

1^{ères} Rencontres de l'Observatoire des EnR et de la Biodiversité

Vers une transition énergétique en harmonie avec la biodiversité, les sols et les paysages

Rôle du sous-étage sur les échanges de chaleur, vapeur et CO₂ d'un parc photovoltaïque enherbé.

E. Lopez, C. Chipeaux, C. Garrigou, M. Irvine, D. Loustau, P. Trichet.

J.-C. Domec,

V. Moreaux, E. Lopez,

L. Debril,

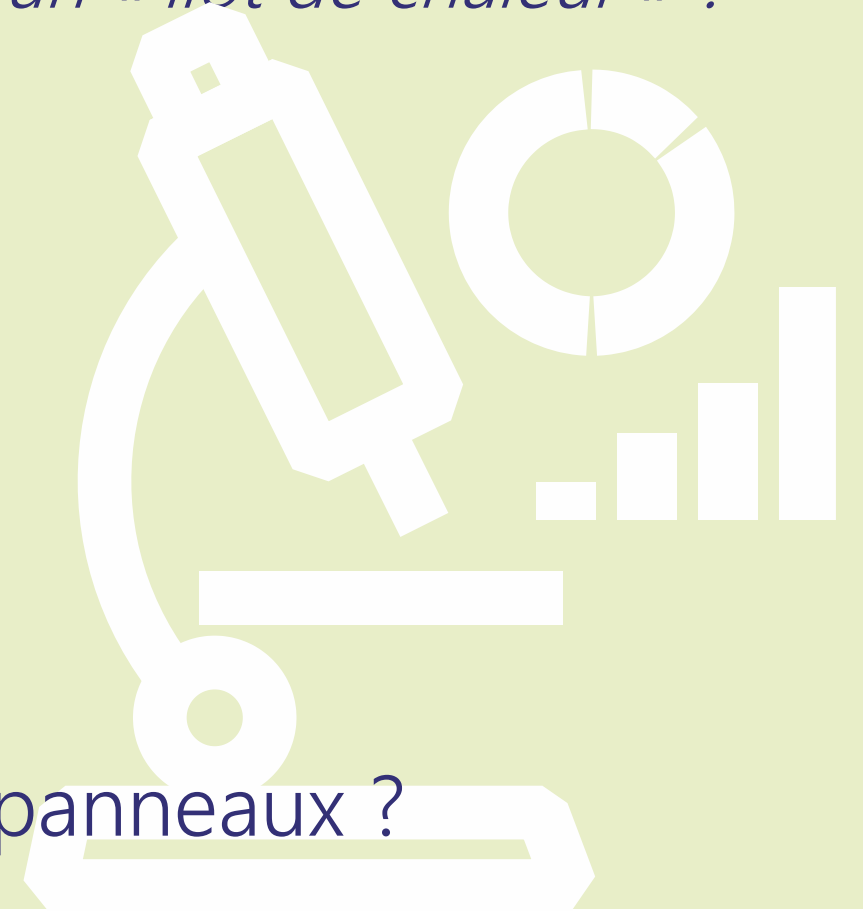
M. Le Grelle, L. Cantet,

INRAE, École Bordeaux Sciences Agro, Ginger-Burgeap, Neoen, Engie_Green,

Impact microclimatique d'un parc PV en environnement forestier.

Un parc PV en milieu forestier peut-il constituer un « îlot de chaleur » ?

1. Les projets New-For-C et IMPACTS
2. Mesures et observations 2022-2024
3. Où va la chaleur dissipée par la surface des panneaux ?



Les projets *New For C* et *IMPACTS* 2023-2027

Partenariat Recherche – Développement – Action

~20 chercheurs, ingénieurs et techniciens, 3 doctorants, 1 post Doc,

- Échanges de chaleur, vapeur, vent et carbone entre parcs photovoltaïques et atmosphère
- Bilan de carbone biogénique de parcs PV 10 années après leur installation
- Analyse comparative des usages des terres pré existants; forêt de pins, taillis d'aulne, vignoble, prairie
- Modéliser le bilan en carbone biogénique d'un parc PV sur 30 ans
- Modéliser les impacts microclimatiques au niveau de paysages mixtes: PV - forêts – vignes

Les projets *New For C* et *IMPACTS* 2023-2027

- Échanges de chaleur, vapeur, vent et carbone entre parcs photovoltaïques et atmosphère
- Déterminer le bilan carbone biogénique de parcs PV 10 années après leur installation
- Comparer avec les usages des terres pré existants; forêt de pins, taillis d'aulne, vignoble, prairie
- Modéliser le bilan en carbone biogénique d'un parc PV après 30 ans,
- Modéliser les impacts microclimatiques au niveau de paysage PV - forêts – vignes

Echanges d'énergie et de masse entre surface et atmosphère

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

Rayonnement solaire (SW)

Rayonnement terrestre (LW)

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

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

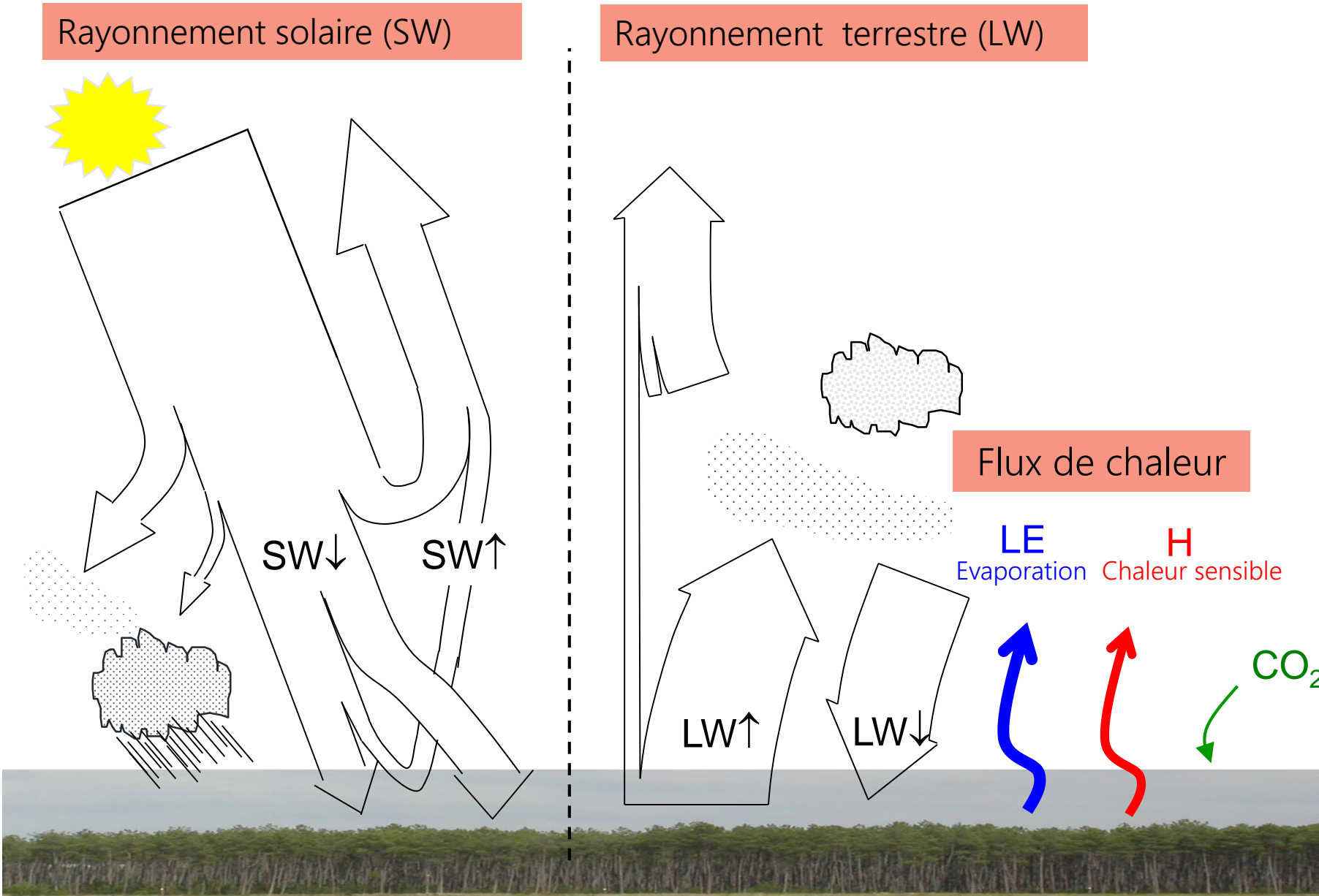
Flux de chaleur

LE
Evaporation

H
Chaleur sensible

Flux de stockage

Dans l'air : J_H, J_{LE}
La végétation (PV): J_H, J_m
Le sol: J_H
L'électricité produite: $P(ev)$



