



**ÉCOLE URBAINE  
DE LYON**

Université de Lyon

**CETHIL**  
UMR 5008



## Modélisation du transfert radiatif infrarouge en canopée urbaine :

Interactions rayonnement-atmosphère urbaine et couplage atmosphérique

---

**Félix SCHMITT\*, Mathieu GALTIER, Frédéric ANDRE, Lucie MERLIER**

*Laboratoire CETHIL UMR5008*

08 décembre 2022

\*contact : [felix.schmitt@insa-lyon.fr](mailto:felix.schmitt@insa-lyon.fr)

Journée thématique SFT

# Contexte

---

➤ De manière générale,

**Atmosphère urbaine = transparente**

dans les simulations radiatives infrarouge en milieu bâti

*Interactions rayonnement / atmosphère ?*

*Impact sur les échanges radiatifs / bilans thermiques ?*

Exemple :

- Hogan (2019)<sup>1</sup>: absorption par l'air = impact significatif sur le bilan radiatif de la canopée
- Objectif de cette étude :
  - Modélisation détaillée des interactions rayonnement infrarouge/ atmosphère en géométrie type canyon urbain
  - Évaluer quantitativement les effets sur les flux aux parois

<sup>1</sup>R. J. Hogan, Flexible Treatment of Radiative Transfer in Complex Urban Canopies for Use in Weather and Climate Models, *Boundary-layer meteorology*, vol. 173 (1), pp. 53-78, 2019.

# Méthodologie

---

- Solveur radiatif basé sur la méthode des volumes finis pour l'ETR en milieu participant

Code TRABOULE développé au CETHIL

- **Modèle d'absorption global = Spectral line weighted-SGG**

Nécessite de connaître :

- 1. Le spectre d'absorption de l'air dans la canopée**
- 2. La distribution spectrale des luminances provenant de l'atmosphère terrestre**  
*= Couplage spectral entre flux incident et atmosphère urbaine*

*En première approximation, les parois sont des **corps gris d'émissivité 0.9***

## ➤ Couplage spectral entre rayonnement incident et atmosphère urbaine

Modèle 1D multicouches spectral →

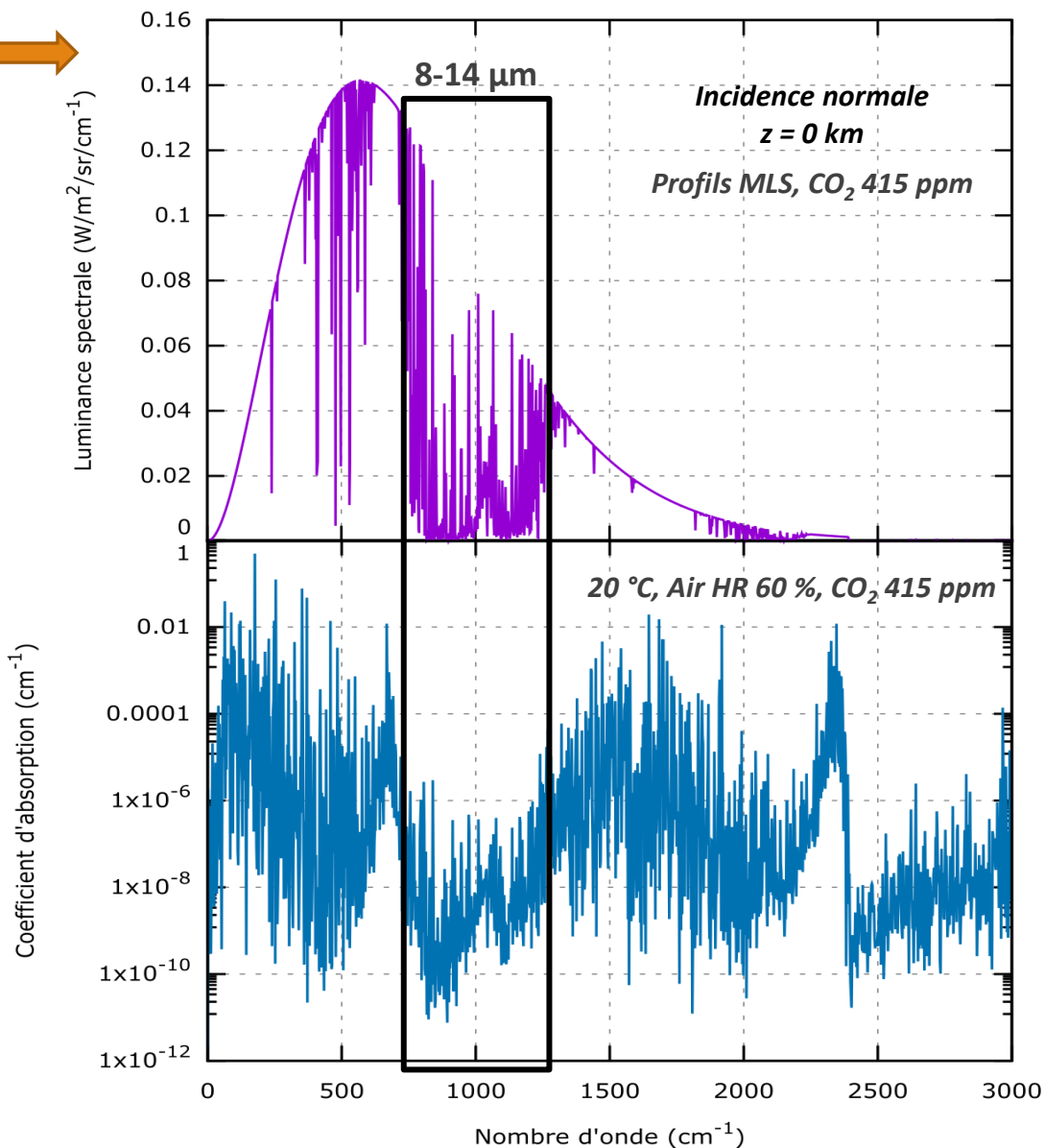
Peu de rayonnement dans la fenêtre atmosphérique (8-14  $\mu\text{m}$ )



Approximation corps noir

=

sous-estimation de l'absorption dans la canopée !



