



**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

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)¹: 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

¹R. 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 →

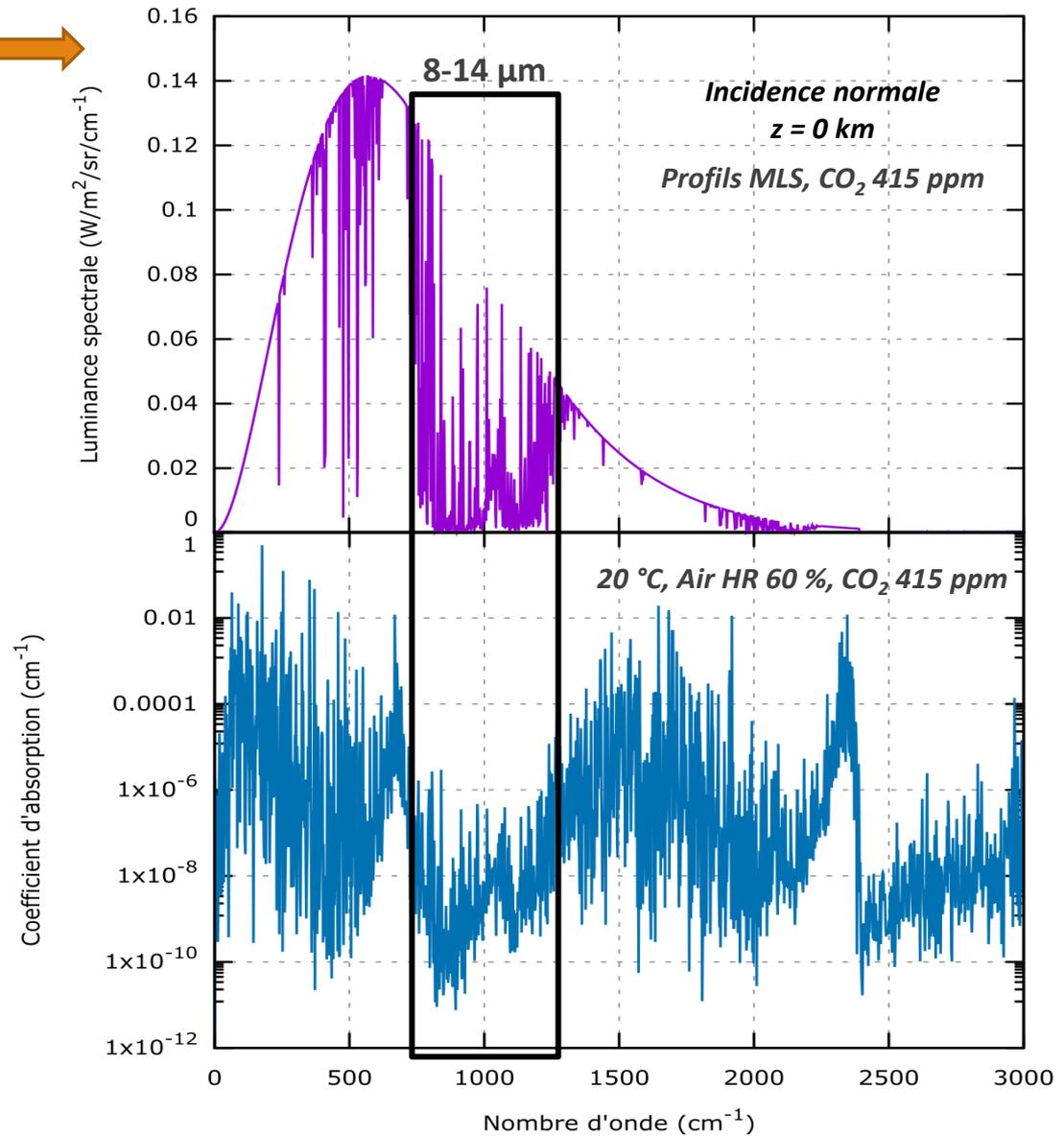
Peu de rayonnement dans la fenêtre atmosphérique (8-14 μm)



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 φ_{inc} donnée (W/m^2) :

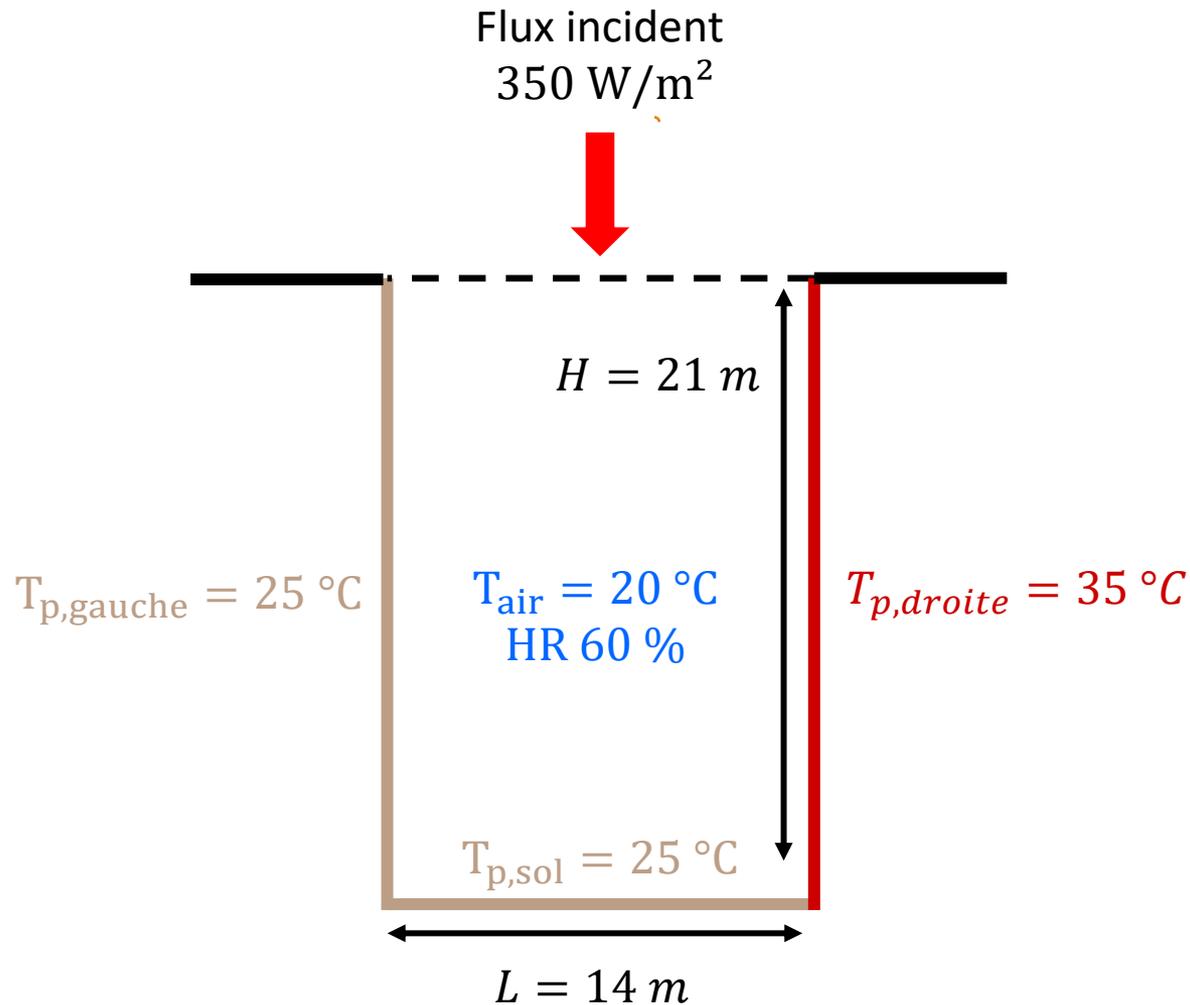
Rayonnement arrière plan (ex : aérosols)