Suivi à haut débit de 2022 à 2026, comparé entre 2 stations

Mesures

Question

Messages

Échanges radiatifs :

- $SW\downarrow$, $SW\uparrow$, $LW\downarrow$, $LW\uparrow$,

Stockage (-1.5 à 15 m) :

- J_H , J_{LE} , (profils μ météo)
- J_m (dédit de la partition de F_{CO_2})
- $P(ev)$, électricité produite (gestionnaire)

Flux de chaleur :

- Chaleur sensible, H , (eddy covariance)
- Chaleur latente, LE , (eddy covariance)

Profils micrométéorologiques :

De $z = -1.5$ à $+15.6$ m :

- $T_{surface}$, $T(z)$, $e(z)$, $u(z)$, $v(z)$
avec $z = 10$ à 12 niveaux

Pour $z = 6.0$ à 80 m ⁽¹⁾:

- $T(z)$, $e(z)$,
avec $z = 7 \times 2$ niveaux

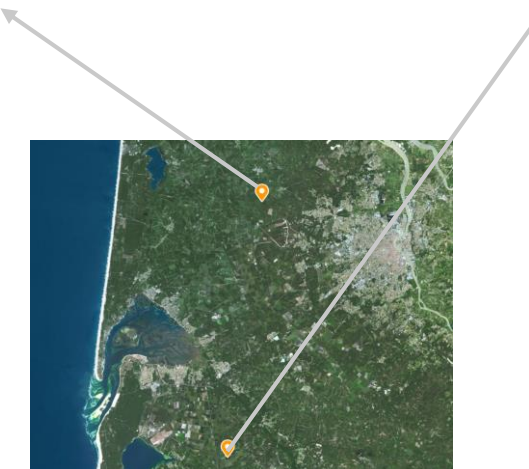
(1) Par campagne, profil embarqué sur drone



Parc PV de Salaunes
(Médoc)

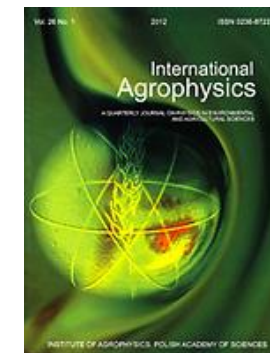


Forêt de pins de Bilos
(Val de l'Eyre)



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)*)



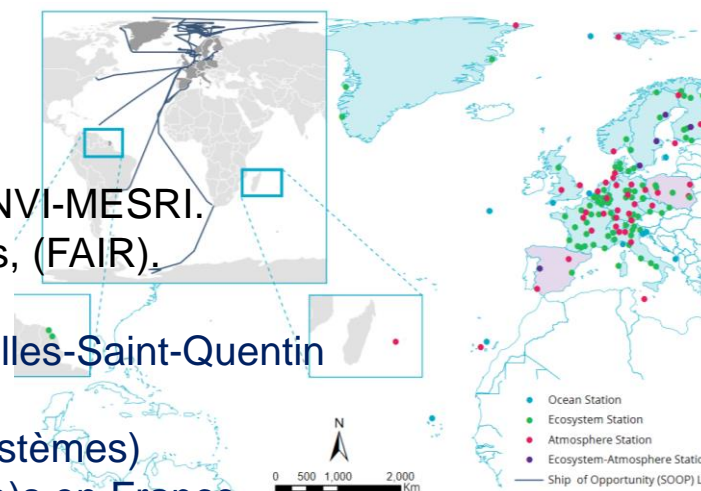
ICOS: Integrated Carbon Observing System.

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



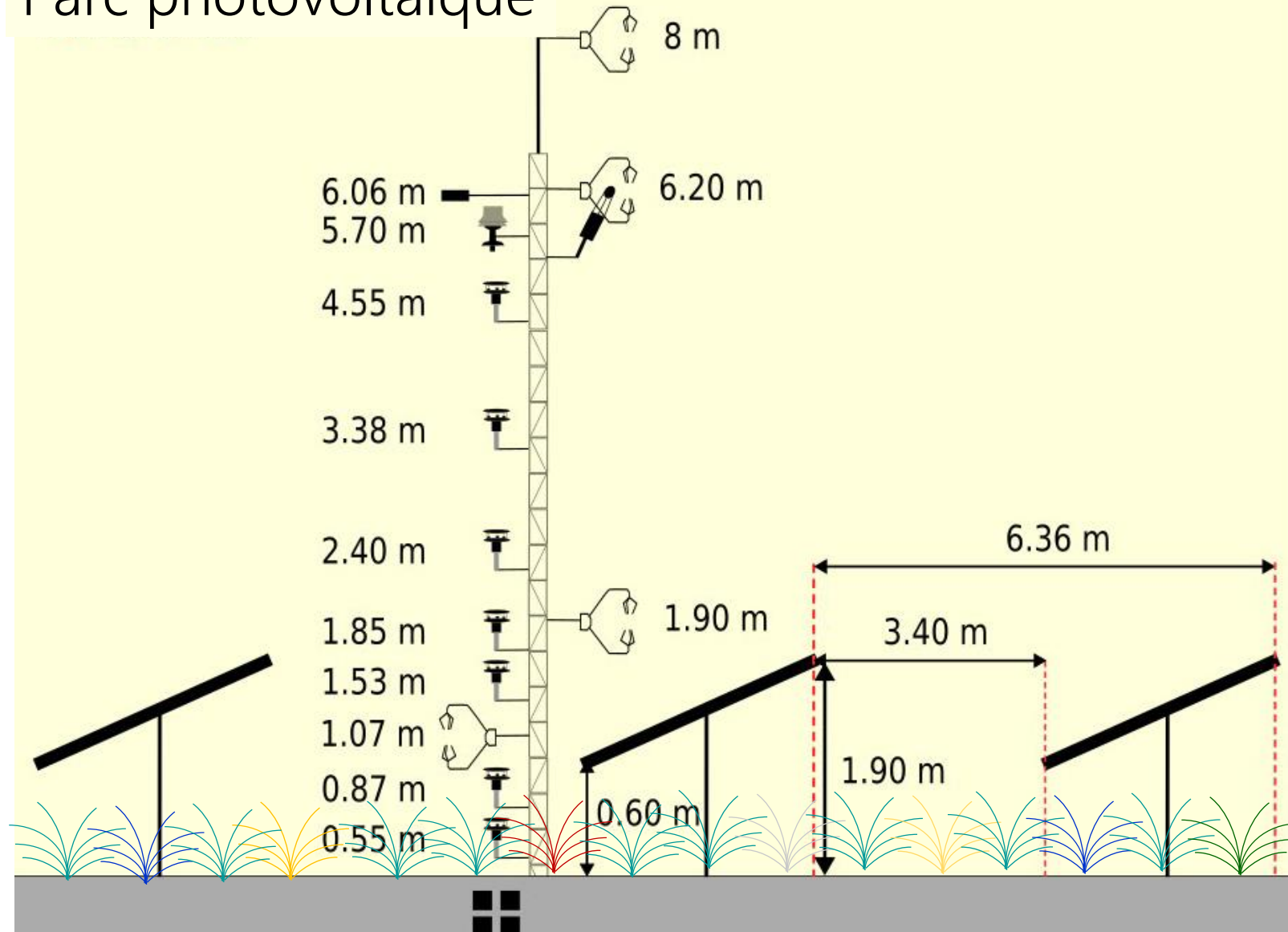
Infrastructure de recherche nationale et européenne
Classée IR* , feuille de route nationale des IR, ALLEVI-MESRI.
Données, codes et protocoles transparents et ouverts, (FAIR).