- Le spectre raie par raie de luminances incidentes varie de manière négligeable avec les conditions météorologiques (**limite ciel clair**)

**Méthode de construction pour une densité de flux incident  $\varphi_{inc}$  donnée ( $W/m^2$ ) :**

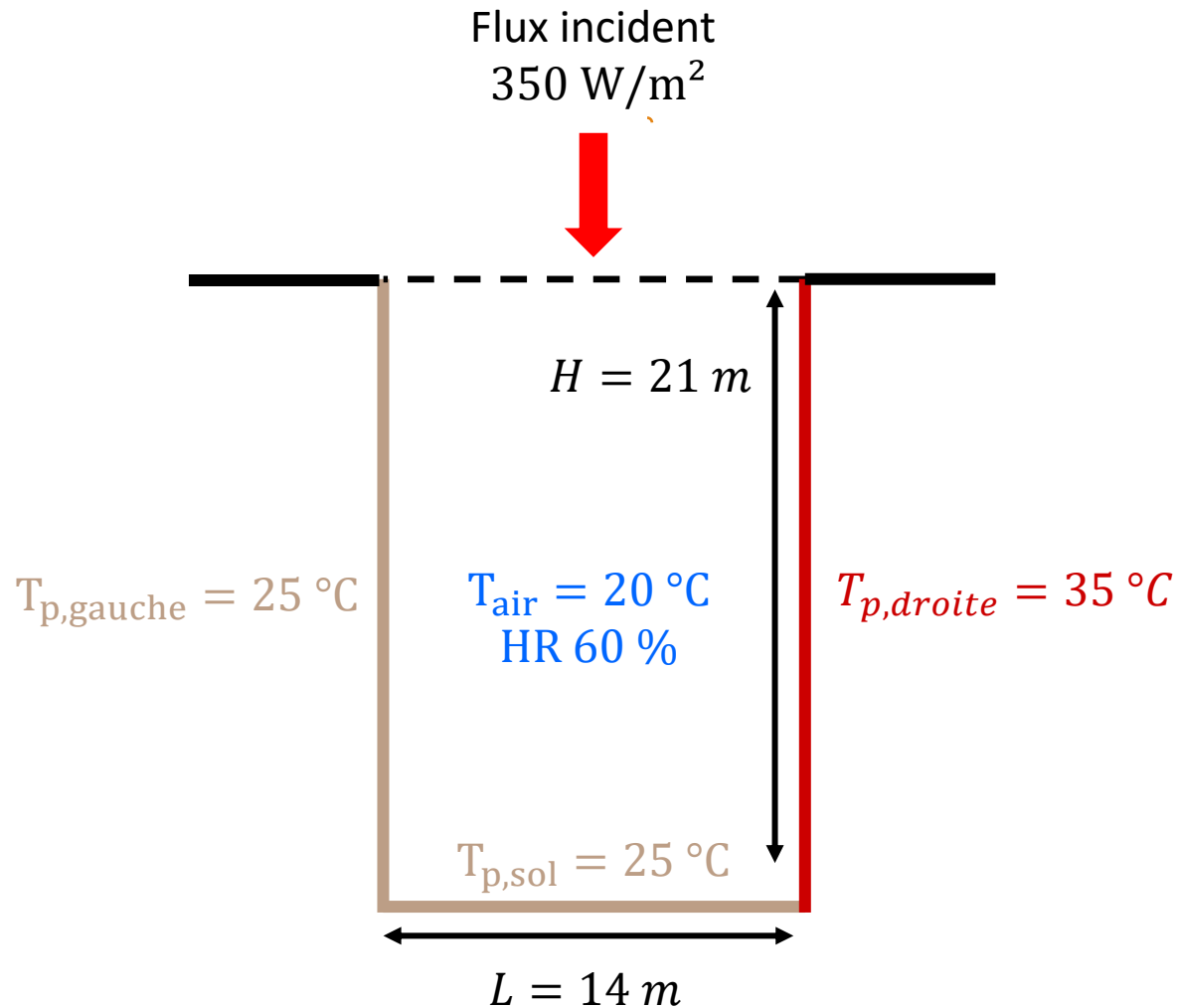
**Rayonnement arrière plan (ex : aérosols)**

$$\text{Spectre générique } (\varphi < \varphi_{inc}) + \alpha \times \text{Spectre corps noir } (\sigma T_{air,z=0}^4) \\ = \text{Spectre d'étude } (\varphi = \varphi_{inc})$$

- Ce spectre est utilisé pour toutes les directions = **luminance isotrope**

➤ Configuration de base :

Rue canyon de longueur infinie et de rapport d'aspect  $H/L = 1.5$ , conditions soir été

