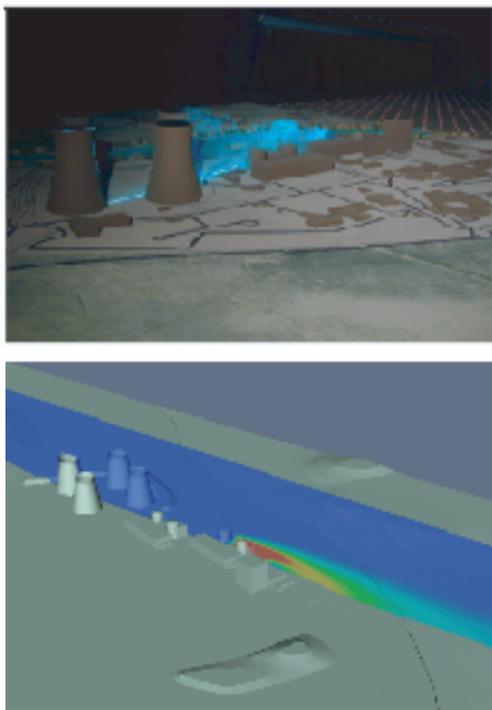


► **[figure 7]**
 Comparaison des spectres de goutte mesurés par avion (en noir) et des résultats de modélisation numérique (figure de droite) à différents points du panache (courbes en bleu, positions indiquées sur la figure de gauche).



► **[figure 8]**
 Mesures en soufflerie de la dispersion sur un site industriel (mesures ECL/IRSN) et simulation analogue réalisée en modélisation numérique avec le code Mercure_Saturne.

► Perspectives

La parallélisation des calculs (afin d'utiliser des machines de type «cluster») permettra, grâce à la puissance de calcul disponible, d'introduire plus de paramétrisations physiques, de réaliser des calculs d'incertitude et de sensibilité ou encore de mener des études d'impact (cumul de pollution sur un an, par exemple).

Il reste un travail important à réaliser sur le couplage d'un modèle comme Mercure_Saturne avec d'autres modélisations issues de la mécanique ou encore de la biologie. Le suivi de l'évolution des micro-organismes dans les gouttes de panache est un exemple d'application.

Pour estimer l'exposition de riverains à des multi-nuissances, le couplage de Mercure_Saturne avec des outils d'estimation de niveaux sonores est envisagé dans un premier temps. Il sera ensuite développé dans un module intégré. L'objectif est d'obtenir un outil de simulation pour concevoir des infrastructures routières performantes à tous points de vue sur le plan environnemental.

Un thème émergent concerne l'identification des sources de pollution à partir d'un réseau de capteurs de mesure en adaptant des techniques développées dans le groupe "assimilation de données" du CERECA.

L'application pré-opérationnelle de fonctionnement au jour le jour est prévue sur un site réel, le site du SIRTA (Ecole Polytechnique à Palaiseau) qui est particulièrement bien instrumenté en micro-météorologie. Dans le cadre d'un Observatoire Régional de la qualité de l'air et de la météorologie, commun entre l'Institut Pierre Simon Laplace et le CERECA, Mercure_Saturne permettra aussi de modéliser le site de Palaiseau à petite échelle, probablement dès 2007.

► Le CERECA

Centre de recherche commun à l'ENPC et à EDF Recherche et Développement, le CERECA a une activité centrée autour de la modélisation de la dispersion atmosphérique, notamment aux échelles locale, régionale et continentale et de l'étude de la couche limite atmosphérique (modélisation et mesures).

