

## Objectifs

La végétation est de plus en plus présente en milieu urbain. Les facteurs de ce développement sont multiples : la prise de conscience environnementale, l'adaptation au changement climatique, une meilleure gestion des eaux pluviales. Ce changement de paradigme dans l'aménagement urbain entraîne une modification des bilans hydrique et énergétique, en particulier en favorisant l'évapotranspiration.

Une meilleure estimation de l'évapotranspiration devrait donc permettre une meilleure estimation des gains engendrés par la végétation et les techniques végétalisées en milieu urbain.

Le phénomène d'évapotranspiration a la particularité d'être très variable. Le taux d'évapotranspiration varie fortement au cours d'une journée et les amplitudes de variations dépendent de la saison, du sol, du type et du développement de la végétation. En milieu urbain, où l'hétérogénéité des surfaces est grande, il est donc nécessaire d'avoir des mesures en continu (infrajournalière), sur le long terme (plusieurs saisons) et si possible sur différents types de surface dont les superficies peuvent être relativement faibles : quelques dizaines de m<sup>2</sup> seulement.

Pour cela une chambre à évapotranspiration a été réalisée au Cerema et utilisée pour la mesure de l'évapotranspiration de toitures végétalisées.

## Dispositif expérimental

Le principe d'une chambre à évapotranspiration est de mesurer la variation d'humidité à l'intérieur d'une enceinte fermée afin d'en déduire le flux d'évapotranspiration. La relation entre le flux d'évapotranspiration ( $LE$  en  $W.m^{-2}$ ) et l'humidité absolue ( $\rho v$ , en  $g.m^{-3}$ ) est la suivante :

$$LE = 10^{-3} Lh \frac{\Delta \rho v}{\Delta t}$$

Où  $L$  est la chaleur latente de vaporisation de l'eau ( $J.kg^{-1}$ ),  $h$  est la hauteur de l'enceinte (m),  $t$  est le temps (s).

La chambre à évapotranspiration du Cerema (Figure 1) est constituée d'une enceinte en plexiglas d'une surface de 1 m<sup>2</sup> et d'une hauteur de 30 cm. Une embase métallique permet d'assurer l'étanchéité avec le sol. A l'intérieur de la chambre, l'humidité absolue est mesurée avec un analyseur de gaz LI-COR LI-7500 (LI-COR, Lincoln, USA). Des mesures de température (T107, Campbell Scientific, USA) et de rayonnement net (NR-Lite, Kipp & Zonen, Delft, The Netherlands) sont également réalisées à l'intérieur de l'enceinte dans le but de vérifier les éventuelles modifications de ces paramètres lors de la pose de l'enceinte.

Enfin le brassage de l'air à l'intérieur de l'enceinte est assuré par deux ventilateurs (3100 tr.min<sup>-1</sup>, débit d'air de 68 m<sup>3</sup>.h<sup>-1</sup>).