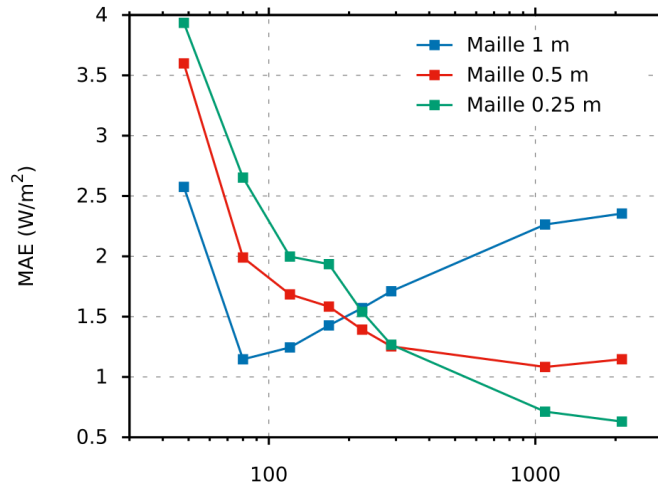


# Analyse de sensibilité au maillage FVM (cas transparent)

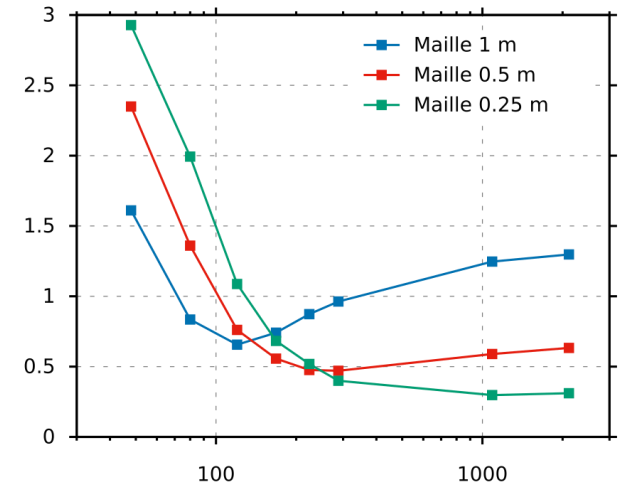
Solutions de référence Monte Carlo

Erreur absolue  
moyenne

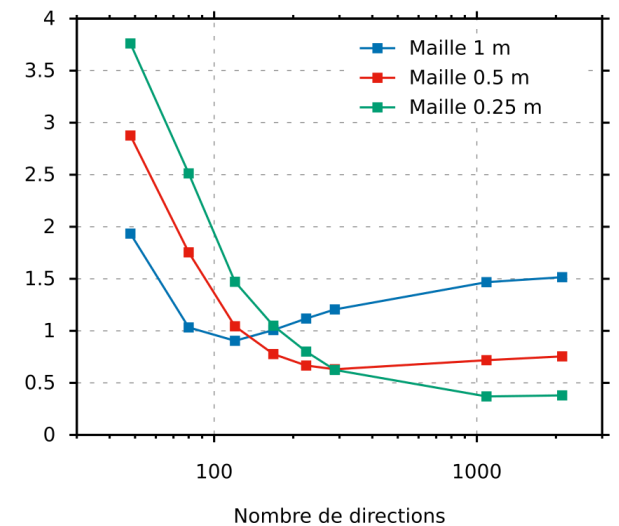
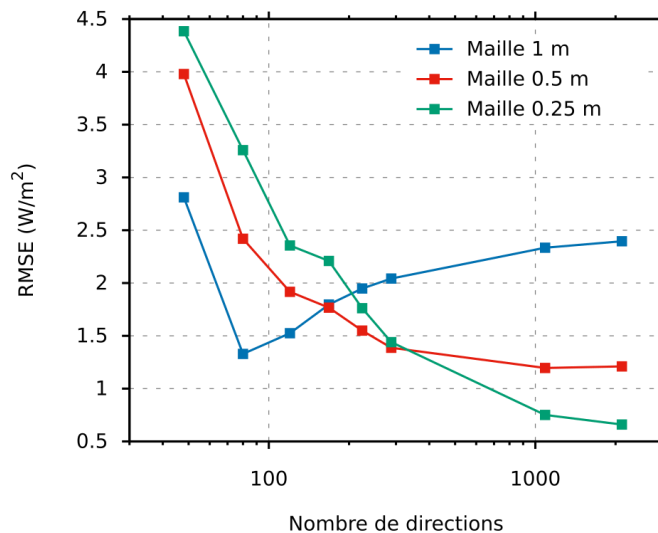
Sol



Mur gauche

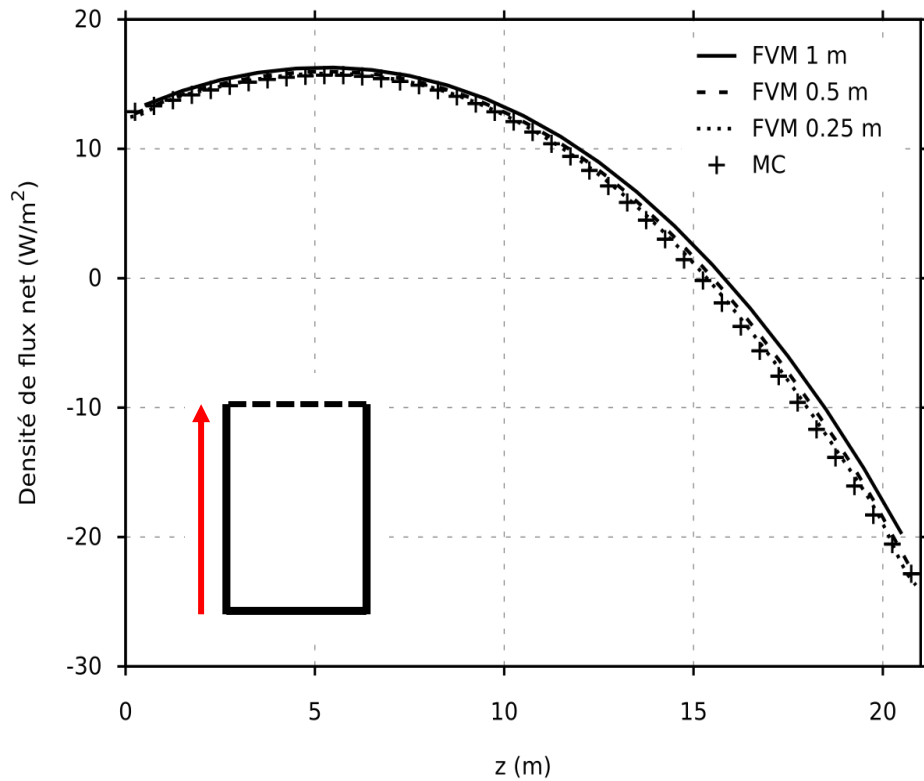
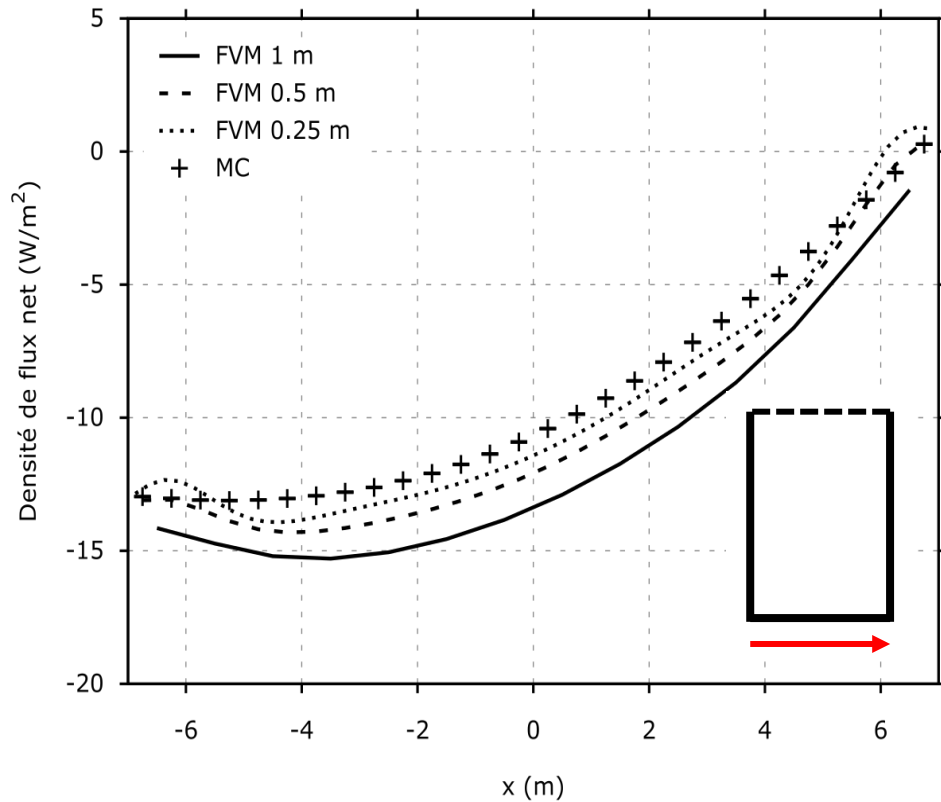


