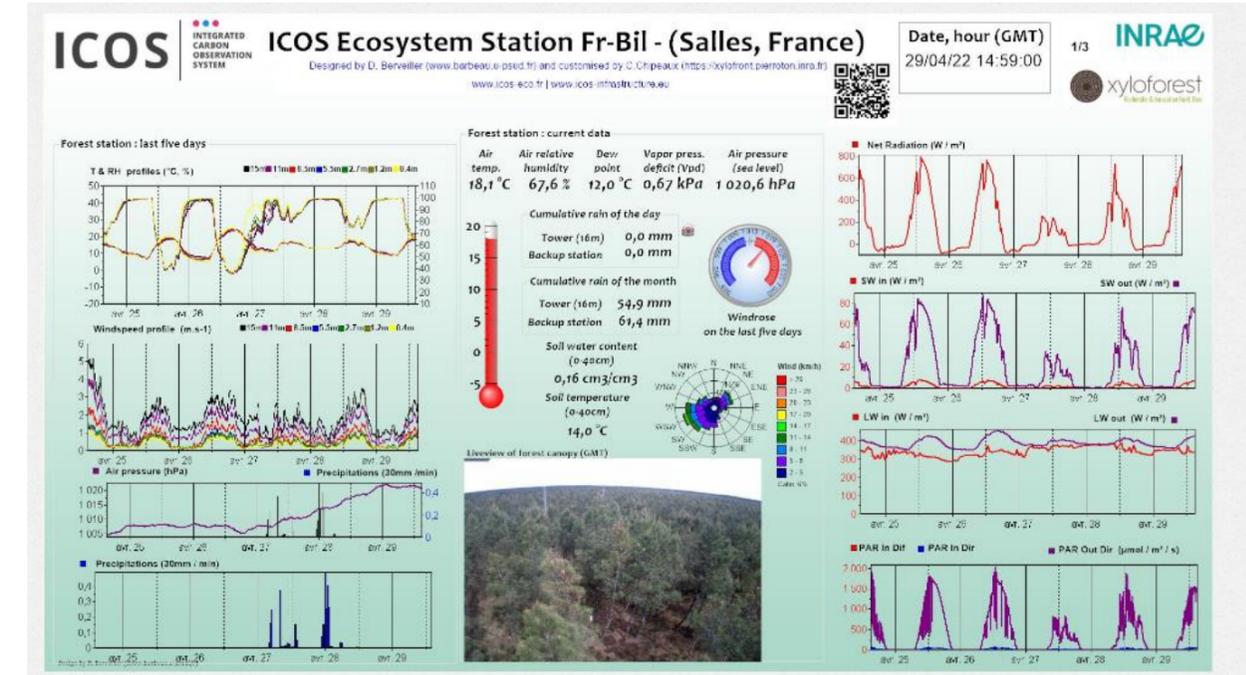
- profils verticaux de température, vent, humidité, CO2
- température et humidité du sol
- rayonnement incident, réfléchi, absorbé
- rayonnement net absorbé
- (température de surface (feuillage, troncs, ceps, sol, panneau solaire)),

Variables biologiques calculés à partir des mesures:

- photosynthèse
- respiration
- transpiration

Flux atmosphériques à 30mn de résolution :

- Chaleur, vapeur d'eau
- Vent
- Bilan d'énergie
- CO₂

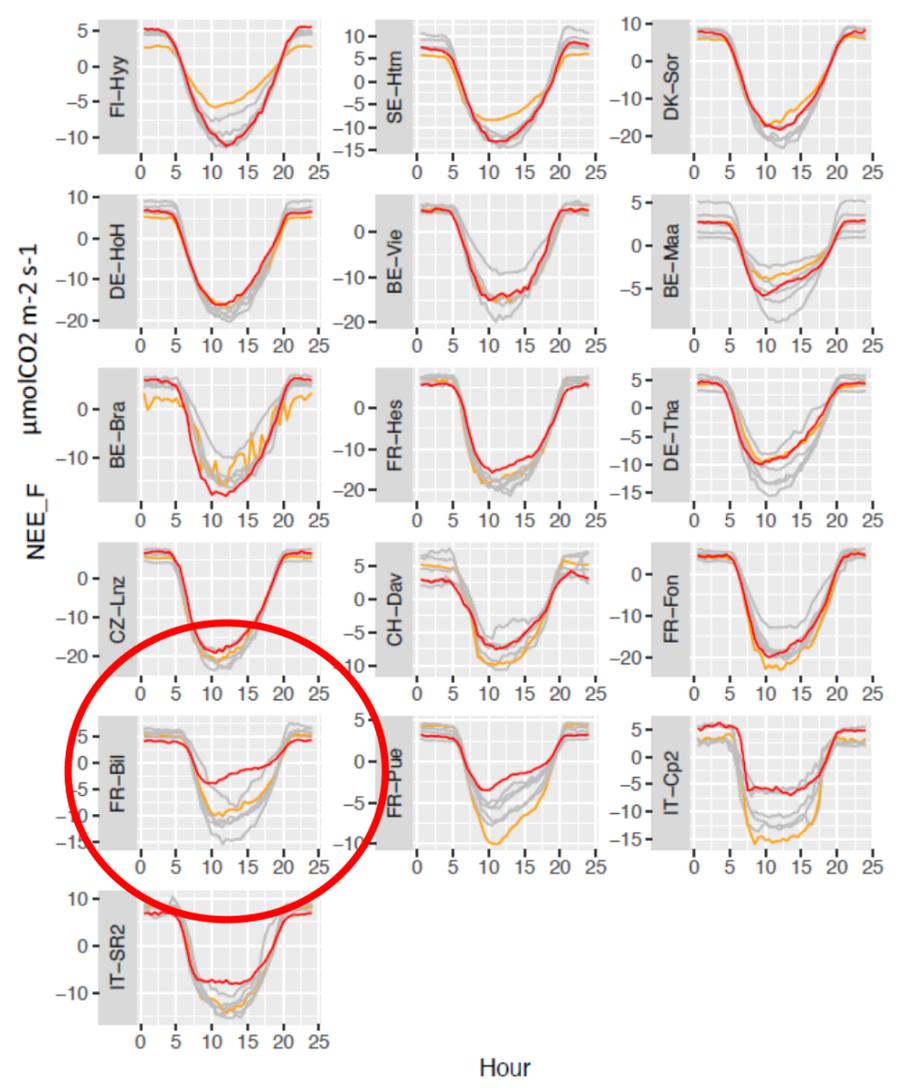
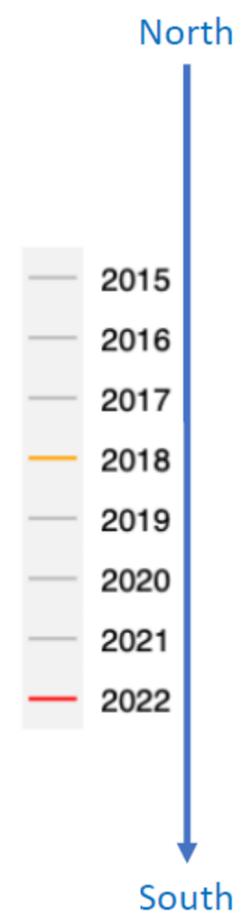
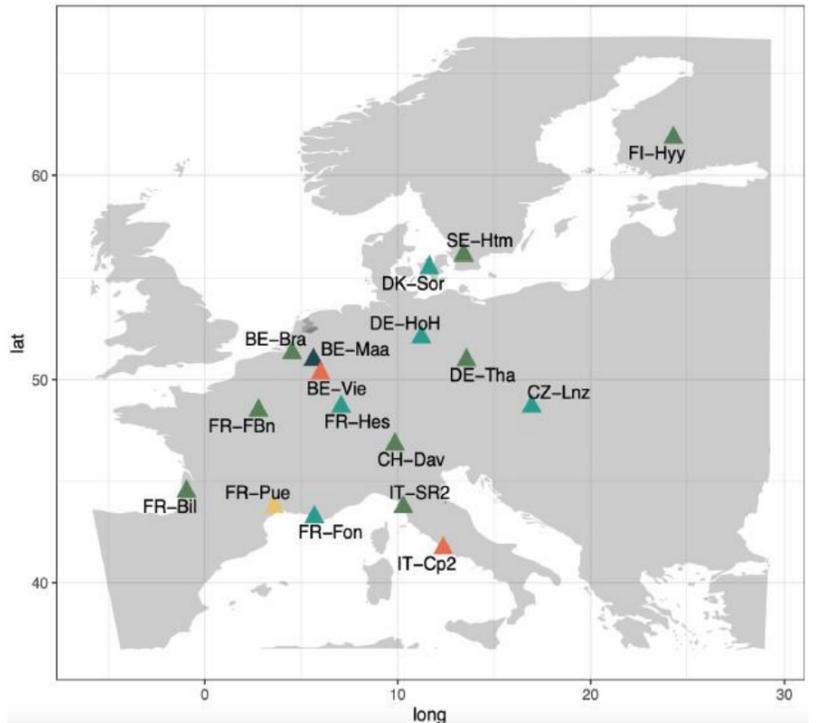
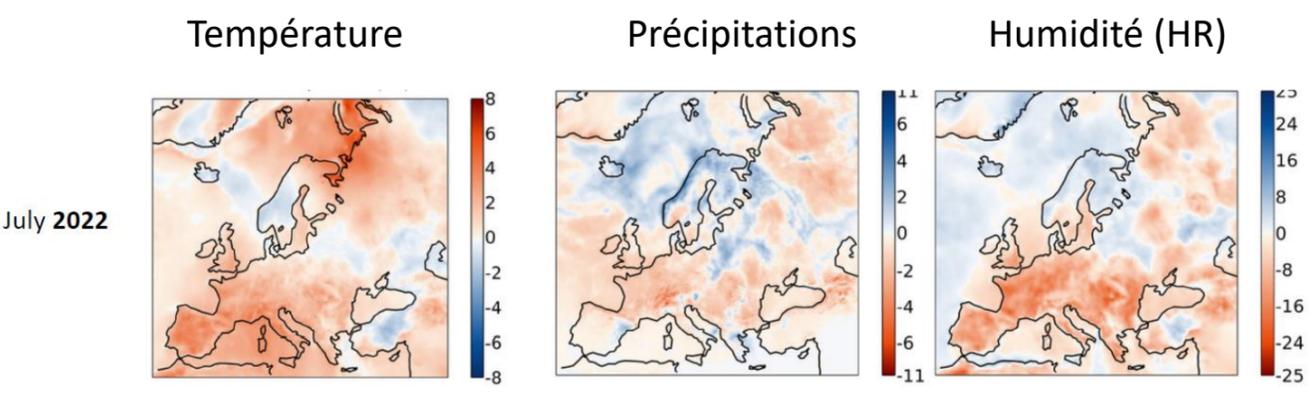