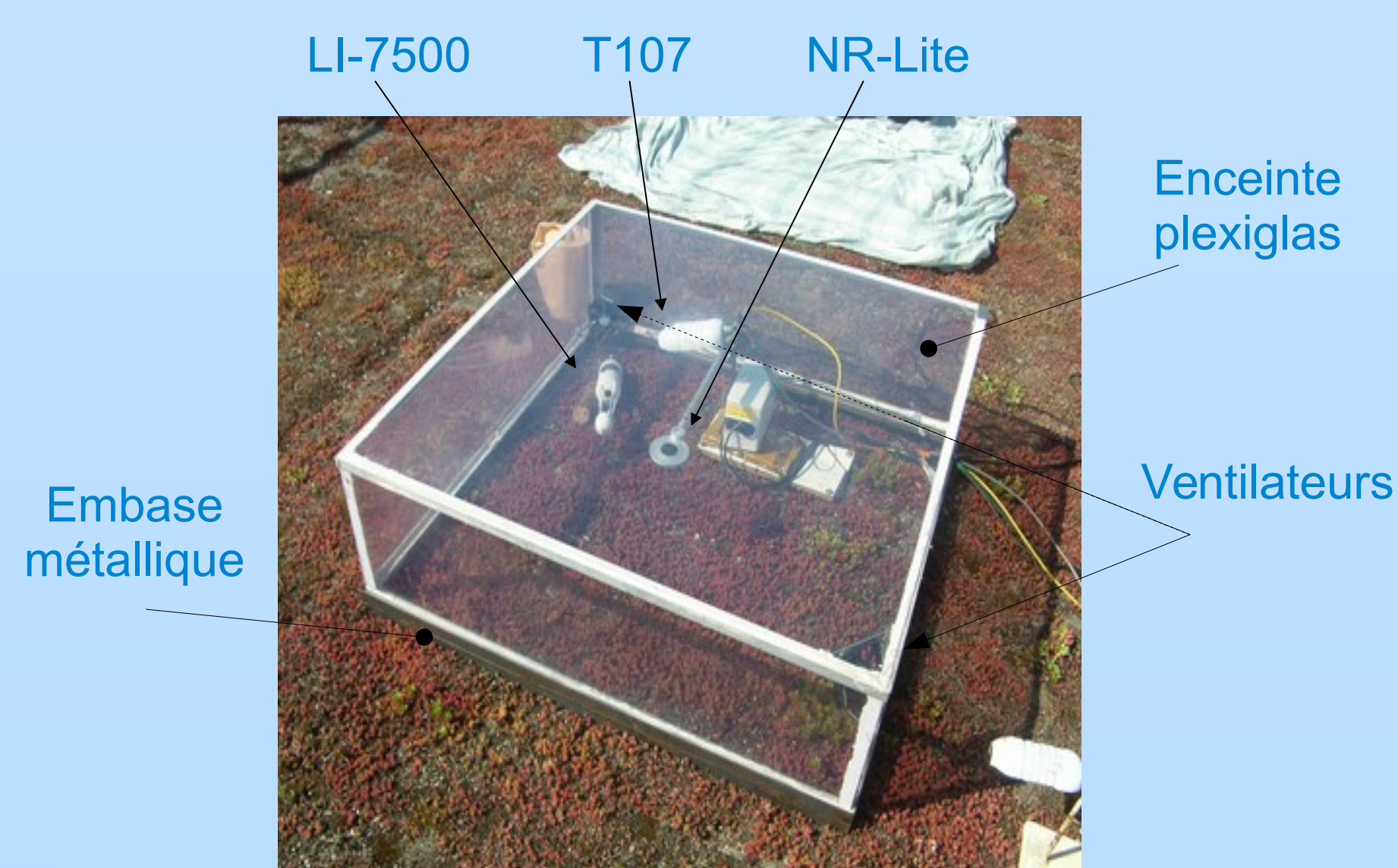


Figure 1 : Photographie de la chambre à évapotranspiration du Cerema et de ses composants.

Ce travail fait partie du projet TERRACES

(Toitures végétales pour RafRaichir les Ambiances Climatiques urbaines)

financé par l'ADEME

Contacts :

Rémy Claverie. [Remy.claverie@cerema.fr](mailto:Remy.claverie@cerema.fr) ;

David Ramier. [david.ramier@cerema.fr](mailto:david.ramier@cerema.fr)



## Méthodologie

### Site de mesure

A la Dter Ile-de-France du Cerema, à Trappes (45 km au sud-est de Paris), une toiture végétalisée a été réalisée en juin 2011. La surface d'environ 400 m<sup>2</sup> a été divisée en 6 compartiments végétalisés de 35 m<sup>2</sup> (7x5 m). La composition de ces 6 compartiments varie suivant (Tableau 1 et Figure 2) :

- **L'épaisseur et la nature du substrat** : 3 et 15 cm de substrat extensif (lapillus, tourbe et compost vert, 3,4 % massique de matière organique) et de substrat intensif (lapillus, tourbe et compost vert, 5,8% massique de matière organique) ;

- **La végétation** : mélange de sedum (*S. album*, *S. sexangulare*, *S. reflexum*, *S. kamchatikum*, *S. spurium*, *S. Acre*) ou mélange d'herbacées et sedum (*Festuca ovina*, *Festuca rubra*, *Dianthus carthusianorum*, *Poa pratensis*, *Koeleria glauca*) ;

- **La couche de drainage** : polystyrène expansé ou pouzzolane.

