

Prospective en Météorologie Urbaine Pour la période 2006-2009

Rédacteur : V. Masson (CNRM/GAME)
Contributions de : B. Carissimo (CEREA), A. Coppalle (CORIA), H. Delbarre (LPCA), P. Drobinski (IPSL/SA),
P. Durand (LA), L. Gomes (CNRM/GAME), M. Haeffelin, R. Vautard (IPSL/LMD),
X. Briottet (ONERA), J.-P. Lagouarde (INRA/EPHYSE), P. Mestayer, I. Calmet (LMF),
P. Chazette (IPSL/LSCE), A. Weill (IPSL/CETP)

Objectifs généraux

Les thèmes principaux qui seront abordés en collaboration au sein de la communauté de météorologie urbaine française, couvrent l'étude et la modélisation (dans les modèles atmosphériques et de pollution de l'air) de la couche limite urbaine (CLU). Celle-ci est formée par les interactions entre les surfaces urbaines et la Couche Limite Atmosphérique à échelle régionale. De part la nature même de la surface urbaine, composée d'une multitude d'éléments distincts (espaces verts, divers types de bâti et de surfaces imperméabilisées, émissions de chaleur et polluants par le trafic routier, les industries et le chauffage), les processus étudiés sont fortement hétérogènes, spatialement et temporellement.

En particulier, pour les quatre ans à venir, seront abordés les thèmes suivants :

- Les échanges d'énergie entre ville et atmosphère
 - caractérisation des différents termes du bilan d'énergie en zones urbaines et péri-urbaines
 - développement d'une méthodologie pour améliorer la représentation des champs moyens et turbulents au sein de la canopée
- La structure de la CLU sous diverses conditions météorologiques
- Les interactions entre CLU et pollution (gazeuse et particulaire)
- Le changement à long terme du climat urbain
- Les développements pour des instruments de mesure particulièrement adaptés en milieu urbanisé.

De plus, l'étude des couches limites urbaine nécessite de s'appuyer au sein de la communauté sur des outils de modélisation détaillés, car les phénomènes se produisant dans ces couches limites hétérogènes sont le plus souvent créés par l'interaction de différents processus physiques. Des développements en modélisation seront nécessaires pour atteindre certains objectifs scientifiques.

Laboratoires participants à cette prospective

CEREA
CNRM/GAME
CORIA
INRA/EPHYSE
LA
IPSL/LMD
IPSL/SA
IPSL/LSCE
IPSL/CETP
LMF
LPCA
ONERA
CESBIO

Prospective en Météorologie Urbaine Pour la période 2006-2009

A.	ECHANGES ENTRE VILLES ET ATMOSPHERE	3
A1	Flux de chaleur (anthropique et sensible) en zones urbaines et péri-urbaines	3
A2	Le bilan en eau	3
A3	Modélisation explicite et paramétrisation de la canopée urbaine	4
A4	Anisotropie des propriétés radiatives en ville	4
B.	DYNAMIQUE DE LA COUCHE LIMITE URBAINE	6
B1	Interactions entre CLU et atmosphère rurale en conditions stables	6
B2	circulations dans la CLU diurne	6
B3	La ville et le brouillard	6
C.	POLLUTION DE L'AIR	8
C1	Impact de la CLU sur la pollution gazeuse et particulaire	8
C2	Rétroactions des aérosols sur la thermodynamique de la CLU	8
C3	Chimie au sein de la canopée urbaine	9
D.	CHANGEMENT A LONG-TERME DU CLIMAT URBAIN	10
D1	Modélisation du changement climatique en ville	10
D2	Réflexion sur la faisabilité d'une campagne dédiée à l'horizon 2010-2015	10
E.	DEVELOPPEMENT INSTRUMENTAL	11
E1	Mesure du profil de vent basses-couches par mini-radar UHF en bande X	11
E2	Mesure du flux latent par scintillométrie micro-ondes	11
E3	Mesure des aérosols par lidar très haute résolution	11
E4	Mise au point d'une stratégie de mesures de flux turbulents en milieu hétérogène ...	12
E5	Mesures télédéteectées des profils thermodynamiques	12

A. ECHANGES ENTRE VILLES ET ATMOSPHERE

L'objectif à atteindre au cours de ces 4 ans dans le domaine des échanges d'énergie et d'eau est le suivant : il s'agit d'être capable de conceptualiser et modéliser les différents termes de ces bilans, en ne se focalisant plus sur le centre-urbain seulement mais en élargissant le champ de recherches à l'ensemble des surfaces urbaines et péri-urbaines.

