PROPOSITION DE SUJET DE THESE

Intitulé : Modélisation de la rétrodiffusion de particules fines carbonées pour l'exploitation de données lidar

Référence : **PHY-DOTA-2024-21**
(à rappeler dans toute correspondance)

Début de la thèse : octobre 2024	**Date limite de candidature :** 01/06/24

Mots clés :
Lidar, rétrodiffusion, suie, particules carbonées

Profil et compétences recherchées :
Physicien, modélisation physique, diagnostic optique, combustion

Présentation du projet doctoral, contexte et objectif :

Le carbone noir (BC), encore appelé suie, est le produit de la combustion incomplète d'hydrocarbures et de biomasse. Ces particules sont constituées d'agrégats fractals de monomères de suie primaire ultrafines, qui jouent un rôle important sur les échanges radiatifs terrestres et donc une contribution importante sur le réchauffement climatique. En outre, ces particules constituent une menace pour la santé humaine car elles sont considérées comme cancérigènes et sources de maladies respiratoires en raison de leur taille nanométrique et de leur composition, elles exercent à ce titre un rôle néfaste sur la qualité de l'air en milieu urbain. Dans ce contexte, les aérosols BC émis par les moteurs d'avion (également connus sous le nom de particules non volatiles) sont des noyaux de glace potentiels pouvant induire la formation de cirrus, ce qui peut avoir un impact sur les régimes de précipitations. L'évolution rapide des normes relatives aux émissions particulaires conduit les constructeurs de moteurs d'avion à réduire drastiquement leurs émissions particulaires. Pour ce faire, ils ont recours à de nouveaux carburants et il convient de quantifier précisément l'impact de ces nouveaux fluides sur les émissions que ce soit en fraction volumique qu'en taille. Cependant, des incertitudes considérables subsistent sur le forçage climatique net des aérosols type BC en raison de la grande variété de substances englobant des suies fraîchement émises et des suies plus âgées ayant interagi avec les substances atmosphériques. Ainsi, la quantification des émissions d'aérosols de carbone, c'est-à-dire le nombre de particules agrégées ou encore leur concentration massique ou la détermination de leur taille représente une tâche difficile mais essentielle pour faire progresser notre compréhension de leur rôle dans le réchauffement climatique et sur la santé.

Diverses techniques sont disponibles pour caractériser les aérosols de carbone, telles que le photomètre d'absorption sur filtre, la mesure photo-acoustiques, l'interférométrie photo-thermique, l'aethalométrie, ou reposant sur les principes de diffusion de la lumière. Par exemple, l'instrument Single Particle Soot Photometer (SP2) utilise l'incandescence induite par laser et la diffusion de la lumière. Le Scanning Mobility Particle Sizer (SMPS) peut déterminer la taille des particules et la fraction volumique des particules de suie. Le SP-AMS peut fournir une analyse en ligne des composés chimiques à particules. L'ensemble de ces instruments et techniques sont par nature locales, nécessitent une phase de prélèvement intrusive des aérosols. Pour ces raisons, ils sont plutôt adaptés à des mesures en laboratoire avec des contraintes liées à leurs complexités et à un cout généralement prohibitif. En substance, ces techniques ne sont pas adaptées à une mise en œuvre sur des systèmes complexes et à plus grandes échelles, comme en sortie de moteurs ou dans les panaches d'incendies. En revanche, le sondage optique tel qu'opéré par le lidar à rétrodiffusion élastique (EBL) est une technique active de télédétection qui permet de caractériser les aérosols sans contact et à distance. Des développement récents exploitant des lasers à impulsions brèves ont permis d'améliorer drastiquement la résolution spatiale (jusqu'à quelques mètres) et temporelle de cette technique autorisant leur mise en œuvre à proximité des sources de particules. Cependant, l'exploitation des signaux collectés (rétrodiffusés et auto-absorbés sur le trajet optique jusqu'à l'appareil) nécessite une modélisation précise des sections efficaces d'absorption, de diffusion totale et arrière. Et, il est maintenant avéré que la prise en compte de la morphologie complexe des particules dans l'évaluation de leurs sections efficaces est nécessaire. En effet, l'usage classique de la théorie de Mie (théorie rigoureuse pour des particules sphériques) n'est pas adaptée pour la mesure en rétro-diffusion qui est très dépendante de la morphologie des particules. Pour cette raison, il semble pertinent de faire appel à une théorie d'interaction lumière particule adaptée

aux particules agrégées dites fractales appelée RDG-FA. L'ONERA et le CORIA se sont récemment penchés sur cette approche et ont obtenus des résultats prometteurs.