Tableau 1 : Composition des 6 compartiments végétalisés.

Code	SE3Y	SE3Z	NE3Y	SE15Y	GE15Y	GI15Y
Plantes	Sedum (S)	Sedum (S)	Sans (N)	Herbacées + sedum (G)		
Substrat	Extensif (E)			Intensif (I)		
Épaisseur	3 cm			15 cm		
Drainage	Polystyrène expansé (Y)	Pouzzolane (Z)	Polystyrène expansé (Y)			



Figure 2 : Photographie des 6 compartiments végétalisés.

Un suivi du fonctionnement hydrologique de ces compartiments est réalisé et comprend :

- Un pluviomètre sur le toit ;
- La mesure du ruissellement par augets basculants ;
- La mesure des teneurs en eau dans le substrat à différentes profondeurs.

## Résultats

### Variabilité inter-compartiments

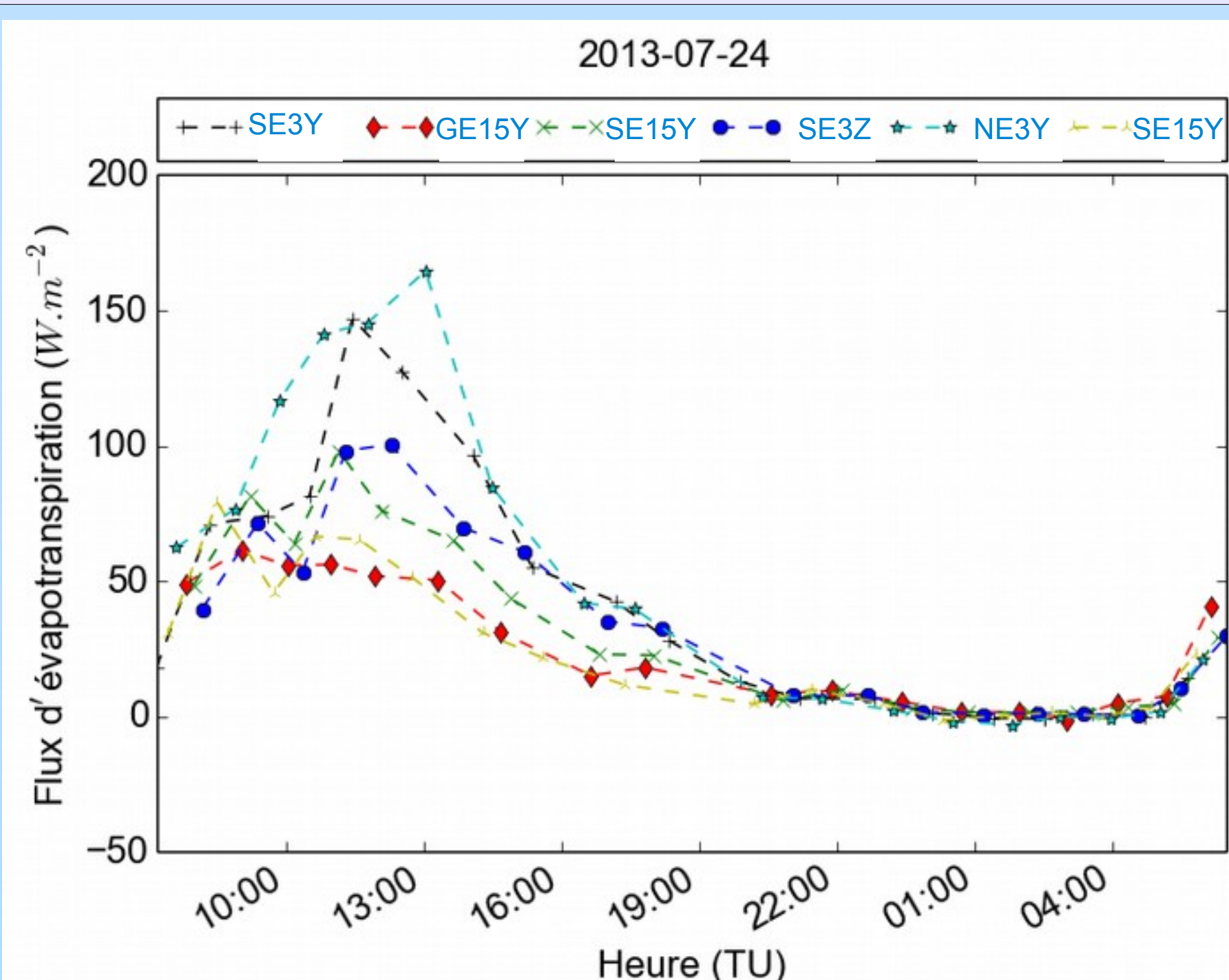


Figure 4 : Flux d'évapotranspiration pour les 6 compartiments au cours de la journée du 24 au 25 juillet 2013 (mesures horaires du 24 juillet 08h00 (TU) au 25 juillet 08h00 (TU)).

### Principe de la mesure

Lorsque l'embase est posée sur le sol, les instruments sont ensuite placés à l'intérieur de celle-ci. Les mesures de température, de rayonnement net et d'humidité absolue sont enregistrées chaque seconde. Un délai de cinq minutes est alors observé pour permettre la stabilisation des mesures puis l'enceinte en plexiglas est posée sur l'ensemble. Le temps de pose est de deux minutes, l'enregistrement des données est toujours de une seconde.

La variation d'humidité absolue  $\frac{\Delta \rho v}{\Delta t}$  est alors calculée par régression linéaire (Figure 3) sur la première minute de mesure. Il est en effet considéré que l'influence de la chambre sur la dynamique du flux d'évapotranspiration est minime pendant ce laps de temps.

