

Caractérisation thermo-hydrrique d'une toiture végétalisée

Mise au point de l'instrumentation

Ryad BOUZOUIDJA, Rémy CLAVERIE,
David LACROIX, Geoffroy SÉRÉ

Lundi 17 octobre 2011



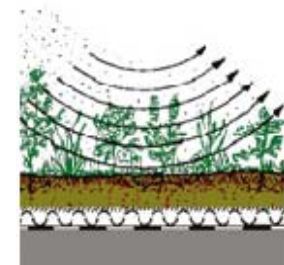
SOMMAIRE

- Introduction – Contexte
- Généralités
- Démarche
- Méthodes instrumentales
- Utilité de la mesure pour la modélisation
- Premiers résultats
- Conclusion – perspectives

Introduction

Avantage des toitures

- **Aspects techniques**
 - **Rétention d'eau**
- **Aspects confort**
 - **Isolation thermique et acoustique**
 - **Impact sur les îlots de chaleur urbain**
- **Aspects environnementaux**
 - **Biodiversité en ville**
 - **Dépollution de l'air et de l'eau**



Vegetoit.com

Inconvénients des toitures

- **Fonctionnement mal connu (peu de publications sur les modèles)**



Geo.fr

Généralités

- les déperditions (flux thermique) de la toiture sont prépondérantes au niveau du bâtiment,



Diverses Sources de déperdition d'une maison
Source : cu-bordeaux.eu

- La RT 2005 intègre la toiture végétalisée dans son dimensionnement,



Démarche

Peu de modèles...

- Études existantes mais peu de modélisation
- Complexité du substrat et de la végétation

Conditions extérieures

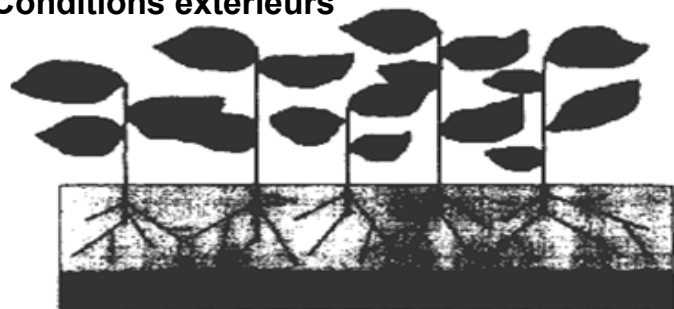


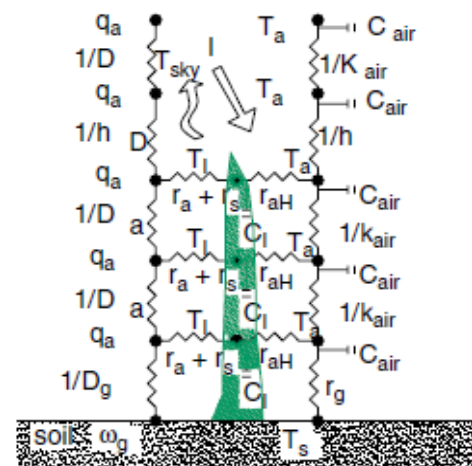
Schéma d'une toiture végétalisée

source : (Del Barrio, 1997)

canopée

substrat

support

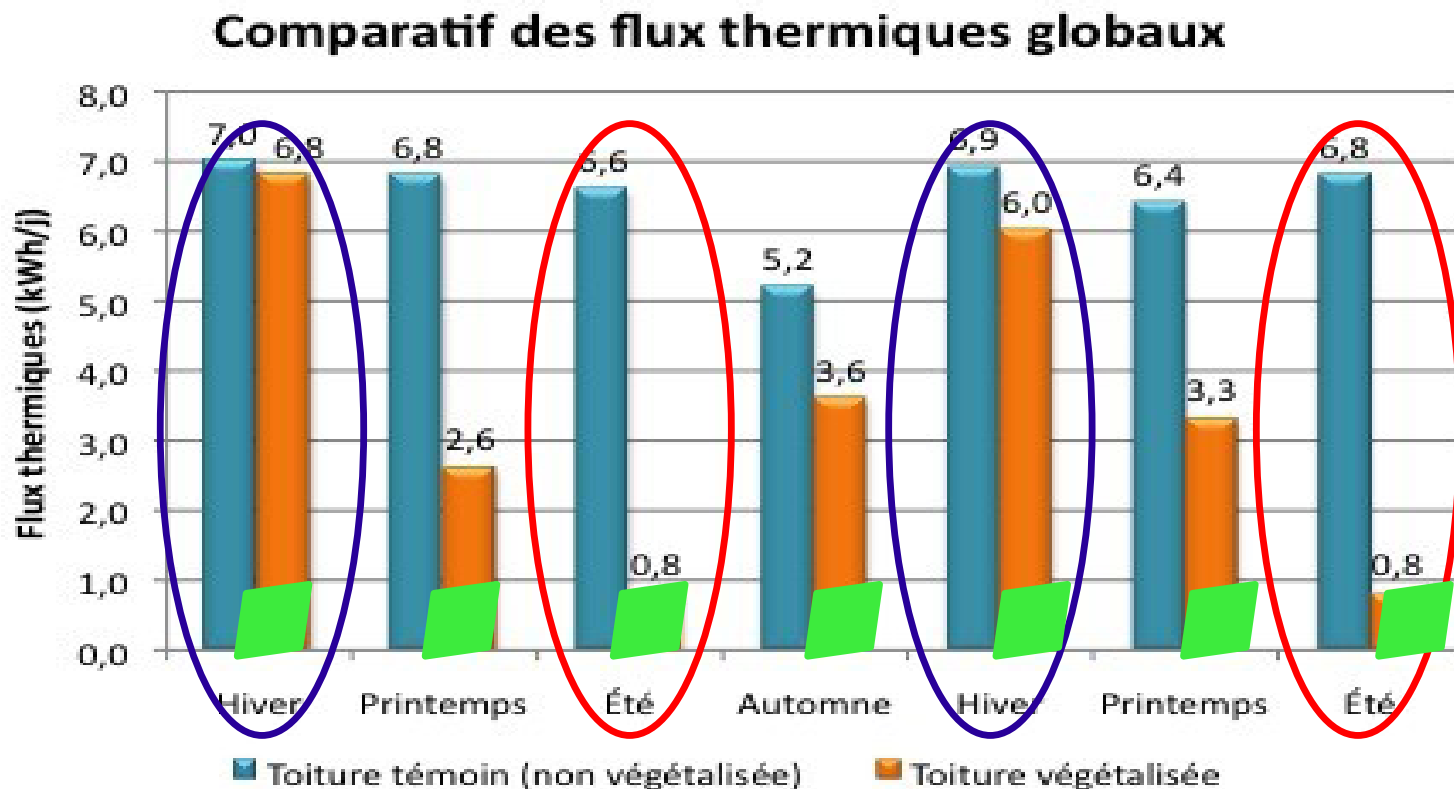


Transfert de Chaleur et de masse sur la canopée

Source : (Alexandri, 2006)