A1 FLUX DE CHALEUR (ANTHROPIQUE ET SENSIBLE) EN ZONES URBAINES ET PERI-URBAINES

Le caractère le plus connu du micro-climat urbain, et celui qui a quotidiennement le plus d'impact direct au niveau de la population, est l'îlot de chaleur urbain. Bien que son intensité soit modulée par les conditions météorologiques (en particulier le vent), l'îlot de chaleur est produit par le contraste du flux de chaleur entre zones rurales, péri-urbaines et urbaines.

Ainsi, l'étude du flux de chaleur sensible, et de ses causes, est importante, tant du point de vue spatial que temporel. Un des termes du bilan d'énergie l'influençant est le flux de chaleur anthropique, source d'énergie d'origine humaine (véhicules, climatisation, mais surtout chauffage domestique). La source anthropique de chaleur peut-être en hiver bien plus importante que l'apport par le rayonnement. La forte variabilité spatiale de ces flux dans la ville est une difficulté supplémentaire.

Ainsi, les recherches vont se focaliser sur :

1. le perfectionnement de la mesure intégrée du flux de chaleur sensible sur sites urbains et peri-urbains par scintillométrie optique
2. la détermination des variations intra-annuelles et journalières du flux anthropique en centre-ville à partir d'une part des mesures directes de bilan d'énergie et d'autre part de données de consommation d'énergies (électricité, gaz, fuel, carburants) et le type d'utilisation de celles-ci. Cette deuxième méthode, appliquée d'abord sur le quartier du centre-ville de Toulouse, nécessitera d'être validée.
3. la spatialisation du flux anthropique à partir des cadastres des d'émissions, de façon à pouvoir disposer de cadastres de flux anthropiques (en vue des modélisations atmosphériques de la CLU nocturne ou hivernale, cf B1).
4. la paramétrisation de ces effets anthropiques dans les modèles de canopée urbaine (par exemple TEB).

A2 LE BILAN EN EAU

Tout comme les flux de chaleur, les échanges en eau sont très dépendants du type de quartier, et il convient de comprendre comment modéliser leurs variations spatiales.

Il existe, outre l'intérêt évident vis à vis des échanges avec l'atmosphère pour la CLU, de réels enjeux hydrologiques en milieu urbain et des enjeux de modernisation de la gestion des eaux pluviales, et une meilleure description des flux de surface est un des éléments de réponse à ces enjeux.

Les objectifs sont :

1. de quantifier puis modéliser le terme d'évaporation en centre-ville, en réponse à diverses sollicitations atmosphériques (pluies, averses, variations intra-annuelle)
2. de mettre en place une instrumentation permanente sur un site atelier périurbain (à Nantes) pour mesurer les termes du bilan d'énergie et en particulier d'évaporation.
3. de définir et mettre en œuvre une caractérisation de l'hétérogénéité à très petite échelle des couverts (à partir de mesures hyperspectrales).

4. D'améliorer, dans les modèles d'hydrologie distribués (pour les sites urbanisés), le terme d'évaporation, dans le cadre du projet SEVE

Afin de parvenir à ces objectifs, les recherches s'appuieront sur

- En priorité sur les mesures de CAPITOUL (sites urbain, peri-urbain et rural), mais aussi d'autres campagnes internationales
- Le développement d'une méthode du flux d'évaporation en milieu urbain hétérogène (cf E4)
- Le site atelier pluridisciplinaire nantais (en collaboration avec le LCPC)

A3 MODELISATION EXPLICITE ET PARAMETRISATION DE LA CANOPEE URBAINE

Outre la continuation de la validation des modèles de canopée 1D (comme TEB ou SM2U), les recherches porteront sur l'influence des transferts de quantité de mouvement et de chaleur sur la structure de l'ensemble couche de canopée/couche de rugosité/couche inertielle de surface. Il s'agit :

1. de concevoir une approche multi-échelle entre les modèles résolvant de manière explicite l'écoulement entre les bâtiments (comme MERCURE, FLUENT...), et les modèles 1D de canopée, afin de définir dans ceux-ci une paramétrisation de type porosité-trainée.
2. de mieux appréhender les structures moyennes et turbulentes au sein même de la canopée (au moyen d'observations en soufflerie ou in-situ et de modélisation) en relation avec les travaux sur la canopée forestière.