- 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.

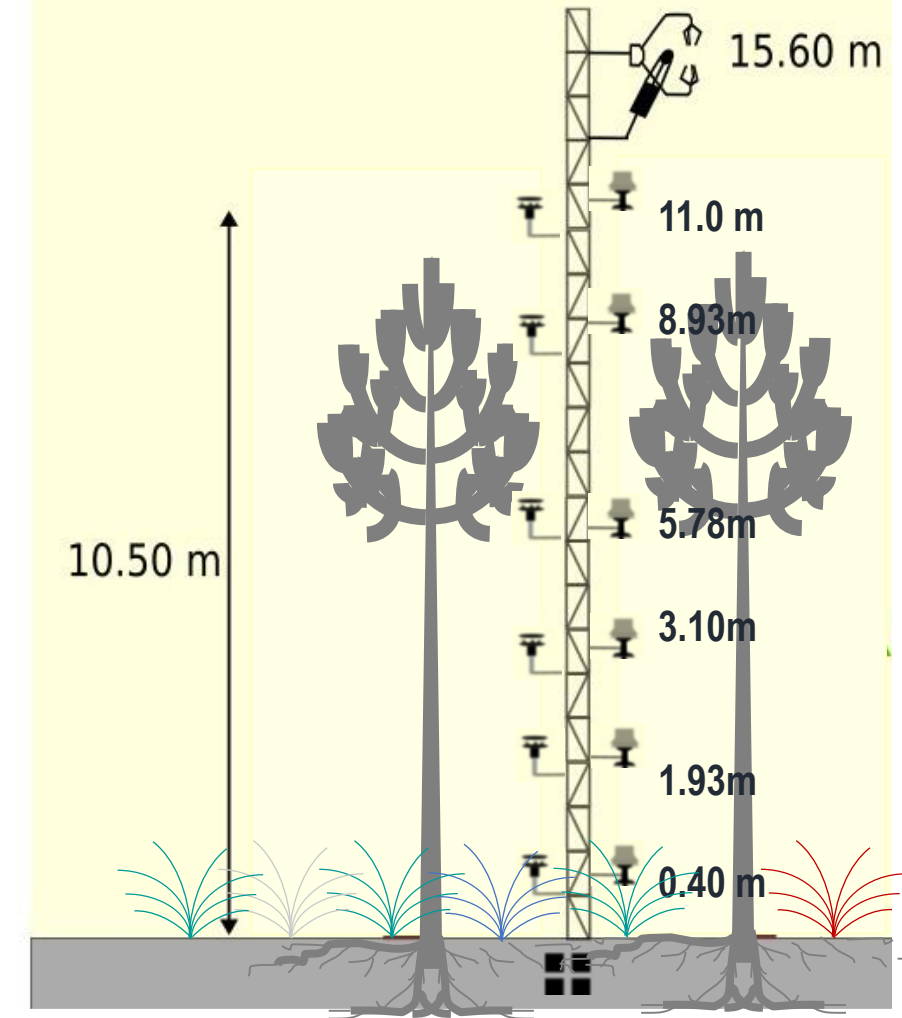


Monitoring haut débit *in situ*

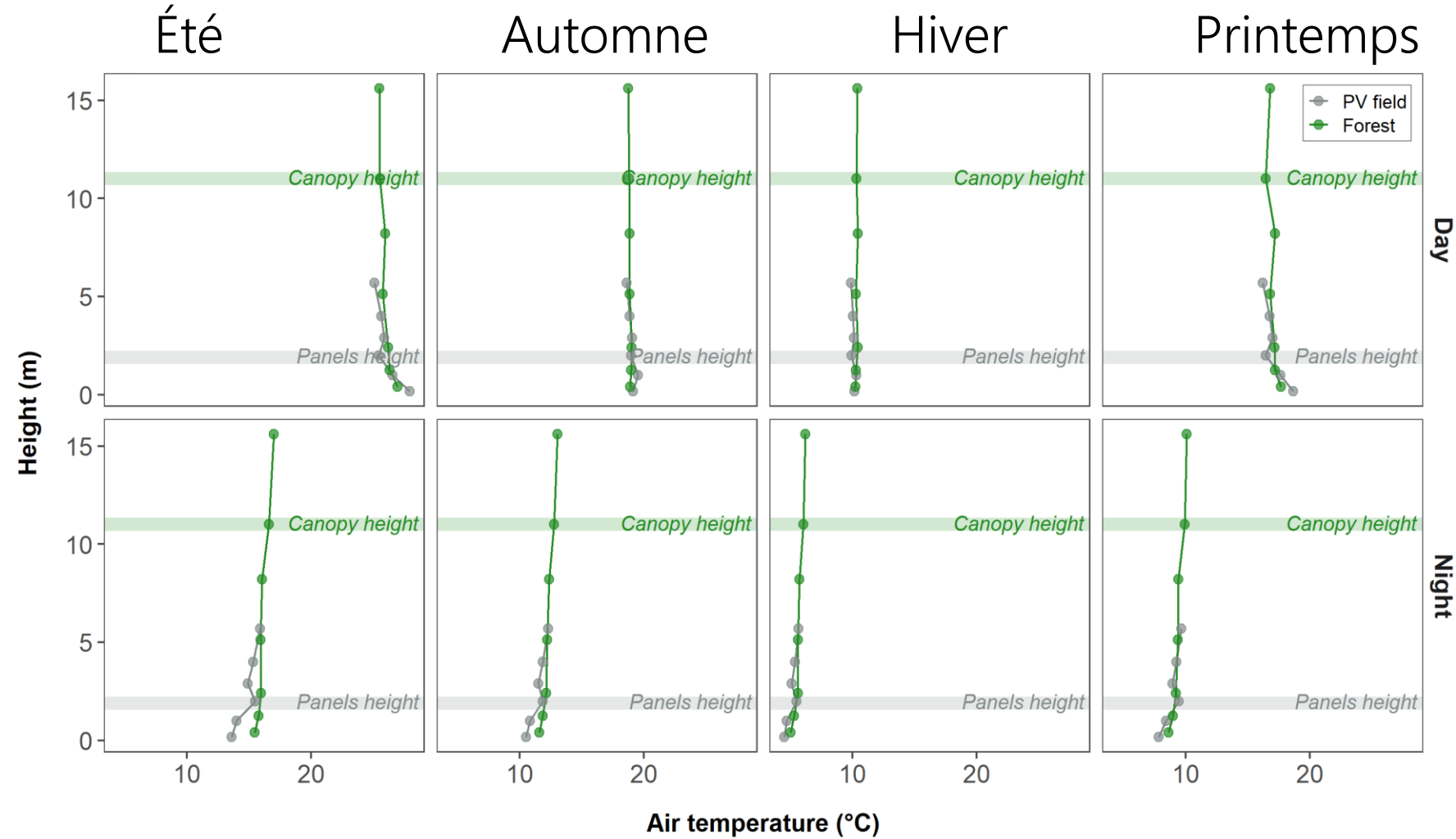
Parc photovoltaïque



Forêt de Pins de 18 ans



1. Comparaison des profils de température moyenne 2022-2024



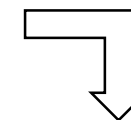
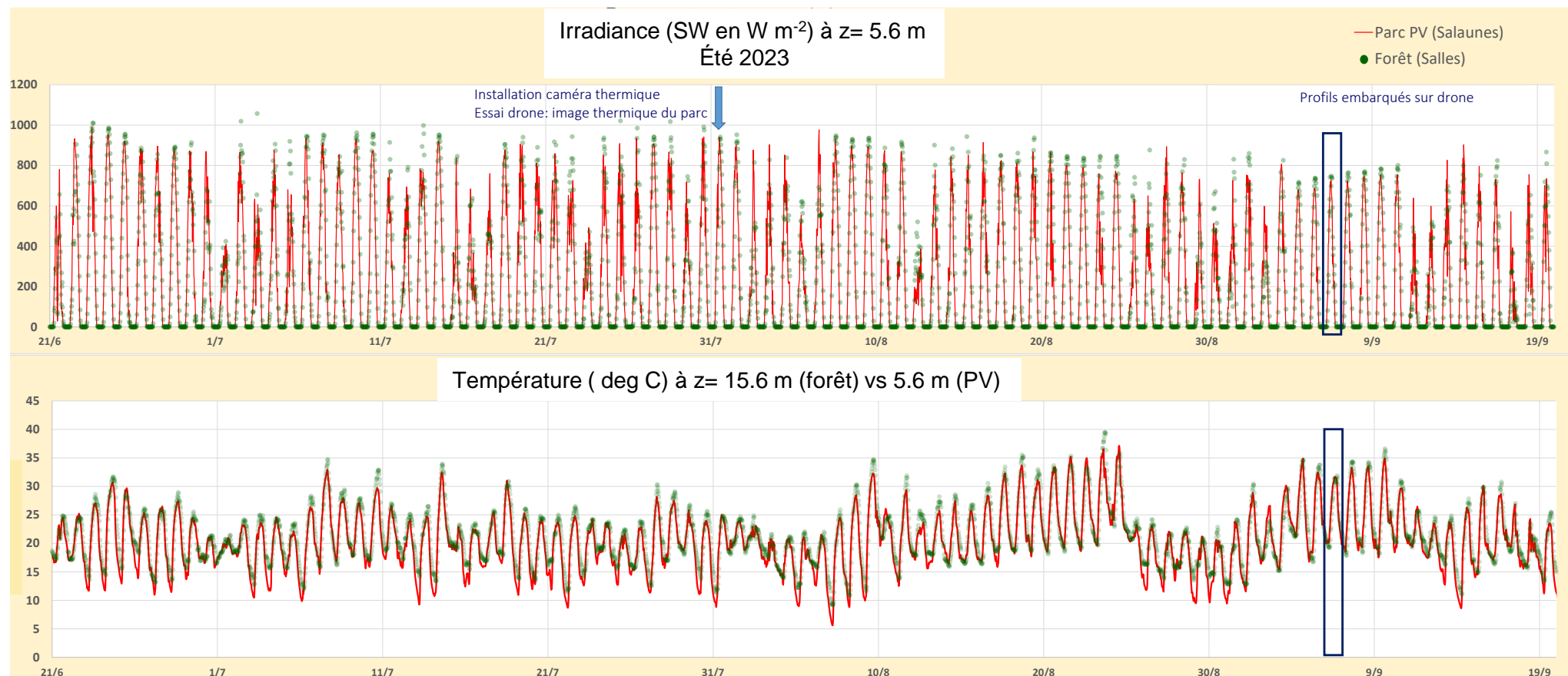
- La différence de température moyenne au dessus de 6m entre parc et forêt est faible à nulle