Démarche

...Mais des mesures



Source : Lassalle F. (2008)

Un fonctionnement différent selon le cycle saisonnier

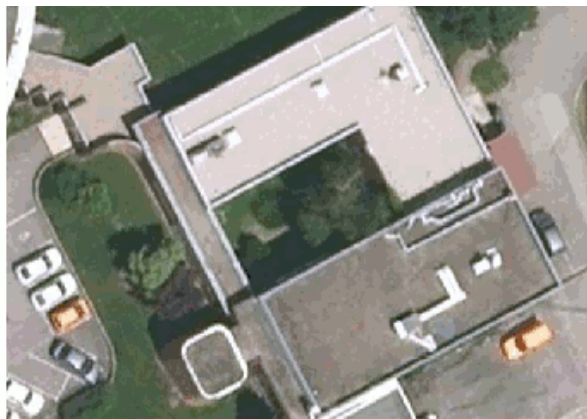
Démarche

Objectifs de la thèse (début 1 juillet 2011)

- Pistes pour l'amélioration de la technique
- Caractérisation et mesures pour de la modélisation
- Pour cela
 - Utilisation du matériel et des compétences du laboratoire (mesure,
 - Collaborations (IFSTTAR, GEMCEA, UdL, Météo France, etc.)
- In fine
 - Savoir caractériser une TTV,
 - Contrôler les paramètres avancés par les constructeurs
 - Savoir dimensionner une TTV
- Valorisation
 - Apport de compétences nouvelles pour le laboratoire
 - Participer à des comités de normalisations
 - Promouvoir la technique (verte)

Démarche

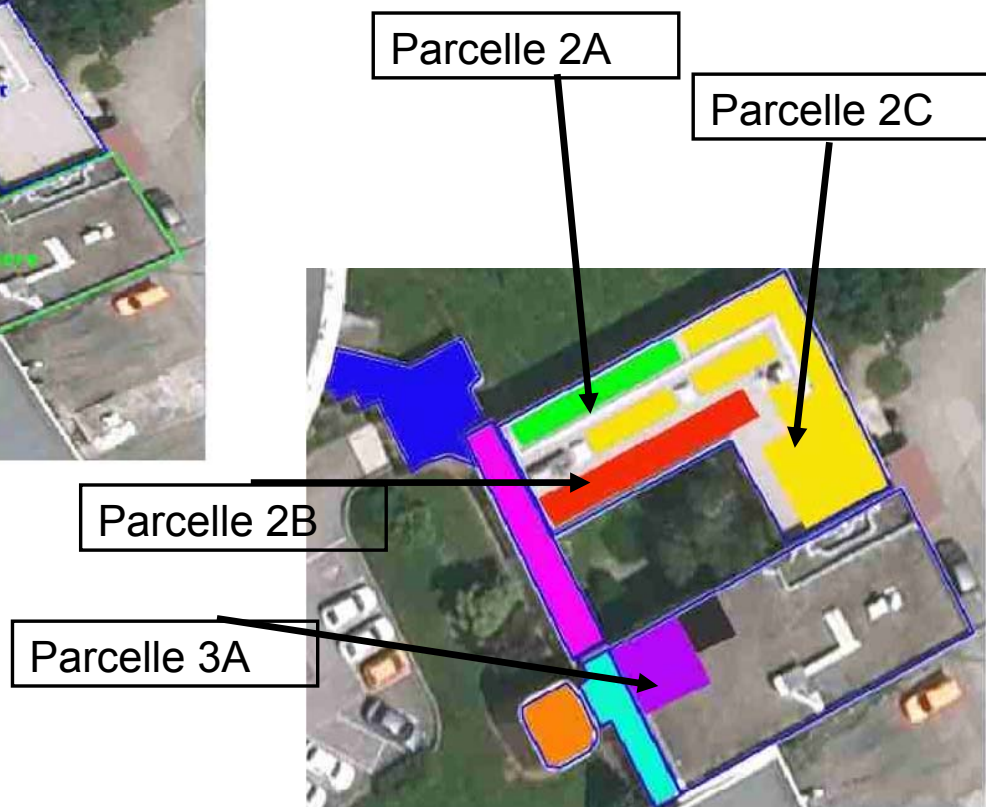
Les toitures végétalisées du laboratoire



