

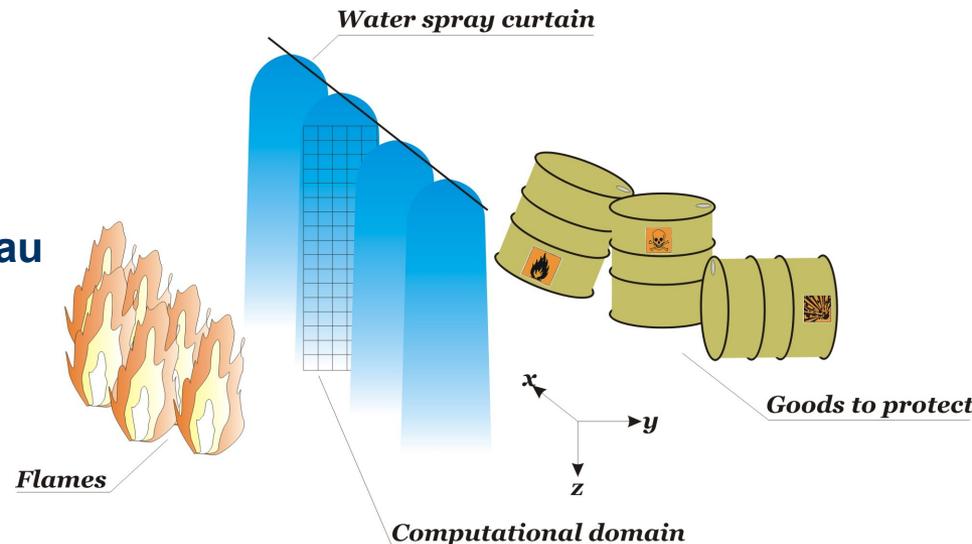
Transfert radiatif dans les sprays. Application aux rideaux d'eau.

LEMETA – Faculté des Sciences et Techniques
(G. Jeandel, P. Boulet, G. Parent, A. Collin)

- *Interaction rayonnement-matière*
- *Spectroscopie UV et Infrarouge*
- *Transfert radiatif et transferts couplés*

Application visée ici:

**Atténuation de rayonnement
par une pulvérisation de gouttes d'eau**



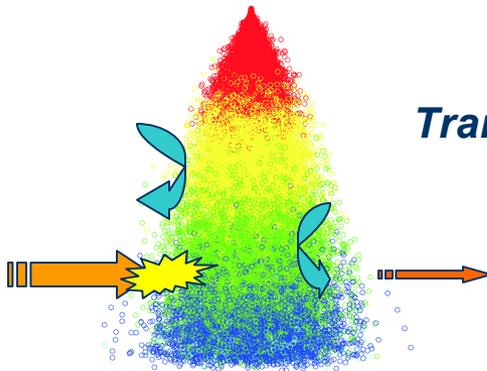


Problème posé – Difficultés rencontrées

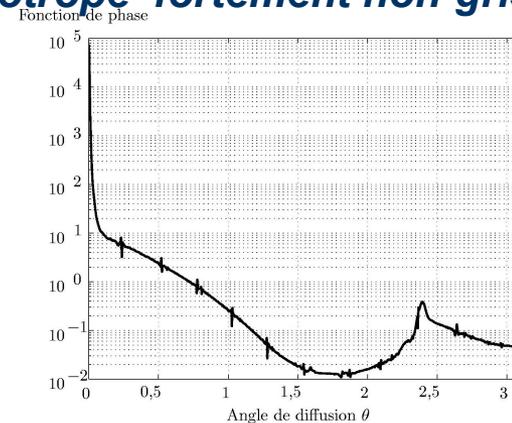
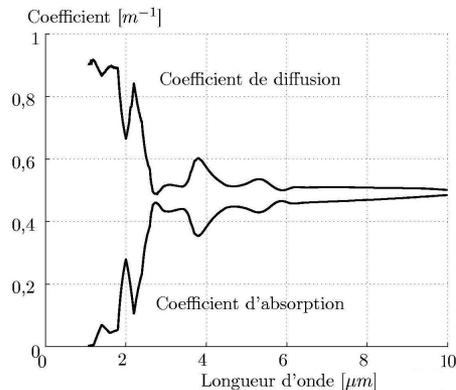
Phénomènes physiques clés:

Transferts couplés chaleur / masse / quantité de mouvement

- *Evaporation – Turbulence*
- *Milieu diphasique à phase dispersée*



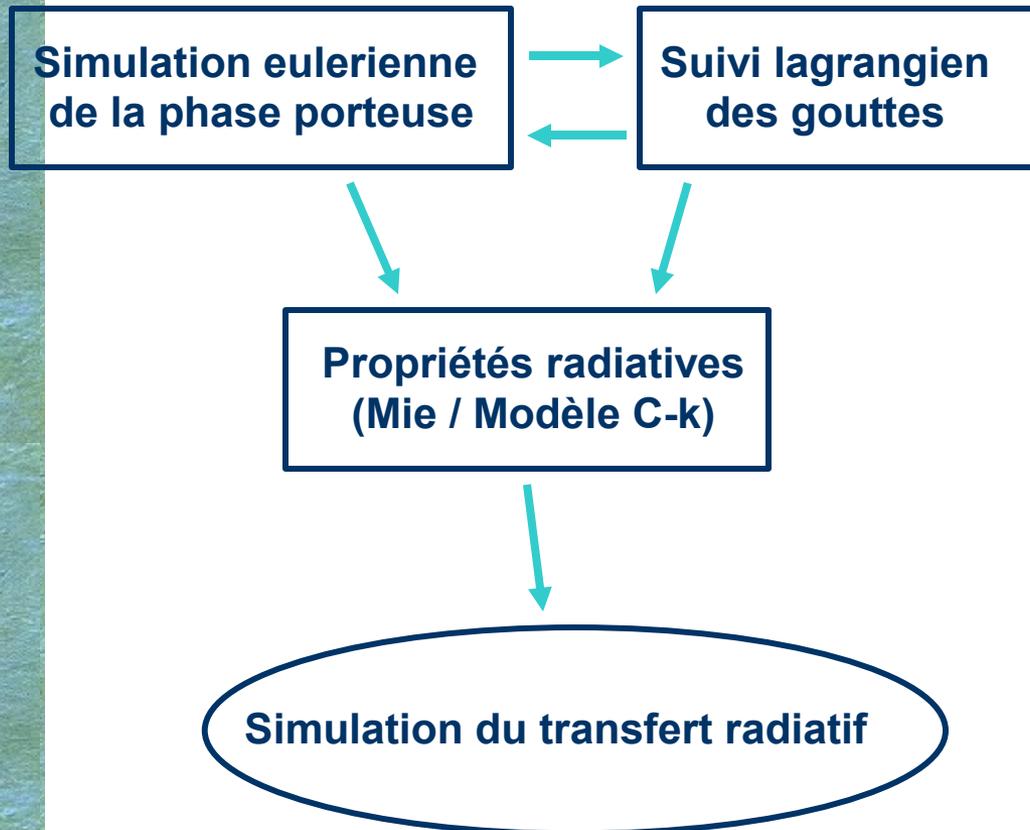
Milieu absorbant/diffusant anisotrope fortement non-gris