- Le parc PV a tendance à être plus froid la nuit et plus chaud , en surface, le jour.

1bis. Comparaison de journées identiques

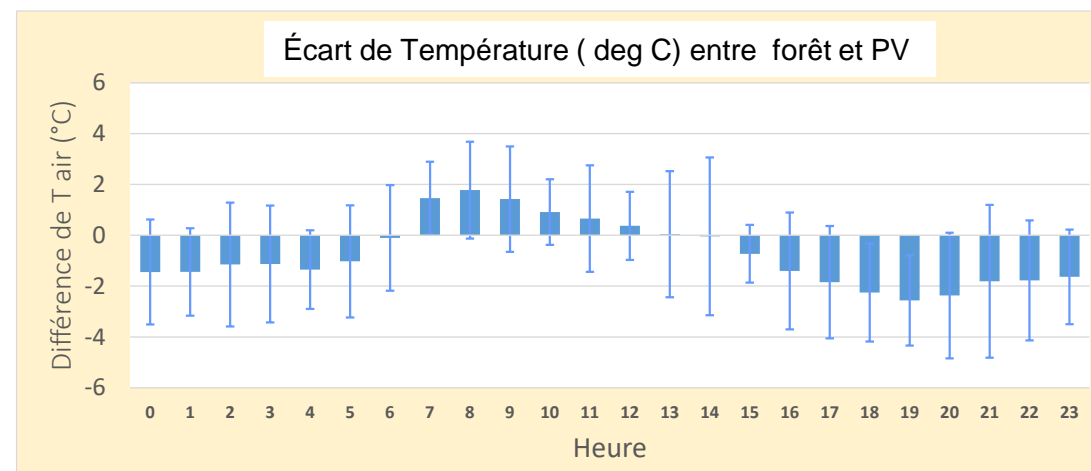
Mesures

Question

Messages



- La température de l'air est plus élevée (max +1.8 degC) au dessus du parc à 8-9h et plus froide l'après midi (max -2.2 degC).
- Cette tendance se reproduit de 2022 à 2024



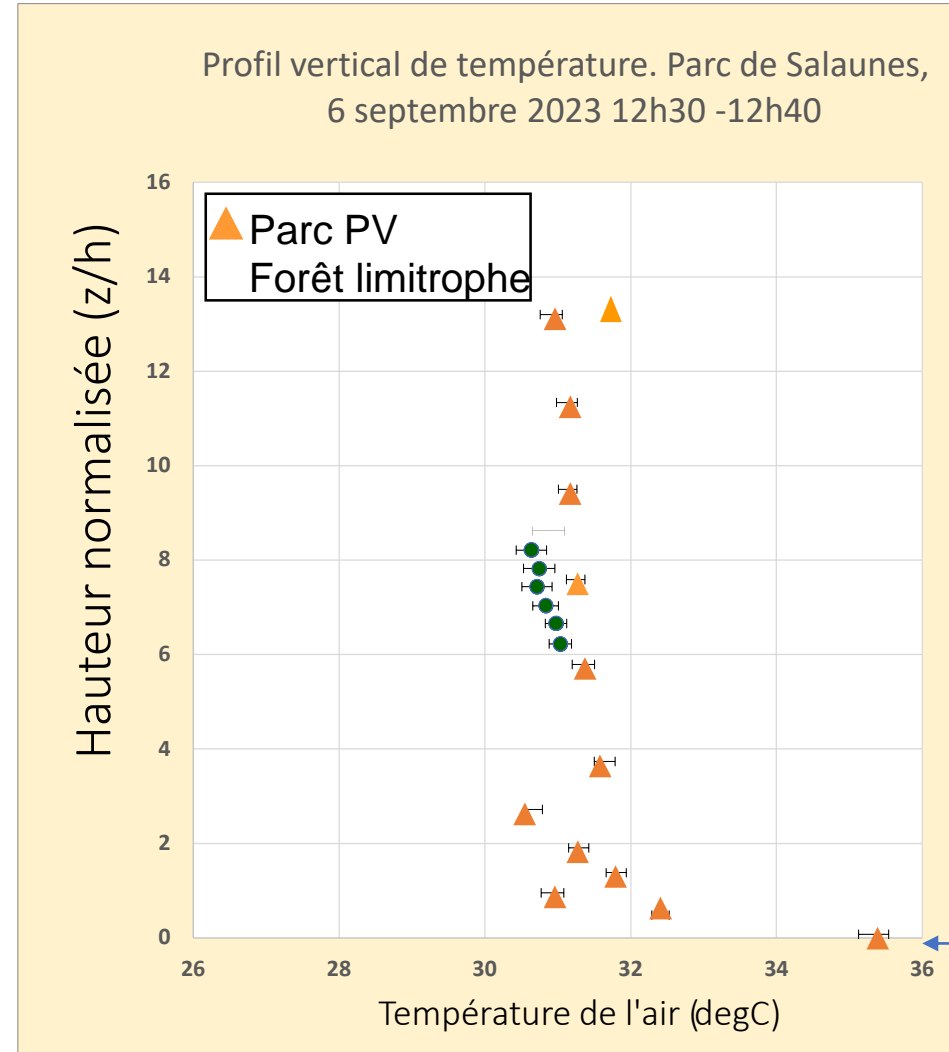
1bis. Comparaison des profils verticaux instantanés de température de l'air