<https://xylofront.pierroton.inra.fr/index.html>

Observations comparatives des flux de chaleur et bilan d'énergie d'un parc photovoltaïque et d'une forêt de pins maritimes. Année 2022.

Sécheresse atmosphérique et édaphique du Sud de l'Europe (Joetzer et al. 2022).

Flux de CO2 de 15 écosystèmes forestiers, Été 2022 versus 2015 - 2021

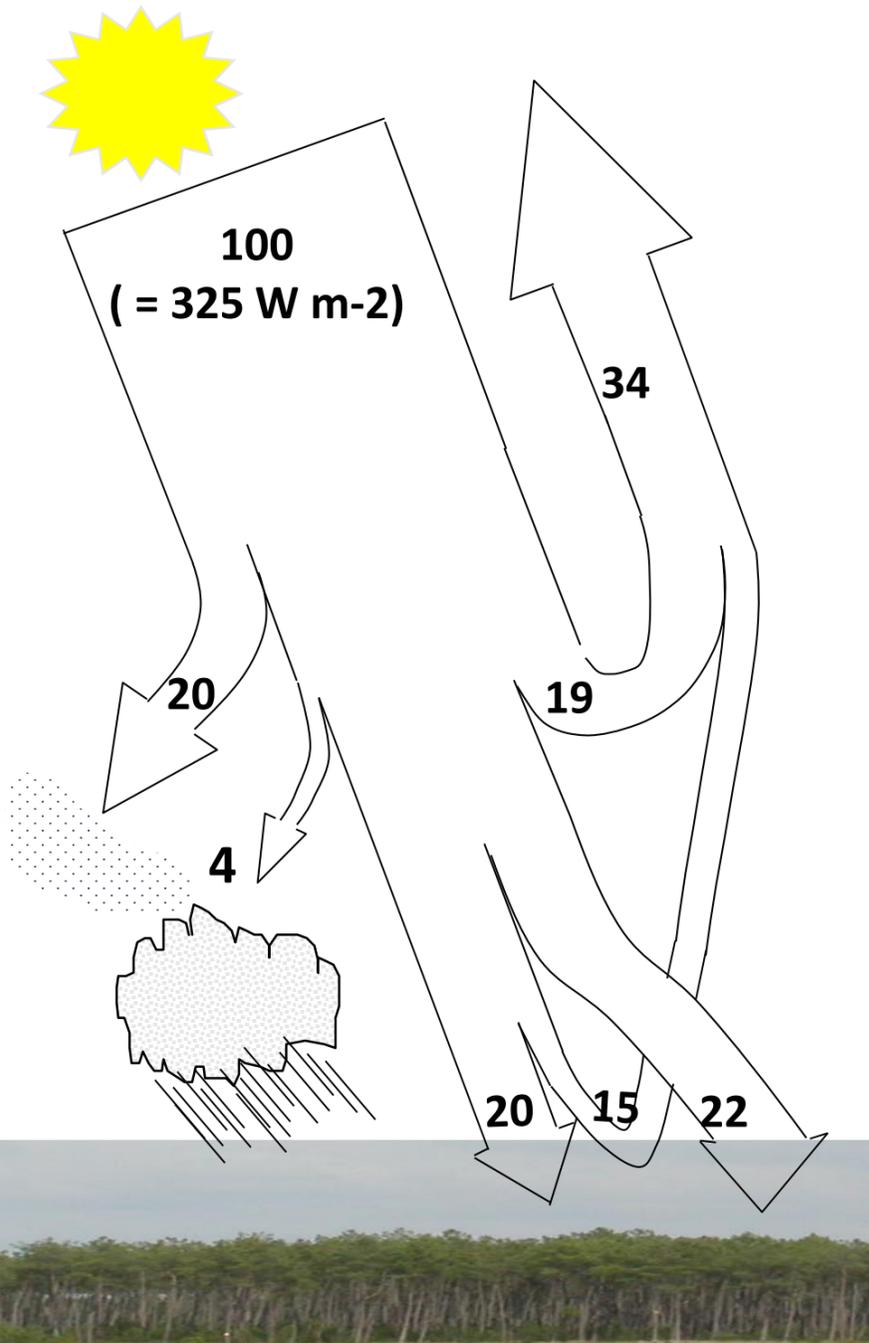


Pour se comprendre : comment se détermine la température au sol?

Le bilan d'énergie des surfaces continentales

(Wild et al. 2015. Clim. Dynamics, DOI 10.1007/s00382-014-2430-z)