Personnel permanent : 30, dont 11 doctorants.

pour en savoir plus
www.enpc.fr/cereca



Centre
 d'enseignement
 et de recherche
 sur l'environnement
 atmosphérique,
 laboratoire commun
 ENPC/EDF-R&D



www.enpc.fr/cereca

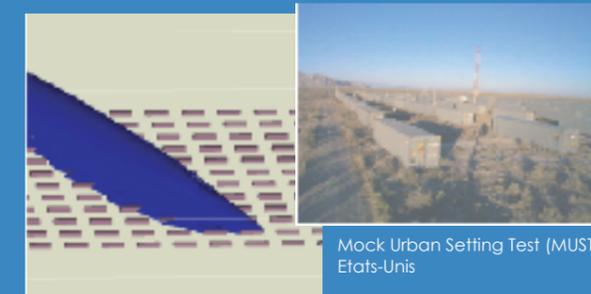
CERECA

Mercure_Saturne :
 Un outil de modélisation numérique
 de l'environnement atmosphérique
 à l'échelle locale

Objectifs et applications

La modélisation atmosphérique à petite échelle (de quelques centaines de mètres à quelques kilomètres) intéresse de nombreuses applications comme la modélisation de la canopée urbaine, l'impact d'un site industriel sur / par l'environnement, l'impact des accidents industriels ou d'origine humaine (terrorisme...), l'estimation du potentiel éolien en terrain complexe et de l'effet de sillage pour les grands parcs, ou par couplage avec d'autres domaines, l'estimation de la tenue des ouvrages au vent (codes de mécanique) et de la propagation du bruit (code acoustique).

Au sein du CERECA, cet axe de recherche est centré sur les préoccupations du ministère de l'Équipement (pollution urbaine, bruit) et celles d'EDF (dispersion sur un site industriel, résistance des ouvrages, bruit, potentiel éolien). Il s'appuie notamment sur le développement d'un outil complet de simulation adapté à ce type de problématique, le code Mercure_Saturne d'EDF, en incluant les paramétrisations nécessaires pour ces applications (atmosphère, chimie, aérosols, ...). Cet outil est construit sur la base d'un code généraliste de mécanique des fluides (CFD), "Code_Saturne", développé par EDF R&D.



► **[figure 1]**
 Vue d'ensemble du site expérimental de l'expérience «Mock Urban Setting Test» aux États-Unis et des résultats de simulation numérique du code Mercure_Saturne (surface d'isoconcentration).

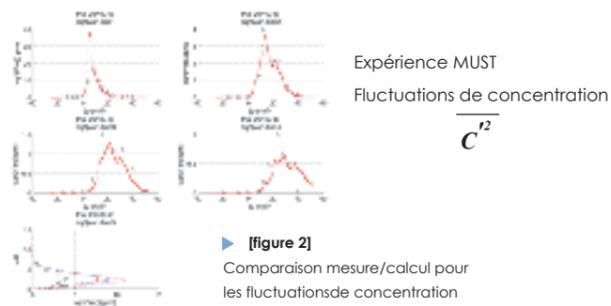
ENPC - CERECA
 6-8, avenue Blaise Pascal
 Cité Descartes, Champs-sur-Marne
 77455 Marne la Vallée cedex 2
 Tél. : 01 64 15 36 25 / Fax : 01 64 15 37 64
 et
 EDF-R&D
 6, quai Watier, 78401 Chatou

► Dispersion dans la canopée urbaine et sur les sites industriels

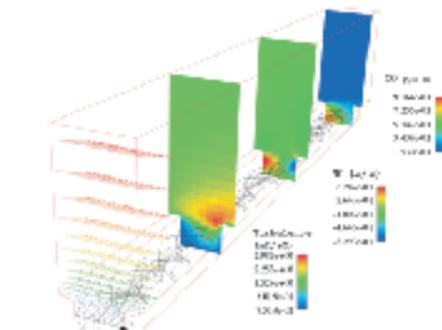
La canopée urbaine et les sites industriels représentent un milieu complexe où l'atmosphère est encombrée par la présence de bâtiments. On y trouve de nombreuses sources de polluants à divers niveaux ainsi que des sources de chaleur supplémentaires et des différences de flux d'humidité par rapport au milieu rural. Cet ensemble de différences est en particulier à l'origine du phénomène d'îlot de chaleur urbain, qui risque de s'amplifier dans les grandes villes avec l'impact du changement climatique (augmentation des températures nocturnes en particulier). Les villes, qui hébergent aujourd'hui plus de la moitié des habitants de la planète, sont de plus en plus une source importante de flux de CO₂. Pour finir, dans un tout autre domaine, l'étude de la dispersion d'un rejet intentionnel (terrorisme) en milieu urbain est également un sujet émergent.