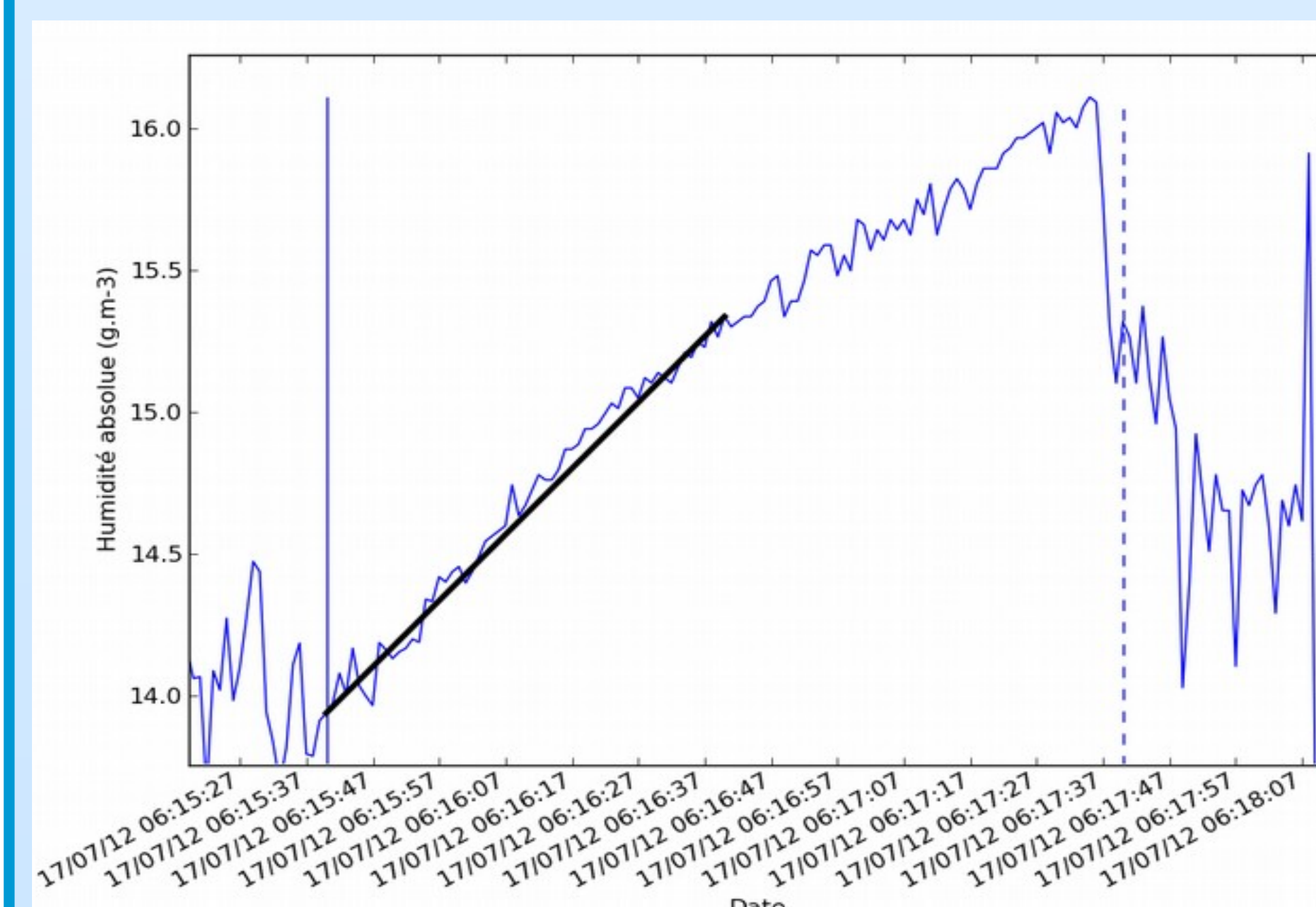


Figure 3 : Variation de l'humidité absolue à l'intérieur de la chambre à évapotranspiration. Les traits verticaux bleus matérialisent la pose de l'enceinte (trait continu) et la dépose de l'enceinte (trait pointillé). Le trait en noir indique la régression linéaire de l'humidité absolue au cours du temps pendant la première minute de pose.

La chambre est ensuite déplacée sur un autre compartiment. L'embase est posée au sol, les instruments mis à l'intérieur. Après une pose de cinq minutes, l'enceinte est de nouveau posée pendant deux minutes.

Pour les 6 compartiments végétalisés de Trappes, des mesures mensuelles ont été réalisées entre février 2013 et août 2014. Elles consistent en un point de mesure horaire sur chaque compartiment.