Mesures

Question

Messages

Déploiement du profil vertical
T et HR sous drone.

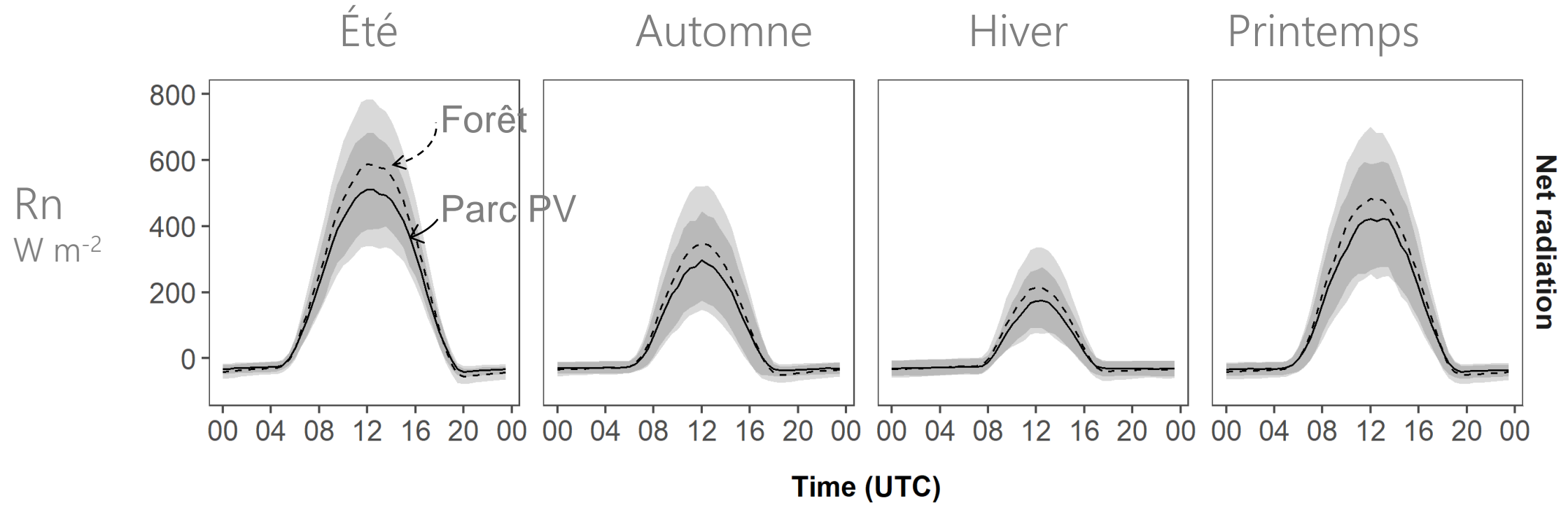


L'écart de température instantanée entre forêt
périphérique et parc est de +0.423 degC.

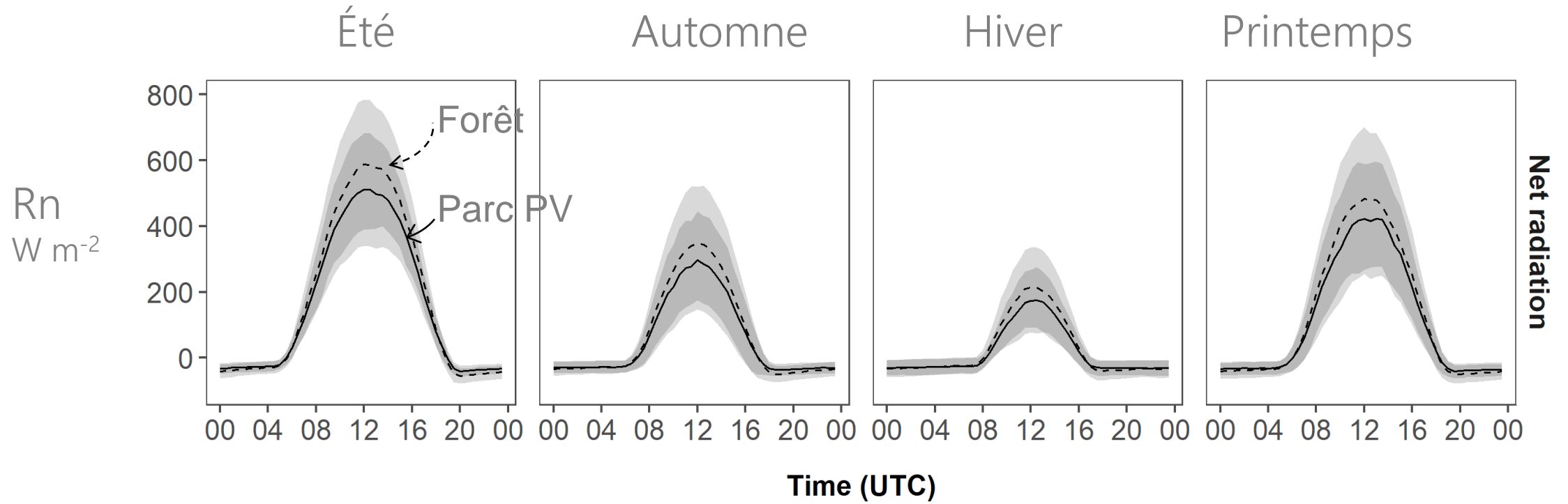
Le profil sur parc se raccorde au
profil sur forêt avec un écart
inférieur à 0.5° C.

La température au contact de la surface
est plus élevée dans le parc PV.