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

- 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

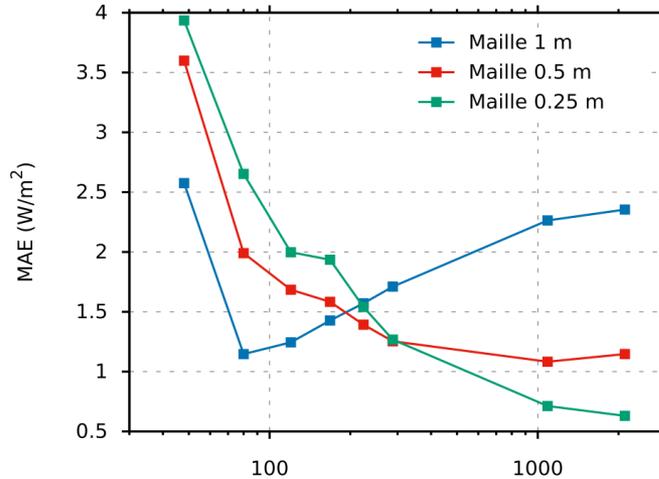


Analyse de sensibilité au maillage FVM (cas transparent)

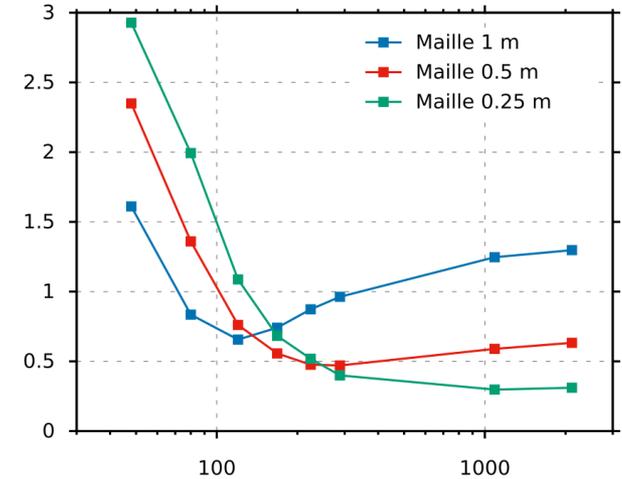
Solutions de référence Monte Carlo

Erreur absolue
moyenne

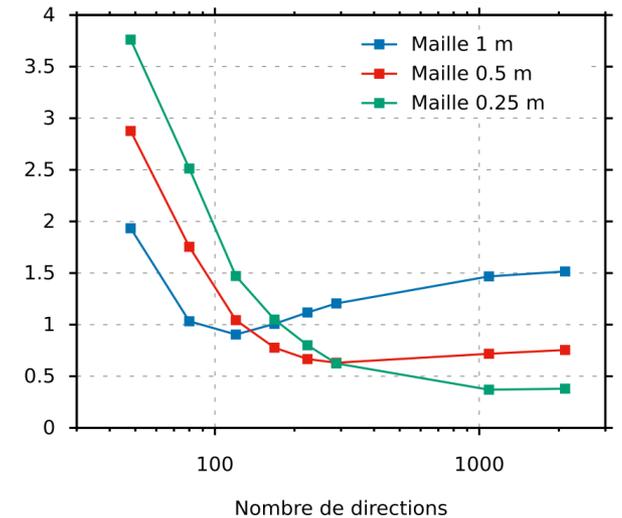
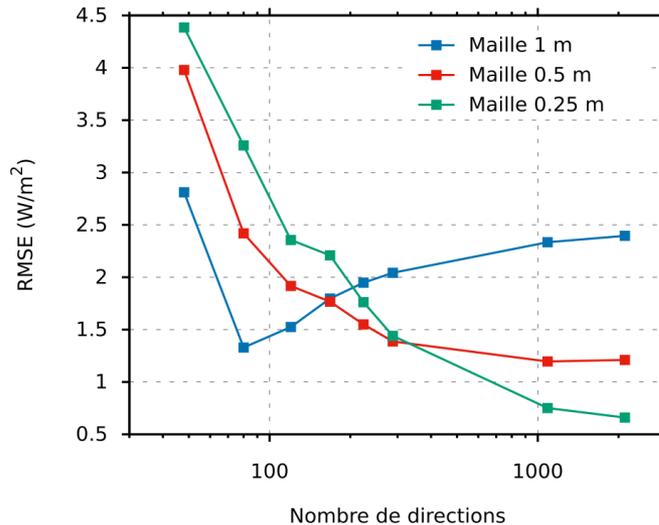
Sol