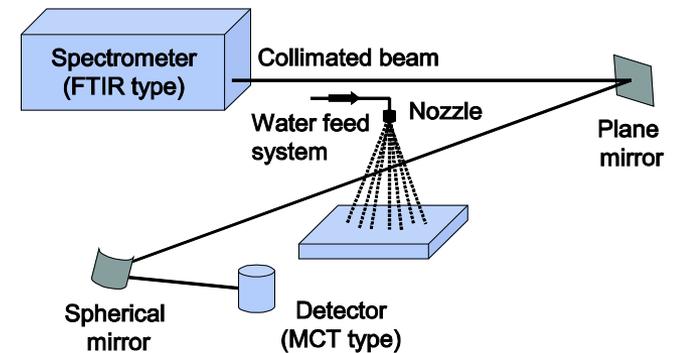


Stratégie adoptée

Simulation numérique



Caractérisation expérimentale





Simulation eulerienne de l'air entraîné

$$\text{div}(\rho \vec{U}) = 0 \quad (1) \quad \text{Conservation de la masse}$$

$$\begin{aligned} & \frac{\partial}{\partial x_j} (\rho \langle U_j \rangle \langle U_i \rangle) \\ = & \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\mu \left(\frac{\partial \langle U_i \rangle}{\partial x_j} + \frac{\partial \langle U_j \rangle}{\partial x_i} - \frac{2}{3} \delta_{ij} \frac{\partial \langle U_l \rangle}{\partial x_l} \right) \right] \quad \text{Quantité de mouvement} \\ & + \frac{\partial \langle P \rangle}{\partial x_i} - \frac{\partial}{\partial x_j} (\rho \langle u_i u_j \rangle) + S_{P \text{ gouttes}} \end{aligned} \quad (2)$$

$$\frac{\partial}{\partial x_j} (\rho \langle U_j \rangle \langle \Theta \rangle) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\frac{\mu}{Pr_L} + \frac{\mu_T}{Pr_T} \right) \frac{\partial \Theta}{\partial x_j} \right] + \frac{1}{C_p} (S_{\Theta \text{ gouttes}} + S_{\text{radiatif}}) \quad (3) \quad \text{Energie}$$

$$\frac{\partial}{\partial x_j} (\rho \langle U_j \rangle \langle Y \rangle) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\mathcal{D} + \frac{\mu_T}{Sc_T} \right) \frac{\partial \langle Y \rangle}{\partial x_j} \right] + S_{m \text{ gouttes}} \quad (4) \quad \text{Bilan sur l'humidité}$$

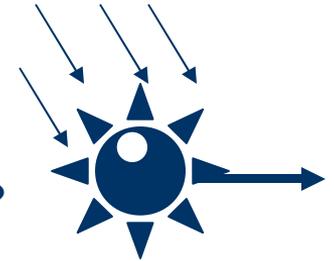
Fermeture par modèle k-ε standard / Couplage par les termes sources



Suivi lagrangien des gouttes

$$\frac{d\vec{X}_P}{dt} = \vec{V}_P \quad (5) \quad \text{Position?}$$

$$m_P \frac{d\vec{V}_P}{dt} = \vec{F}_{\text{traînée}} + \vec{F}_{\text{masse apparente}} \quad (6) \quad \text{Vitesse?}$$



$$m_P C_{pP} \frac{dT}{dt} = Q_1 + Q_{\text{radiatif}} \quad (7) \quad \text{Température?}$$

$$\frac{dm_P}{dt} = -\dot{m}_{\text{évap}} \quad (8) \quad \text{Masse / Taille?}$$

Dispersion turbulente par modèle stochastique.

Evaporation d'après Abramzon et Sirignano

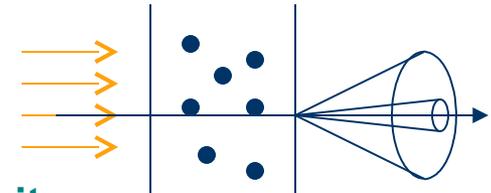


Simulation du transfert radiatif

- Résolution de l'ETR en 3D (MOD ou MVF)

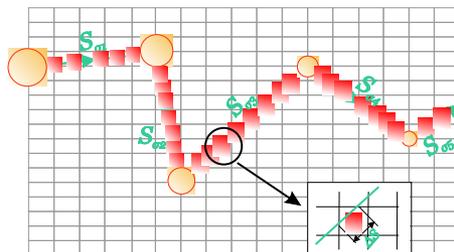
$$\frac{\partial L_\lambda(s, \vec{\Omega})}{\partial s} = \underbrace{-\kappa_\lambda \cdot L_\lambda(s, \vec{\Omega})}_{\text{Pertes par absorption}} - \underbrace{\sigma_\lambda \cdot L_\lambda(s, \vec{\Omega})}_{\text{Pertes par diffusion}} + \underbrace{n_\lambda^2 \cdot \kappa_\lambda \cdot L_\lambda^0(T(s))}_{\text{Emission propre}} + \frac{1}{4\pi} \int_{\Omega' = 4\pi} \sigma_\lambda \cdot P_\lambda(\vec{\Omega} \rightarrow \vec{\Omega}') \cdot L_\lambda(s, \vec{\Omega}') \cdot d\Omega'$$