2. L'énergie absorbée par la surface (R_n) est plus importante en forêt,

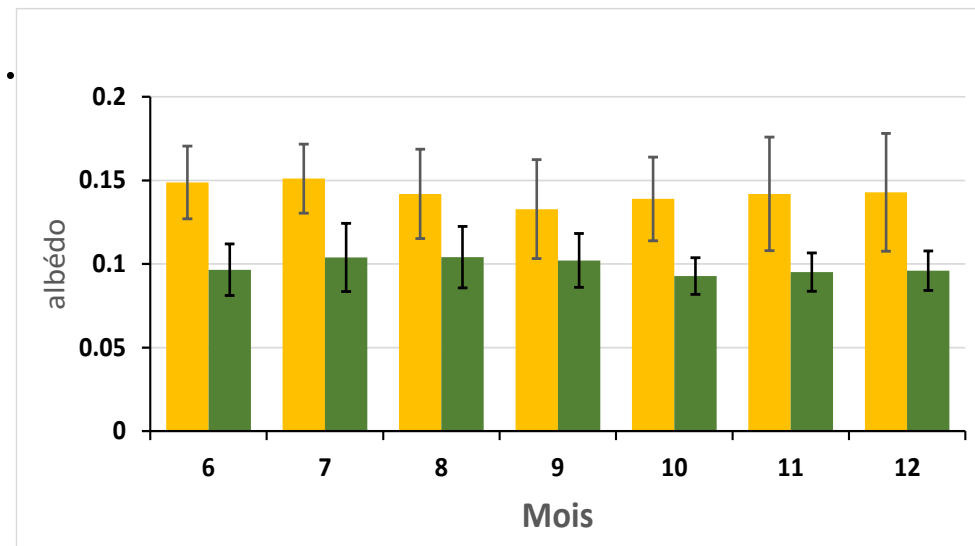


2. L'énergie absorbée par la surface (R_n) est plus importante en forêt,



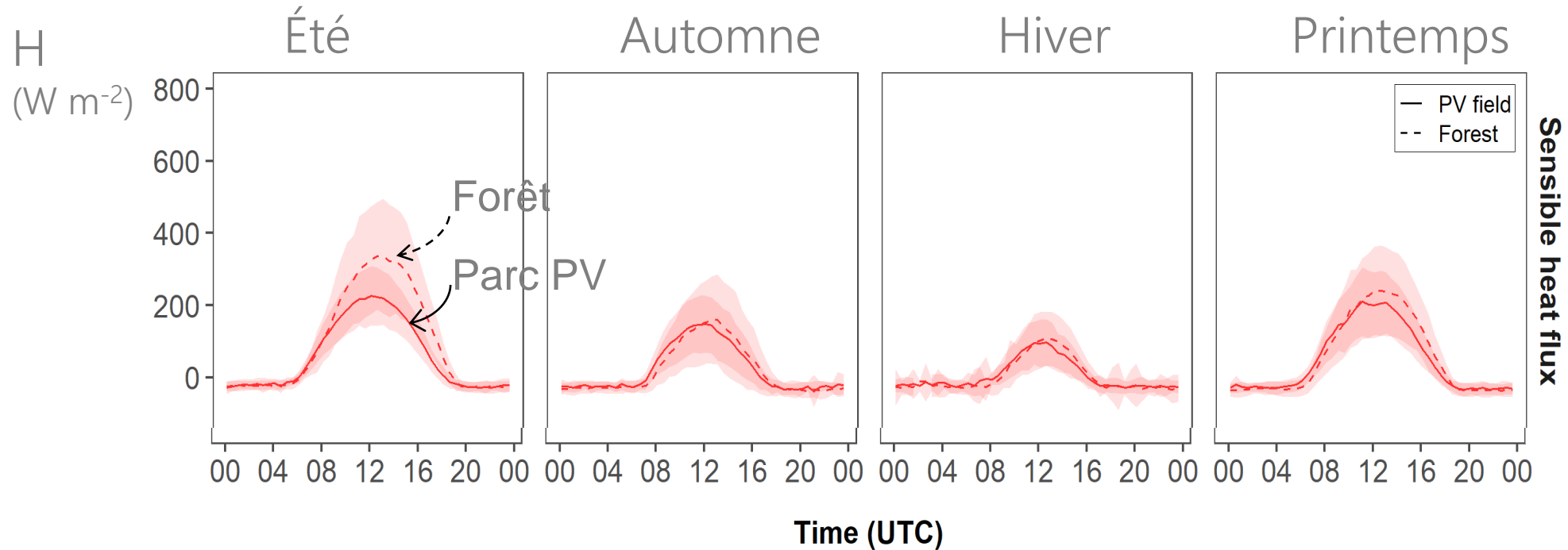
en raison d'un albédo plus faible.

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



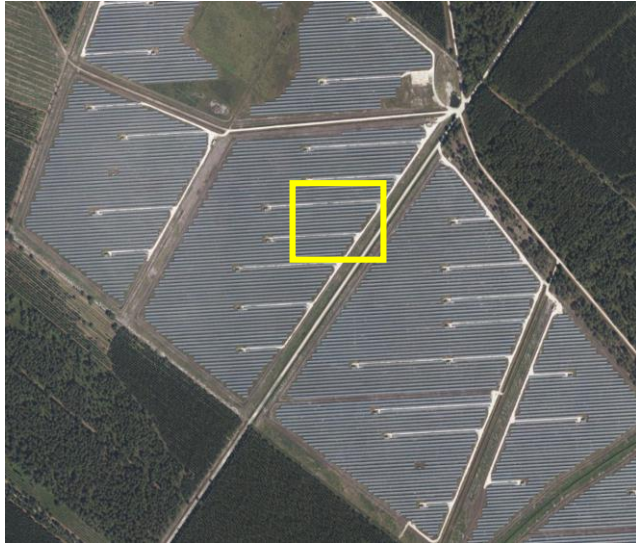
Année 2022

3. Le flux de chaleur sensible, H , est plus élevé sur forêt, au printemps et en été.
- Le parc ne se comporte pas comme un îlot de chaleur

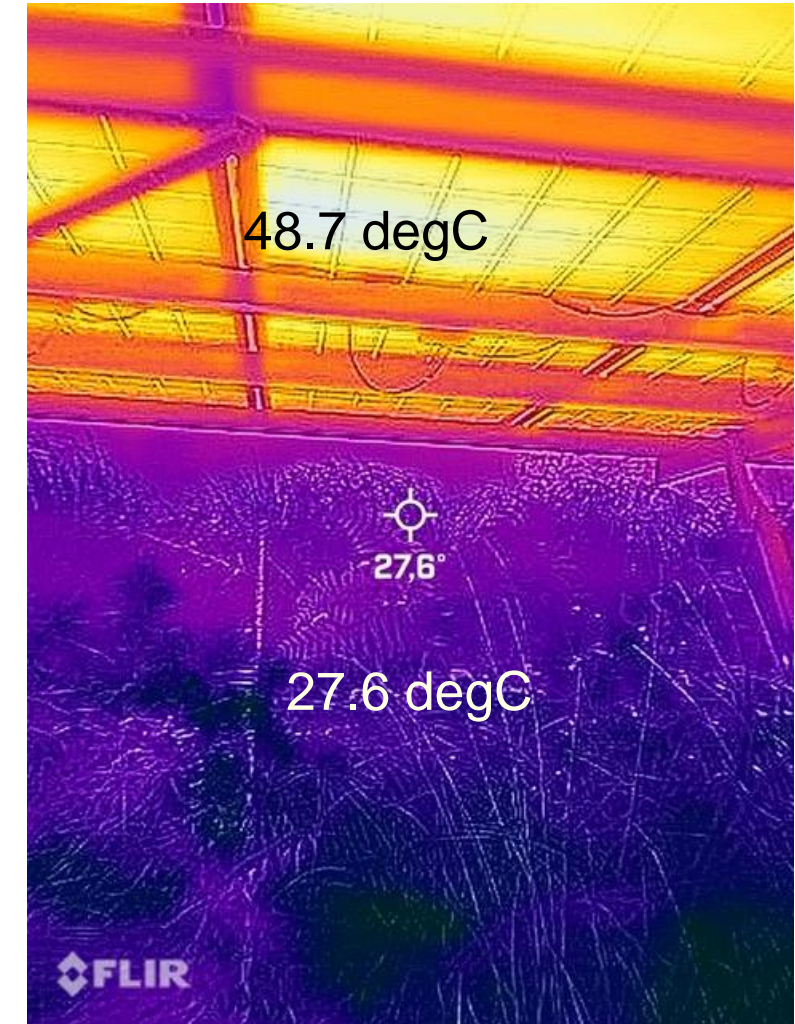


Cinétique journalière moyenne du flux de chaleur sensible, année 2022-2024.