Méthodes instrumentales

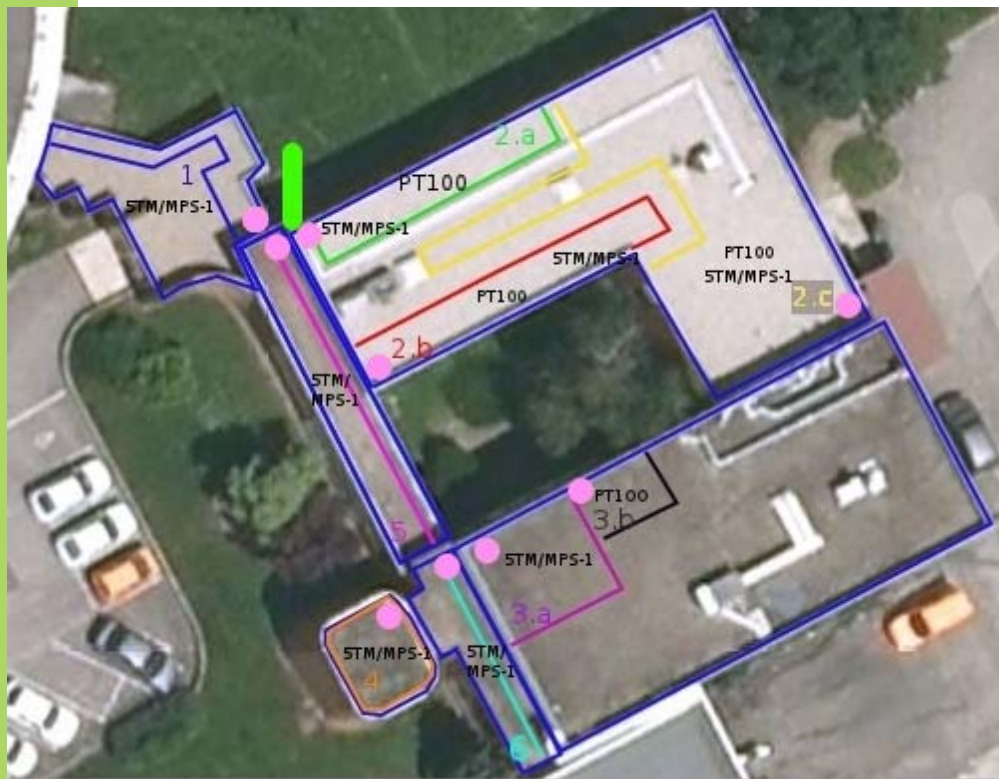
Études en cours

➤ Parcelles étudiées



Méthodes instrumentales

Installation de capteurs



- ✓ PT 100 : sonde de température
- ✓ 5TM : sonde TDR, sonde de teneur en eau
- ✓ MPS-1 : potentiomètre de dépression

Station météorologique

Débitmètres à auget

Paramètre	Capteur
Hauteur d'eau	Débitmètre
Température du substrat	Sonde PT100
Humidité du substrat	Sonde TDR
Pression hydrique	Tensiomètre



Méthodes Instrumentales

Disposition des capteurs



Sonde sous système de drainage parcelle 5



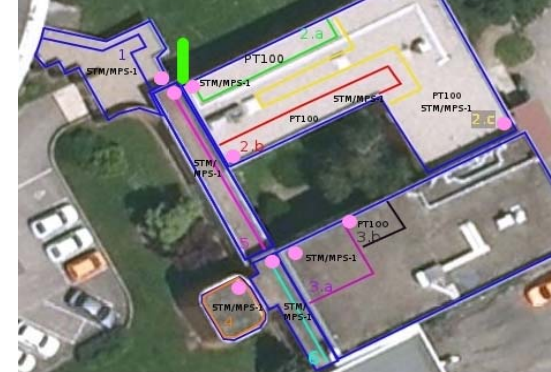
Sonde sous le nidasedum parcelle 3A



Sonde sous le système de filtration parcelle 5



Sonde de température substrat 1cm de profondeur



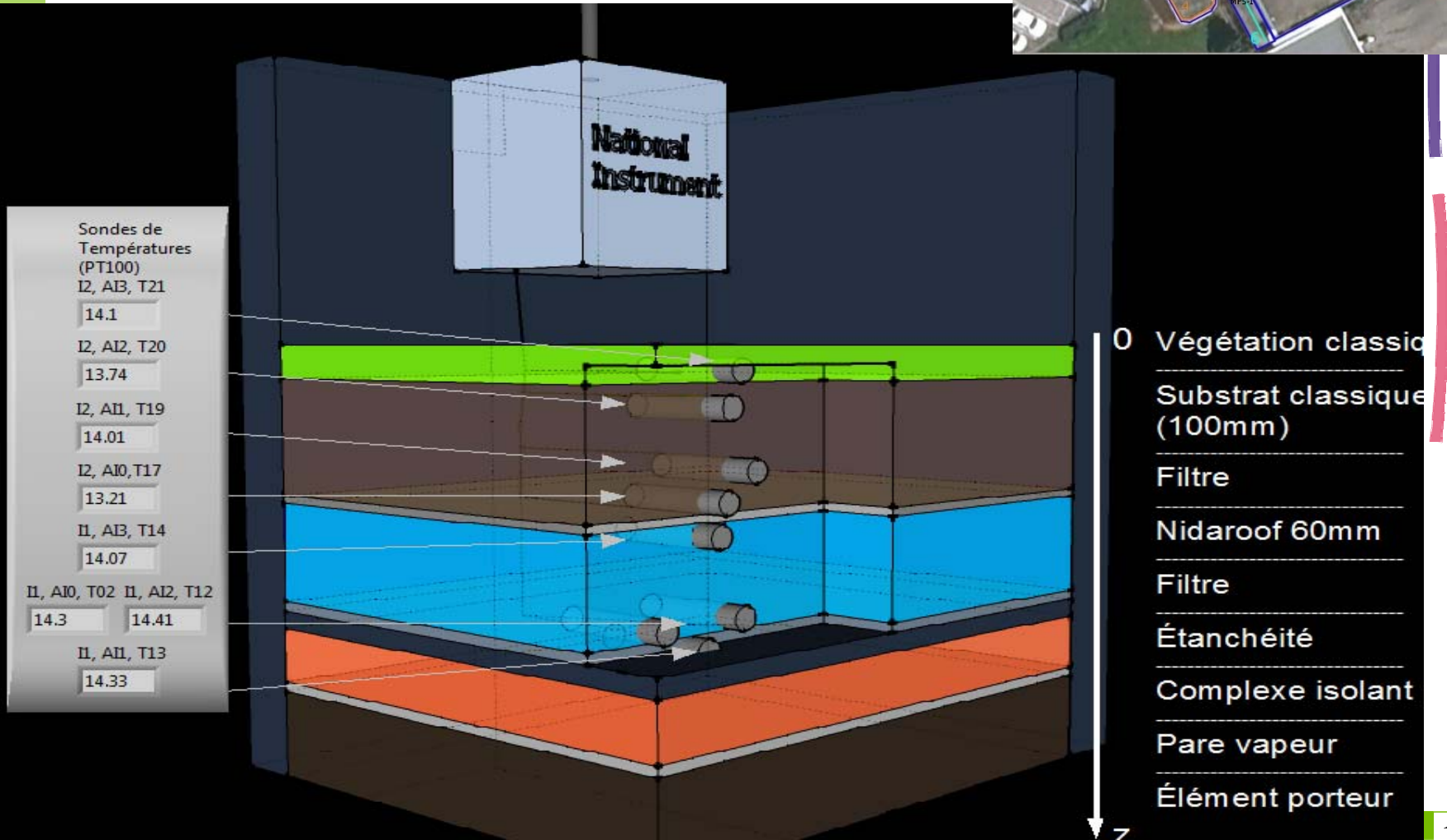
Sonde de température surface Nidasedum parcelle 3A

