

Sujet de thèse

Modélisation 3-D des rétro-actions microphysique de l'eau, turbulence, rayonnement dans les nuages bas

CEREA

Centre d'enseignement et de recherche en environnement atmosphérique
Laboratoire commun École des Ponts ParisTech / EDF R&D
Université Paris-Est

Résumé : La finalité de cette thèse est de décrire explicitement les interactions 3D entre la turbulence, le rayonnement et la micro-physique des nuages chauds spécifiques à la couche limite atmosphérique. Elle reposera dans ce domaine sur la mise en œuvre de paramétrisations physiques détaillées : k-ε ou LES pour la turbulence, modèle radiatif 3-D dans les domaines solaire et infrarouge (en incluant les processus de diffusion liés à la présence des gouttes de nuage), microphysique du changement de phase (allant jusqu'à la description du spectre des gouttes d'eau en interactions avec les aérosols). Ces paramétrisations seront testées et validées sur des situations bien documentées de brouillard et nuages bas mesurées au Site instrumental de recherche par télédétection atmosphérique (SIRTA) sur le site de l'École Polytechnique à Palaiseau

Contexte : La simulation des brouillards radiatifs et stratus bas est une difficulté majeure de la prévision numérique en raison notamment de la complexité des interactions entre de nombreux phénomènes physiques pilotant le changement d'état (phénomène à seuil) de l'eau atmosphérique.

Dans le cas du brouillard, de nombreux travaux ont été effectués avec des modèles atmosphériques 1-D (colonne) permettant une haute résolution sur la verticale. De part leur faible coût calcul et leur réalisme physique, ces modèles ont permis de décrire assez finement l'ensemble des processus physiques sur la verticale. Cette approche reste encore aujourd'hui à la base des modèles opérationnels de prévision des brouillards.

Des travaux plus récents portent sur la structure 3-D des nuages de couche limite provenant par exemple d'instabilités de Kelvin Helmholtz mises en évidence par des simulations LES du brouillard (Nakanishi, 2000). Mais, dans ces approches, la description des interactions microphysique- rayonnement reste assez simplifiée. Le travail proposé dans cette thèse consiste à combler ces lacunes en intégrant les derniers développements en microphysique de l'eau, turbulence et rayonnement dans leur complexité 3-D dans le module atmosphérique de *Code_Saturne*

Code_Saturne, modèle de CFD open-source développé à EDF R&D et au CEREA pour sa partie atmosphérique, comporte plusieurs fermetures turbulentes adaptées à l'atmosphère,

modèle en coefficients d'échange, modèle k- ϵ , LES. Dans le cadre des travaux de thèse de E. Bouzereau (2004, 2008) et X. Zhang (2010), une première version de la microphysique de l'eau et des schémas radiatifs a permis de simuler les panaches d'aéroréfrigérants des centrales nucléaires et l'évolution d'une couche de brouillard.

Par ailleurs, le CEREAs dispose, au travers de sa collaboration avec l'Institut Pierre-Simon Laplace (IPSL) sur le site expérimental du SIRTA de l'École Polytechnique à Palaiseau, de données détaillées concernant l'écoulement atmosphérique, le brouillard et les nuages bas. Durant la campagne ParisFog (hiver 2006-2007), de nombreuses situations de brouillard-nuages bas ont été documentées notamment en termes de turbulence (anémomètres soniques sur différents mâts en différentes zones du site, scintillomètre, sodar, ...), de rayonnement solaire et infrarouge, de visibilité et, pour quelques périodes d'observation intensive, de mesures de la microphysique des gouttes et des aérosols. De plus, depuis cette campagne, de nouveaux capteurs ont permis d'améliorer la connaissance de la microphysique des gouttes de brouillard sur le site.

Dans le cadre de cette thèse, on se propose d'étudier les différents processus 3-D intervenant dans la formation des brouillards et nuages bas par comparaison entre mesures in situ et modélisation.

Sujet : La thèse portera essentiellement sur la modélisation 3-D de quelques situations bien documentées de brouillard ou stratus bas et sa comparaison aux mesures. On s'attachera à développer ou à adapter les paramétrisations physiques nécessaires afin d'appréhender la dynamique 3-D de ces nuages.

On travaillera dans un premier temps au SIRTA, un site considéré comme homogène horizontalement, afin de réaliser des tests de sensibilité aux paramétrisations retenues. Dans un deuxième temps, la complexité du site sera prise en compte à travers une description détaillée du bâti et des espaces arborés. Le travail abordera les différents processus physiques à modéliser (rayonnement, microphysique, turbulence) et se déroulera autour des étapes suivantes :

Bibliographie sur le brouillard et prise en main de *Code_Saturne* : Il s'agira de réaliser une étude bibliographique sur la dynamique 3-D du brouillard radiatif en s'intéressant plus particulièrement aux aspects dynamiques mais aussi aux aspects radiatifs et micro-physiques. Parallèlement, une prise en main de *Code_Saturne* sera réalisée en utilisant les simulations 3-D et/ou 1-D déjà réalisées dans le cadre de la thèse de X. Zhang (2010) sur la période d'observations intensives (POI) 13 de la campagne ParisFog.