Mur gauche

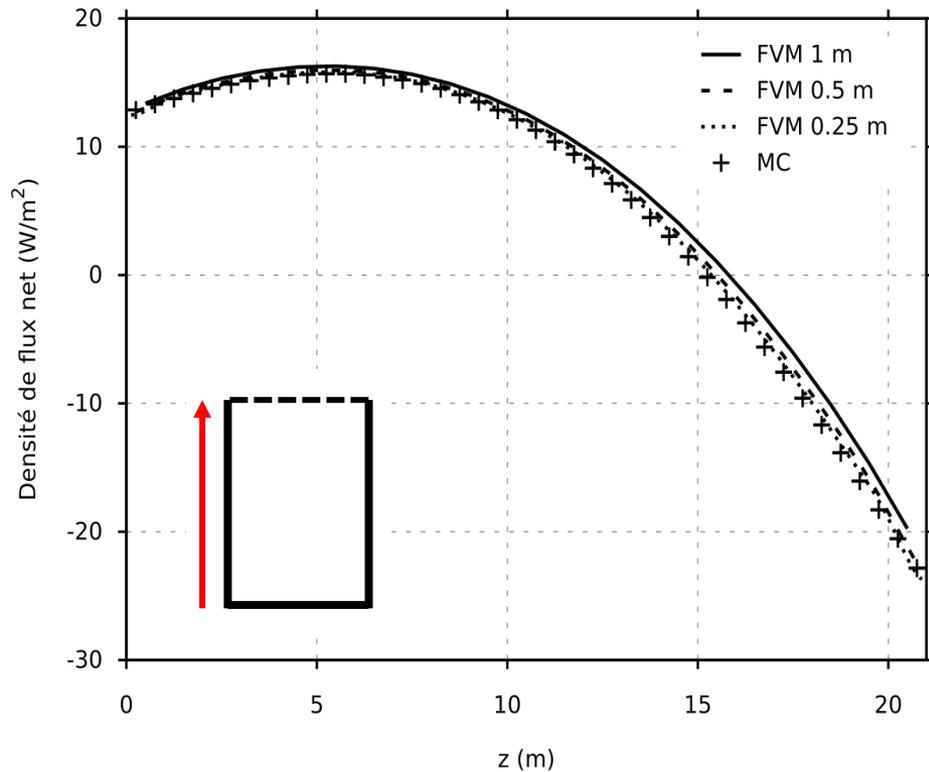
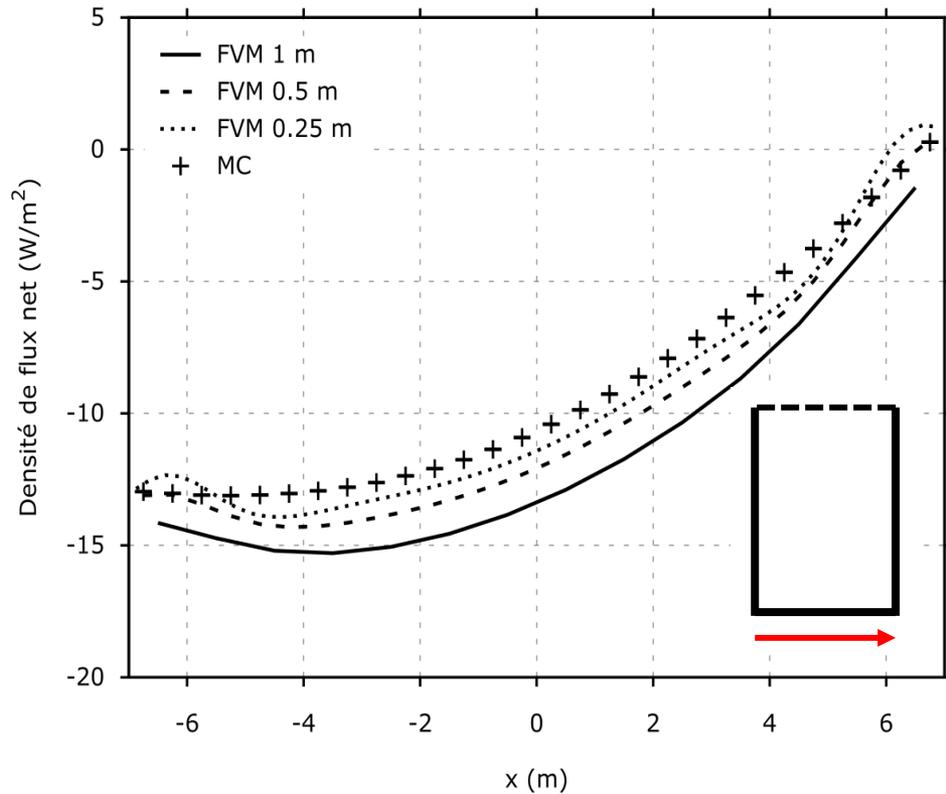


RMSE



Analyse de sensibilité au maillage FVM (cas transparent)