Rayonnement solaire

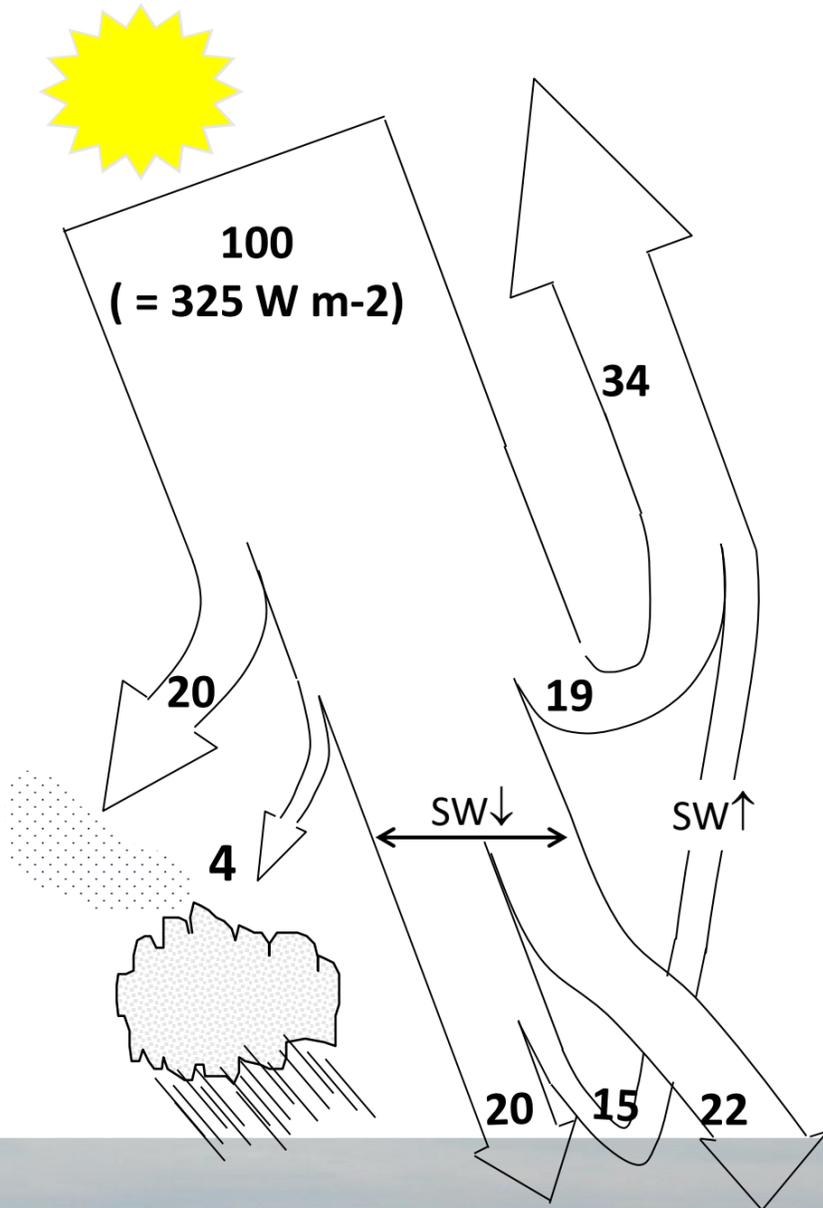


Pour se comprendre : comment se détermine la température au sol?

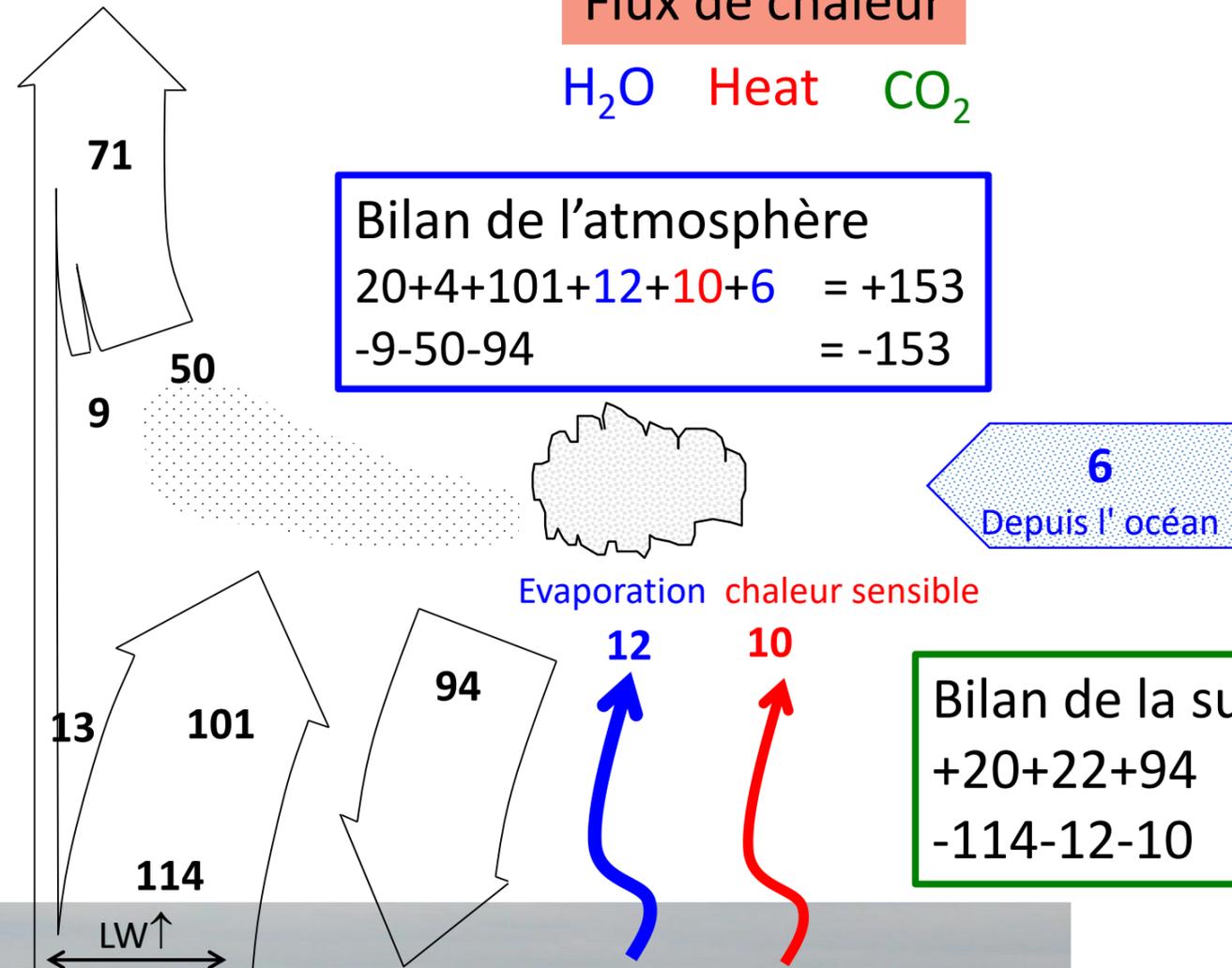
Le bilan d'énergie des surfaces continentales

(Wild et al. 2015. Clim. Dynamics, DOI 10.1007/s00382-014-2430-z)

Rayonnement solaire



Rayonnement terrestre



Flux de chaleur

H₂O Heat CO₂

Bilan de l'atmosphère

$$20+4+101+12+10+6 = +153$$

$$-9-50-94 = -153$$

Bilan de la surface

$$+20+22+94 = +136$$

$$-114-12-10 = -136$$

Rayonnement net

$$57 - 15 + 94 - 114 = 22$$

À retenir

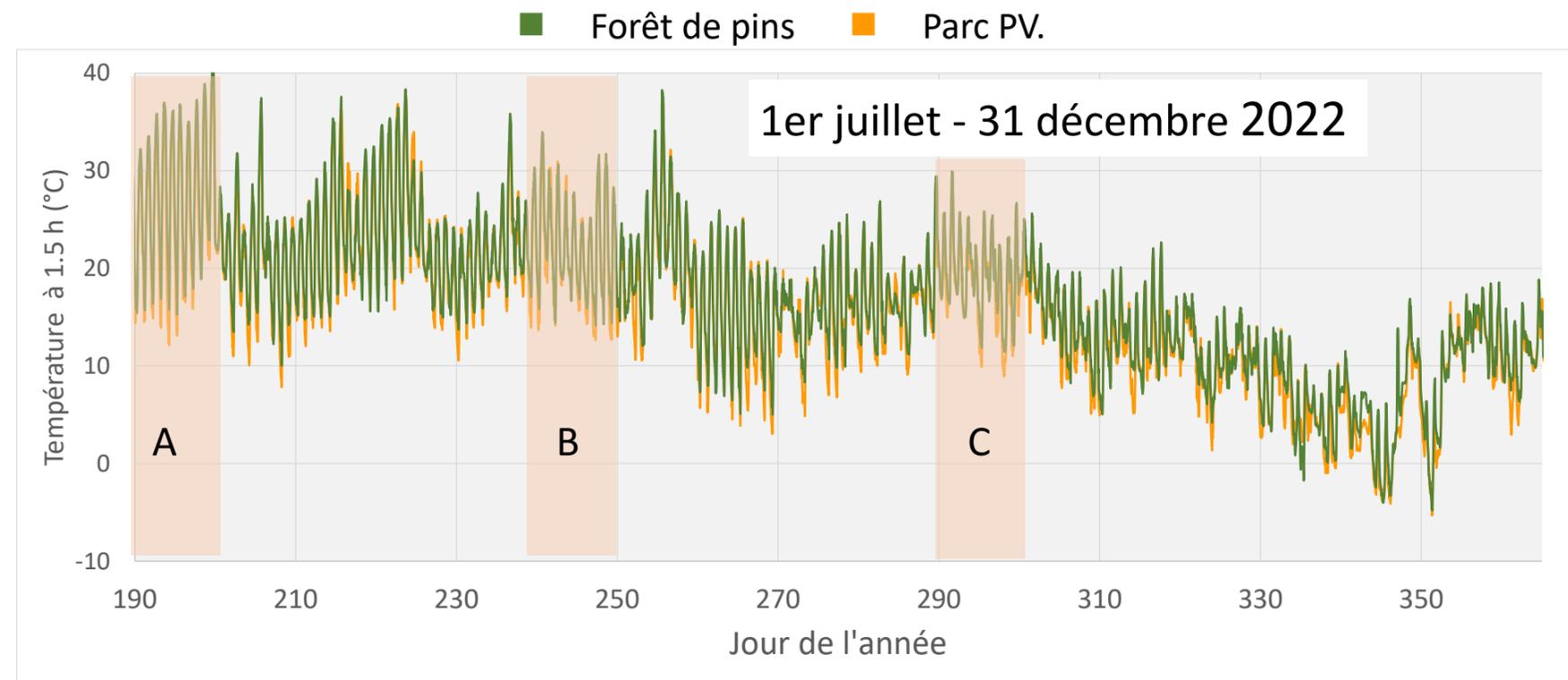
Les surfaces continentales (ici: forêt, vigne, parc PV,...) échangent rayonnement et chaleur avec l'air ambiant.