### Variabilité saisonnière

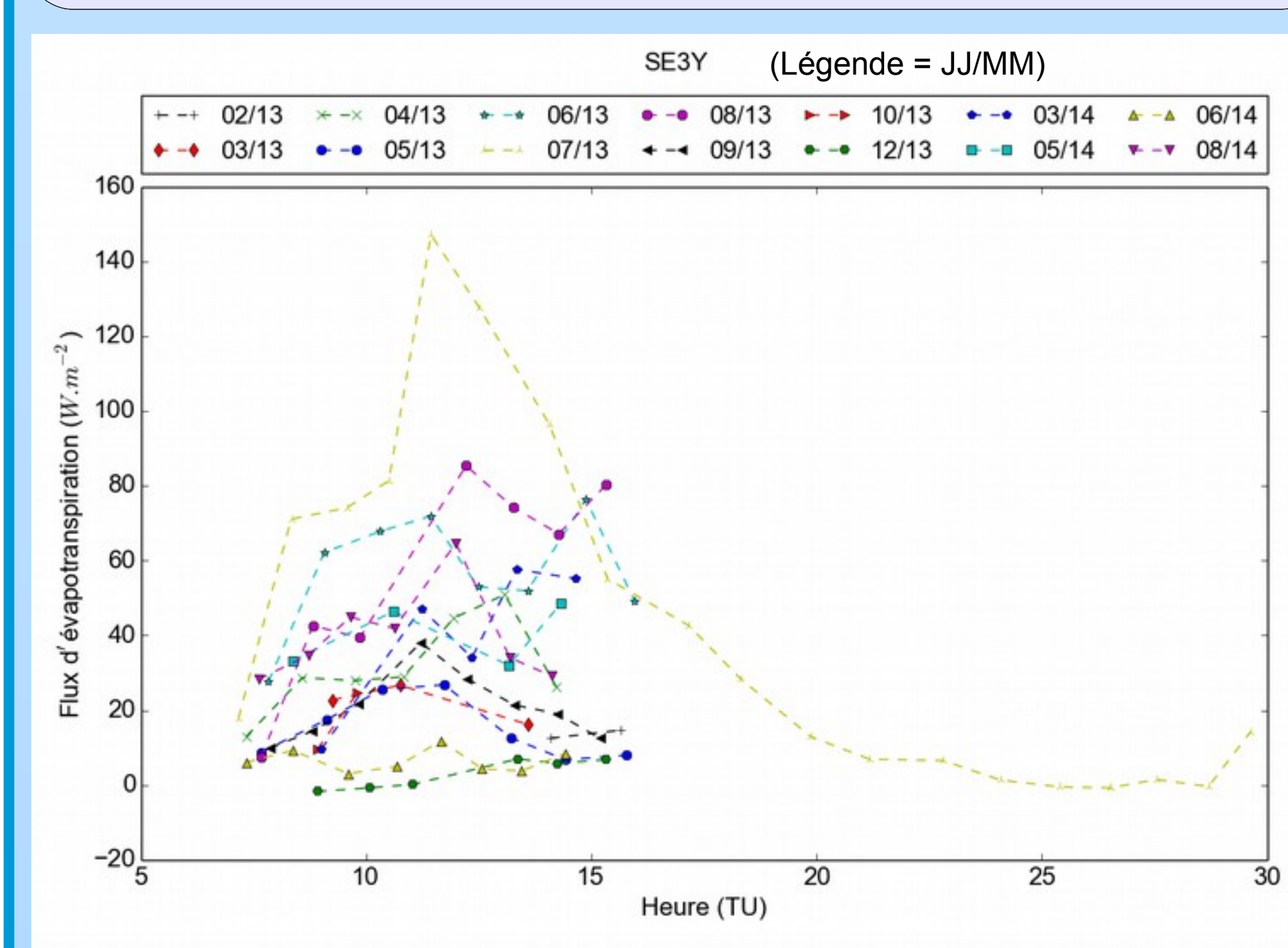


Figure 5 : Cycles journaliers du flux d'évapotranspiration pour le compartiment SE3Y.