Méthodes instrumentales

Disposition des capteurs

Instrumentation des toitures

- *Parcelle 2A*



Méthodes instrumentales

Paramètres météo

*Paramètres météorologiques
fournis par les stations météo compactes*

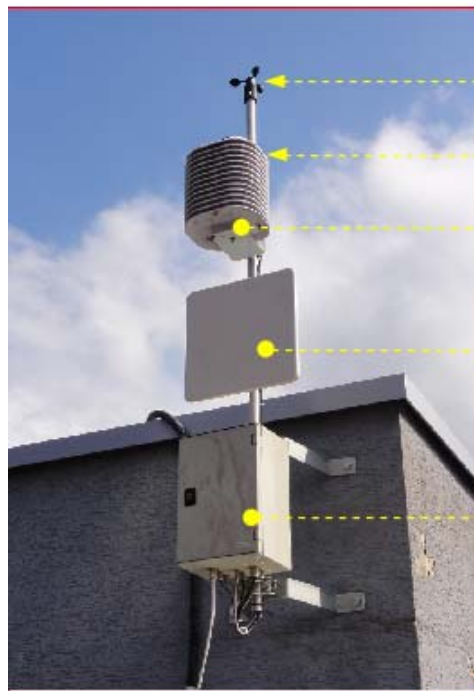
Vitesse du vent

Température

hygrométrie

Rayonnement solaire directe

Capteur CO₂



Anémomètre

Pyranomètre

Thermo-hygromètre,
Capteur CO₂

Antenne relais
WIFI

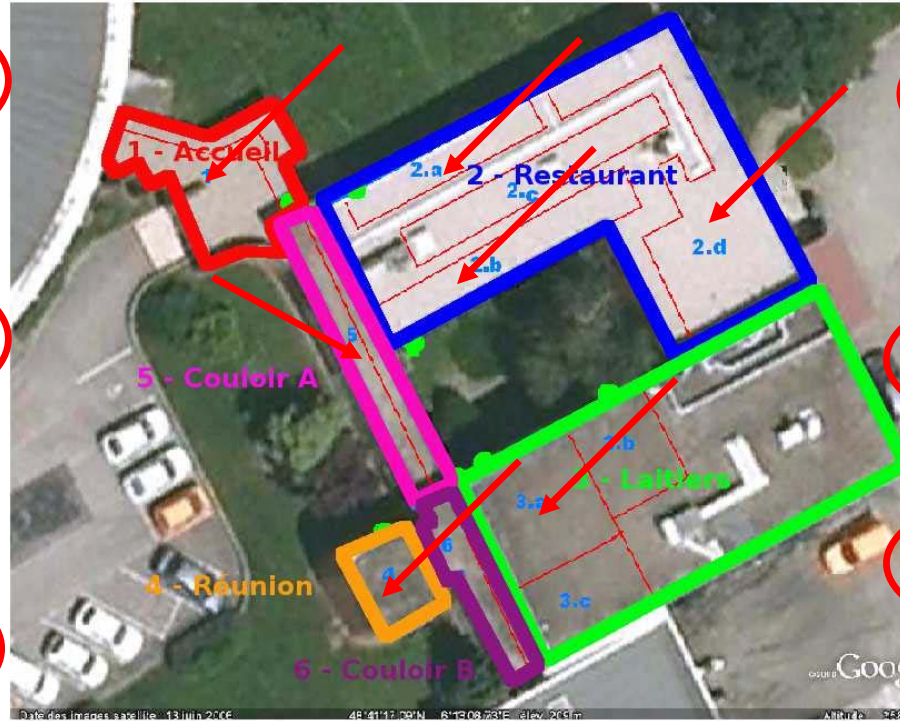
Bloc alimentation, carte
d'acquisition et
carte réseau



Méthodes instrumentales

La démarche

Les toitures végétalisées du LRPC



Impacts de la Végétation des Vosges

(78 m²)

Substrat recyclé VEGETOIT ~ 10 cm

Argile expansé ~ 5 cm

Impacts des SAULs

(250 m²)

Végétation de type sedum

Substrat classique Faliénor 1 ~ 10 cm

SAUL 40 et 60 mm

Argile expansé ~ 5 cm

Impacts d'une structure en Pack Nidasedum avec couche stockante Nidadrain

(235 m²)

Sedums

Substrat ~ 10 cm

Toiture témoin pour comparaison avec végétation des Vosges

(12 m²)

Végétation sedum

Substrat recyclé VEGETOIT ~ 10 cm

Argile expansé ~ 5 cm

Impacts de la couche de drainage minérale

(42 m²)