Solutions de référence Monte Carlo

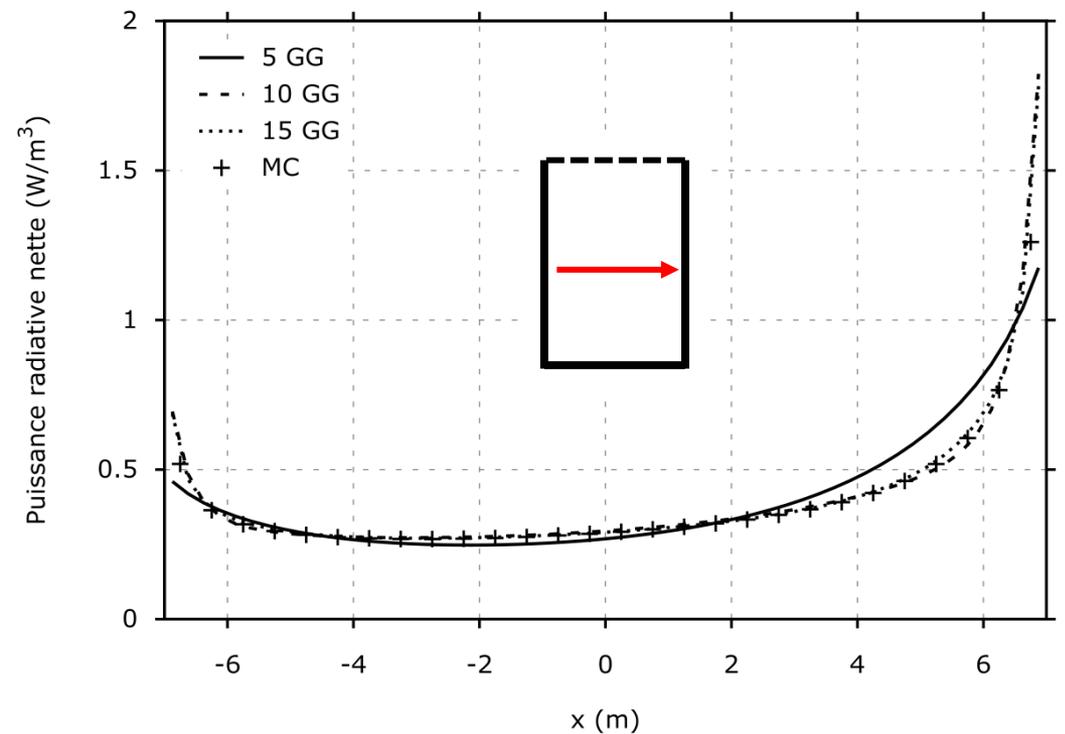
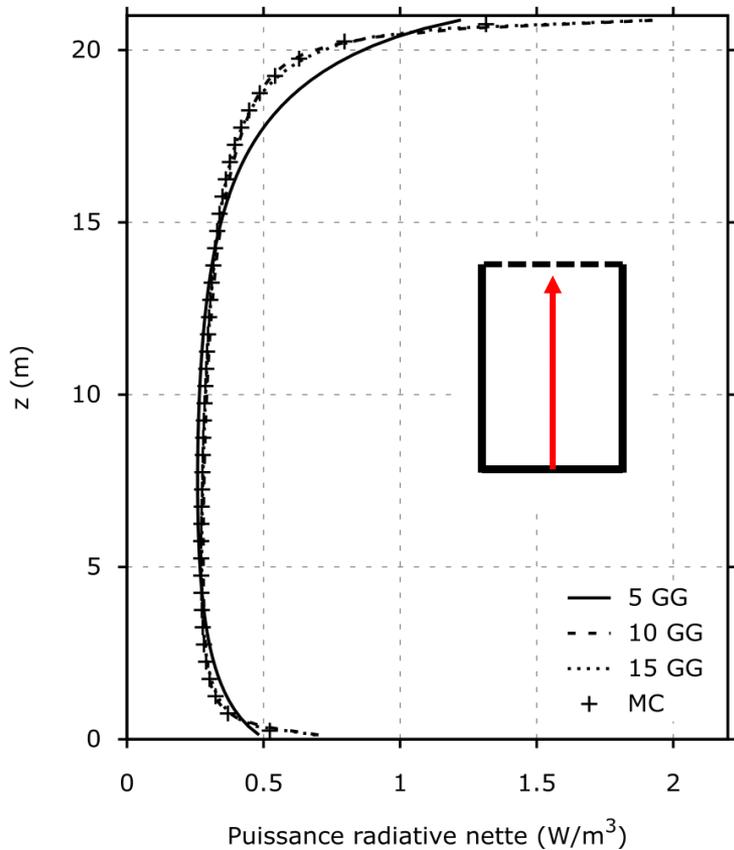


Flux nets aux parois (absorbé – émis) pour 1088 directions

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

Analyse de sensibilité au nombre de gaz gris du modèle SLW

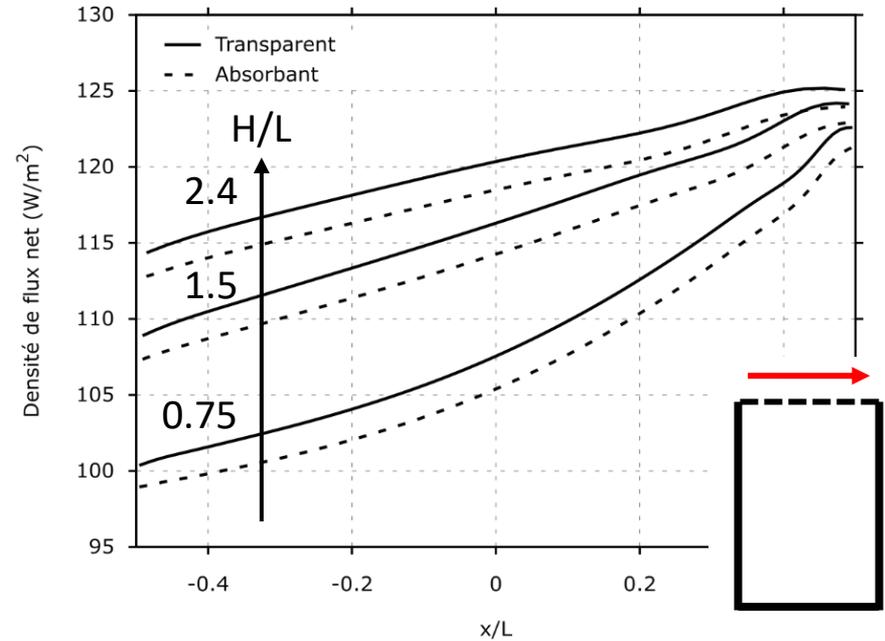
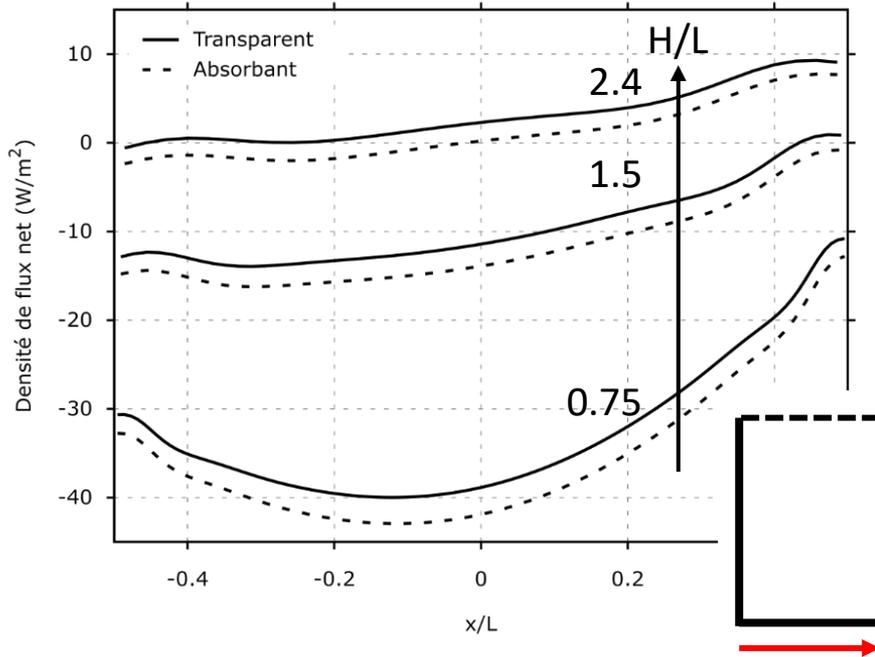
Solutions de référence Monte Carlo + absorption raie par raie