### Comparaison avec le bilan hydrique

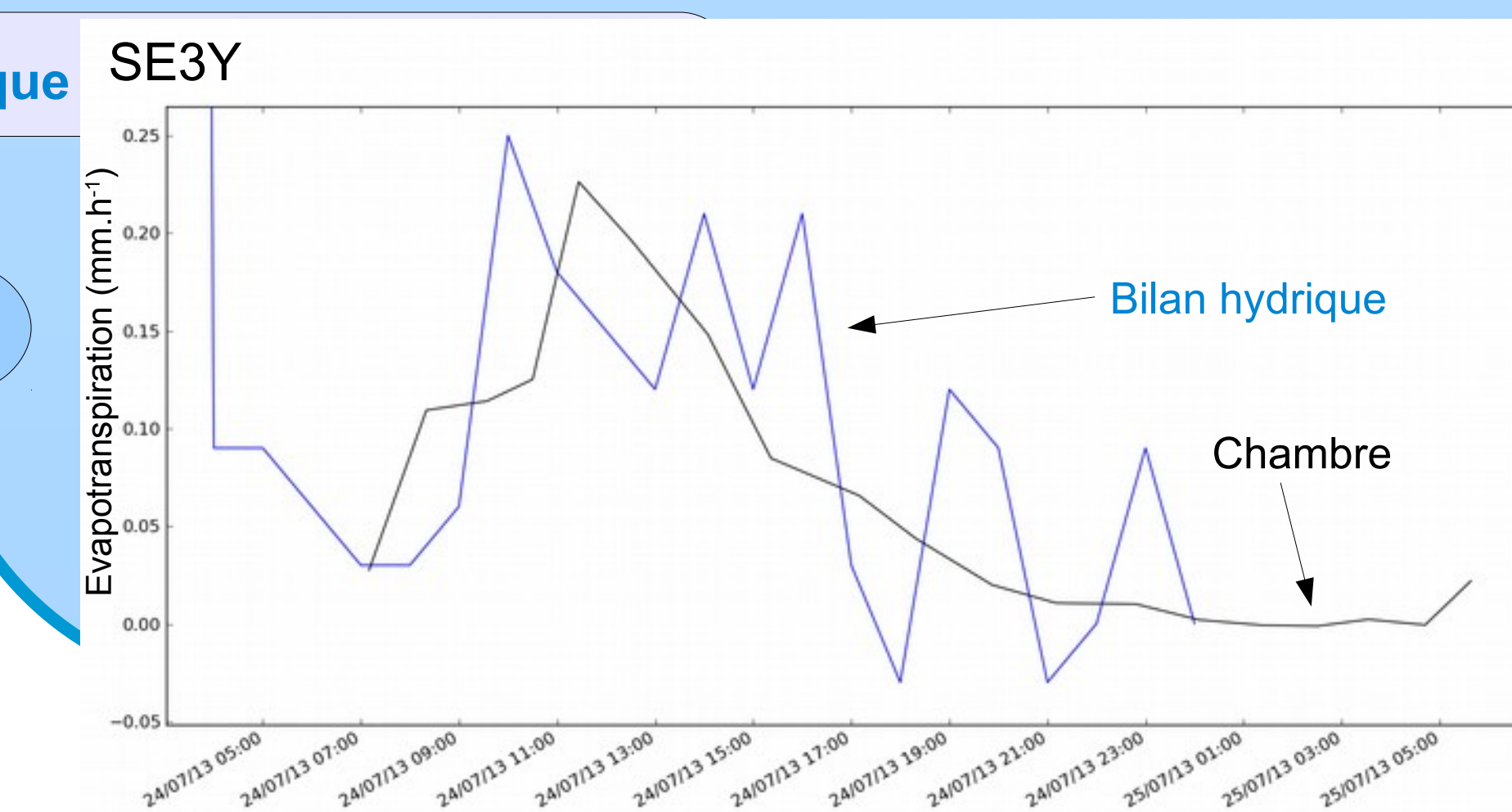


Figure 6 : Comparaison entre le flux d'évapotranspiration mesuré par la chambre et estimé par fermeture du bilan hydrique pour le compartiment SE3Y pour la journée du 24 au 25 juillet 2013.

## Conclusions

Ces mesures ont permis d'obtenir des flux d'évapotranspiration de toitures végétalisées qui seront utiles à la validation de modèles. La variabilité journalière du flux (Figure 4) est bien observée ainsi que les différences entre compartiments. La mesure avec la chambre permet également d'appréhender la variabilité saisonnière (Figure 5). Cependant la validation de la mesure doit encore être approfondie. La comparaison avec des mesures de bilan hydrique montre cependant une certaine cohérence entre les mesures (Figure 6).