A4 ANISOTROPIE DES PROPRIETES RADIATIVES EN VILLE

Du fait d'une part de l'hétérogénéité des couverts (espaces verts, bâtis ou imperméabilisés) et des matériaux de construction, et d'autre part de la géométrie tri-dimensionnelle de la ville (provoquant des effets d'ombrages et de piégeage radiatif), les surfaces urbaines produisent une anisotropie importante des champs radiatifs. Ceci est vrai à la fois dans l'infrarouge thermique (températures de surface et émissivités) et le visible.

Les objectifs à atteindre, déjà entamés à partir des données d'ESCOMPTE concernent :

1. La caractérisation expérimentale de l'anisotropie directionnelle dans l'infrarouge thermique
2. La caractérisation hyper-spectrale des surfaces (dans le visible), de façon à obtenir d'une part des données de validation des modèles de canopée, et d'autre part des paramètres intégrés pour les modèles plus simples.
3. La modélisation des interactions radiatives (visible et IRT) à l'aide de modèles de canopés 3D très précis. L'aspect temporel (évolution des signatures radiatives en fonction des conditions d'éclairement et des conditions de surface) peu étudié jusqu'à présent avec les modèles 3D, sera approfondi.
4. On testera l'inversion de ces modèles en vue de déterminer les caractéristiques des surfaces (propriétés radiatives à diverses longueurs d'ondes, identification des types de matériaux, détermination des températures de surface des éléments du bâti...)
5. L'application des travaux sur l'anisotropie directionnelle permettra la correction des images satellite acquises par les satellite à large champ dans l'infrarouge thermique (en fonction des directions d'éclairement et d'observation). Des améliorations sur l'analyse de séries temporelles sur les milieux urbains en sont attendues.

Les moyens disponibles pour ces études sont en particulier:

Prospective en Météorologie Urbaine 2006-2009

- Les données satellite
- Les mesures dans l'infrarouge thermique effectuées pendant CAPITOUL
- Les mesures multispectrales effectuées sur Toulouse lors de PELICAN
- Les modèles actuels de canopée (1D et 3D)

PARTICIPANTS :

CNRM, IPSL/SA, IPSL/LMD, LMF, INRA/EPHYSE, ONERA, CEREAS, CERMA, LA, LCPC, CESBIO

COLLABORATIONS INTERNATIONALES :

UNIVERSITY WESTERN ONTARIO, CANADA, RPN, CANADA

B. DYNAMIQUE DE LA COUCHE LIMITE URBAINE

B1 INTERACTIONS ENTRE CLU ET ATMOSPHERE RURALE EN CONDITIONS STABLES

C'est typiquement la nuit et/ou en hiver, lorsque l'on rencontre des conditions stables ou faiblement instables à l'échelle régionale (i.e. à l'extérieur de l'agglomération), que l'on rencontre le plus de contrastes, en basses couches entre la ville et son environnement. L'îlot de chaleur est relativement bien connu d'un point de vue phénoménologique, cependant sa quantification au jour le jour (en fonction des conditions environnementales) reste à documenter.

De plus, la structure verticale de la CLU nocturne et ses interactions avec la CL alentour sera étudiée.

Ainsi, on s'attachera à documenter :

1. l'énergétique de la CLU nocturne (îlot de chaleur, champs d'humidité)
2. la dynamique dans la CLU nocturne ou hivernale (présence de brise éventuelle)
3. les interactions avec le jet nocturne de basse couche

Pour atteindre ces objectifs, on s'appuiera sur les données de campagnes de mesures (par exemple ESCOMPTE, CAPITOUL dont les mesures en infrarouge thermique de nuit sur Toulouse), les inventaires de flux anthropiques (cf A1) et les modèles atmosphériques (MESONH, MM5/WRF).