RMSE



# Analyse de sensibilité au maillage FVM (cas transparent)

Solutions de référence Monte Carlo



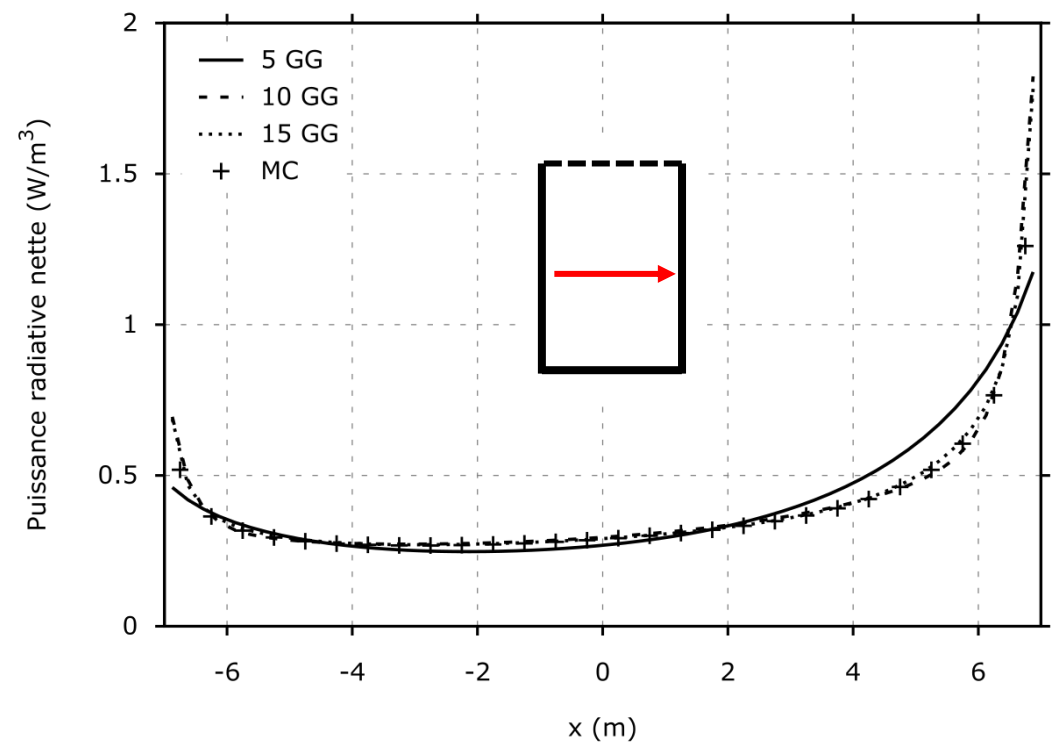
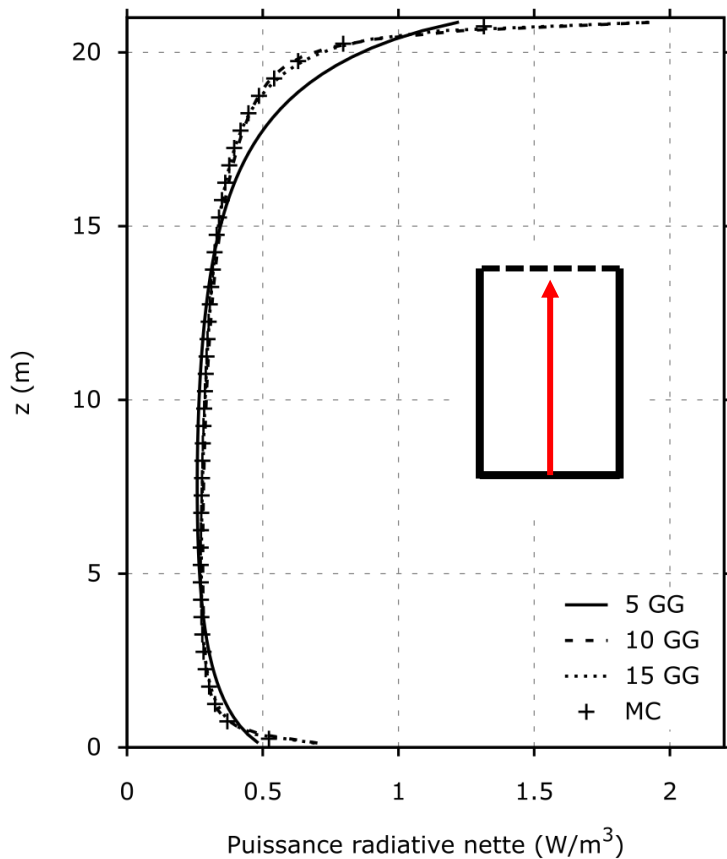
**Flux nets aux parois (absorbé – émis) pour 1088 directions**

➔ Sélection  $\Delta x = 0.25$  m et 1088 directions



# Analyse de sensibilité au nombre de gaz gris du modèle SLW

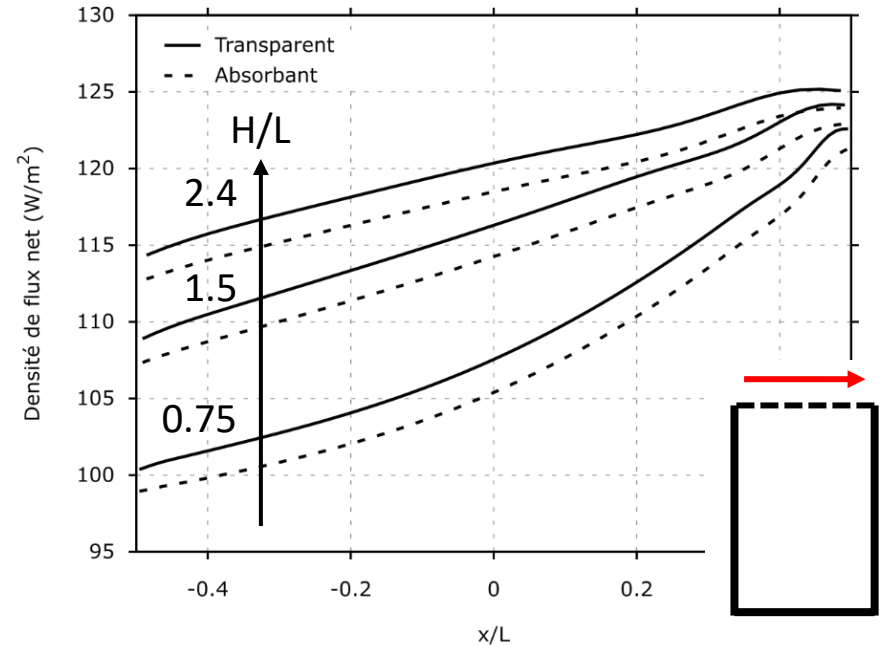
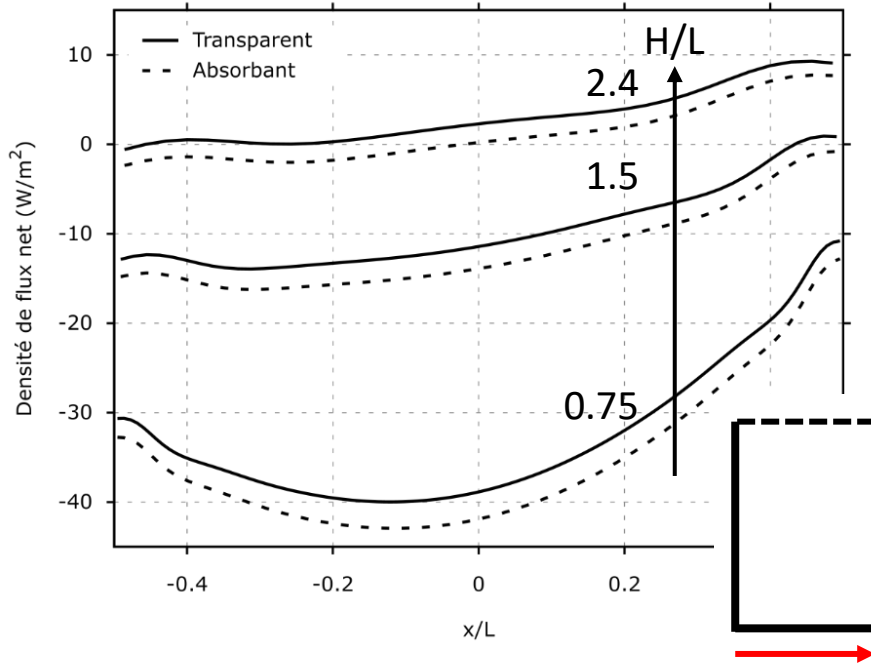
Solutions de référence Monte Carlo + absorption raie par raie



