Identification par méthode inverse des propriétés optiques d'un milieu diffusant. Application à l'impact du brouillard sur la perception artificielle.

Frédéric BERNARDIN, Cerema - Clermont-Ferrand
Ali KRAYEM, Laboratoire de Mathématiques Blaise Pascal - Clermont-Ferrand
Arnaud MÜNCH, Laboratoire de Mathématiques Blaise Pascal - Clermont-Ferrand

Les conditions météorologiques dégradées, dont le brouillard, limitent les performances des capteurs optiques utilisés dans différents domaines d'application (avionique, véhicules routiers intelligents, etc.). Le Cerema, au travers de sa plateforme PAVIN Brouillard-Pluie, mène des évaluations de ces capteurs dans des conditions contrôlées de brouillard [3]. Dans une perspective de disposer d'un jumeau numérique de la plateforme, il est nécessaire de développer des modélisations robustes de propagation des ondes électromagnétiques dans le brouillard.
La propagation est régie par les phénomènes de diffusion et d'absorption des photons au contact des gouttelettes de brouillard. La distribution N des tailles de ces gouttes est un paramètre clé des modèles de propagation. Nous proposons d'exposer une méthodologie pour identifier cette distribution en inversant l'équation de transfert radiatif [1] à partir de mesures expérimentales.
On s'intéresse à la propagation d'une onde monochromatique de longueur d'onde λ dans un milieu diffusant homogène et modélisé en espace par une seule coordonnée (modélisations dite *slab*). La luminance $L_\lambda(x,\mu)$ est régit par l'équation de transfert radiatif suivante :

$$\begin{cases} \mu \dfrac{\partial L_\lambda}{\partial x}(x,\mu,N) + \sigma^\lambda_{ext}(N)\, L_\lambda(x,\mu,N) = & \dfrac{\sigma^\lambda_{sca}(N)}{2} \displaystyle\int_{-1}^{1} \Phi_\lambda(\mu,\mu',N)\, L(x,\mu',N) d\mu' \quad (x,\mu) \in (0,H) \times [-1,1] \\ L_\lambda(0,\mu) = L^0_+(\mu) & \text{si} \quad \mu \in (0,1] \\ L_\lambda(H,\mu) = L^H_-(\mu) & \text{si} \quad \mu \in [-1,0) \end{cases}$$

où μ désigne le cosinus de l'angle de propagation, σ^λ_{ext}, σ^λ_{sca} et Φ_λ désignent respectivement le coefficient d'extinction, le coefficient de diffusion et la fonction de phase à la longueur d'onde λ.
On souhaite identifier les fonctions σ^λ_{ext}, σ^λ_{sca} et Φ_λ à partir de mesures expérimentales réalisées par un spectroradiomètre d'ouverture de cône α et dans une direction θ, dont la mesure en un point x pour la longueur d'onde λ s'exprimer par :

$$M_\lambda(x) = \int_{\cos(\theta+\alpha/2)}^{\cos(\theta)} \mu\, \bar{L}_\lambda(x,\mu)\, d\mu,$$

où $\bar{L}_\lambda$ désigne la luminance expérimentale régnant dans le milieu.
En utilisant la théorie de diffusion de Mie [2], l'identification de ces trois fonctions est ramenée à l'identification de la distribution granulométrique N des diffuseurs qui conduit au problème de contrôle optimal suivant :

$$\inf_{N \in L^2(\mathbf{R}^+)} J_\epsilon(N) := \frac{1}{2} \sum_{i=1}^{I} \sum_{l=1}^{G} \left(\int_{\cos(\theta+\alpha/2)}^{\cos(\theta)} \mu\, L_{\lambda_l}(x_i,\mu)\, d\mu - M_{\lambda_l}(x_i) \right)^2 + \frac{\epsilon}{2} \|r^2 N\|^2_{L^2(\mathbf{R}^+)}$$

où I et G représentent respectivement le nombre de points spatiaux de mesure et le nombre de longueurs d'onde prises en compte dans la mesure au spectroradiomètre.
Nous présentons des résultats numériques obtenus à partir de la méthode de descente de gradient, en donnant au préalable l'expression du gradient à partir de l'état adjoint.

[1] G. Allaire, X. Blanc, B. DesprÃ©s, F. Golse. *Transport et diffusion.* Ecole Polytechnique, 2019.
[2] H. Hulst, H. van de Hulst. *Light scattering by small particles.* Dover Books on Physics, Dover Publications, 1957.
[3] Y. Li, P. Duthon, M. Colomb, J. Ibanez-Guzman. *What happens for a tof lidar in fog ?* IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, **22(11)**, 6670–6681, 2021. doi :10.1109/TITS.2020.2998077.

Contact : ali.krayem@uca.fr