Les avancées dans ce domaine permettront d'améliorer les simulations de qualité de l'air en condition hivernale (cf C1).

B2 CIRULATIONS DANS LA CLU DIURNE

Au sein de la communauté française, la CLU diurne en condition de vent (brise de mer, Mistral) a été étudiée pendant ESCOMPTE. Il s'agit maintenant d'approfondir sa description en conditions de vent faible, observées en particulier lors de CAPITOUL. On s'attachera à :

1. décrire puis modéliser les perturbations dynamiques et thermodynamiques (brises urbaines, panaches)
2. étudier les situations de transition, le matin et le soir
3. Modéliser certains événements extrêmes observés, comme les épisodes de neige sur Paris ou la structure spatiale des champs météorologiques lors de l'épisode de canicule de 2003.

B3 LA VILLE ET LE BROUILLARD

Les hétérogénéités des surfaces en zone urbanisée, ainsi que la relativement faible ressource en eau dans les zones les plus densément peuplées, combinées à l'îlot de chaleur, font que le brouillard se forme moins souvent en ville. Toutefois, lors de CAPITOUL, des mesures ont mis en évidence des effets relativement paradoxaux : si le brouillard se forme plus tard et se dissipe plus tôt en ville, par contre la couche de brouillard y est plus épaisse (en hauteur).

L'objectif est de comprendre les interactions entre structure de la CLU et le brouillard :

1. l'effet des champs thermodynamiques 3D (étudiés en B1) sur la structure de la couche de brouillard
2. le rôle des circulations dans la CLU sur l'advection du brouillard en ville, son épaissement éventuel, en particulier sur de grandes agglomérations comme Paris.

3. Le rôle des propriétés des aérosols urbains (et principalement des suies) sur la dissipation précoce du brouillard en ville.

Ces objectifs seront menés grâce d'une part à des mesures provenant de campagnes expérimentales sur sites (sites 1D : Roissy, SIRTA) ou à l'échelle d'une agglomération (CAPITOU), et d'autre part à la modélisation atmosphérique mésoéchelle (MESONH, AROME) ou d'échelle très locale (MERCURE).

PARTICIPANTS :

CNRM, METEO-FRANCE/DIRIC, IPSL/SA, IPSL/LMD, INRA/EPHYSE, LA, CEREAS

COLLABORATIONS INTERNATIONALES :

UNIVERSITY WESTERN ONTARIO, CANADA

C. POLLUTION DE L'AIR

C1 IMPACT DE LA CLU SUR LA POLLUTION GAZEUSE ET PARTICULAIRE

Une bonne modélisation dynamique est indispensable à la modélisation d'épisodes chimiques. Cependant, les recherches se sont surtout focalisées à l'échelle régionale, comme dans le cas d'ESCOMPTE ou ESQUIF, en été, et dans des cas où la dynamique est pilotée par des écoulements de méso-échelle ou synoptiques.

Or, des difficultés subsistent lorsque la structure de la CLU devient primordiale, comme lors de situations nocturnes ou hivernales. Dans de telles circonstances, la réponse de la pollution aux CLU stables ou marginalement instable devient extrêmement sensible. Une meilleure compréhension des phénomènes est nécessaire.

Enfin, une étude des aérosols urbains et de leur transformation dans la CLU, entamée pendant ESCOMPTE et ESQUIF, va être menée plus en profondeur.

Ainsi, les objectifs pour étudier ces problématiques sont :

1. de documenter l'évolution intra et inter-annuelle de l'aérosol urbain, en s'intéressant d'une part à ses propriétés intrinsèques (propriétés radiatives et microphysiques, composition chimique) et sa répartition verticale (SIRTA, CAPITOUL)
2. d'analyser, par des études de cas, l'impact de la CLU sur la transformation de l'aérosol (ESCOMPTE, CAPITOUL) à l'échelle de la journée.
3. de comprendre le rôle des interactions entre CLU et CLA rurale en hiver (y compris brouillard) sur les épisodes de pollution gazeuse (Nox) et particulaire (aérosols).