Des difficultés: maillage,
choix des quadratures angulaires,
variations spectrales



Possible en « transmission directe » sous incidence réduite

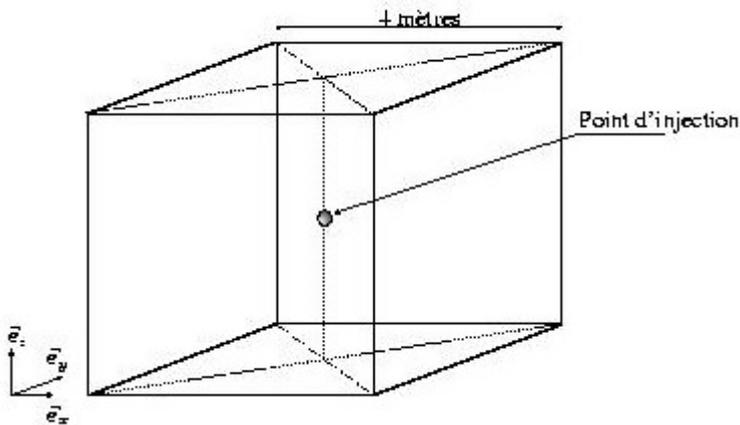
- Vers un traitement statistique par méthode de Monte-Carlo!



Suivi de quanta d'énergie
Description des interactions rayonnement/matière
Distance d'interaction basée sur σ_λ
Absorption continue le long de la trajectoire



Exemple de résultats – Simulation dans une enceinte fermée.



Mots clés: Euler-Lagrange
Volumes finis, SIMPLE, Two-way
Dispersion, Evaporation,
Monte Carlo...

Injection au centre
Faible débit (tuyère laboratoire) – 0,26l/min
Conditions d'injection: 300K – 14 m/s
Cône d'injection imposé

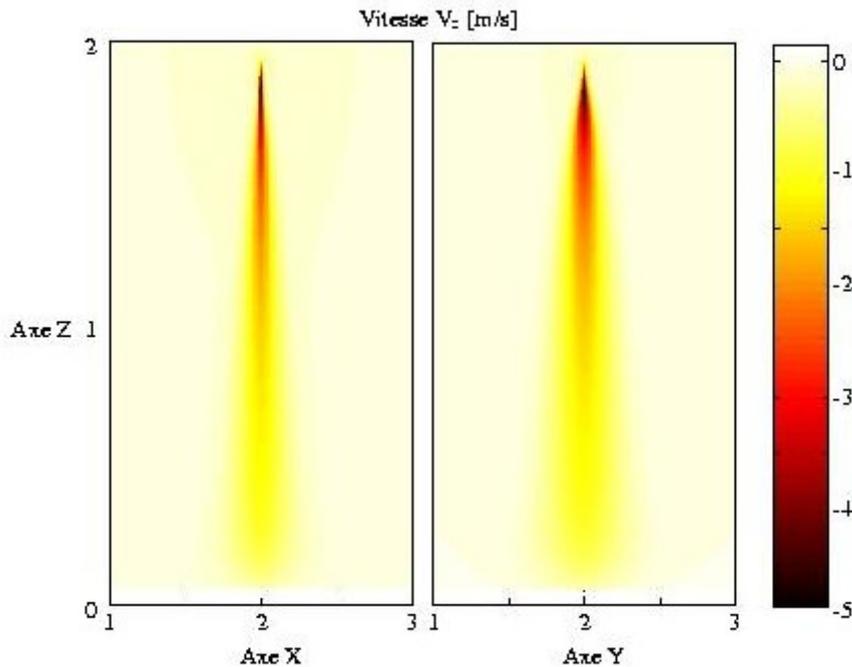
Simuler la dynamique du spray et exporter
les informations vers le code radiatif