La température de surface des panneaux peut s'élever jusqu'à plus de 50degC

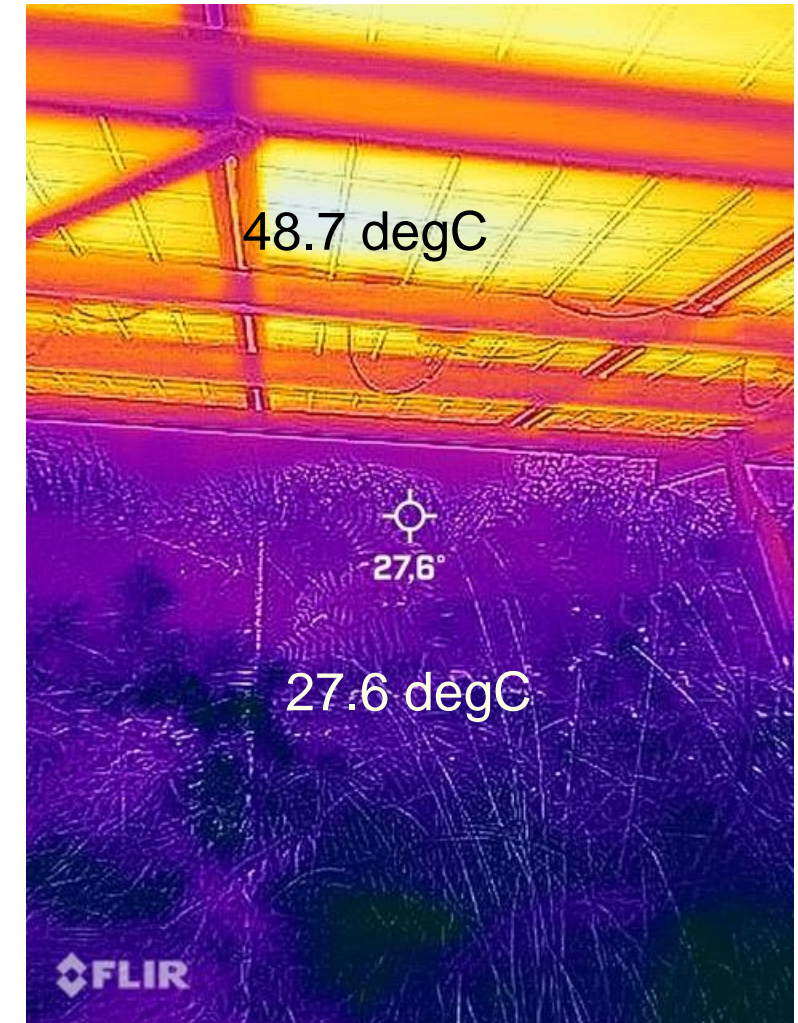
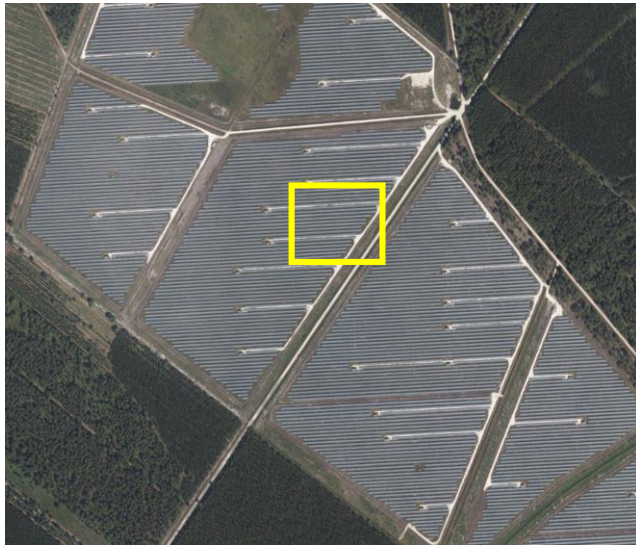


Images thermiques (caméra IR) depuis un drone et au sol
Parc PV de Salaunes, été 2023.



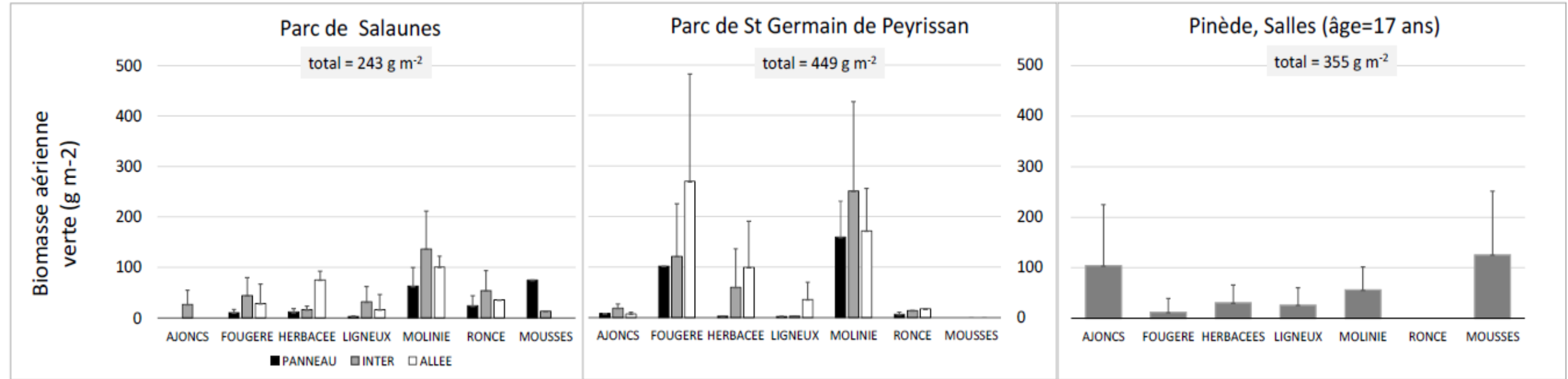
La question :

Pourquoi la température de la surface des panneaux n'entraîne-t elle pas un flux H élevé et une élévation de température dans l'air ?



Réponses.