Outre les mesures expérimentales, ces études s'appuieront sur la modélisation numérique (MESONH, CHIMERE...).

C2 RETROACTIONS DES AEROSOLS SUR LA THERMODYNAMIQUE DE LA CLU

De par leurs propriétés radiatives, les aérosols peuvent réchauffer ou refroidir les couches atmosphériques dans lesquels ils sont présents. La difficulté est de quantifier ces effets, d'autant plus qu'ils sont antagonistes suivant les longueurs d'onde considérées (visible ou infrarouge).

La forte présence d'aérosols en ville, et leurs propriétés absorbantes (carbone suie important) peuvent donc influencer sur la thermodynamique de la CLU. Ainsi, en conditions hivernales, où les condensations sont les plus fortes, un feedback positif peut se mettre en place, où les aérosols réchauffent la CLU et limitent les flux en surface, donc stabilisent la CLU, qui se charge à nouveau en aérosols.

De plus, les propriétés de l'aérosol urbain peuvent influencer sur les formations nuageuses (nombreux aérosols de petites tailles, pouvant servir de noyaux de condensation une fois devenus hydrophiles), et leur dissipation (effet radiatif semi-direct).

Les problématiques qui seront abordées au cours des 4 prochaines années sont :

1. l'impact radiatif des aérosols dans le visible et l'infrarouge thermique sur la thermodynamique de la CLU (à partir des mesures de CAPITOUL et de Miragemex sur Mexico en février 2006, et des modèles MESONH et CHIMERE)
2. l'effet des aérosols sur les nuages en aval et autour des villes (à partir des données du SIRTA) et sur le brouillard (cf B3)

C3 CHIMIE AU SEIN DE LA CANOPEE URBAINE

Enfin, le dernier thème qui sera abordé est la représentation de la chimie au sein même de la canopée, en particulier :

1. Observation des aérosols dans les très basses couches et la canopée, afin de quantifier les transferts particuliers (en lien avec E3)
2. la modélisation de l'hétérogénéité des concentrations dans la canopée (MERCURE...)
3. la modélisation de l'exposition à la pollution

PARTICIPANTS :

CNRM, IPSL/LMD, LA, LPCA, CEREVA

COLLABORATIONS INTERNATIONALES :

UNIVERSITY OF BIRMINGHAM, UK; NCAR

D. CHANGEMENT A LONG-TERME DU CLIMAT URBAIN

Plus de la moitié de la population mondiale vit maintenant en ville, et cette proportion ne cessera de croître. Il est donc primordial de s'intéresser, outre au changement global ou régional du climat, à l'impact de ce changement climatique sur les villes.

D1 MODELISATION DU CHANGEMENT CLIMATIQUE EN VILLE

D'un point de vue météorologique, on s'intéressera à quantifier :

1. Les impacts du changement climatique sur le climat futur des villes, prenant en compte des feedback locaux (par exemple sur la durée/fréquence/intensité des vagues de chaleur ou de froid).
2. les effets dus à l'accroissement de la population et de la taille de la ville
3. les effets dus à l'évolution des pratiques de vie :
 - a. modification de consommation énergétique (climatisations, transports)
 - b. type de construction (isolation, bidonvilles)
 - c. modification des couverts (par ex. développement durable)

Pour atteindre ces objectifs, il faut concevoir et mettre en œuvre une méthodologie particulière de modélisation. Une modélisation forcée des modèles urbains par les données des modèles de climat permettrait une première étude, mais se limiterait à l'effet simplement météorologique d'échelle régionale, sans tenir compte ni des rétroactions (feedbacks) au sein de la CLU, ni de l'évolution de la ville elle-même.

Ainsi, une approche de modélisation à méso-échelle sur quelques villes et mégalofoles et saisons (hiver, été), permettrait de prévoir, parmi d'autres effets, l'évolution des températures minimum et maximum sur les agglomérations dans les pays industrialisés ou en voie de développement. L'étude pourrait être menée avec MESONH, MM5, puis poursuivie avec AROME.

Les études concerneront non seulement l'évolution future du climat, mais aussi l'analyse des évolutions passées depuis le XIXe siècle. Ces études nécessiteront des collaborations avec des organismes traitant entre autres de la démographie et des planifications urbaines.