Sedum

Substrat recyclé VEGETOIT ~ 10 cm

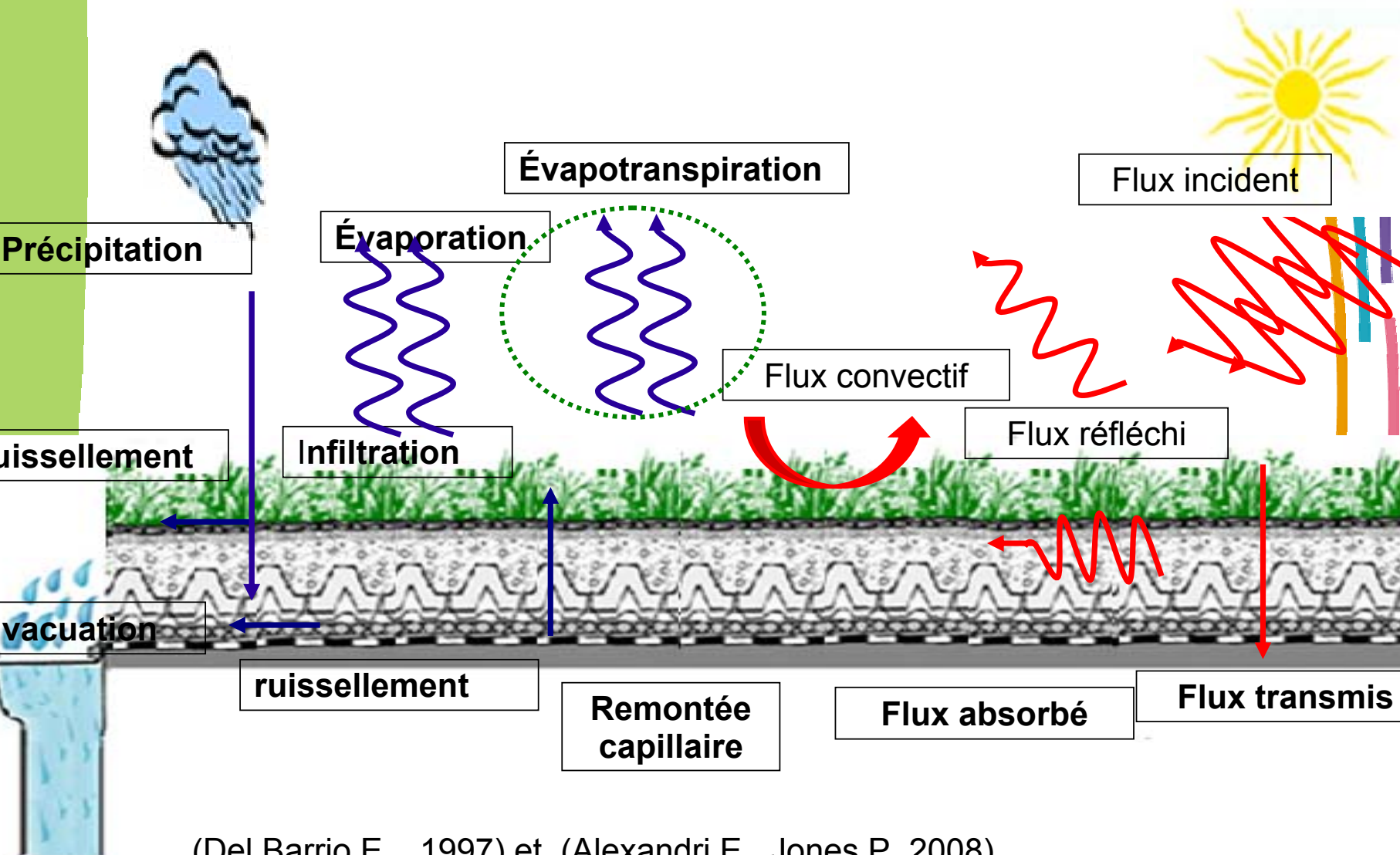
Impacts d'un substrat novateur

(42 ~ m²)

Végétation sedum

Substrat fibre de Coco Faliénor 2 ~ 10 cm

Utilité de la mesure pour la modélisation



(Del Barrio E. , 1997) et (Alexandri E., Jones P. 2008)

Utilite de la mesure pour la modelisation

Bilans sur la toiture

$$\left\{ \begin{array}{l} (\rho C_p) \frac{\partial T}{\partial t} + \nabla \cdot [-\lambda \nabla T - L_v \rho_{vs} D_v \nabla \phi] = \Phi_{sol} - \Phi_{réfl} + \Phi_{abs} \\ T_{ini} = T_{amb} \\ T_{z=0}(t) = T_{int} \\ T_{z=surface_{toiture}}(t) = T_{atm} \end{array} \right.$$

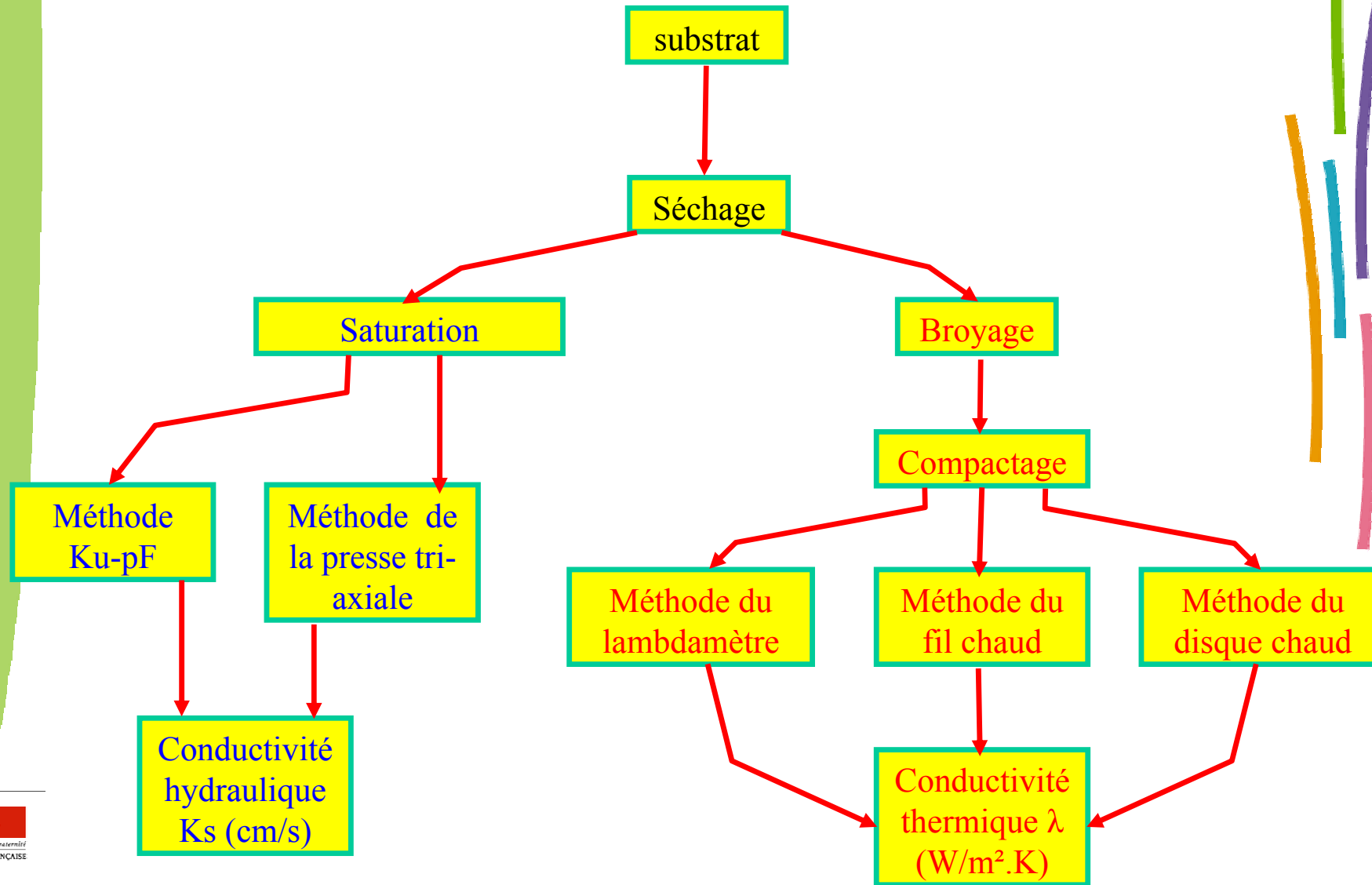
ρ : masse volumique (kg/m³)
 C_p : capacité calorifique (J/kg.K)
 λ : conductivité thermique (W/m.K)
 L_v : chaleur latente d'évaporation (J/kg)
 ρ_{vs} : masse volumique de la vapeur saturante (kg/m³)
 D_v : diffusivité (m²/s)

