

Auteurs : Sara-Fanta KOUYATE - SIRTA - sara-fanta.kouyate@etu.univ-lyon1.fr, Jean-Charles DUPONT - SIRTA/LMD - jean-charles.dupont@ipsl.fr

1. INTRODUCTION

CONTEXTE

- En surface, à la base de la couche limite atmosphérique : transferts d'énergie entre l'atmosphère et le sol (flux radiatifs, les flux de chaleur...) => influencent directement le climat du milieu en surface.
- Mais, non-fermeture du bilan d'énergie de surface (SEB) : problème dans la compréhension et/ou la mesure des flux turbulents, H et LE (Mauder et al, 2020). Par ailleurs, l'hétérogénéité spatiale (type de sol, albédo, humidité du sol, météorologie...) introduit des incertitudes et des différences dans les flux d'énergie de surface (Li et al, 2022).
- Meilleure compréhension des interactions sols-atmosphère => possible amélioration des prévisions du climat en milieu urbain. C'est un enjeu majeur dans le contexte de changement climatique, afin d'adopter de nouvelles stratégies de prévention et d'aménagement des villes et ainsi limiter les effets d'îlots de chaleurs et/ou les épisodes de chaleurs extrêmes.

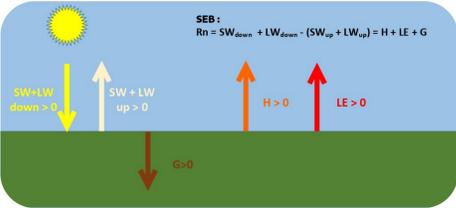


Fig. 1: Schéma des flux d'énergie en surface

SW/LW down : Downward Shortwave/Longwave flux, SW/LW up : Upward Shortwave/Longwave flux, G : Flux de chaleur dans le sol, H : chaleur sensible, LE : Flux de chaleur latente, Rn : Bilan radiatif net

OBJECTIFS

- Analyse des variations des termes du bilan d'énergie de surface (SEB) au-dessus de différents sites en région parisienne au cours des années 2022-2023 : avec zoom sur des épisodes de chaleurs extrêmes
- Comprendre les processus impliqués dans la variation des flux de chaleurs
- A terme contribuer à comprendre les rétroactions des flux sur la température de l'air proche de la surface

2. METHODE

Etudes du SEB sur 5 sites :

SIRTA, Grignon, Barbeau-Fontainebleau, Jussieu/Qualair, Romainville (cf. Images ci-à-gauche)

Données:

Utilisation de données de flux et de données météo principalement :

- ReOBS SIRTA 1D (2003-2024) résolution d'1h
- ICOS Data (2018-2024) résolution de 30 min



INSTRUMENTS :

- Radiomètres : pyranomètre => SW, pyr géomètre => LW
- Anémomètre 3D sonique : 3 composantes de la vitesse du vent + température sonique => H, LE
- Analyseur de gaz CO2/H2O : flux de CO2 et H2O => LE
- Capteurs de flux de chaleur : thermopiles => G

$$H = \rho c_p w' T'$$

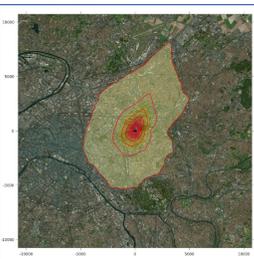
$$LE = \rho L_v w' q'$$

	Type de surface	Flux radiatifs SW-LW	Chaleur sensible H	Chaleur latente LE	Chaleur dans le sol G
SIRTA	Prairie	10 m	2m, 50m	2m, 50m	-5 cm
Grignon	Champs (roulement de cultures)	5.3 m	2-3 m	2-3 m	Entre 0 et -5 cm
Fontainebleau	Forêt	36 m	36 m	36 m	-6 cm
Jussieu	Zone urbaine	35m	35m	35m	/
Romainville	Zone péri-urbaine	100m	100m	100m	0 m

Tab.1 : Type de surface et hauteurs de mesures dans les différents sites étudiés

4. CONCLUSION

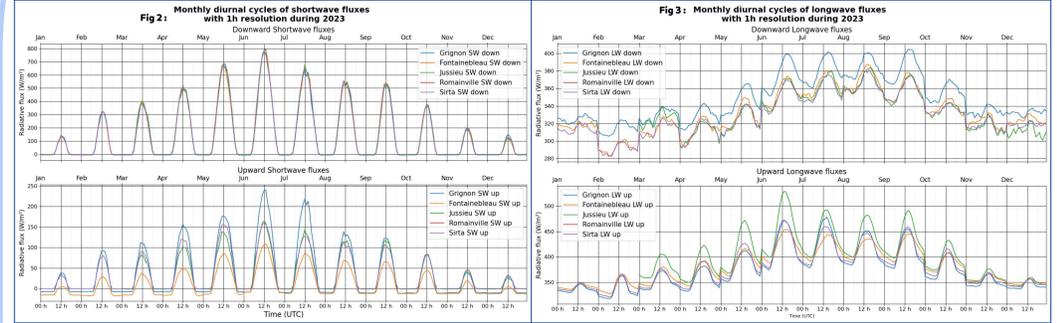
Fig 10: Exemple d'un footprint de la Tour de Romainville