Pas d'émission propre, flux incident
extrêmement faible... rayonnement sans
effet sur la dynamique du spray

Objectif: retrouver des données de
transmittance spectrale obtenues
expérimentalement

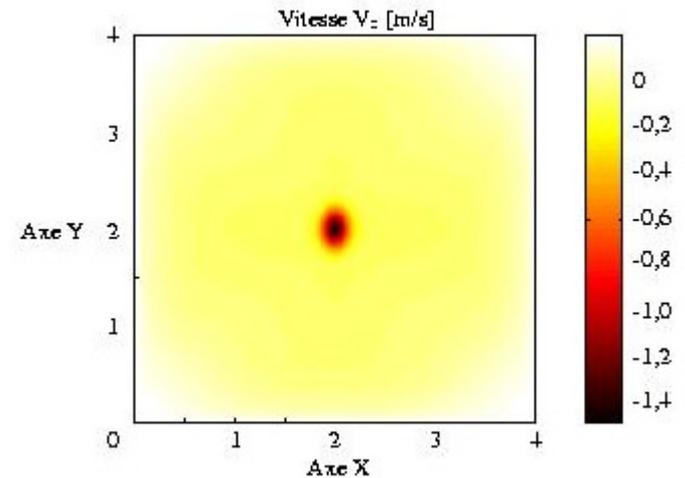


Dynamique du spray: vitesse de l'air entraîné



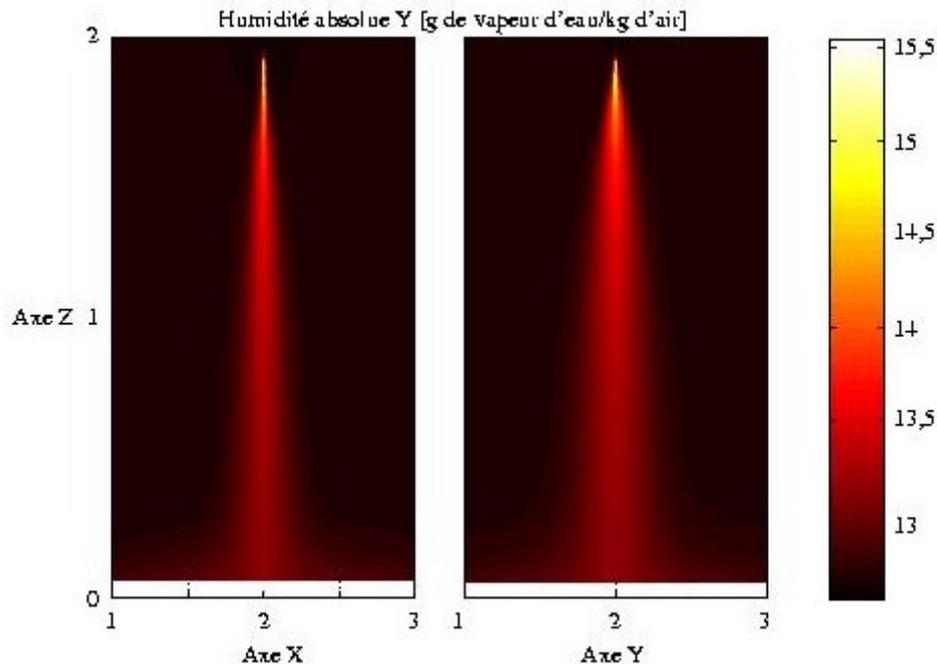
**Une trace elliptique conforme
aux conditions d'injection**

