

AO INSU 2012

Section « Océan-Atmosphère »

Dossier scientifique

Référence du projet : **AO2012- 783558**

Nom du porteur du projet : **DUPONT Jean-Charles**, Physicien-Adjoint, UVSQ/IPSL

Titre du projet : **PARISFOG – Etude des processus physico-chimiques liés au brouillard.**

Plan de recherche et calendrier des réalisations

1	Introduction.....	3
1.1	Enjeux relatifs au brouillard	3
1.2	Effort de coordination nationale.....	3
2	Objectifs scientifiques.....	4
3	Etat de l’art	5
4	Etudes de processus	7
4.1	Impact des aérosols sur le brouillard.....	7
4.2	Impact du brouillard sur la pollution particulaire.....	8
4.3	Interactions turbulence-brouillard	9
4.3.1	<i>Rôle de la dynamique de l’air clair.....</i>	<i>9</i>
4.3.2	<i>Caractérisation et rôle de la dynamique nuageuse.....</i>	<i>10</i>
4.4	Interactions rayonnement-brouillard	11
5	Stratégie	12
5.1	Observations depuis la surface	12
5.1.1	<i>Mesures routinières au SIRTA</i>	<i>13</i>
5.1.2	<i>Campagnes de mesures au SIRTA.....</i>	<i>13</i>
5.1.3	<i>Mesures à l’échelle locale et régionale.....</i>	<i>13</i>
5.2	Modélisation numérique	14
5.2.1	<i>WRF-modèle 1D.....</i>	<i>14</i>
5.2.2	<i>Modélisation 1D avec Meso-NH et Code_Saturne</i>	<i>15</i>
6	Synthèse des objectifs scientifiques et calendrier	15
7	Annexes	16
7.1	Perspectives	16
7.2	Ressources nécessaires à la réalisation du projet	17
7.3	Liste des contributeurs et ETP.....	18
7.4	Valorisation des travaux antérieurs	21
7.5	Projets en relation	23
7.6	Instrumentation installée au SIRTA	24

1 INTRODUCTION

1.1 Enjeux relatifs au brouillard

Le brouillard est étudié à cause de l'impact avéré et direct de la réduction de visibilité sur des activités majeures de nos sociétés, comme le déplacement et la surveillance [Gultepe *et al.*, 2007]. L'intensification des activités de transport maritime, aérien et terrestre s'accompagne du besoin renforcé de prévoir avec précision dans l'espace et dans le temps son apparition, son développement, son intensité et sa dissipation. Le brouillard est également un facteur essentiel de la qualité de l'air et du climat en modifiant les propriétés particulières de la couche atmosphérique de surface.

Cependant la mise en œuvre de solutions doit tenir compte des profonds bouleversements qui marquent notre environnement. En effet l'extension et la densification des agglomérations urbaines, accompagnées de l'augmentation des besoins en carburants, affectent la qualité de l'air, le changement du climat, et l'utilisation des sols, qui sont eux-mêmes des paramètres liés au brouillard. Par exemple, Vautard *et al.* [2009] estiment qu'une amélioration de la qualité de l'air en Europe a entraîné une diminution de la fréquence des brouillards, avec pour conséquence une amplification du réchauffement climatique.

1.2 Effort de coordination nationale

Le travail proposé dans le cadre de cette demande LEFE visera à coordonner la communauté nationale sur la thématique brouillard, concernant la compréhension des processus pilotant son cycle de vie et non le volet prévision.

Cette démarche s'inscrit dans la continuité du travail que nous nous menons depuis 5 ans visant à fédérer la communauté scientifique française autour de cette thématique par la mise en place :

- des campagnes ParisFog 2006-2007, 2010-2011 et à venir 2011-2013 ;
- de réunions régulières entre les partenaires français (2 fois par an depuis 2006)
- d'un atelier brouillard de 2 jours en Mars 2011 auquel ont participé des chercheurs du CEREAS, CNRM, LMD, LSCE, HYGEOS, U. Mexico
- de projets d'étude des processus pilotant le brouillard, soutenus dans le cadre d'une convention Ecole Polytechnique-DGA depuis 2006
- d'un projet de recherche PREVIBOSS sur la prévision de la visibilité à partir d'observations sol et satellite (collaboration IPSL, CNRM, HYGEOS) dans le cadre d'un financement RAPID DGA (projet dual EPST et PME) ;
- d'un « white paper » décrivant l'état de l'art et les questions scientifiques que le groupe brouillard souhaite aborder. Ce "white paper" servira à communiquer avec des partenaires Européens, également impliqués dans la recherche sur les processus et la modélisation liés au brouillard, notamment dans le cadre du programme FP7 ACTRIS, étant données que le SIRTAs est site d'accueil transnational (TNA)