La température au sol est déterminée par le bilan des flux d'énergie entrant et sortant.

Un îlot de chaleur se produit quand une surface émet plus de chaleur et de rayonnement que ses voisines.

Résultats

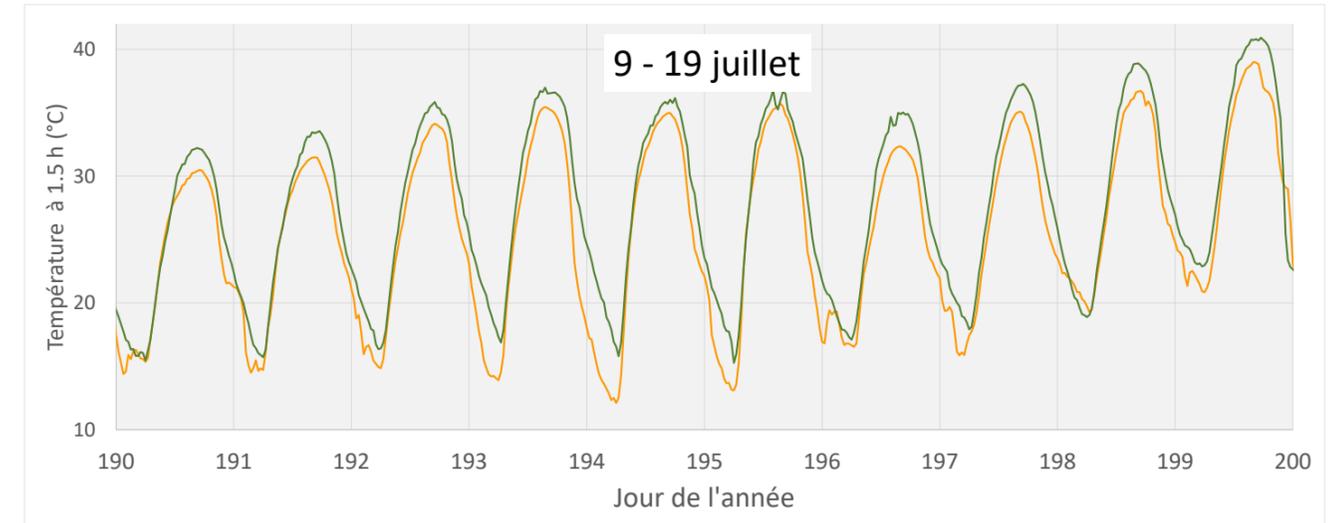
1. Bilans mensuels : Température de l'air à 1.5 h (15.6 et 6.0 m)



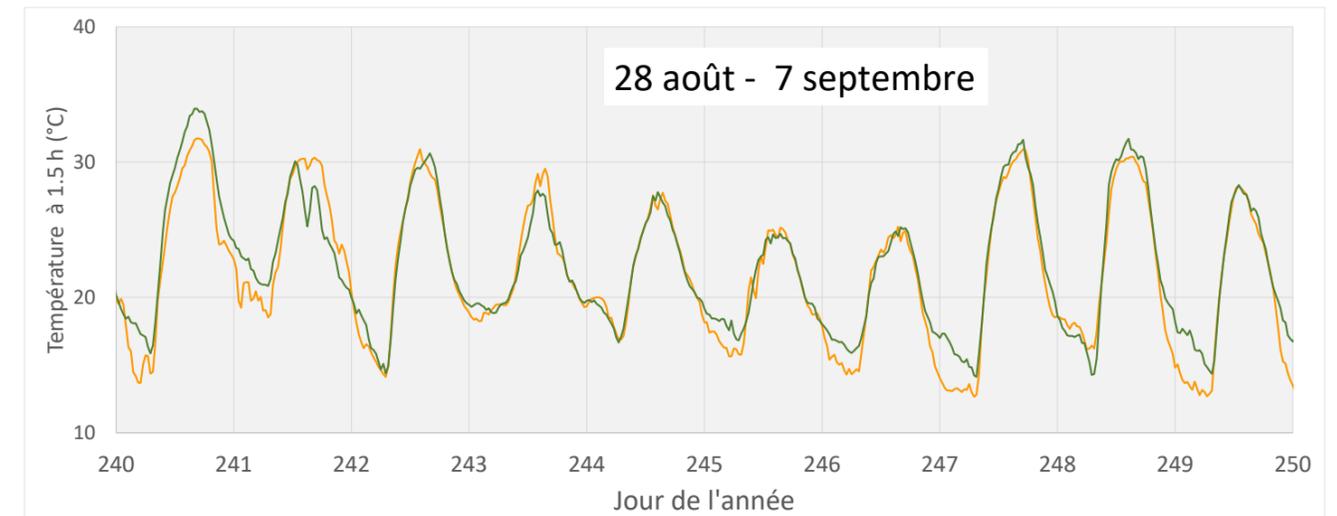
Été: la température de l'air est plus élevée de 1.0 à 2.5 °C au dessus de la forêt