**Puissances radiatives nettes (absorbée – émise par l'air)**

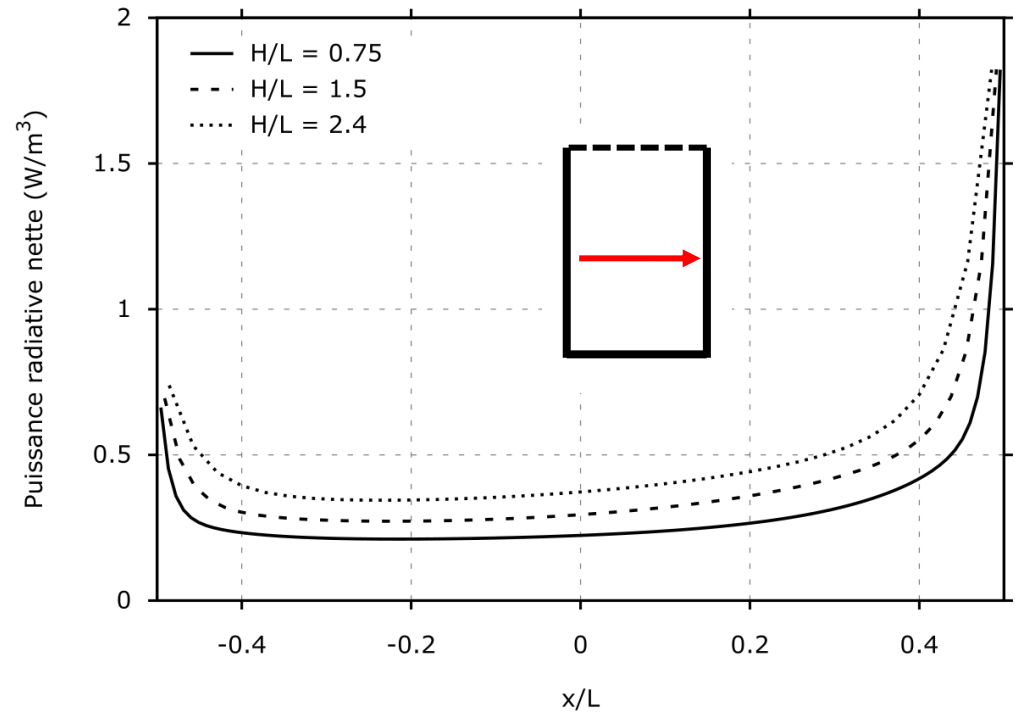
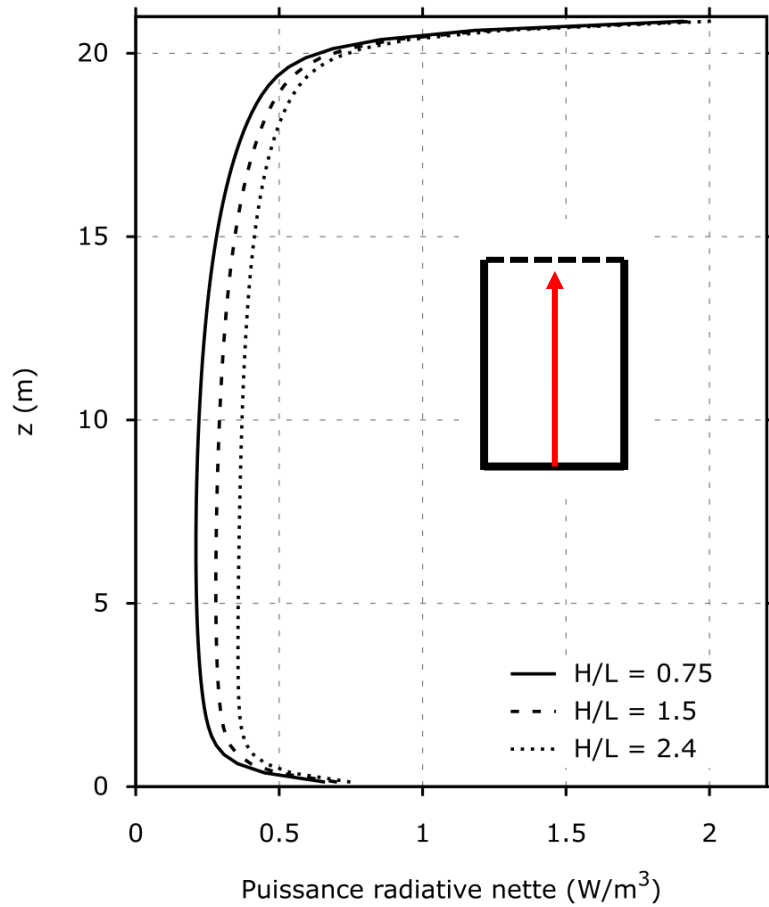
➤ **N = 10 gaz gris** suffisent pour modéliser convenablement l'absorption