Les campagnes de mesures ParisFog¹ qui se succèdent au SIRTAs² depuis l'automne 2006 sont incrémentales en termes de dispositif instrumental et de questions scientifiques posées. En effet, la première campagne de mesures (Oct. 2006 – Mar. 2007) a permis l'émergence de

¹ Site web : <http://sirta.ipsl.polytechnique.fr/parisfog/>

² SIRTAs : Site Instrumental de Recherche par Télédétection Atmosphérique, site web : <http://sirta.ipsl.polytechnique.fr/>

collaborations entre le SIRTA, le LMD, le LATMOS, le CEREAS et le CNRM permettant une documentation efficace de plusieurs épisodes de brouillard par la mise en place coordonnée de nombreuses mesures in-situ, par télédétection active et passive. Cependant, on a mis en évidence plusieurs lacunes du dispositif instrumental et la lourdeur de certaines opérations de maintenance malgré la participation d'une soixantaine de personnes. La campagne 2010-2011, en partie financée par le projet Previboss³ et par retour d'expériences de la campagne passée, s'est focalisée sur une meilleure documentation de la microphysique des gouttelettes d'eau liquide dans le brouillard complétée par des mesures plus fines de la dynamique de la couche limite (2 aspects problématiques relevés lors de la première campagne) tout en faisant un gros effort sur l'automatisation des systèmes de mesures. Enfin, cette troisième campagne ParisFog, débutant dans quelques jours, verra son dispositif renforcé par l'arrivée d'instruments pour documenter l'hétérogénéité verticale du brouillard (profil de température et d'humidité, ballon sonde motorisé automatique, mesures in-situ à plusieurs niveaux, etc.). Ce dispositif croissant en termes d'observations vise donc à quantifier aussi précisément que possible l'ensemble des processus pilotant les phases de formation, de persistance/développement et de dissipation du brouillard. Chacun de ces processus correspond à des enjeux scientifiques forts formulés ci-après.

L'atelier national brouillard organisé en Mars 2011 au LMD nous a renforcé dans l'idée de rédiger un projet, type ANR, sur cette thématique où turbulence, chimie, thermodynamique, pollution ainsi que rayonnement s'entremêlent. Nous sommes donc en train de rédiger un livre blanc, accessible sur le site web de ParisFog (<http://sirta.ipsl.polytechnique.fr/parisfog/projet.html>), qui pourrait nous permettre de mettre en place des collaborations avec des partenaires européens notamment dans le cadre d'ACTRIS et de renforcer l'exploitation scientifique pour nous amener à une meilleure compréhension des processus couplés.

2 OBJECTIFS SCIENTIFIQUES

Le brouillard est le siège d'interactions à différentes échelles spatiales et temporelles mettant en jeu des processus complexes, à la fois dynamiques, radiatifs, microphysiques et chimiques. Ils rendent ainsi incertains les modèles classiques de prévision numérique météorologique, non seulement pour le diagnostic mais aussi pour la prévision des épisodes de brouillard. Une meilleure compréhension des processus dynamiques, radiatifs et microphysiques régissant le cycle de vie des brouillards est indispensable pour raffiner ces prévisions. Les questions scientifiques suivantes portant sur l'ensemble de ces processus ont alors émergées suite à l'atelier brouillard.

1. Dynamique / brouillard

- Quels mécanismes sont responsables du caractère sporadique de la turbulence de couches stables, typique des conditions préexistant à la formation des brouillards radiatifs ?
- Quel est l'impact des flux turbulents de surface et de l'entraînement sommital sur le cycle de vie des brouillards (étude locale, télédétection active/in-situ) ?
- Quelles sont les interactions entre la dynamique nuageuse et l'air clair environnant (étude locale, télédétection active/in-situ) ?

³ Le projet PreViBOSS (PREvisibilité à courte échéance de la variabilité de la Visibilité dans le cycle de vie du Brouillard, à partir de données d'Observation Sol et Satellite) dans le cadre de régime de financement RAPID (Régime d'Appui aux PME pour l'Innovation Duale) a été accepté par la société Hygéos, porteur du projet, en collaboration avec le CNRS (LMD/IPSL, CNRM). Ce projet a pour objectif d'aider à la prévision de l'apparition et la dissipation du brouillard, avec quelques heures d'anticipation, en utilisant des mesures réalisées depuis le sol et depuis l'espace.

2. *Aérosols / brouillard*

- Comment la distribution en taille des aérosols influence-t-elle les caractéristiques du brouillard (durée, contenu en eau, etc.; étude locale, mesures in-situ) ?
- Quel est l'impact des propriétés des aérosols sur la visibilité (étude régional/locale, mesures spatiales/régionales) en situation de brume et brouillard ?
- Comment peut-on améliorer les schémas d'activation des aérosols en gouttelettes de brouillard dans les modèles de prévision (étude locale, mesures in-situ) ?