Modélisation 3-D des effets radiatifs : Des travaux ont mis en évidence des structures 3D en rouleaux sur des cas de brouillard radiatif attribuées vraisemblablement à des instabilités de type Kelvin-Helmoltz. On peut se poser dans ce domaine la question de prendre en compte ces hétérogénéités spatiales (ou celles liées à la complexité de la surface terrestre) dans les calculs radiatifs. *Code_Saturne* est déjà doté d'un code radiatif 3-D pour des milieux semi-transparentes. Dans cette partie il s'agira de compléter ces codes par la prise en compte des processus de diffusion nécessaires à traiter de l'interaction entre les particules atmosphériques (aérosols ou gouttes de nuage) et le rayonnement. Une comparaison avec des calculs 1-D plus traditionnellement utilisés en météorologie pourra être réalisée.

Interaction aérosols - gouttelettes de brouillard : La formation des gouttes de brouillard se fait essentiellement par condensation sur des aérosols déjà existants, ce que l'on appelle le processus de nucléation ou d'activation. La nucléation dépend fortement du nombre de particules solides, de leur spectre en taille et de leur composition chimique. On se propose dans cette partie de coupler un modèle d'aérosols avec le schéma de microphysique des gouttelettes de nuages chauds développé par Bouzereau (2008) et adapté par Zhang (2010) pour le brouillard à l'aide de la paramétrisation d'Abdul Razzak (2000).

Sensibilité aux schémas de fermeture turbulente : On se focalisera essentiellement sur une comparaison entre le modèle RANS en k- ϵ et une fermeture LES par référence au travail réalisé par Nakanishi (2000). Cette partie comportera l'utilisation et l'adaptation de schémas déjà éprouvés à la problématique de la simulation du brouillard. On s'intéressera plus particulièrement à la capacité de la fermeture LES à décrire les structures cohérentes qui se forment dans la phase de développement du brouillard.

Modélisation du brouillard en terrain complexe : Dans cette partie on introduira les éléments de complexité du site de l'École Polytechnique à Palaiseau, siège du SIRTÀ, par une description explicite et détaillée des bâtiments, des zones arborées et des étendues d'eau. On se focalisera sur une situation bien documentée afin d'étudier de façon très détaillée les quelques heures liées à la période de formation et de dissipation du brouillard. Cette expérience numérique sera l'occasion de mettre en œuvre et de tester tous les développements réalisés durant les travaux de thèse.

Finalisation et rédaction de la thèse : La partie modélisation 3-D des effets radiatifs dans le contexte de la simulation du brouillard radiatif ainsi que les aspects couplage d'un modèle d'aérosols avec un schéma de microphysique des nuages constituent les aspects originaux de ce travail de thèse et devront permettre de réaliser des publications dans des revues à comité de lecture. Cela devrait aider à la rédaction du mémoire de thèse.

Collaborations : Ce travail étant orienté sur la modélisation des brouillards avec des comparaisons à des données expérimentales, il s'effectuera en partenariat avec l'IPSL au travers de l'utilisation des mesures réalisées sur le site du SIRTÀ de l'École Polytechnique à Palaiseau, le Laboratoire de Météorologie Dynamique (LMD) et les équipes concernées par la thématique brouillard au Centre national de recherches météorologiques (CNRM) de Météo France seront aussi sollicitées.

Laboratoire d'accueil et encadrement : Cette thèse sera effectuée à EDF R&D à Chatou en région parisienne et sera encadrée par des chercheurs du Cerea (<http://cerea.enpc.fr>). Le directeur de thèse sera Bertrand Carissimo ; la thèse sera aussi encadrée par Luc Musson-Genon et Maya Milliez du Cerea.

Durée : 3 ans

Rémunération : 1.600 € nets par mois

Contact : Luc Musson-Genon, directeur-adjoint du Cerea, 01 30 87 81 18, luc.musson-genon@edf.fr

Quelques publications récentes du Cerea autour du sujet proposé :

- Bouzereau, E., Musson Genon, L. and B. Carissimo (2008): Application of a semi-spectral cloud water parameterization to cooling tower plume simulations. *Atmospheric Research*, doi:10.1016/j.atmosres.2008.04.006
- Milliez, M. and Carissimo, B. (2008): CFD modelling of concentration fluctuations in an idealized urban area', *Boundary-Layer Meteorology*, **127**, 251-259.
- Milliez, M. and Carissimo, B. (2007). Numerical simulations of flow and pollutant dispersion in an idealized urban area for different meteorological conditions. *Boundary-Layer Meteorology*, **122**, 321-342.
- Milliez, M., Musson-Genon, L., Carissimo, B., 2006 : Validation of a radiative scheme for CFD modelling of heat transfer between buildings and flow in urban canopy, Preprints of the 6th International Conference on Urban Climate, Goteborg, Sweden; June 12-16.
- Zhang, X. (2010): Modélisation du brouillard durant la campagne ParisFog: une approche predictive et étude de l'effet des hétérogénéités spatiales. Thèse de doctorat de l'École des Ponts ParisTech, Université Paris-Est, le 12 janvier 2010

Autres références

- Abdul-Razzak H., 2000 : A parameterization of aerosol activation,2. Multiple aerosols types. *J. Geophys. Res.*, 105, 6837-6844.
- Evans K.F, 1998 : The Spherical Harmonics Discrete Ordinate Method for Three-Dimensional Atmospheric Radiative Transfer, *J. Atmos. Sci.*, 55, 429-446.
- Nakanishi N., 2000 : Large Eddy simulation of radiation fog. *Bound.-layer Meteorol.*, **94**, 462-493.