# Influence du rapport H/L



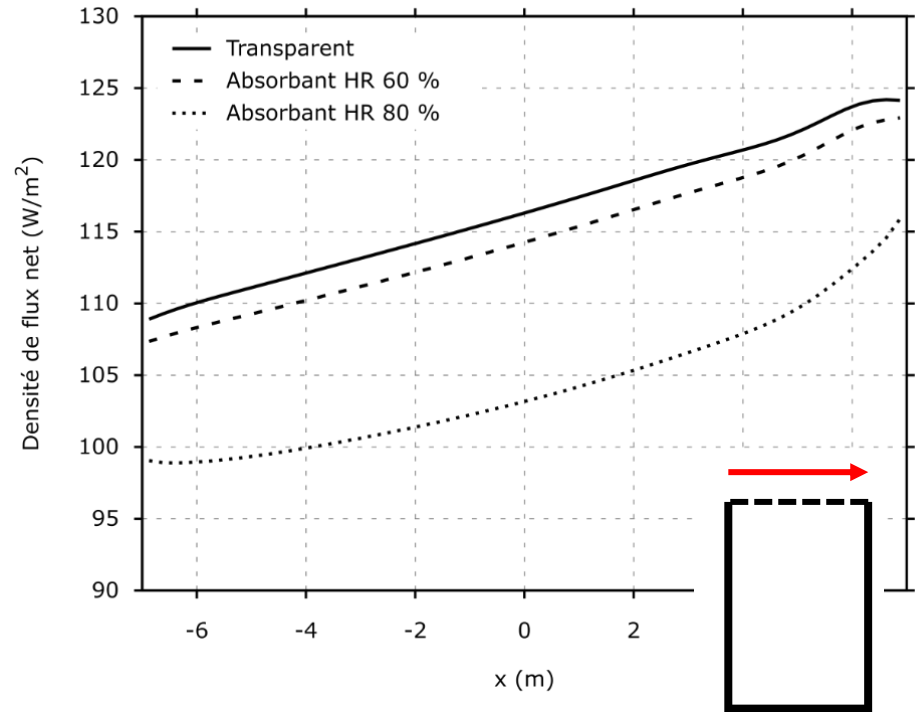
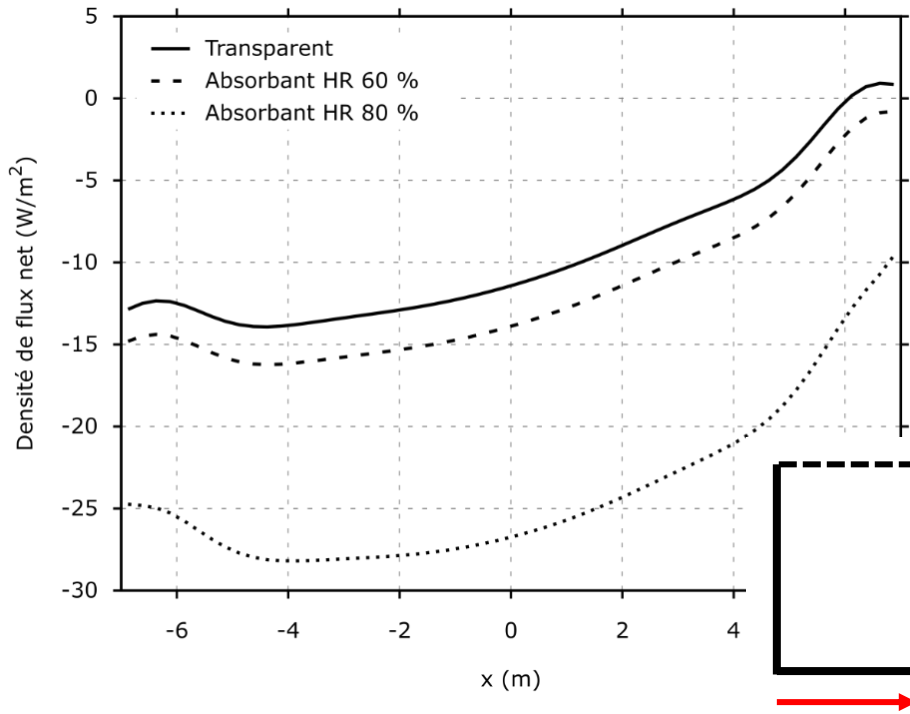
Ecart de flux net ( $W/m^2$ ) avec absorption par l'air				Erreur relative sur le flux <i>infrarouge + convectif</i>	
H/L	0.75	1.5	2.4	$h_c = 5 W/m^2 \cdot K$	$h_c = 20 W/m^2 \cdot K$
Sol	-2,8	-2,3	-1,9	4,9 – 8,9 %	2,1 – 2,0 %
Gauche	-2,7	-2,5	-2,3	7,0 – 36,7 %	2,4 – 2,8 %
Droite	-1,9	-1,5	-1,2	1,1 – 0,9 %	0,5 – 0,3 %