**Couplage two-way
opérationnel**





Dynamique du spray: Evaporation / Humidité



**Etude stationnaire avec parois
maintenues aux conditions
300K / 60% HR.**

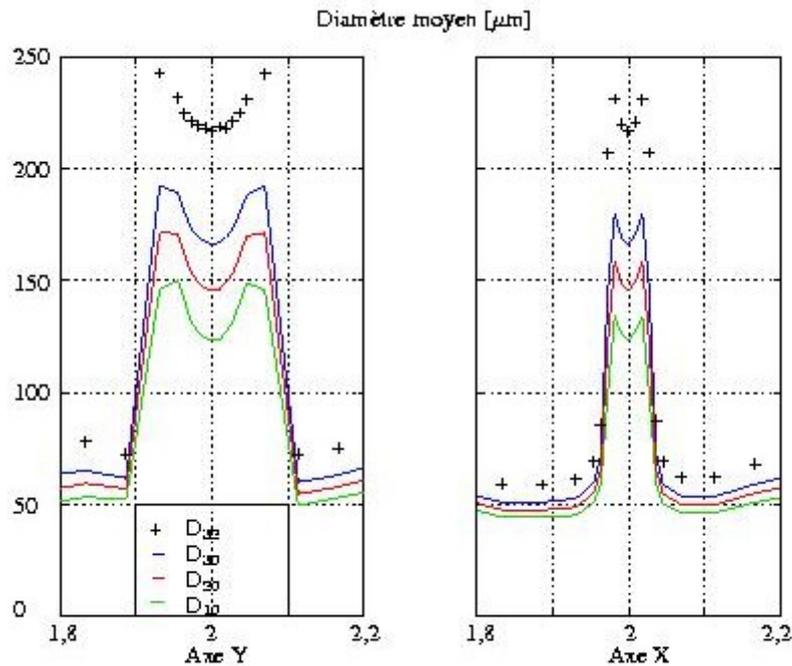
**L'évaporation induit une
augmentation de l'humidité au
sein du spray.**

**Rôle attendu de la vapeur d'eau
sur l'absorption du rayonnement.**

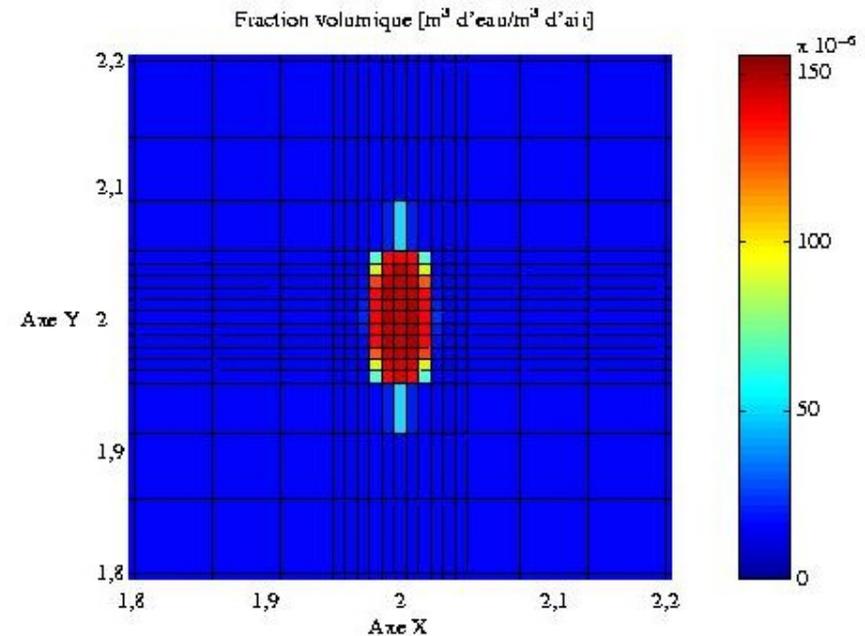
**Refroidissement en parallèle lié à l'évaporation.
Température globalement peu affectée en raison de l'équilibre entre
Rayonnement / Evaporation / Convection / Diffusion turbulente**