1. Sous et entre les panneaux, une végétation ~aussi fournie que sous forêt



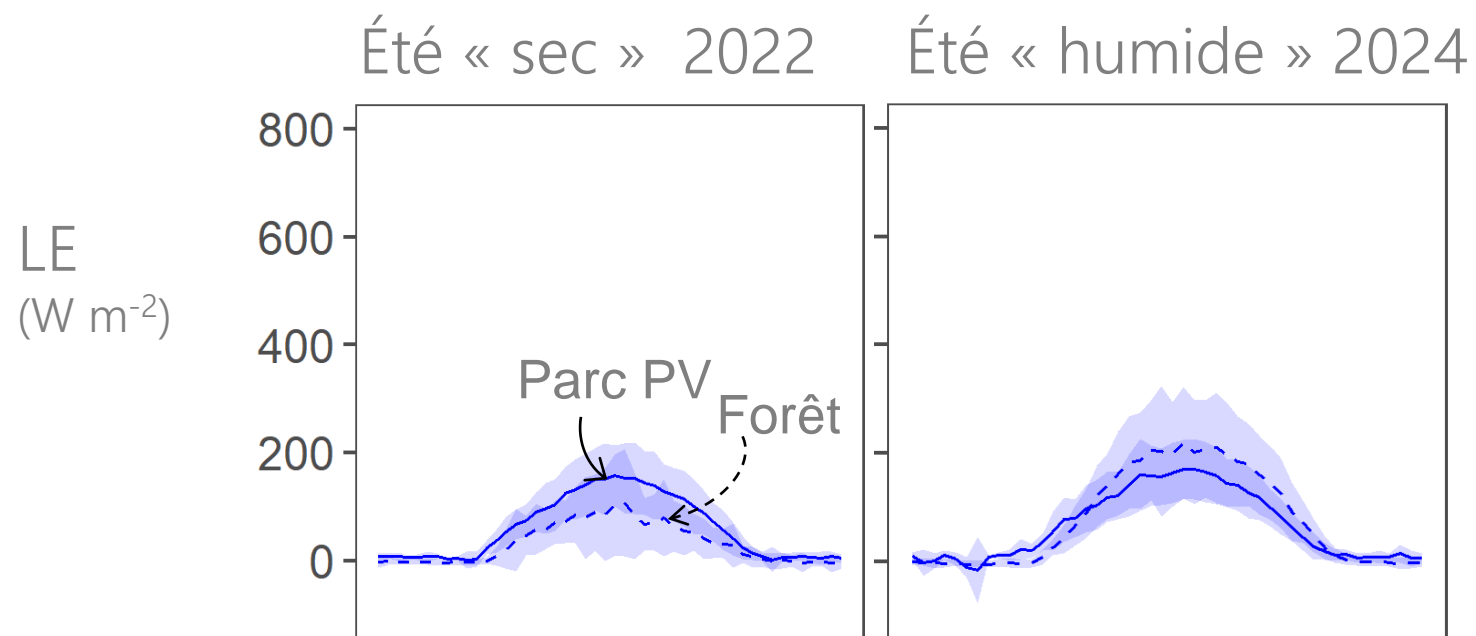
La végétation sous panneau solaire a une biomasse peu différente de celle d'un sous-étage de pins maritimes.

La composition spécifique de la strate herbacée sous PV est dominée par les annuelles, à fort potentiel de transpiration.

Réponses.

Lors d'été caniculaire (2022), le sous étage du parc PV dissipe plus d'énergie sous forme latente que la forêt

Et *vice versa* lors d'étés humides et durant les autres saisons



Cinétique journalière moyenne du flux de chaleur latente, année 2022-2024.

Réponses

Composantes du bilan d'énergie pour une journée d'été typique (sol sec)

	R_n	T_s	LE	H	J_H (sol)	J_H (biomasse)	$P_{(ev)}$ ou J_m	r_{aH}
	$W\ m^{-2}$	deg C	$W\ m^{-2}$	$W\ m^{-2}$	$W\ m^{-2}$	$W\ m^{-2}$	$W\ m^{-2}$	$s\ m^{-1}$
Parc PV	659	49.4	228	268		5 - 30	53	30-80
Forêt	772	31.2	143	502	27	10-20	3	5-10

- En été sec, 35% de l'énergie absorbée par le parc est dissipée en chaleur latente (vs 18% en forêt)

Réponses

Composantes du bilan d'énergie pour une journée d'été typique (sol sec)

	R_n	T_s	LE	H	J_H (sol)	J_H (biomasse)	$P_{(ev)}$ ou J_m	r_{aH}
	W m ⁻²	deg C	W m ⁻²	W m ⁻²	W m ⁻²	W m ⁻²	W m ⁻²	s m ⁻¹
Parc PV	659	49.4	228	268		5 - 30	53	30-80
Forêt	772	31.2	143	502	27	10-20	3	5-10

- En été sec, 35% de l'énergie absorbée par le parc est dissipée en chaleur latente (vs 18% en forêt)
- La production d'électricité consomme 8% de l'énergie absorbée, contre 0.5% pour la photosynthèse végétale.

Réponses

Composantes du bilan d'énergie pour une journée d'été typique (sol sec)

	R_n	T_s	LE	H	J_H (sol)	J_H (biomasse)	$P_{(ev)}$ ou J_m	r_{aH}
	$W\ m^{-2}$	deg C	$W\ m^{-2}$	$W\ m^{-2}$	$W\ m^{-2}$	$W\ m^{-2}$	$W\ m^{-2}$	$s\ m^{-1}$
Parc PV	659	49.4	228	268		5 - 30	53	30-80
Forêt	772	31.2	143	502	27	10-20	3	5-10

- En été sec, 35% de l'énergie absorbée par le parc est dissipée en chaleur latente (vs 18% en forêt)
- La production d'électricité consomme 8% de l'énergie absorbée, contre 0.5% pour la photosynthèse végétale.
- La chaleur émise par la face inférieure des panneaux est confinée au niveau de l'espace sol- panneau (résistance aérodynamique PV = $\sim 7 \times$ celle de la forêt)

Réponses

Composantes du bilan d'énergie pour une journée d'été typique (sol sec)

	R_n	T_s	LE	H	J_H (sol)	J_H (biomasse)	$P_{(ev)} \text{ ou } J_m$	r_{aH}
	$W m^{-2}$	deg C	$W m^{-2}$	$W m^{-2}$	$W m^{-2}$	$W m^{-2}$	$W m^{-2}$	$s m^{-1}$
Parc PV	659	49.4	228	268		5 - 30	53	30-80
Forêt	772	31.2	143	502	27	10-20	3	5-10

- En été sec, 35% de l'énergie absorbée par le parc est dissipée en chaleur latente (vs 18% en forêt)
- La production d'électricité consomme 8% de l'énergie absorbée, contre 0.5% pour la photosynthèse végétale.
- La chaleur émise par la face inférieure des panneaux est confinée au niveau de l'espace sol- panneau (résistance aérodynamique PV = $\sim 7 \times$ celle de la forêt)

Hypothèse à vérifier: la chaleur émise par les panneaux est absorbée par la végétation et dissipée en chaleur latente

Messages

1. Le bilan d'énergie et les flux de chaleur du parc PV différent de la forêt par:
 - Albédo plus élevée
 - Rugosité plus faible
 - Flux de chaleur sensible inférieur
 - Un flux d'évaporation plus constant

Messages

1. Le bilan d'énergie et les flux de chaleur du parc PV différent de la forêt par:
 - Albédo plus élevée
 - Rugosité plus faible
 - Flux de chaleur sensible inférieur
 - Un flux d'évaporation plus constant
2. L'évapotranspiration de la végétation atténue l'émission chaleur sensible par le parc.

Messages

1. Le bilan d'énergie et les flux de chaleur du parc PV différent de la forêt par:
 - Albédo plus élevée
 - Rugosité plus faible
 - Flux de chaleur sensible inférieur
 - Un flux d'évaporation plus constant
2. L'évapotranspiration de la végétation atténue l'émission chaleur sensible par le parc.
3. Les données obtenues depuis 30 mois ne montrent pas d'effet d'îlot de chaleur

Messages

1. Le bilan d'énergie et les flux de chaleur du parc PV différent de la forêt par:
 - Albédo plus élevée
 - Rugosité plus faible
 - Flux de chaleur sensible inférieur
 - Un flux d'évaporation plus constant
2. L'évapotranspiration de la végétation atténue l'émission chaleur sensible par le parc.
3. Les données obtenues depuis 30 mois ne montrent pas d'effet d'îlot de chaleur
4. Les mesures embarquées (drone et caméra thermique) confirment les données in situ.

Les prochains développements par les projets en cours permettront:

- de préciser et affiner ces conclusions
- de les étendre au niveau paysage.

Pour éviter la chaleur, enherbez les parcs!



Merci de votre attention