# Influence du rapport H/L



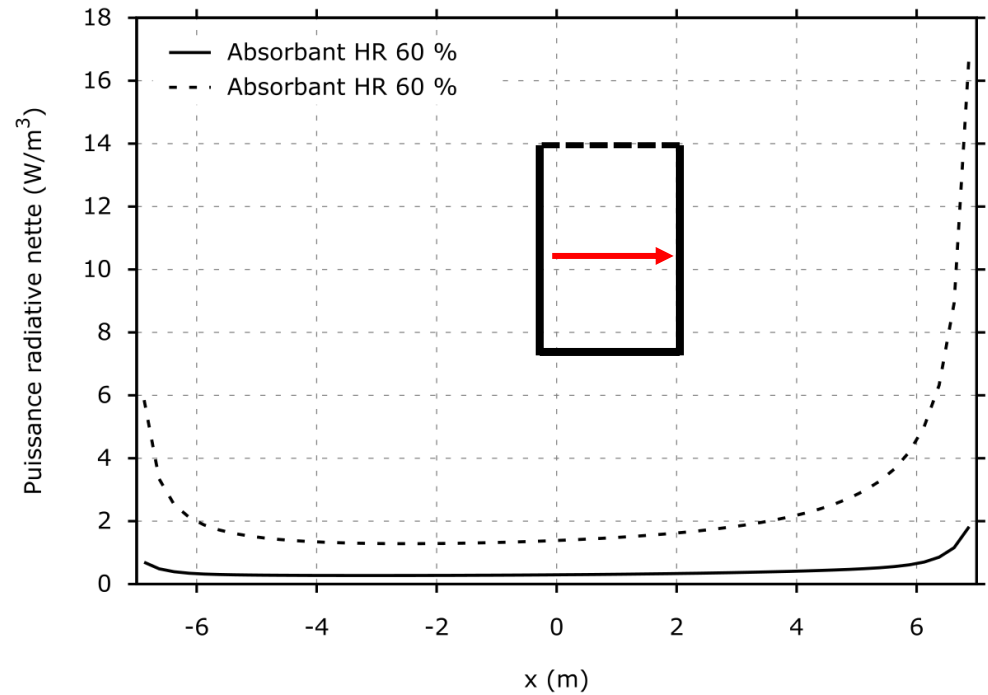
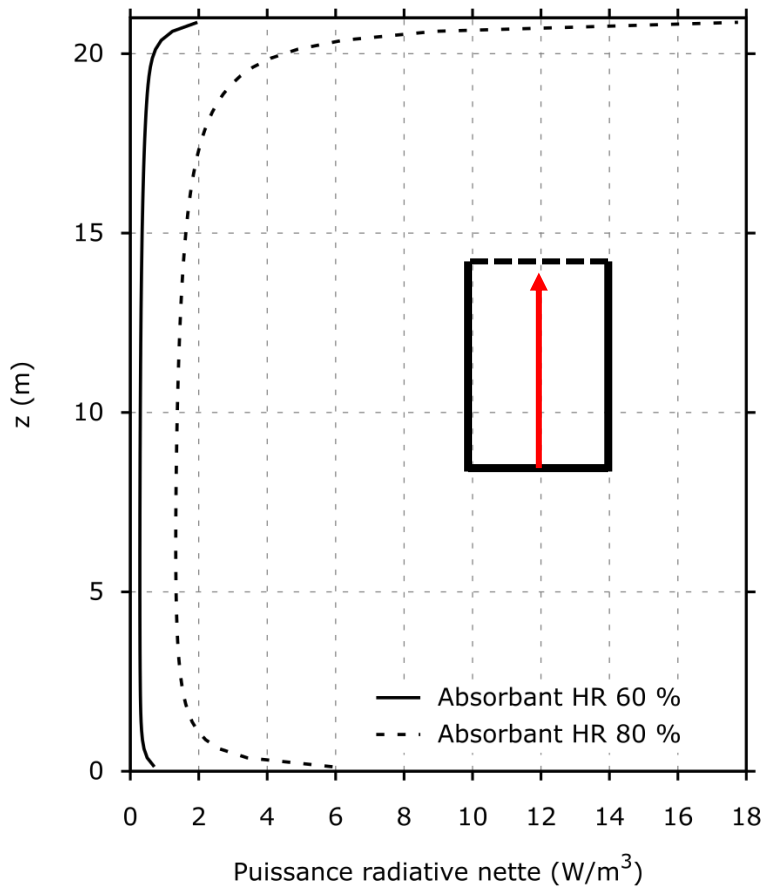
➤ Puissance radiative nette jusqu'à **2 W/m<sup>3</sup>** proche paroi

# Influence du taux d'humidité



Ecart de flux net ( $W/m^2$ ) avec absorption par l'air			Erreur relative sur le flux <i>infrarouge + convectif</i>	
Taux d'humidité	60 %	80 %	$h_c = 5 W/m^2 \cdot K$	$h_c = 20 W/m^2 \cdot K$
Sol	-2,3	-14,4	6,7 – 41,6 %	2,1 – 13,1 %
Gauche	-2,5	-16,2	13,2 – 84,4 %	2,7 – 17,2 %
Droite	-1,5	-9,4	1,0 – 6,2 %	0,4 – 2,5 %

# Influence du taux d'humidité



➤ Puissance radiative nette jusqu'à **20  $W/m^3$**  proche paroi

# Conclusions

---

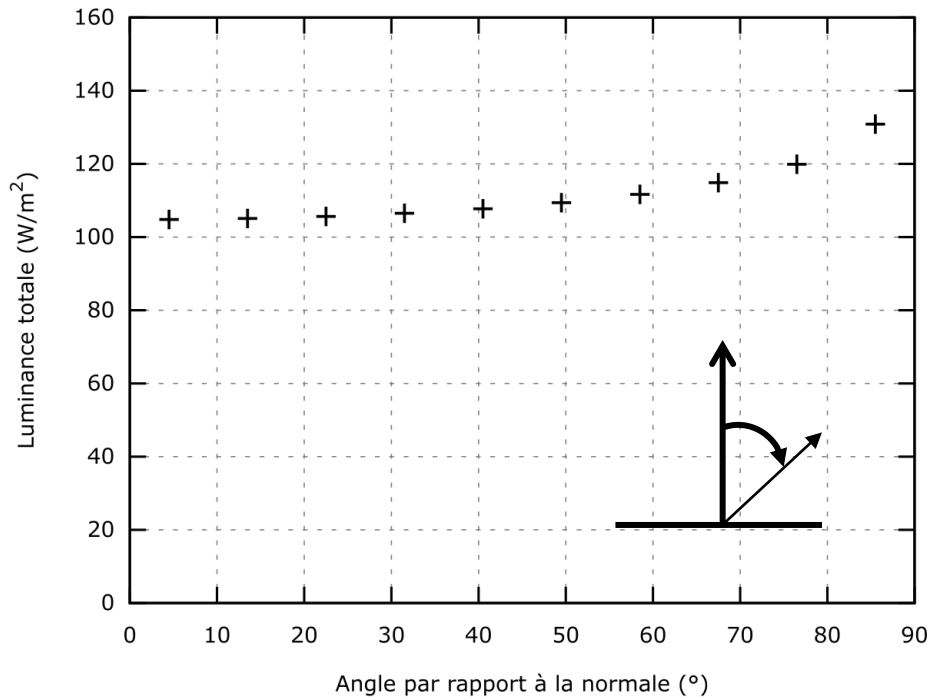
L'étude des interactions rayonnement / atmosphère en configuration urbaine implique :

- Couplage spectral rigoureux entre **rayonnement atmosphérique** incident et **coefficients d'absorption de l'air** dans la canopée
  
- Dans la configuration étudiée :
  - Erreurs de **5 à 37 %** (H/L de 0.75 à 2.4) **sur le flux total (infrarouge + convectif)** sur les parois les plus froides en négligeant l'absorption du rayonnement par l'air.
  - Les erreurs absolues et relatives augmentent significativement (jusqu'à **84 %** sur les parois les plus froides) pour une HR de 80 %.
  - La puissance radiative absorbée par l'air peut atteindre **20 W/m<sup>3</sup>** proche des parois les plus chaudes et du haut de la rue, pour une HR de 80 %.