Les travaux numériques récents menés par Clément Argentin, également issus d'une collaboration entre l'ONERA et le CORIA, ont permis d'identifier les causes physiques de phénomènes de couplage interne (encore appelée multi-diffusion) pouvant affecter de façon importante les prédictions de la RDG-FA, pouvant conduire à une forte surestimation des sections efficaces des agrégats fractals. Ces travaux ont non seulement permis l'élaboration d'une méthodologie d'analyse pertinente reposant sur l'outil phasoriel mais également permis d'aboutir à une modélisation de facteurs correctifs implémentables dans la RDG-FA. Ils ont enfin montré comment le couplage interne peut affecter les propriétés angulaires de diffusion. Cependant, ces développements ont été pour le moment limités à des agrégats de sphères en contacts ponctuels et nous savons que le recouvrement des sphérules constaté en microscopie électronique est susceptible d'affecter également les propriétés radiatives des particules. Il convient donc de poursuivre ces travaux avec des particules de morphologies plus réalistes. Il se trouve que le CORIA a développé dans le cadre de la thèse de José Moran un outil de génération réaliste d'agrégats virtuels reposant sur le couplage de simulations numériques à méso et nano échelles. Nous disposons donc à la fois des méthodes numériques de génération d'agrégats à morphologie réaliste ainsi que d'une méthodologie d'analyse de leurs propriétés radiatives pouvant contribuer à une amélioration significative de l'évaluation des sections efficaces des particules de suie.

En premier année, le doctorant(e) aura à comprendre et maîtriser les différents éléments du dispositif de mesure LIDAR utilisé ainsi que les méthodes usuelles d'inversion. Il lui sera demandé de prendre en main des codes de modélisation de diffusion de la lumière ainsi que les méthodes d'inversion. Enfin, il participera à des campagnes de mesures qui serviront d'exemple d'application pour la présente étude. Le/La doctorant(e) aura à étudier la morphologie des agrégats fractals (agrégat de sphérules primaires) comme données d'entrées des codes de diffusion de la lumière existant (notamment un modèle simplifié basé sur l'approximation RDG-FA et sur l'approximation des dipôles discrets ou DDA). En deuxième année, il/elle aura à calculer de façon rigoureuse les sections efficaces de diffusion et d'absorption des agrégats générés dans la tâche précédente à partir de code de diffusion électromagnétique (ou approximation des dipôles discrets DDA). En plus des sections efficaces, il/elle devra être en mesure d'extraire l'information du champ électrique interne aux particules, dans l'objectif d'améliorer le modèle simplifié actuel basé sur la méthode RDG-FA. En troisième année, l'étudiant(e) proposera une modification de ce modèle simplifié et l'appliquera à l'inversion de mesures lidar. Le/La doctorant(e) devra alors confronter ses résultats avec ceux obtenus par des méthodes indépendantes de référence sur une source d'émission stable, reproductible étudiées par d'autres techniques soit non optiques (prélèvement et analyse SMPS) ou optiques (de type MW-LOSA). Cette étape permettra de valider un nouveau modèle RDG-FA « modifié » pour la rétrodiffusion.

Collaborations envisagées :

CORIA

Laboratoire d'accueil à l'ONERA :	**Directeur de thèse :**
Département : Physique, instrumentation, environnement, espace Lieu (centre ONERA) : Toulouse **Contact** : Romain Ceolato Tél. : 05.62.25.26.17 Email : romain.ceolato@onera.fr	Nom : Jérôme Yon Laboratoire : CORIA Tél. : 02 32 95 36 30 Email : jerome.yon@insa-rouen.fr

Pour plus d'informations : https://www.onera.fr/rejoindre-onera/la-formation-par-la-recherche