D2 REFLEXION SUR LA FAISABILITE D'UNE CAMPAGNE DEDIEE A L'HORIZON 2010-2015

L'objectif est de définir comment pourrait être conçue une campagne expérimentale sur une grande agglomération (comme Paris) de façon à avancer sur les questions relatives au changement climatique en ville.

Une piste possible serait de construire une campagne de mesures avec une instrumentation permanente sur plusieurs années, de façon à documenter les extrêmes (par exemple les épisodes de grand froid ou les épisodes de canicule –comme en 2003-) et leurs conséquences sanitaires, sociales et économiques.

Participants

CNRM, IPSL/LMD

COLLABORATIONS INTERNATIONALES

E. DEVELOPPEMENT INSTRUMENTAL

L'objectif est ici de mettre au point ou d'étudier les possibilités de futurs instruments et techniques, qui seront particulièrement adaptés à la mesure en ville.

E1 MESURE DU PROFIL DE VENT BASSES-COUCHES PAR MINI-RADAR UHF EN BANDE X

Un nouveau mini-radar en bande X à impulsions est en cours de développement (au CETP) sur financements CSOA et CETP afin de documenter les échanges dans la canopée urbaine. Ce système permettra de pallier à la difficulté d'utilisation des Sodar en milieu urbain acoustiquement bruyant. Certes, les sodar sont plus performants que les Radar en terme de (réflectivité) réponse à la turbulence en ciel clair dans la couche limite mais ils sont aussi sensibles d'une part au bruit acoustique ambiant (circulation automobile) et d'autre part de moins en moins acceptés par les populations pour leur bruit. Le radar CURIE (pour Canopée Urbaine Recherches sur les Interactions et Echanges) devrait permettre de documenter de façon fine les premiers cinq cents mètres de la CLU avec une résolution d'au - moins 30 mètres selon la verticale.

Actuellement une version « maquette » permet d'accéder à la turbulence en ciel clair entre 30m et 120 m, ainsi qu'au vent horizontal. Des méthodes d'analyse du signal et d'élimination de l'écho de sol ont été mises au point. Il est prévu d'une part d'améliorer le rapport signal/bruit du radar par codage numérique (travaux en cours) et la résolution en développant un positionneur d'antenne. Un émetteur plus puissant (100 Watts) permettra de s'approcher d'un système utilisable pour sonder la CLU (vent, turbulence, précipitations) entre 30 mètres et 500 mètres en mode radial avec une résolution de 30 mètres. Dans ces conditions on mesurerait le vent horizontal avec une excellente résolution moyennant à développer. Le radar CURIE fonctionnera sur le site du SIRTA de l'IPSL.

E2 MESURE DU FLUX LATENT PAR SCINTILLOMETRIE MICRO-ONDES

L'intérêt de la scintillométrie réside (i) dans la possibilité d'obtenir directement des mesures de flux intégrés sur des zones de plusieurs kilomètres, (ii) dans la simplicité d'installation et de suivi de mesures pour une longue période. La combinaison de scintillomètres optiques (validé en milieu urbain sur ESCOMPTE, utilisé dans CAPITOUL) et micro-ondes (à tester) permet d'avoir accès aux deux flux turbulents, sensible et latent. L'apport de la scintillométrie optique a été démontré lors d'ESCOMPTE et cette technique a ensuite été mise en oeuvre sur toute la durée de l'expérience CAPITOUL.

Un premier test de fonctionnement d'un prototype de scintillomètre micro-onde (INRA, CESBIO) a été mené sur le site de Fauga en 2004-2005. Il sera suivi par une campagne de validation en 2006 dans les Landes. A l'issue de ces tests, on pourra envisager l'utilisation éventuelle de l'instrument en milieu urbain.