Automne : pas de différence systématique

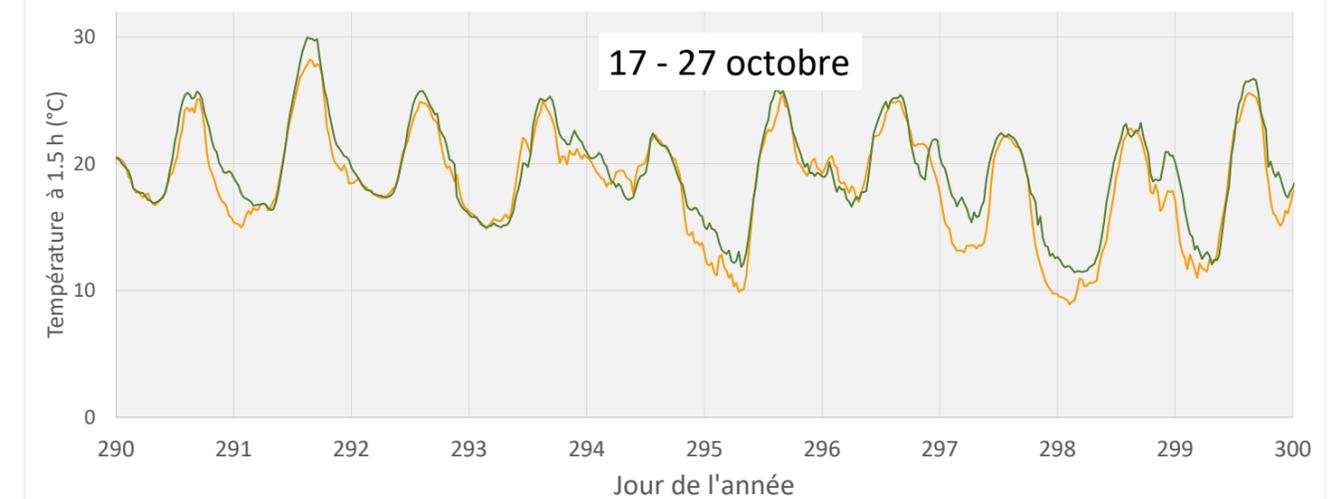
A



B

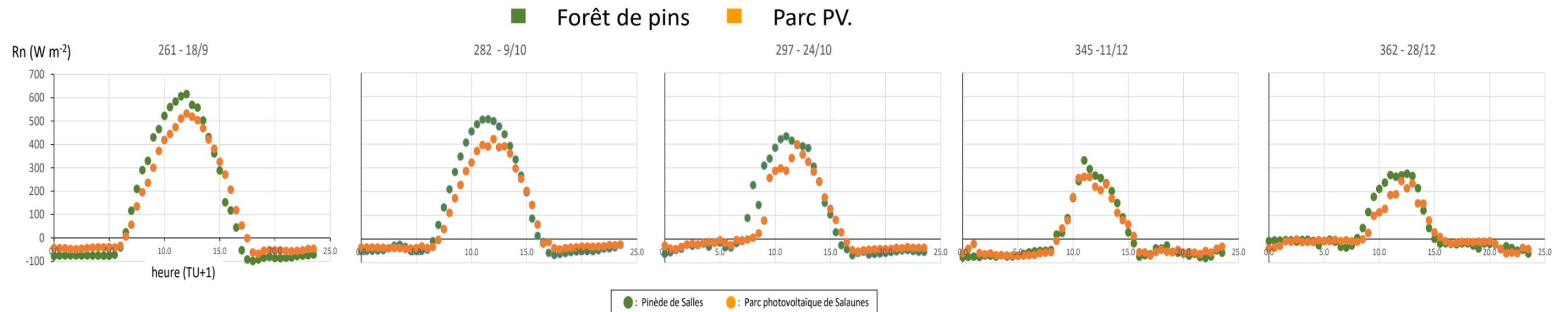


C

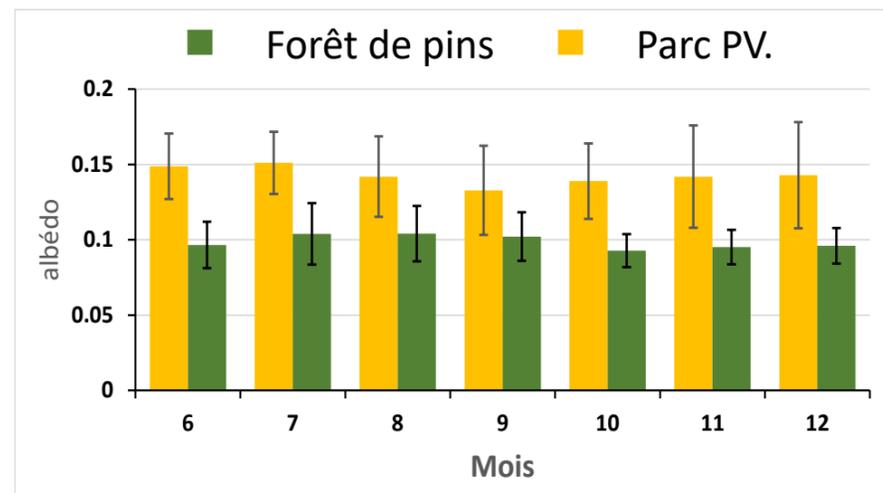


Résultats

1. Bilans mensuels: bilan radiatif



Moyennes semi-horaires de **rayonnement net absorbé** par un couvert de Pins (station de Salles) et le parc PV de Salaunes pour un échantillon de 5 journées de septembre à décembre 2022.



Moyennes mensuelles de l'**albedo** de la forêt de pins et du parc PV.

Durant l'été, le parc PV :

- absorbe moins de rayonnement que la forêt (albedo, structure)

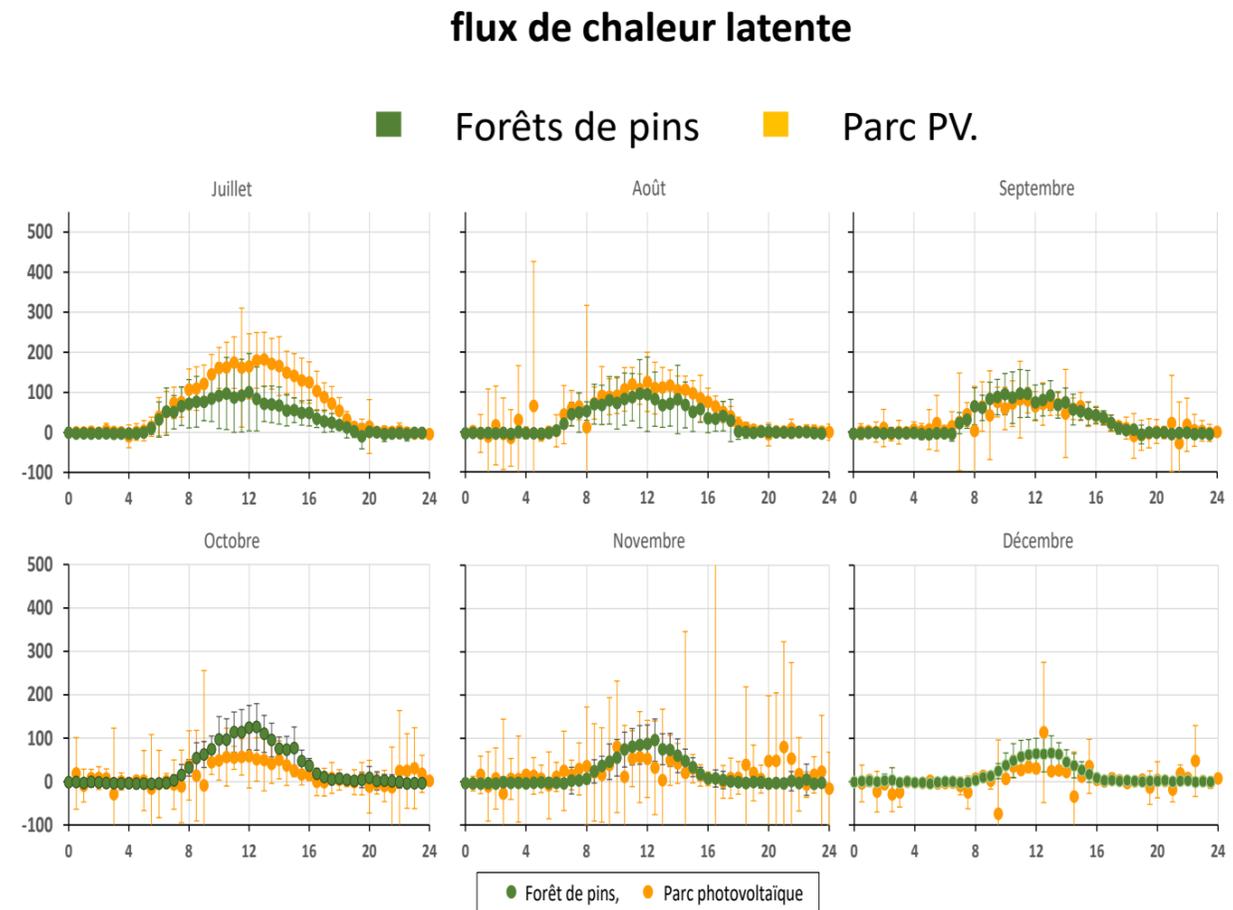
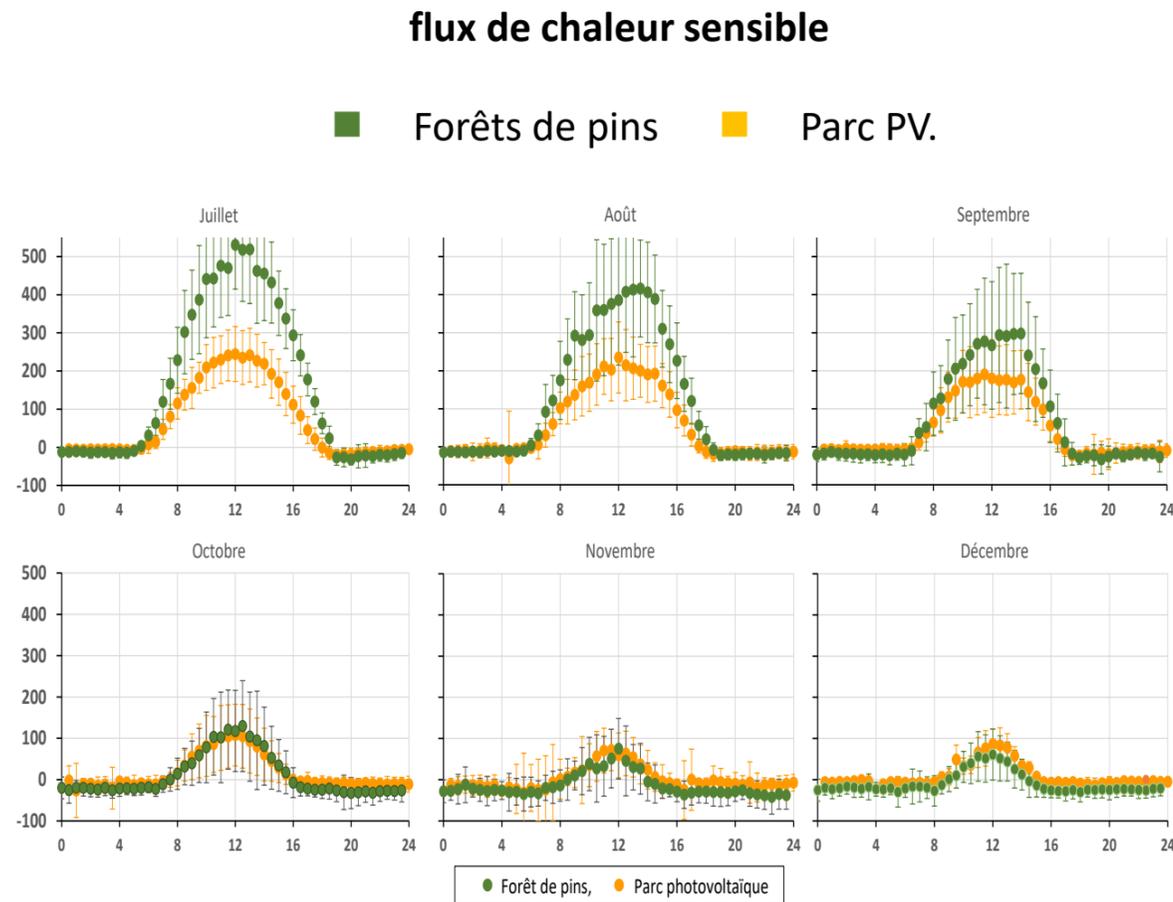
En automne:

- pas de différence marquée entre forêt et parc

L'albedo du parc PV est supérieur de 50% à celui de la forêt.

Résultats

1. Bilans mensuels: flux de chaleur



Cinétiques journalières moyennes mensuelles du **flux de chaleur** d'un couvert de Pins (station de Salles) et du parc PV de Salaunes de juillet à décembre 2022. Les barres verticales donnent l'écart type.

En été:

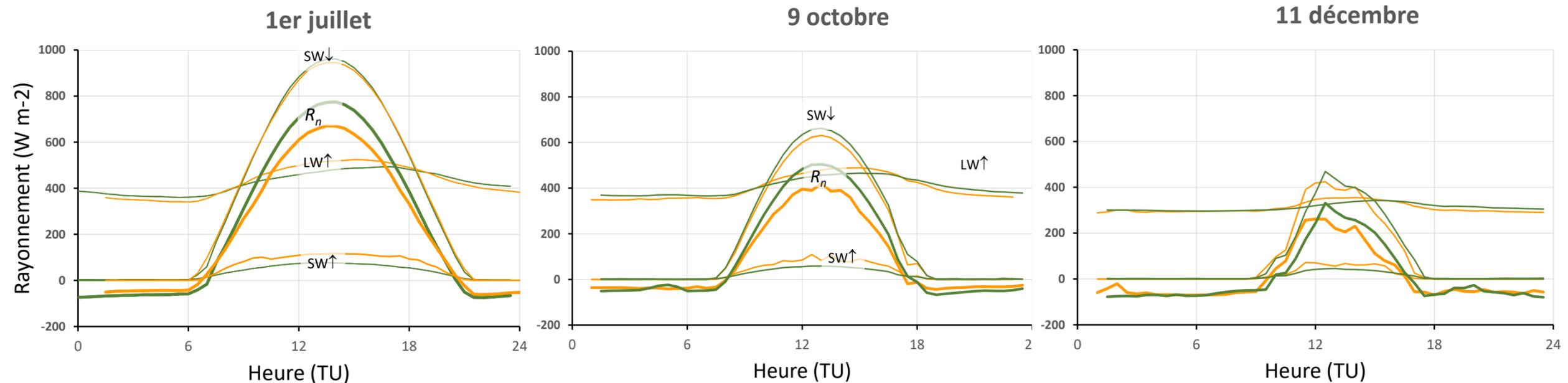
L'écart du flux de chaleur sensible Forêt – PV est $> 200 \text{ W m}^{-2}$

En automne, sur sol en partie réhydraté:

Pas de différence marquée entre forêt et parc

Résultats

2. Comparaison de journées identiques



Moyennes semi-horaires des composante du bilan radiatif d'un couvert de Pins (station de Salles) et du parc PV de Salaunes pour un échantillon de 3 journées de juillet à décembre 2022.

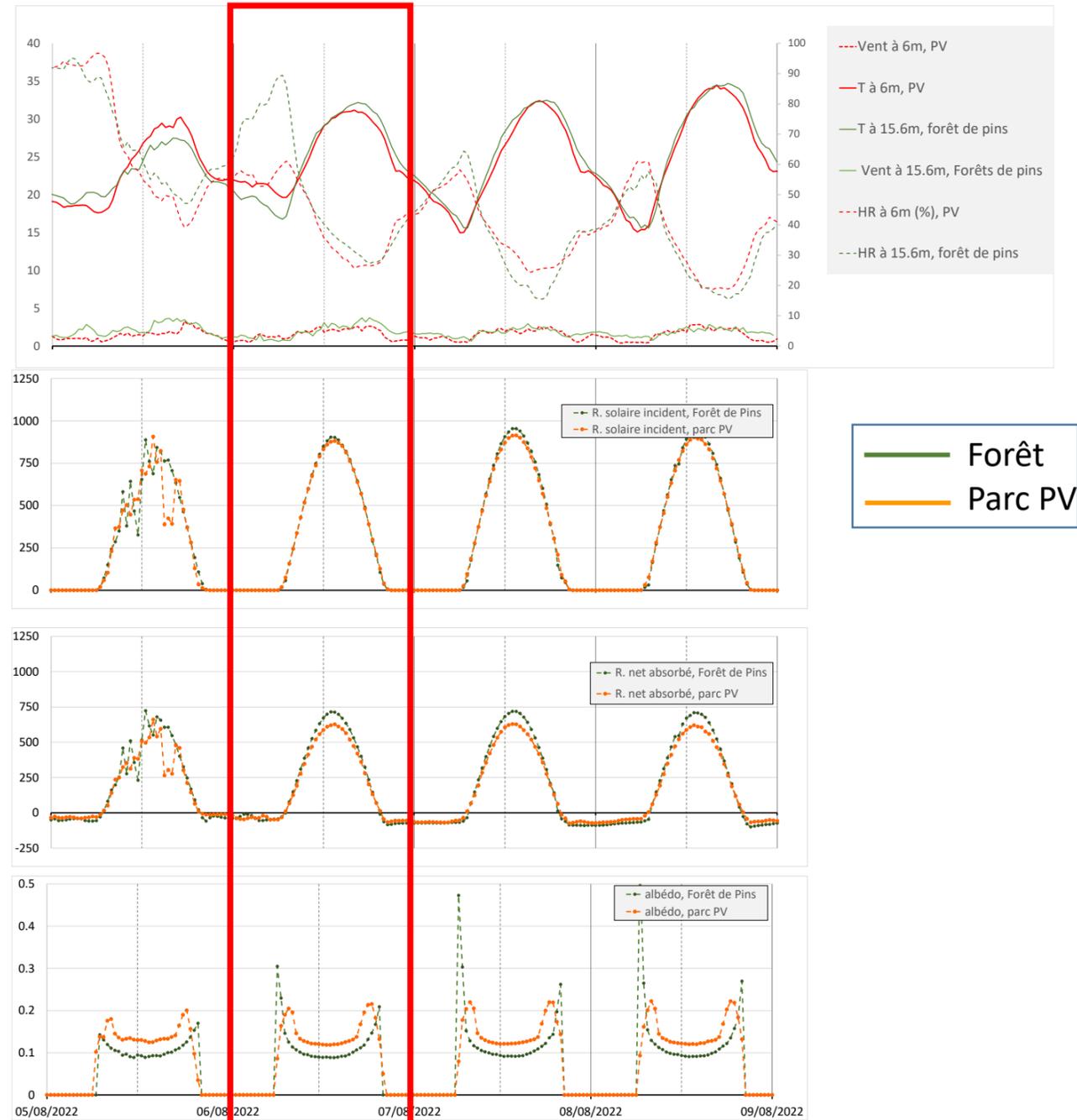
Tout au long de la période de juin à décembre:

- Le rayonnement IRT du parc (LW↑) est supérieur à celui de la forêt
- L'écart de rayonnement émis est $< 50 \text{ W m}^{-2}$ (rappel : écart H $> 200 \text{ W m}^{-2}$)
- Cette différence s'inverse la nuit, le bilan journalier est à peu près égal

Résultats

2. Comparaison de journées identiques

Exemple: 2 juillet et 6 août.



	R. net absorbé	T radiative	Évaporatio n	Chaleur sensible	Stockage sol	Stockage couvert (*)	Conversion électricité	r_{aH} pour $u_z = 2 \text{ m s}^{-1}$
	W m-2	deg C	W m-2	W m-2	W m-2	W m-2	W m-2	s m-1
02/07/2022 PV	659	49.4	228	268	(5-15)	(5-10)	98.3	33.1
(sol sec) Forêt	772	31.2	143	502	27	(10-20)	0	6.9
06/08/2022 PV	611	52.5	118	337	(5-15)	(5-10)	92.7	
(sol très sec) Forêt	718	25.5	52	536	20	(15-25)	0	

* non mesuré. Estimé d'après Taborski et al. (2022) et Loustau et al. (2021)

- La forêt absorbe plus d'énergie sous forme de rayonnement.
- Elle émet plus de chaleur que le parc photovoltaïque.
- Le parc PV est plus chaud en journée et plus froid la nuit.

Résultats

2. Comparaison de journées identiques : flux de chaleur(H, LE) émis vers l'atmosphère

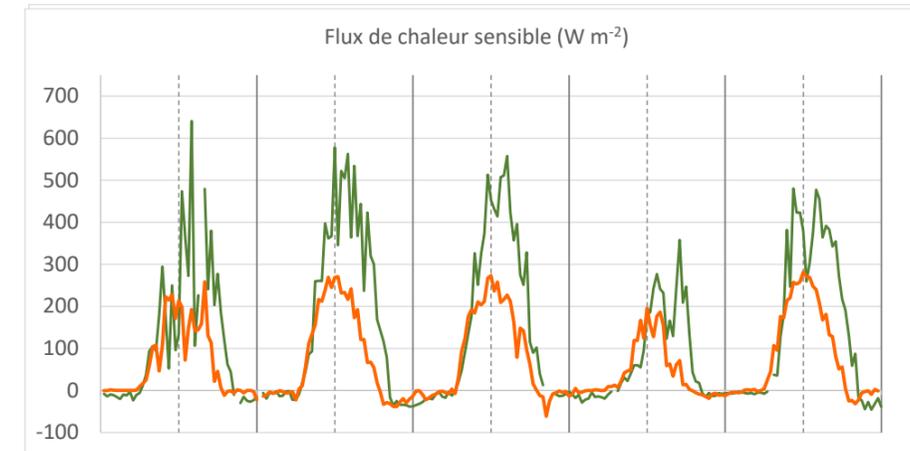
Confirmation des bilans mensuels

Durant l'été 2022 :

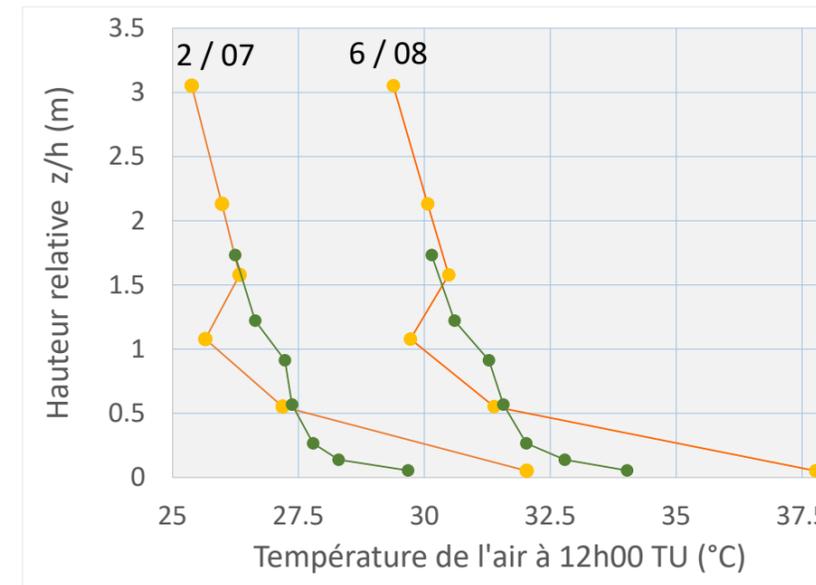
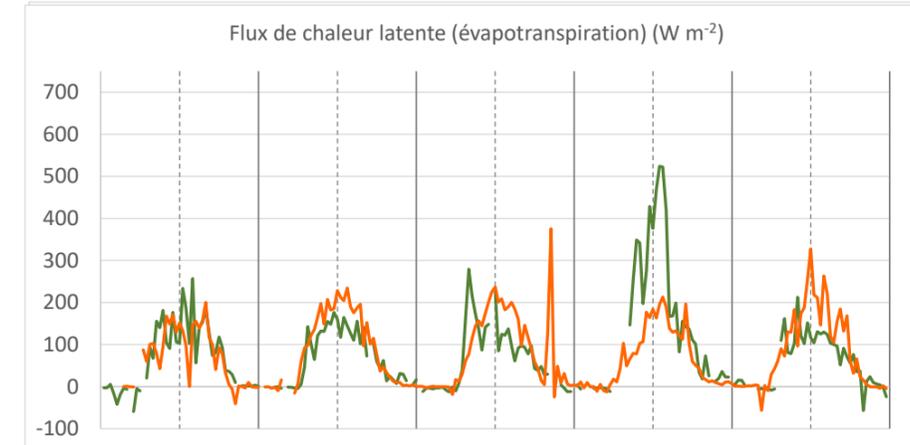
- Le parc émet moins de chaleur sensible que la forêt;
- L'évapotranspiration du parc est peu différente de celle de la forêt ;
- Le parc est mieux "isolé" de l'atmosphère que la forêt.

Cet écart s'annule en automne.

Chaleur sensible



Chaleur latente



Profils normalisés de température du couvert de pins maritimes et du parc photovoltaïque de Salaunes entre 12 et 14:00 (UT+1). e 2 juillet et le 6 août.

NB La hauteur est normalisée par la hauteur du couvert.