Toutes ces raisons font de la modélisation détaillée des processus à l'échelle très locale un maillon indispensable pour répondre à des questions allant de l'exposition locale des individus à la contribution des villes aux problèmes globaux.

Ce thème se développe grâce à la simulation de la dispersion de polluants en milieu bâti avec notamment la validation par la comparaison aux mesures réalisées sur un bâti idéalisé, l'expérience Mock Urban Setting Test (MUST) (Fig. 1 et 2). La thèse de Maya Milliez a permis d'étudier deux points novateurs : d'une part les fluctuations de concentration (qui sont souvent du même ordre que la concentration moyenne) et d'autre part les effets radiatifs des bâtiments (qui deviennent dominants la nuit).



► [figure 2]
Comparaison mesure/calcul pour les fluctuations de concentration dans le cadre des simulations de l'expérience MUST avec le code numérique Mercure_Saturne.



► [figure 3]
Résultats de modélisation du champ de vent, de turbulence et de concentration en NO pour une rue (canyon) correspondant à la campagne de mesure «JAGTVEG» à Copenhague.

► Dispersion réactive à petite échelle et formation des aérosols

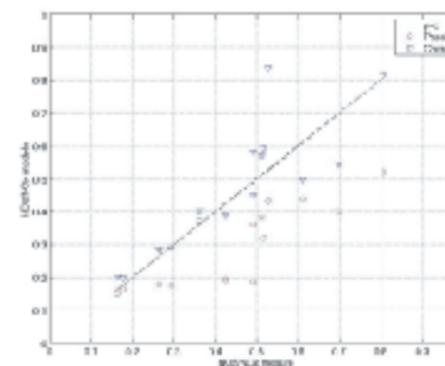
En milieu urbain, les stations de mesure de la pollution dites «de proximité» enregistrent souvent des concentrations beaucoup plus fortes en polluants primaires que les stations dites «de fond». Pour comprendre ces différences ainsi que les différences de composition en différents polluants, il est nécessaire de recourir à la modélisation numérique de la dispersion réactive à l'échelle locale.

Dans ce cadre, un module pour la prise en compte des réactions chimiques très rapides a été intégré dans Mercure_Saturne ; il permet par exemple de prendre en compte la formation de NO₂ à partir de NO dans les quelques minutes qui suivent les émissions du trafic. Le travail de comparaison à des mesures réalisées dans une rue de Copenhague (rue de Jagtveg) a été utilisé comme validation. Les résultats montrent que la version réactive conduit à une meilleure prévision des concentrations que lorsque l'écoulement est passif (Fig. 3 et 4). La version réactive du code de Mercure_Saturne a été exploitée pour étudier les concentrations en NO₂ autour des débouchés de tunnel en tranchée (Fig. 5) et les comparer par rapport aux objectifs fixés pour la qualité de l'air. La version réactive va être étendue pour traiter le dépôt de polluants aux parois. On étudiera ainsi l'effet de nouveaux procédés de dépollution, comme les revêtements catalytiques au titane et leur efficacité pour diminuer la pollution de proximité pourra ainsi être testée. D'autres travaux sont actuellement engagés pour introduire un modèle d'aérosol dans Mercure_Saturne afin de pouvoir décrire l'évolution des particules dans le milieu atmosphérique.