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{\partial (\rho_l \theta_l)}{\partial t} + \nabla \cdot [-\rho_l \frac{\kappa_l}{\mu_l} (\nabla \omega + \rho_l g)] = -\nabla \cdot [-\rho_{vs} D_v (\nabla \phi + \alpha_{vs} \rho \nabla T)] + P - R - Evac \\ \theta_{l,ini} = \theta_0 \\ \theta_{l,z=0}(t) = \theta_{l,int} \\ \theta_{l,z=surface_{toiture}}(t) = \theta_{l,atm}(\phi, T) \end{array} \right.$$

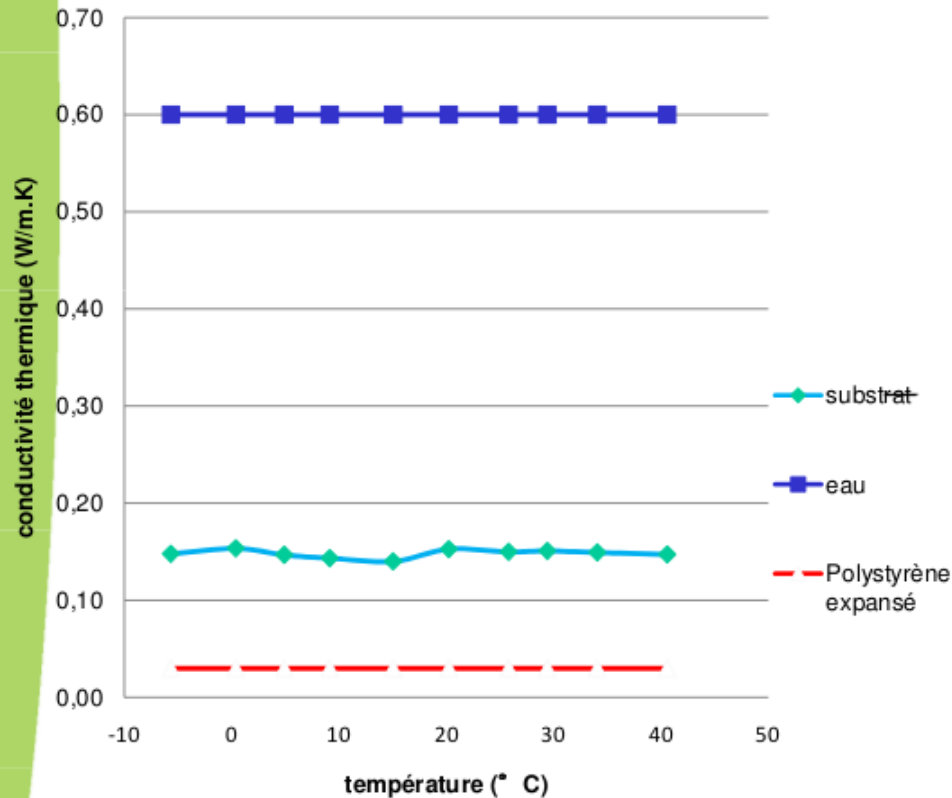
ρ_l : masse volumique de l'eau (kg/m³)
 θ_l : teneur en eau dans le substrat (cm³/cm³)
 μ_l : viscosité dynamique (Pa.s)
 κ_l : perméabilité du substrat (m/s)
 α_{vs} : coeff. de variation de la relation de Clapeyron (kg/m³)
 ϕ : humidité relative (%)

Premiers résultats

Protocole de détermination des conductivités thermiques et hydriques



Premiers résultats



$$\Phi_{cond} = -\lambda * A * \frac{\partial T}{\partial x}$$

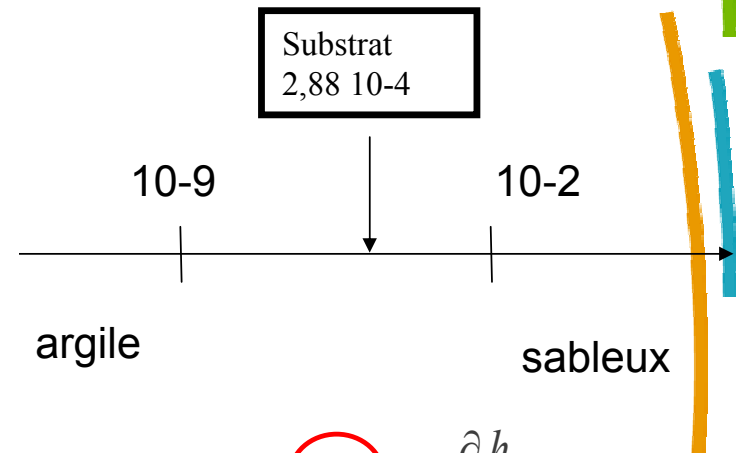
λ : conductivité thermique (W.m-2. K-1)

A : section d'entrée (m²)

T : température (K)

x: épaisseur du substrat (m)