- Les valeurs des flux et leurs variations au cours de l'année diffèrent d'un site à l'autre. Concernant les flux radiatifs on remarque l'influence de l'albédo et la température au sol sur les flux radiatifs sortants.
- L'énergie retenue par la surface (bilan radiatif net) se répartit entre autre dans les flux de chaleurs sensible, latente et du sol. Le partitionnement de cette énergie dépend, on le voit (partie 3), de la nature de la surface (végétation ou zone urbaine), de la période de l'année, de l'humidité du sol, de la culture en place dans le cas de champs cultivés... Pour aller plus loin, nous pourrions regarder l'évolution du ratio Bowen (H/LE) pour chaque site

- Toutefois, les mesures des flux ne sont pas forcément représentatives de l'échelle locale. En effet, chaque instrument possède un footprint (cf. Fig 10), une zone source des flux de chaleurs, plus ou moins étendue, selon la météorologie mais aussi la hauteur de mesure. Il paraît donc intéressant de calculer et analyser le footprint au niveau des différents sites
- Prochainement, des zooms pourront être effectués sur des périodes plus courtes (une semaine, quelques jours) afin de mieux comprendre les processus en jeu. On se penchera aussi davantage sur l'effet de l'hétérogénéité spatiale à l'échelle d'un site et de l'influence de la rugosité sur les flux de surface.

3. RESULTATS

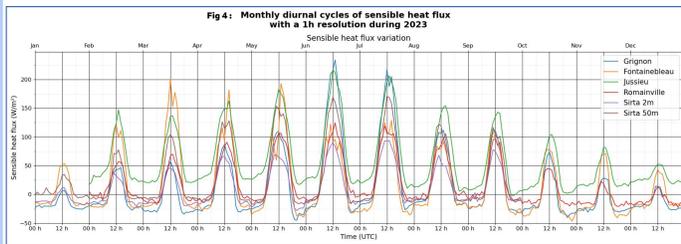


- Même flux SW down au niveau de tous les sites
- Différence des sites des flux SW up => albédo

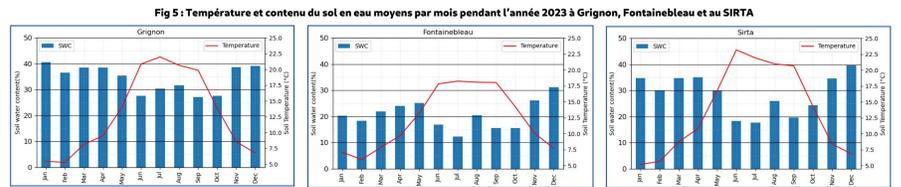


- LW down offset à Grignon : certainement dû à un souci de calibration
- LW up plus important à Jussieu

Le flux de chaleur sensible (H) dépend de la température de l'air et de la variation de la vitesse verticale du vent

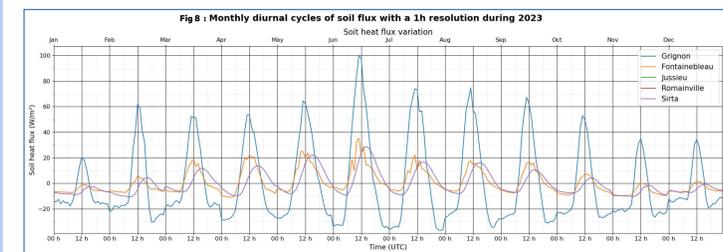
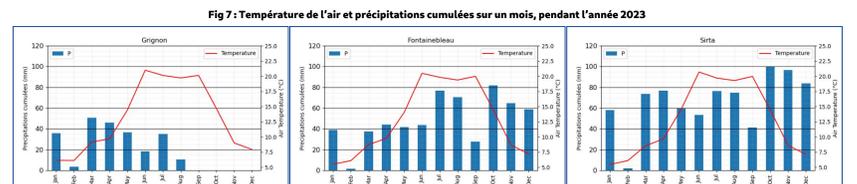
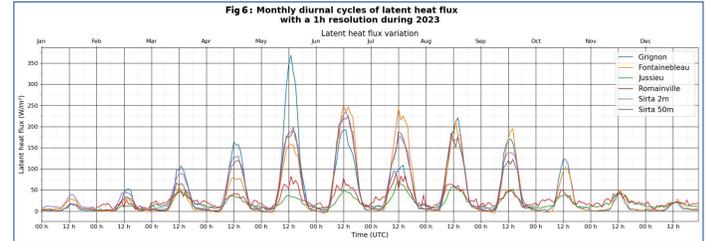