► Microphysique de l'eau atmosphérique

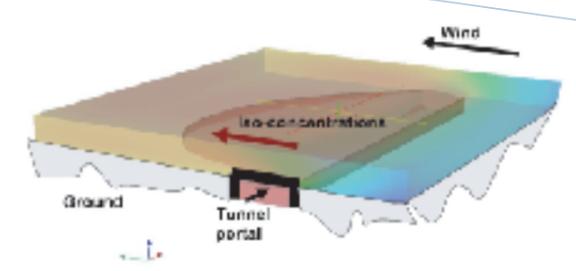
Les tours d'aéroréfrigérants ont des tailles très variables et les gouttes qui sont rejetées peuvent transporter des micro-organismes biologiques. Dans ce cadre la modélisation détaillée de la formation et de la dissipation des panaches permet de mieux estimer les impacts.

Une paramétrisation complète de la microphysique de l'eau a été introduite dans le code Mercure_Saturne. Cette paramétrisation fait intervenir l'eau liquide sous forme nuageuse et précipitante et permet de prendre en compte le spectre des tailles de gouttes. Elle a été validée avec les données de la campagne de mesure sur les panaches d'aéroréfrigérants de la centrale du Bugey, réalisée en 1980 ainsi que sur des situations de précipitations orographiques disponibles dans la littérature. Les comparaisons montrent une très bonne comparaison avec les panaches observés, tant du point de vue qualitatif, par comparaison avec les photographies disponibles, que du point de vue quantitatif avec les mesures avion qui ont été effectuées dans les panaches. On notera aussi une bonne comparaison des simulations des spectres de gouttes avec ceux observés (Fig. 6 et 7)¹.



► [figure 4]
Comparaison pour les ratios NO₂/NO_x entre les mesures de la campagne JAGTVEG et les résultats de simulation Mercure_Saturne : résultats de calcul non réactif (en rouge) et de calcul réactif (en bleu).

1 - Ces travaux menés lors de la thèse d'Emmanuel Bouzereau ont reçu le prix de thèse de la Société Française d'Electricité Nucléaire (SFEN) en 2006.

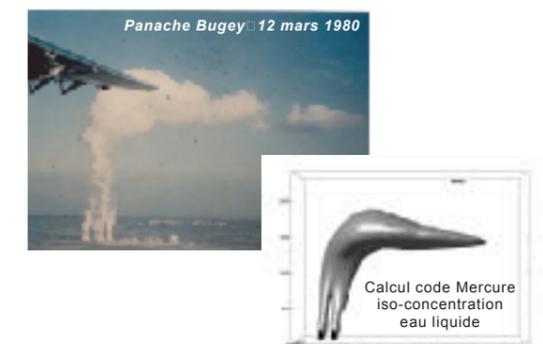


► [figure 5]
Concentration de NO₂ autour du débouché d'un tunnel. Vue en transparence de la concentration en NO₂ dans l'air advecté sur le domaine et de la contribution de la sortie de tunnel.

► Production d'électricité

Dans ce cadre, les activités de modélisation de l'environnement atmosphérique peuvent être très diverses. Par exemple, pour l'estimation du potentiel éolien d'un site en terrain très complexe, la modélisation numérique devient nécessaire pour bien estimer le vent à hauteur des éoliennes (80 m et plus) ainsi que les valeurs de turbulence qui peuvent conduire à la fatigue des machines. Un autre axe de recherche concerne l'effet de masque qui peut exister lorsqu'un grand nombre de machines sont réunies (par exemple en off-shore).

Pour les centres de production nucléaires, parfois localisés en terrain complexe, on cherche à reproduire finement par la modélisation numérique les conditions de dispersion des effluents que l'on observe sur le site. Les simulations sont comparées en détail avec des mesures obtenues en soufflerie (Fig. 8).



► [figure 6]
Photographie aérienne du panache de la centrale de Bugey lors de la campagne de mesure du 12 mars 1980 et résultats de modélisation numérique avec Mercure_Saturne (surface iso-valeur de concentration en eau liquide).