Conductivité hydraulique (cm s-1)



$$\Phi_{inf} = -K_s * A * \frac{\partial h}{\partial x}$$

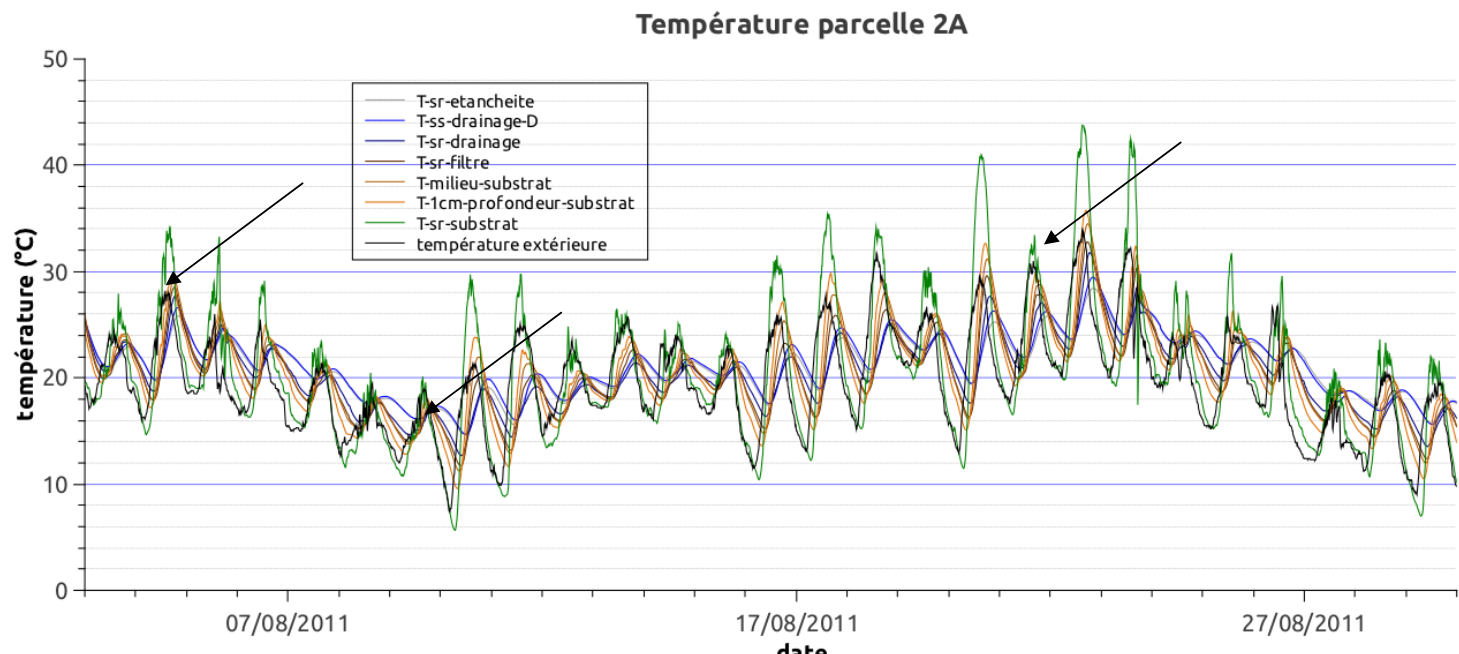
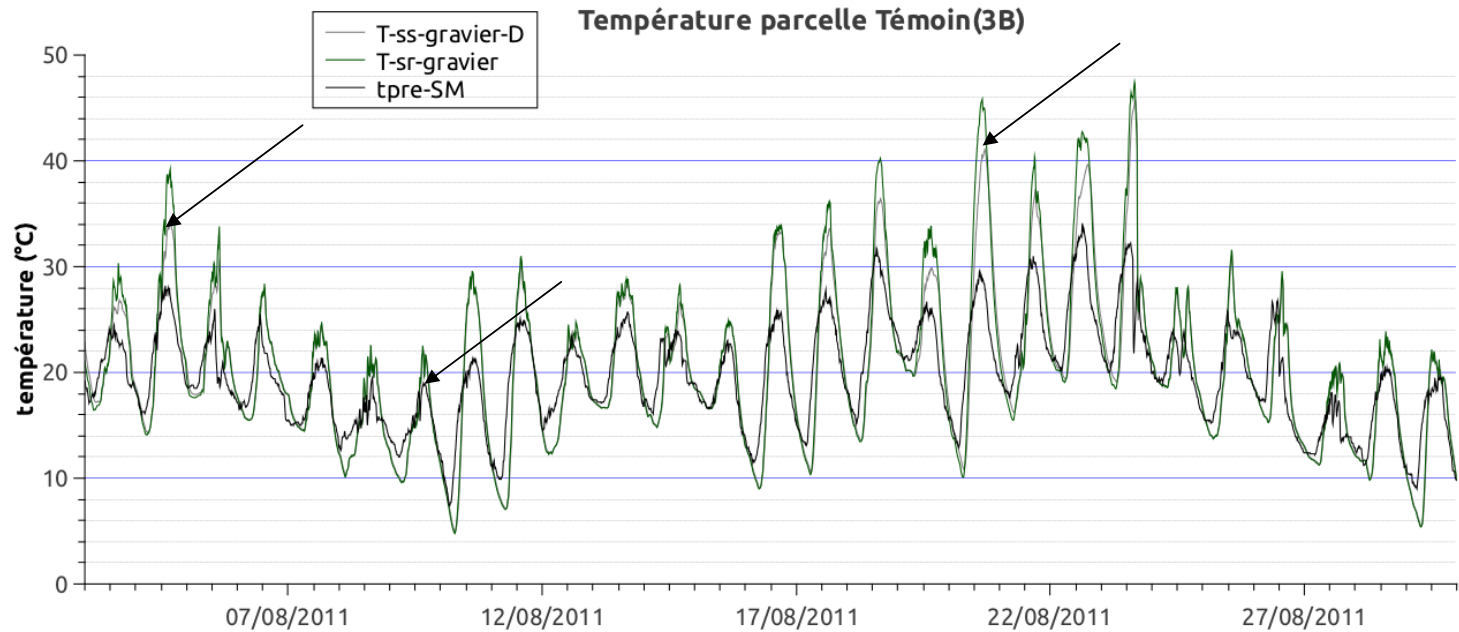
K_s : conductivité hydraulique (cm. s-1)

A : section d'entrée (m²)

h : hauteur d'eau (m)