- Fig. 4, Jussieu libère le plus de chaleur presque toute l'année
- Pendant la nuit H>0 à Jussieu : T_{sol} > T_{air} en milieu plus végétalisée H<0 la nuit : T_{sol} < T_{air}
- En Mars-Avril-Mai : H élevée à Fontainebleau et du même ordre que Jussieu (175-200W/m²): pas encore de feuilles ? sol sec (Fig.5)?
- En Juin-Juillet : flux important à Grignon, du même ordre que Jussieu (>200W/m²), orge jeune mature + récolte de l'orge et sol nu en juillet

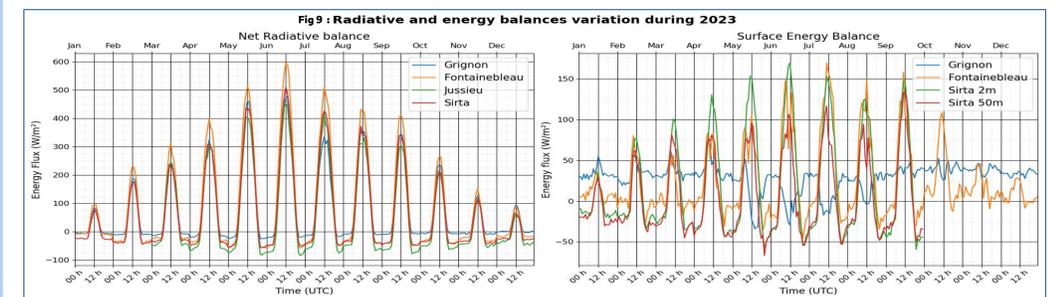


Le flux de chaleur latente (LE) dépend de l'évapotranspiration du sol et des plantes, qui est limitée par l'ensoleillement et la quantité d'eau disponible dans le sol ou d'eau interceptée par les feuilles

- En ville (Romainville et Jussieu) flux de chaleur latente les plus bas (Fig.6)
- Pic de LE à Grignon en mai (>350W/m²) : orge d'hiver verte, pluie importante en mars. Chute brutale ensuite car récolte et semis de la nouvelle culture (blé noir)
- A Fontainebleau, en juin-juillet-aout LE (Fig. 6) augmente alors que H baisse (Fig.4) : davantage de feuilles et pluie (Fig.7)?



- Flux de chaleur dans le sol (G) suit le cycle diurne (Fig.8)
- Retard du maximum de G au SIRTA: mesures à 5 cm contre des mesures entre 0 et 5 cm à Grignon (Tab.1)
- Grosse amplitude de variation de G à Grignon par rapport à Fontainebleau : un sol est sous forêt (Fontainebleau) l'autre non



- Bilan radiatif maximum à Fontainebleau en journée : SW up moins important qu'aux autres sites à cause de l'effet albédo
- A Grignon, en juillet, moins d'énergie absorbée : flux SW up (sol nu mais plus sec en surface que le reste de l'année) et LW up plus élevés (en juillet, température du sol maximale de l'année)
- Résidu du bilan énergétique de surface (SEB) maximal en été
- La pire fermeture du SEB se trouve à Sirta (2m) tandis que la meilleure se fait à Grignon : influence de l'hétérogénéité du paysage du site et/ou de la stabilité de l'atmosphère (Mauder et al, 2020) ?

REMERCIEMENTS

C. Kalalian (INRAE), P-H. Herig-Coimbra (INRAE), L. Bignotti (INRAE)



BIBLIO :

- Mauder, M., Foken, T. & Cuxart, J. Surface-Energy-Balance Closure over Land: A Review. *Boundary-Layer Meteorol* 177, 395–426 (2020). <https://doi.org/10.1007/s10546-020-00529-6>
- Li, L., Bisht, G., and Leung, L. R. Spatial heterogeneity effects on land surface modeling of water and energy partitioning. *Geosci. Model Dev.*, 15, 5489–5510, (2022). <https://doi.org/10.5194/gmd-15-5489-2022>
- Website ICOS : <https://www.icos-cp.eu/>
- Website ReOBS : <https://reobs.aeris-data.fr/en/download/>