E3 MESURE DES AEROSOLS PAR LIDAR TRES HAUTE RESOLUTION

La pollution particulaire est devenue un enjeu majeur dans les grandes agglomérations et doit être surveillée simultanément dans les rues et dans la colonne d'air. On doit connaître aussi bien la concentration instantanée des polluants que leur répartition via les processus dynamiques spécifiques de la couche limite urbaine. Le système lidar LAUV(A) pour Lidar Aérosol Ultra Violet (Aéroporté), développé à l'IPSL/LSCE, permet de répondre à ce besoin par sa haute résolution qui peut aller jusqu'à 1.5 m. Il présente l'avantage d'être en totale sécurité oculaire et de pouvoir être animé de balayages angulaires zénithal et azimutal afin d'observer la répartition tridimensionnelle des couches diffusantes de la basse et moyenne troposphère. L'utilisation d'un tel système, couplé à la modélisation dynamique de la couche limite, permettra de mieux appréhender les écoulements et le transport vertical des polluants

dans l'environnement urbain. Le système lidar peut être utilisé en station fixe ou embarqué dans une voiture comme cela a été démontré lors de la campagne LISAIR (Lidar pour la Surveillance de l'AIR) sur Paris intra-muros. Cette instrumentation pourra être complétée par un lidar (sol) multi-longueurs d'onde polarisé est en cours de développement à l'ONERA.

E4 MISE AU POINT D'UNE STRATEGIE DE MESURES DE FLUX TURBULENTS EN MILIEU HETEROGENE

L'étude concerne la mesure des composantes du bilan d'énergie à l'interface entre l'atmosphère et la canopée urbaine lorsque celle-ci présente de fortes hétérogénéités, ce qui est le cas le plus général. Différentes approches ont été mises en œuvre sur des surfaces urbaines homogènes de superficies réduites (tels que des parkings) pour des recherches en coopération avec la Division Eau du LCPC. Cependant la question de l'estimation des flux de chaleur et d'évaporation sur des zones urbaines très hétérogènes reste posée.

Il s'agit de proposer une méthode pertinente d'estimation de l'évapotranspiration et du flux de chaleur dans un cadre urbain, basée sur des mesure micro-météorologique sur un site central combinées à l'évaluation des zones d'influence à l'aide de modèles de "footprints". Le travail de mise au point de la méthode se décompose en trois étapes :

- 1) étude de la représentativité de mesures ponctuelles de flux (par exemple soniques) à l'aide de modélisation détaillée de l'environnement bâti proche (le travail pourra s'appuyer sur des observations CLU-ESCOMPTE).
- 2) Comparaison avec les mesures de flux suivant une procédure d'analyse automatisée permettant à chaque instant (de mesure) de déterminer la zone source et les valeurs de flux moyens associés à cette zone.
- 3) Analyse des résultats.

Cette partie de l'étude pourra déboucher sur un projet d'évaluation expérimentale du modèle de "footprints" pour la canopée urbaine.

Les conclusions de l'étude permettront par la suite d'établir des recommandations pour la mise en place de dispositifs expérimentaux (par exemple le Site Atelier Pluridisciplinaire (SAP) de l'Institut de Recherche des Sciences et Techniques de la Ville (IRSTV)).

E5 MESURES TELEDETECTEES DES PROFILS THERMODYNAMIQUES

Les profils de température et humidité sont typiquement obtenus par radiosondages (mesures in-situ). Les réseaux fournissent deux profils par jour (00 et 12h TU) ; dans le cadre d'une campagne de mesure, on peut réaliser des profils plus fréquemment mais sur des périodes de temps limitées.

Une étude sera menée afin d'identifier des instruments capables d'accéder aux profils de température et humidité de l'atmosphère par télédétection. On peut ainsi obtenir des profils toutes les minutes environ, de manière continue, avec une résolution verticale de l'ordre de 250 ou 500m contre 10m pour le radiosondage. La mesure des profils se fait en général par inversion de mesures de luminances dans les domaines spectraux infrarouge et micro-onde, par exemple dans les bandes d'absorption du CO₂ et de la vapeur d'eau (radiomètre AERI) ou dans les bandes d'émission micro-ondes de la vapeur d'eau et de l'oxygène.

Toutefois, un tour d'horizon plus complet de ce type d'instruments sera mené, et certains instruments pourront être validés (comme le radiomètre RPG qui a été déjà testé au SIRTA).

Participants

IPSL/LMD, IPSL/CETP, INRA/EPHYSE, CESBIO, LMF, IPSL/LSCE, CEREAS