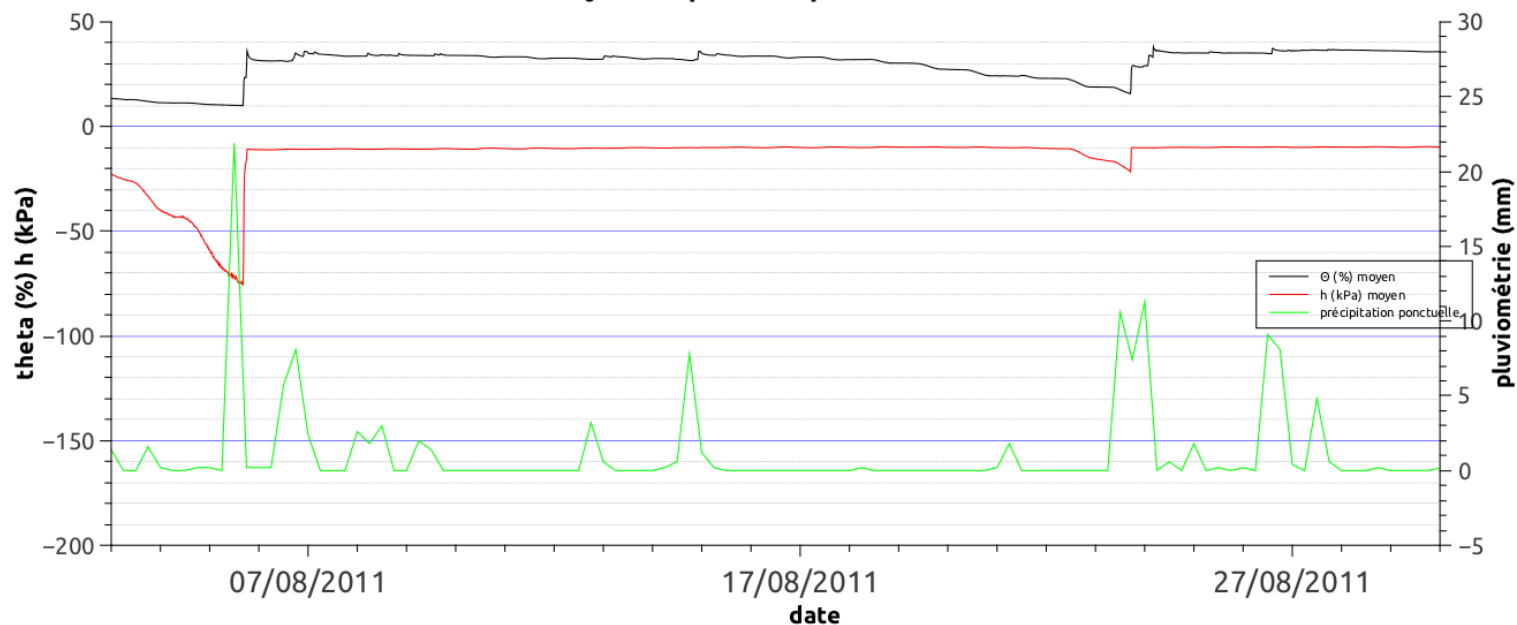
x: épaisseur du substrat (m)

Premiers résultats

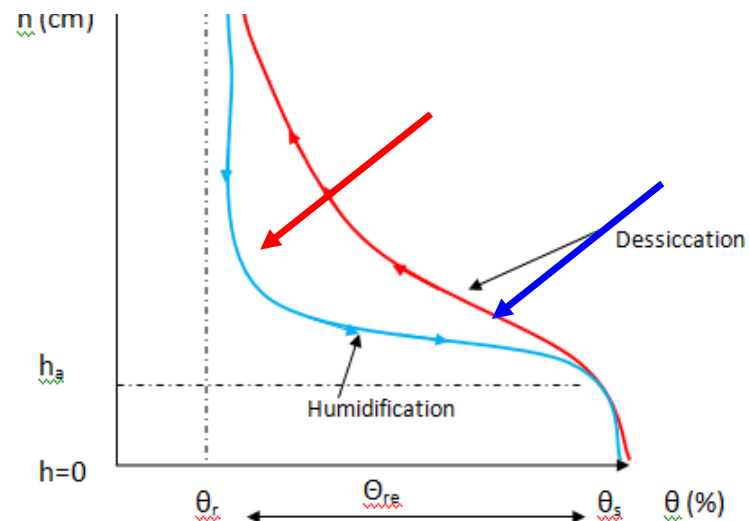
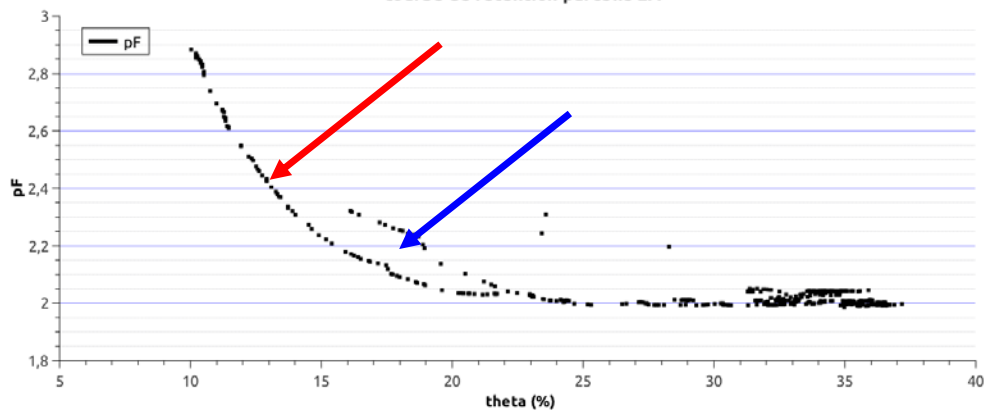


Premiers résultats

hydraulique de la parcelle 2A



courbe de retention parcelle 2A



Hillel, 1998

Conclusion

- Caractérisation de toitures végétalisées pour améliorer la technique
 - Mesure en laboratoire des paramètres thermiques et hydriques sur les constituants des TTV
 - Mesure des variables météorologique
 - Mesure des gradients thermiques et de
 - Confrontation des données expérimentales avec les données théoriques
- Comprendre le fonctionnement saisonnier

Perspectives

- Financement GEMCEA 2012 : Ajout de (mini-)stations météorologiques pour connaître plus précisément
 - La pluviométrie
 - L'évapotranspiration
 - La température sub-toiture
 - Autre : CO₂, rayonnement solaire
- « Dépouiller » les mesures pour obtenir l'ensemble des paramètres nécessaires à la modélisation (collaboration Météo-France pour intégration des TTV (modèle ISBA) dans TEB)



*Merci de votre
attention*