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

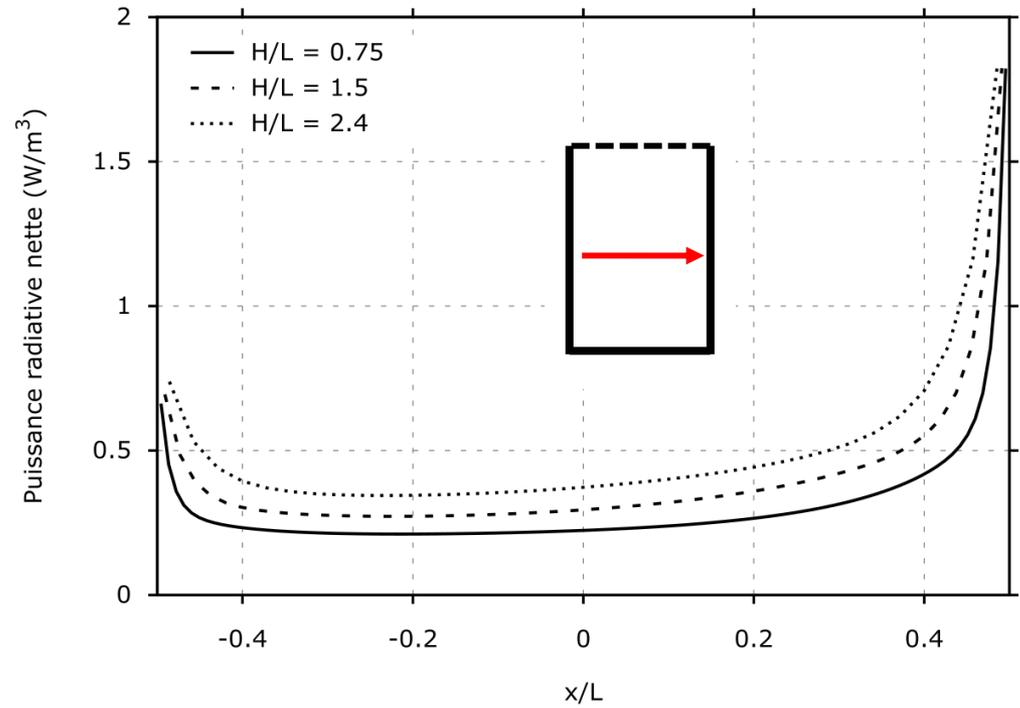
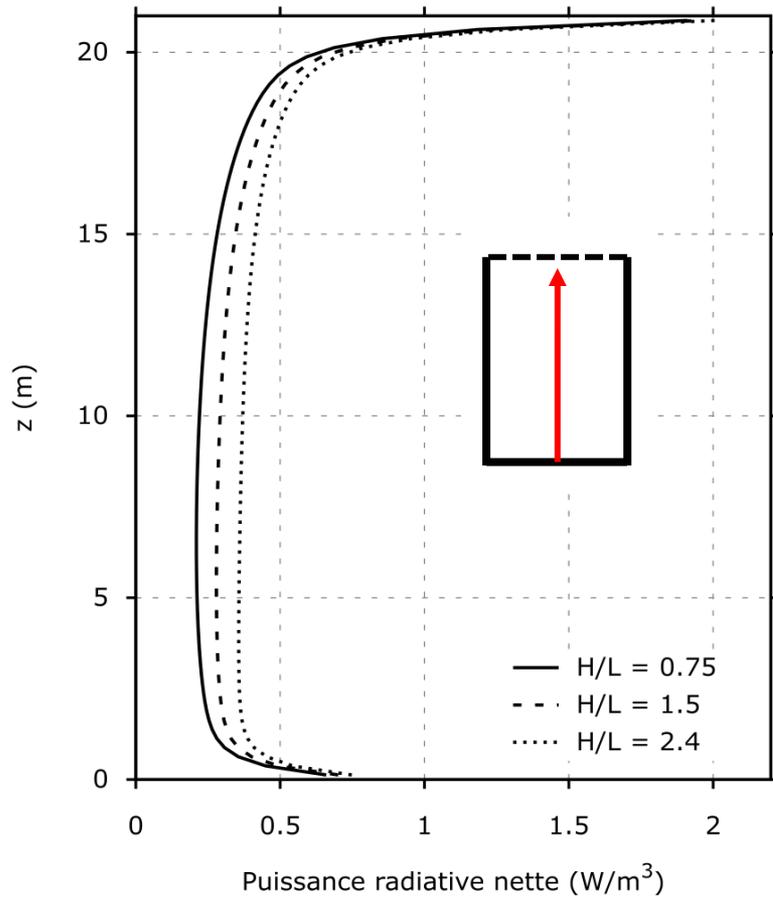
➤ **N = 10 gaz gris** suffisent pour modéliser convenablement l'absorption