Premières conclusions

1. Ces observations seront complétées et étendues

- au cycle annuel complet
- avec comparaison au vignoble
- avec des campagnes de mesures embarquées sur drone, avion et satellites et caméras thermiques

2. En période de canicule – sécheresse, les données obtenues ne montrent pas d'effet d'îlot de chaleur du parc PV.

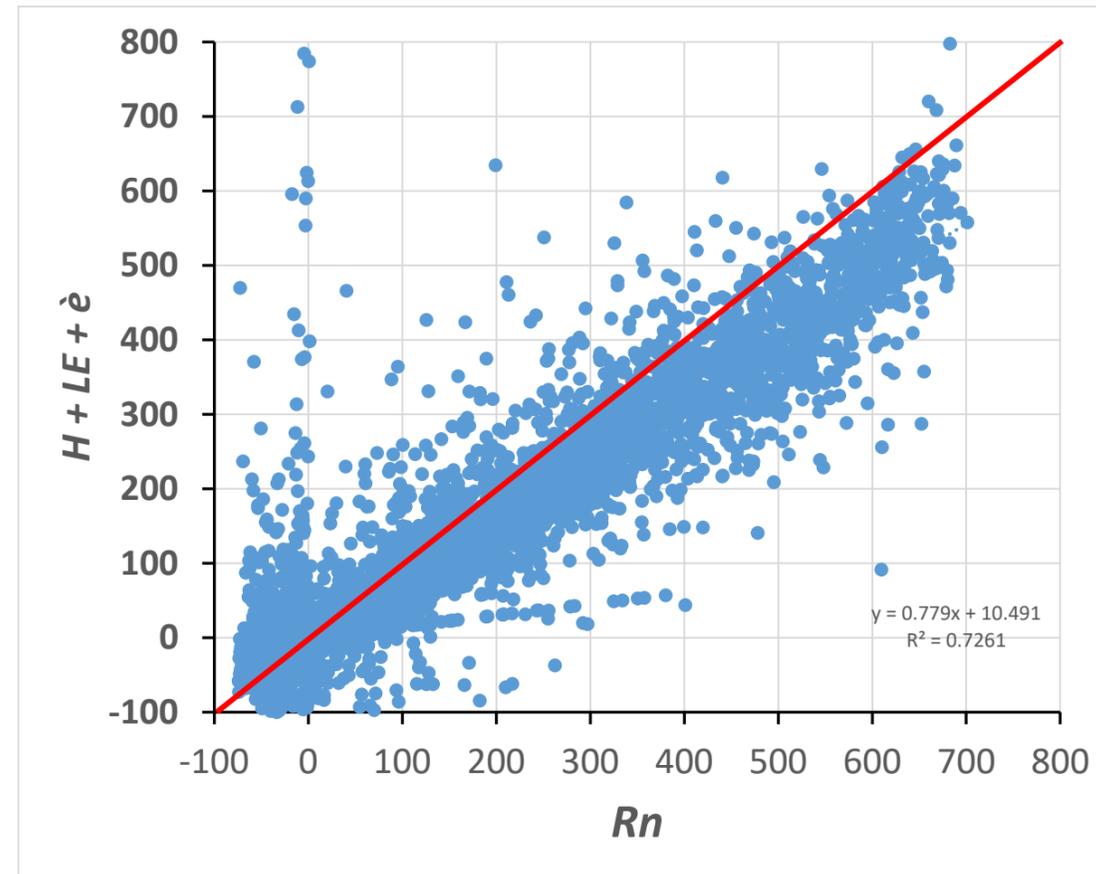
3. En période automnale et hiver, le bilan d'énergie et le flux de chaleur du parc PV montrent des différences faibles avec un couvert forestier.

Supplements

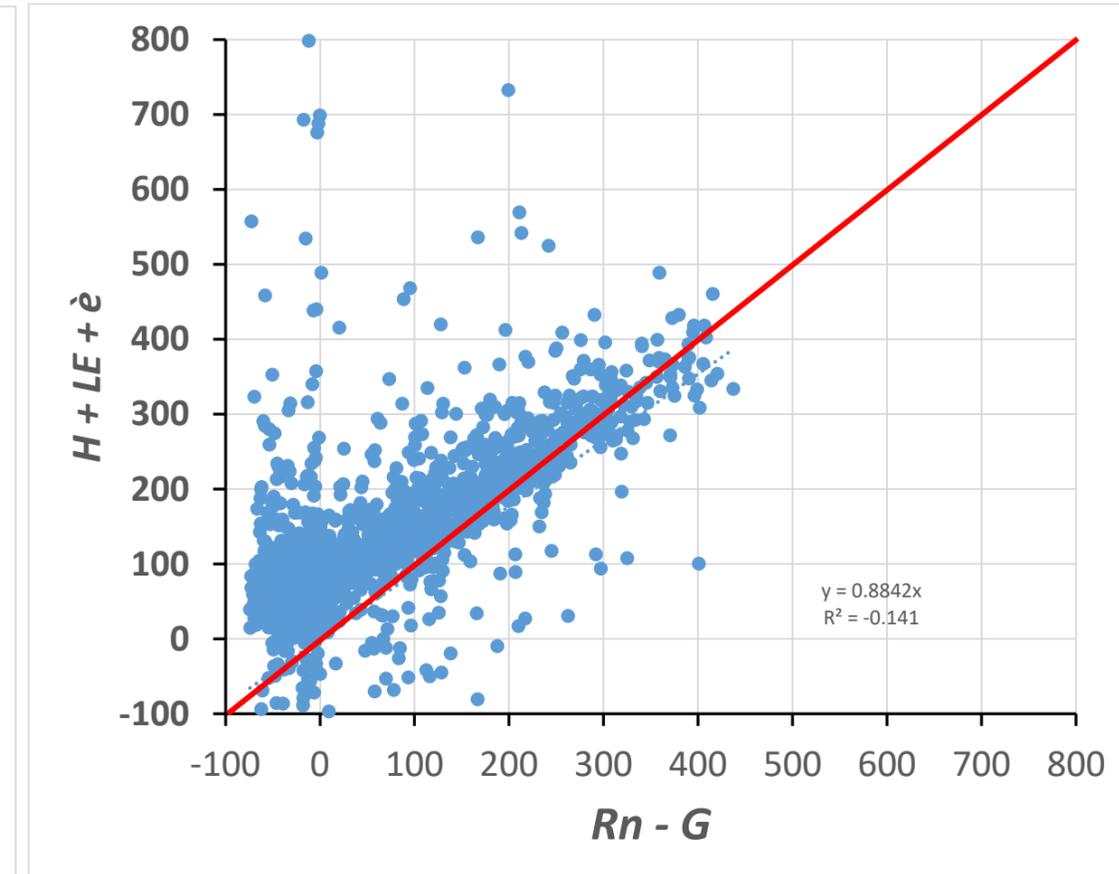
Fermeture du bilan d'énergie

Fermeture du BE sur PV est similaire à: Broadbent Ashley M., E. Scott Krayenhoff, Matei Georgescu, and David J. Sailor (2019). The Observed Effects of Utility-Scale Photovoltaics on Near-Surface Air Temperature and Energy Balance. Journal of Applied Meteorology and Climatology, vol58 (5) 989-1006.

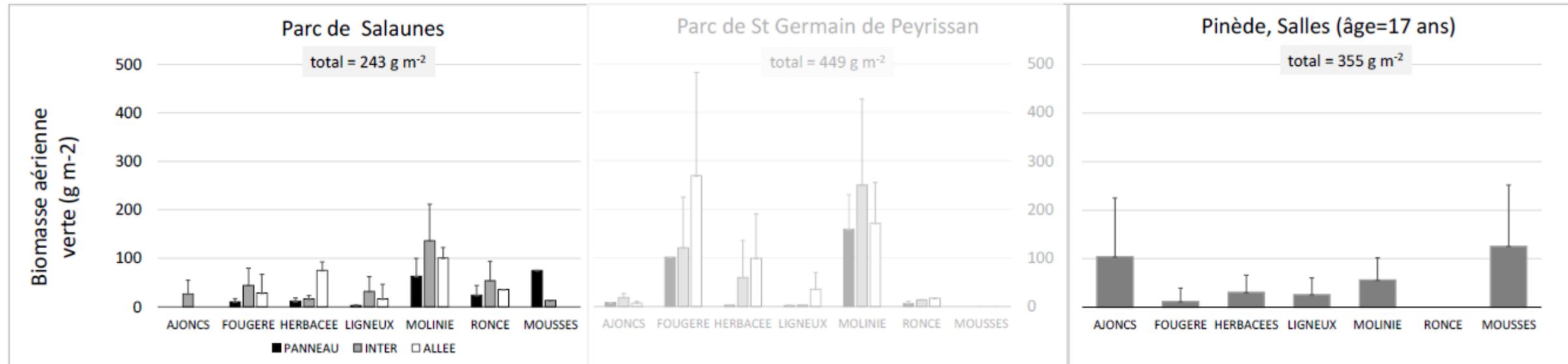
La prise en compte du flux de chaleur dans le sol permet de fermer le BE. Cela laisse supposer que l'advection serait faible.



Station de Salaunes (PV), Juillet -Décembre



Station de Salaunes (PV), Novembre -Décembre



La végétation sous panneau solaire a une biomasse verte peu différente de celle d'un sous-étage de pins maritimes jeunes.

La composition spécifique de la strate herbacée est dominée par le herbacées annuelles.