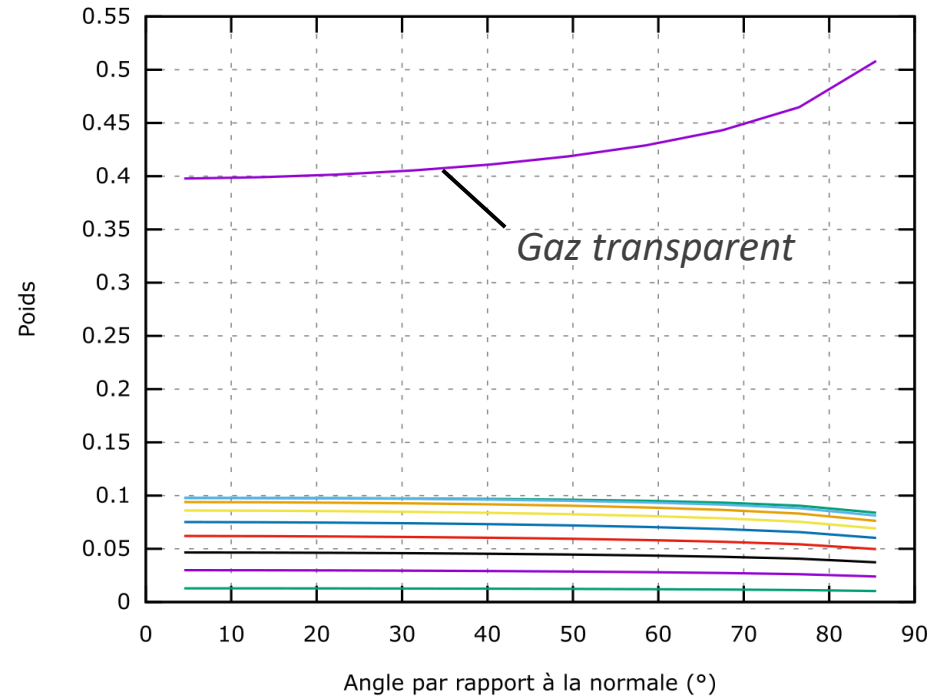
# Suppléments

➤ Variation du spectre avec l'angle d'incidence ?

**Luminance totale**



**Poids pour N = 10 gaz gris**

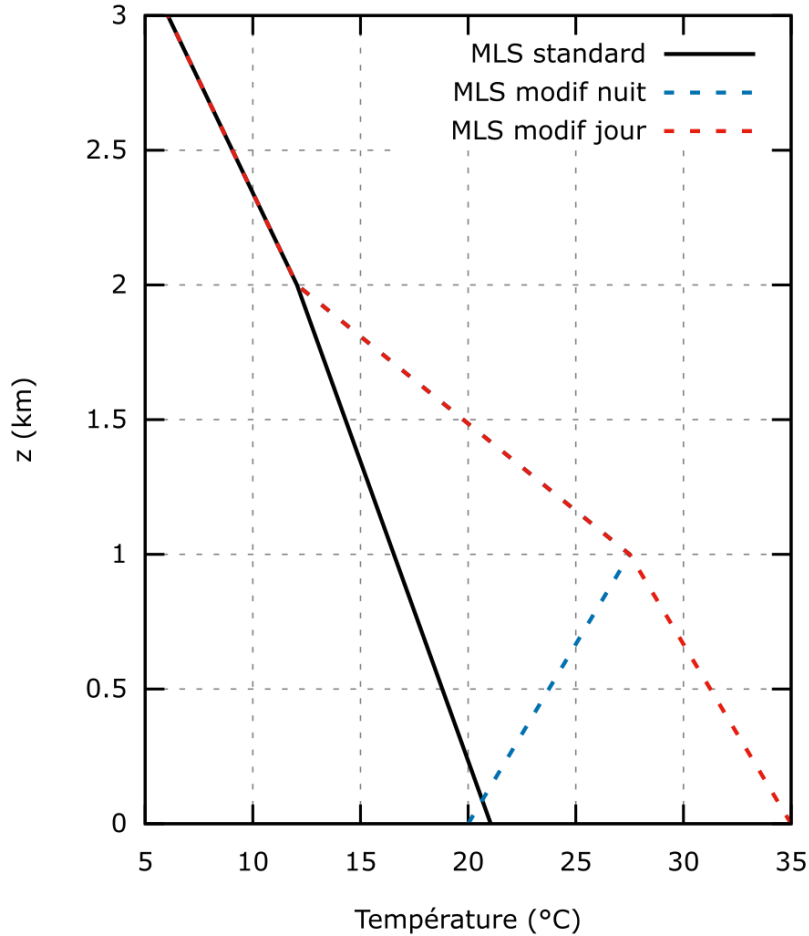




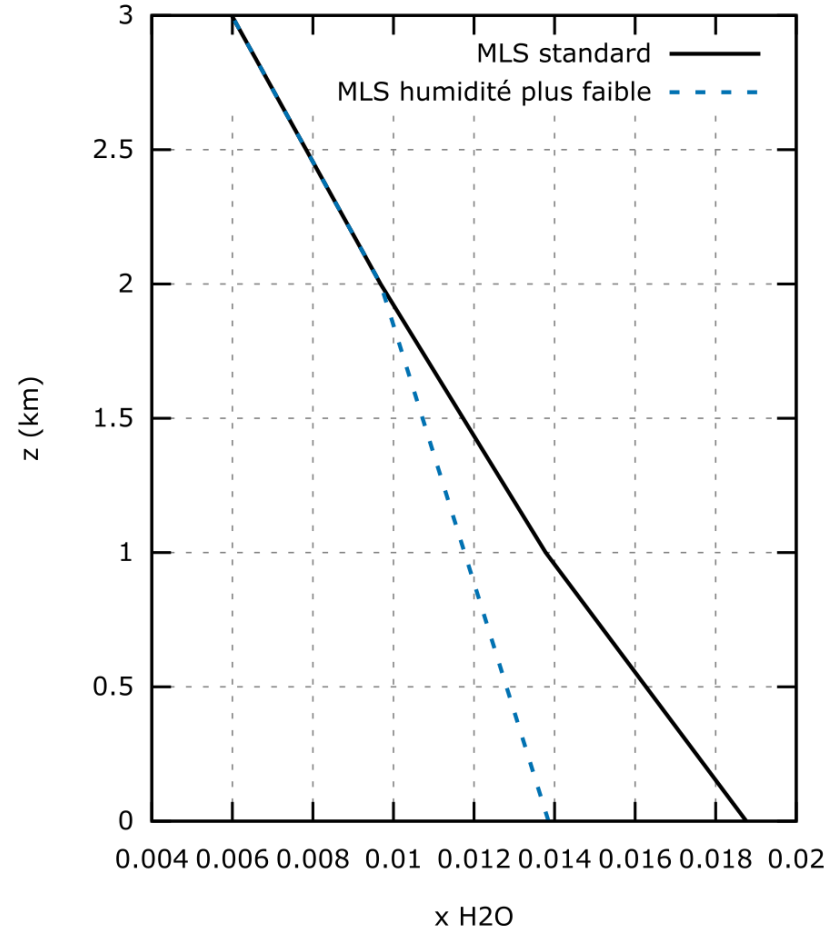
➤ Variation du spectre avec les conditions météorologiques ? (*Limite ciel clair*)

Profils MLS modifiés

Température jour/nuit



Humidité standard / plus faible



## Poids associés pour les 3 spectres résultant