Influence du rapport H/L



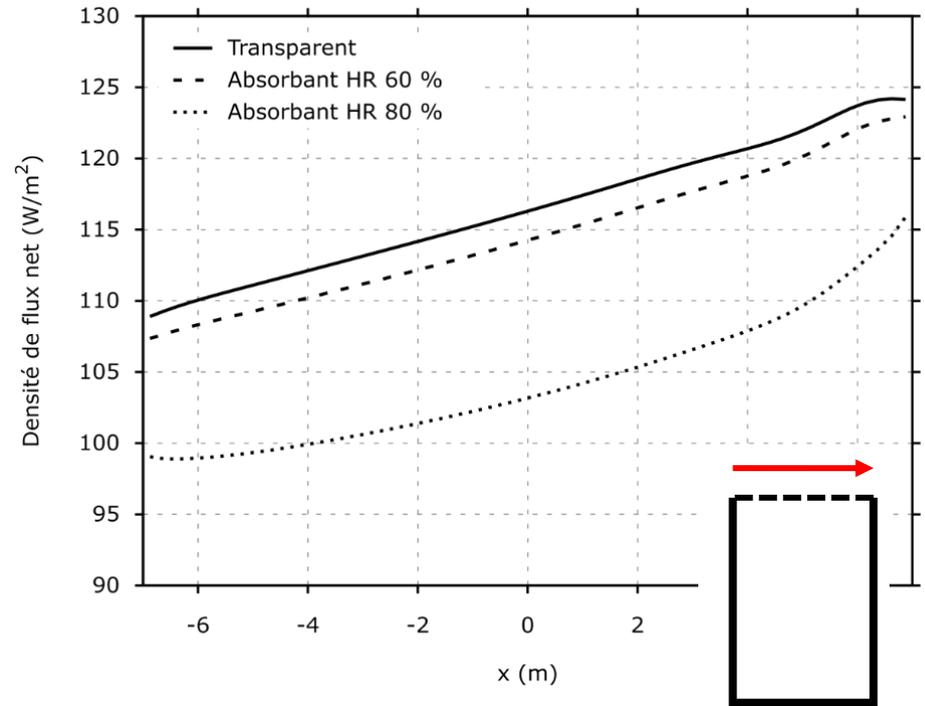
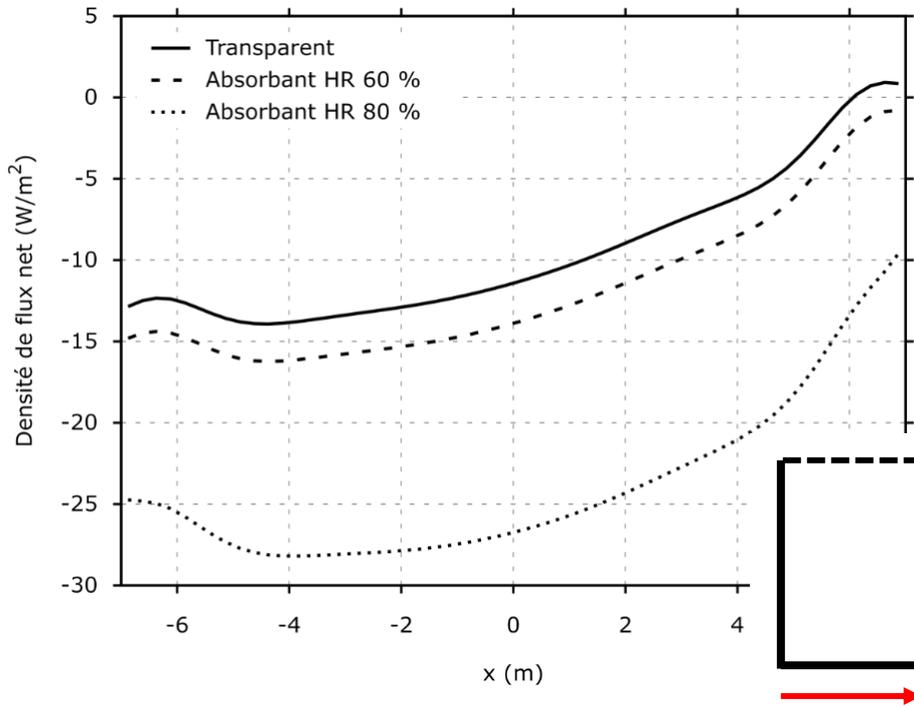
Ecart de flux net (W/m^2) avec absorption par l'air				Erreur relative sur le flux <i>infrarouge + convectif</i>	
H/L	0.75	1.5	2.4	$h_c = 5 W/m^2 \cdot K$	$h_c = 20 W/m^2 \cdot K$
Sol	-2,8	-2,3	-1,9	4,9 – 8,9 %	2,1 – 2,0 %
Gauche	-2,7	-2,5	-2,3	7,0 – 36,7 %	2,4 – 2,8 %
Droite	-1,9	-1,5	-1,2	1,1 – 0,9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