Dynamique du spray: distribution granulométrique



Prédiction de la fraction volumique et de la distribution granulométrique

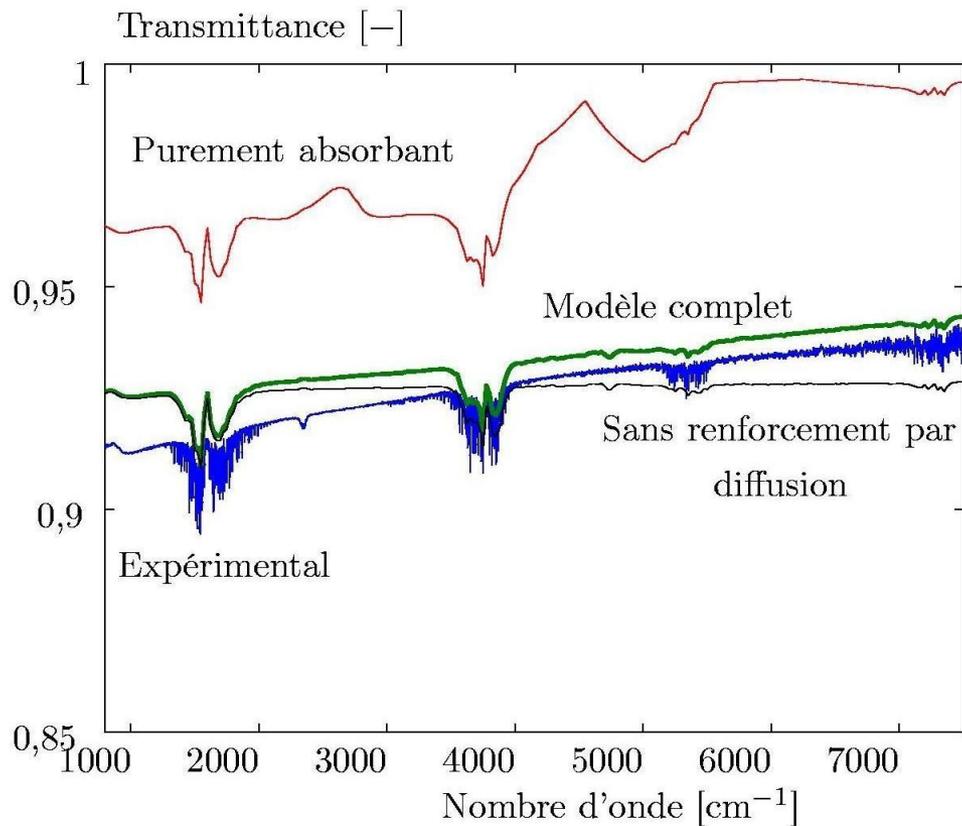


**Des petites gouttes entraînées
au cœur du spray en accord avec
les observations expérimentales**



Transfert radiatif – Transmission du rayonnement

Tuyère TP 400067 1,5 bars / Simulations 1D MOD ou Monte Carlo



Identification de la contribution des gouttes et de la vapeur d'eau

Observation du rôle de l'absorption et de la diffusion

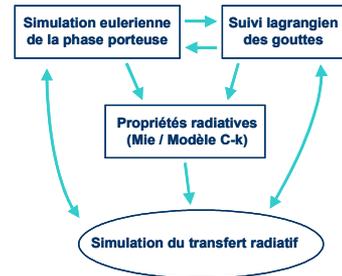
Des résultats très encourageants à analyser...

**De nombreuses études de sensibilité à réaliser!
(rôle des modèles de dispersion, d'évaporation, du modèle radiatif, des choix numériques...)**



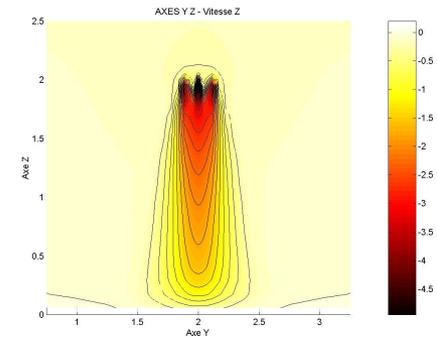
Objectifs - Perspectives

- Simulations 3D couplées



- Injections multi-points

- Simulation de rampes d'injection



- Configuration tunnel ou prise en compte d'une déformation par un vent latéral

- Ouverture: Caractérisation de différents types de végétation

- Mesures spectroscopiques
- Caractérisation par lancer de rayons d'un objet numérique
- Evaluation de simplifications ou hypothèses usuelles