Influence du rapport H/L



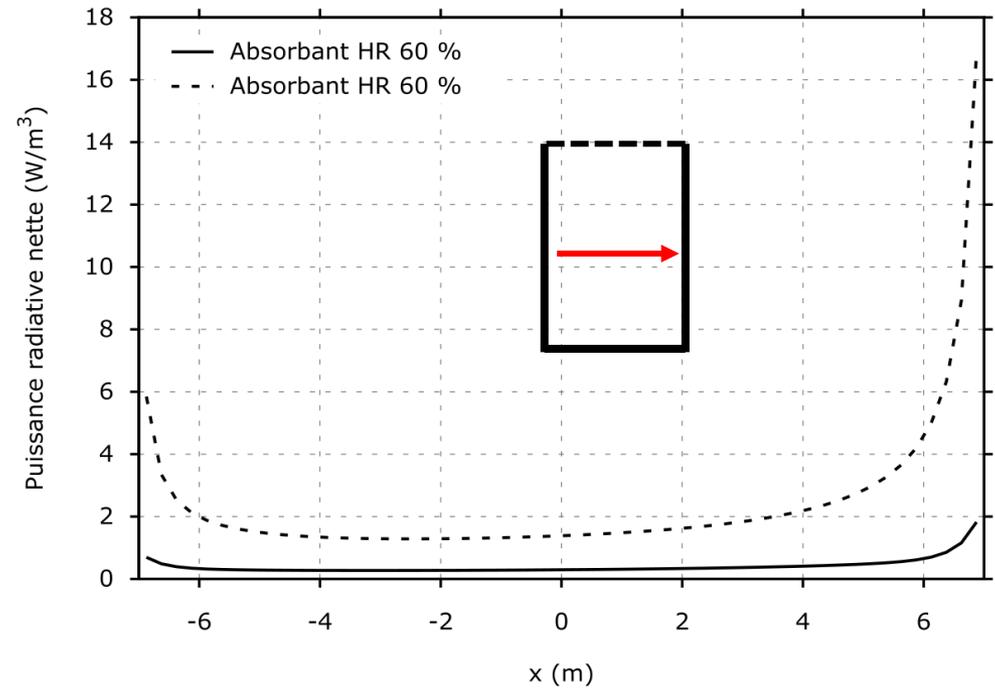
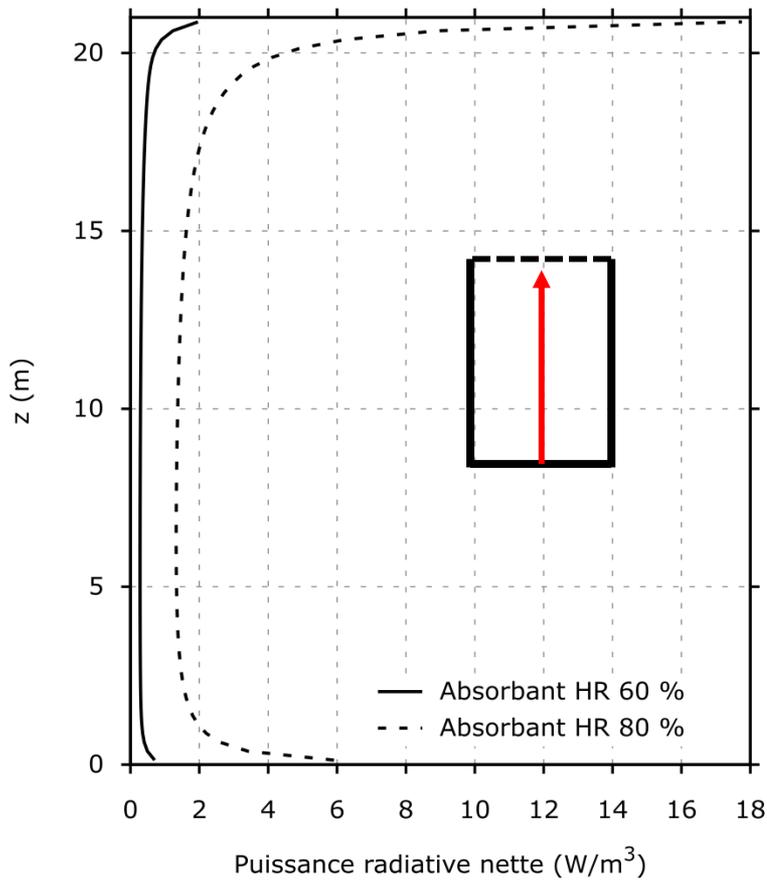
➤ Puissance radiative nette jusqu'à **2 W/m³** proche paroi

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 :

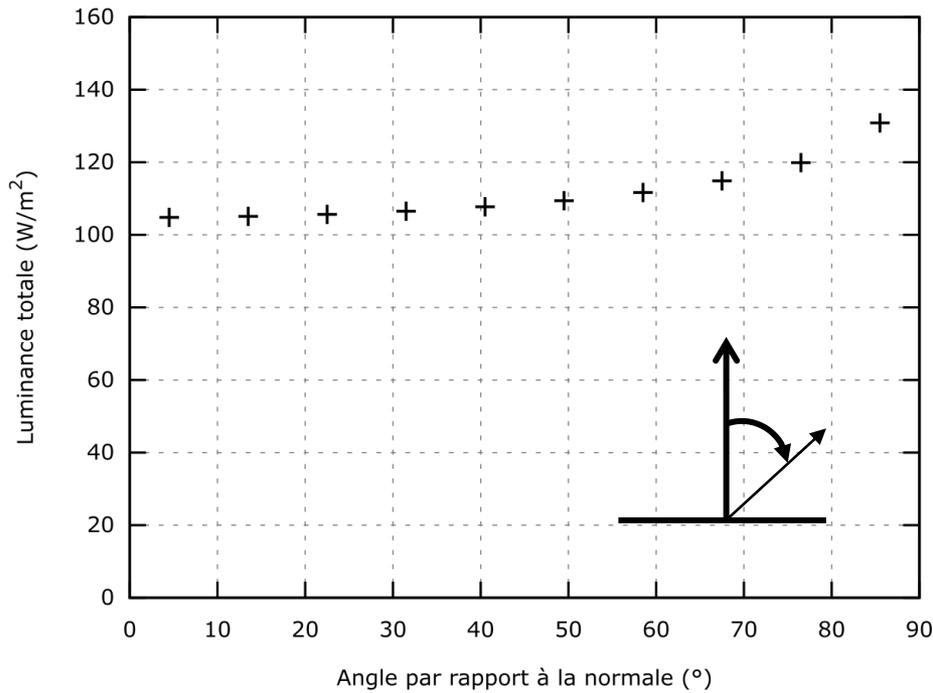
- Couplage spectral rigoureux entre **rayonnement atmosphérique** incident et **coefficients d'absorption de l'air** dans la canopée

- 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/m³** proche des parois les plus chaudes et du haut de la rue, pour une HR de 80 %.

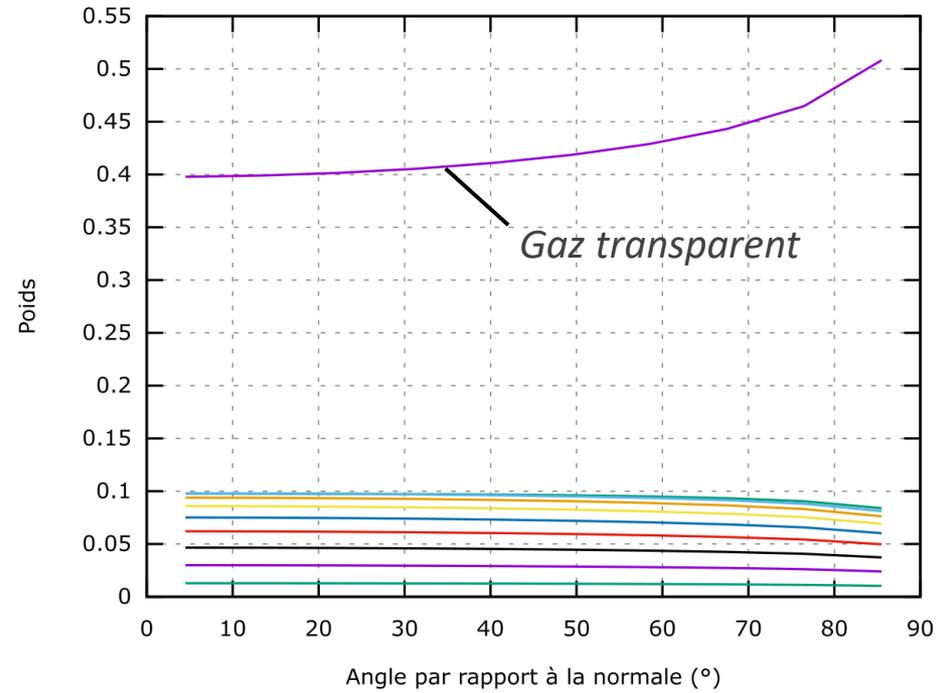
Suppléments

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

Luminance totale



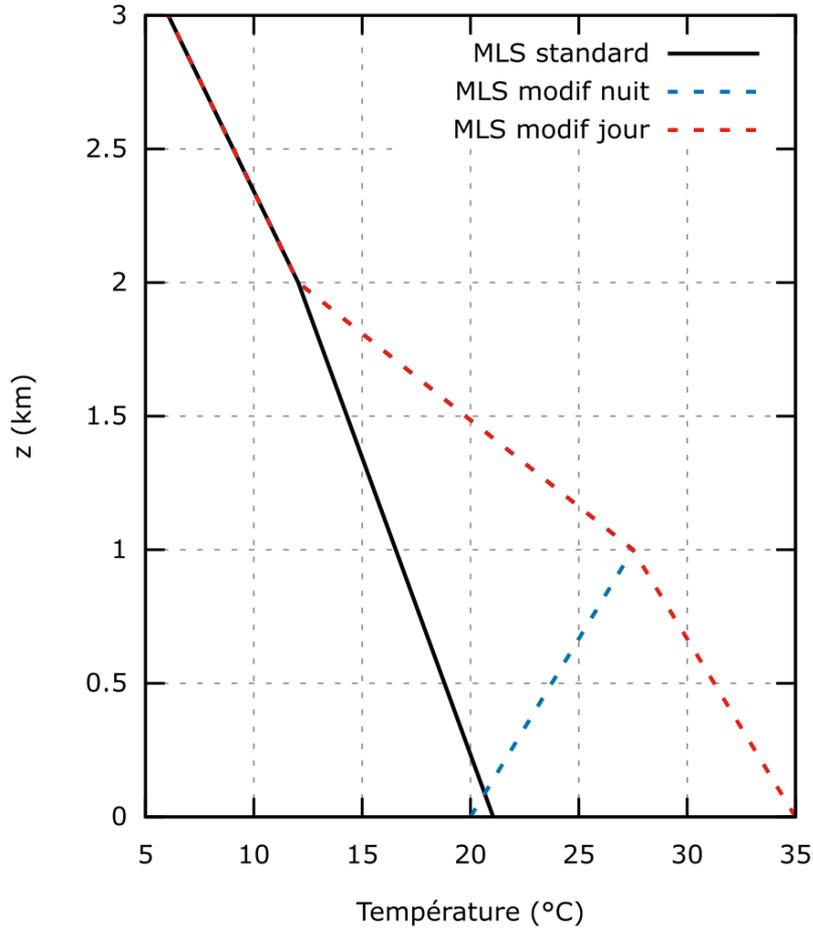
Poids pour N = 10 gaz gris



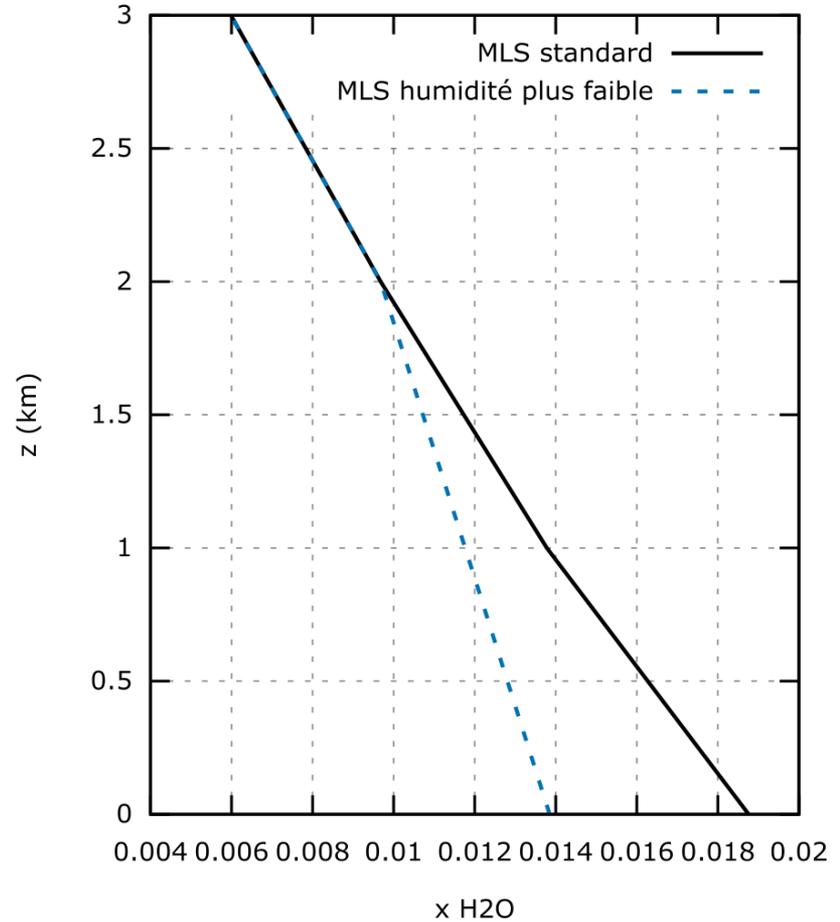
➤ Variation du spectre avec les conditions météorologiques ? (*Limite ciel clair*)

Profils MLS modifiés

Température jour/nuit



Humidité standard / plus faible



Poids associés pour les 3 spectres résultant