3. *Rayonnement / brouillard*

- Quelle est la contribution des différents modes de taille des aérosols à l'extinction atmosphérique, en particulier dans le cas des visibilités réduites (étude locale, in-situ) ?
- Dans quelles mesures l'hydratation des aérosols module-t-elle le refroidissement infrarouge de surface dans la phase de formation du brouillard radiatif (étude locale, télédétection passive / in-situ) ?
- Dans quelles mesures l'absorption des aérosols module-t-elle le réchauffement solaire nuageux dans la phase de dissipation du brouillard (étude locale, télédétection passive / in-situ) ?

3 ETAT DE L'ART

De nombreuses mesures de terrain ont été réalisées pour décrire les mécanismes en jeu dans le brouillard. Dès les années 60, les granulométries des particules étaient mesurées pour établir les relations entre les aérosols et la microstructure du brouillard [Eldridge, 1966]. Des événements de brouillard ont été documentés dans les années 80 et 90 par des campagnes se focalisant sur l'observation de certains processus dans certaines conditions atmosphériques: aux Pays Bas [Musson-Genon, 1987]; sur la côte Est des Etats-Unis [Fitzjarrald and Lala, 1989]; à Lille [Guedalia and Bergot, 1994; Bergot and Guedalia, 1996]; sur la vallée du Pô en Italie [Fuzzi et al., 1992 and 1998]. Les campagnes de mesure de la décennie suivante se sont efforcées de combiner sur le long terme l'observation in-situ et la télédétection pour décrire l'ensemble des processus physiques en jeu dans le cycle de vie du brouillard, incluant le rôle des aérosols. C'est le cas des campagnes réalisées au Canada en environnement continental (hiver 2005-2006) et maritime (étés 2006 et 2007) [Gultepe et al., 2009], et de la campagne ParisFog réalisée en environnement péri-urbain au Sud de Paris [Bergot et al., 2008; Haeffelin et al., 2010], qui a été accueillie sur l'infrastructure pérenne du SIRTa qui exerce une surveillance continue et routinière de l'atmosphère.

Le projet ParisFog sur la période 2006-2009 a permis de réaliser une campagne de mesure d'une saison complète pour documenter les processus pilotant le brouillard en région parisienne. Il a permis également d'étudier les processus radiatifs, microphysiques et dynamiques pilotant le brouillard, à partir des observations et de simulations numériques (Meso-NH, Mercure-Saturne) dans le cadre de 2 thèses et 3 postdocs. L'acquisition de données pendant une saison entière (campagne de mesures ParisFog 2006-2007) permet de fournir une première ébauche de la climatologie du brouillard sur le plateau de Saclay: 150 heures de brouillard et 500 heures de brume sont observées pendant l'hiver 2006-2007, distribuées sur respectivement 37 et 109 jours [Haeffelin et al., 2010 ; Bergot et al., 2008]. La campagne de mesures ParisFog nous a ainsi permis (1) de documenter finement certains des processus pilotant le cycle de vie des brumes et brouillards, (2) d'acquérir une expérience robuste sur le matériel novateurs par rapport aux mesures routinières (notamment sur la microphysique) et enfin (3) d'identifier par retour d'expériences les lacunes du dispositif (déjà conséquent) mis en place pour cette campagne. L'analyse des mesures a permis d'évaluer

l'implication des aérosols d'origine urbaine et du processus de condensation de l'eau dans l'extinction atmosphérique du rayonnement visible [Elias et al., 2009]. Cet article s'est focalisé sur l'impact des aérosols sur la visibilité horizontale pour différents types d'atmosphère : polluée/propre, sèche/humide, présence ou absence d'eau liquide (claire/brouillard). On a alors caractérisé optiquement les propriétés des aérosols en termes d'extinction pour montrer finalement que la contribution des aérosols du mode accumulation est significative pour tous les régimes : 100% pour la brume, 50% pour le ciel clair et $20 \pm 10\%$ pour le brouillard. Enfin, les particules très fines ($\text{Ø} < 0.1 \mu\text{m}$) et fines ($\text{Ø} < 1 \mu\text{m}$) réduisent la transmission atmosphérique de l'ordre de 50% en atmosphère claire. **La thèse de J. Rangognio** (CNRM) a quant à elle quantifié le rôle des aérosols sur la formation du brouillard à partir des observations réalisées pendant ParisFog2006 et de simulations numériques. On s'est en particulier focalisé sur 3 aspects : (1) la sensibilité à la distribution en taille des aérosols, (2) la sensibilité à la composition chimique des aérosols, (3) la sensibilité au taux de refroidissement qui pilote la sursaturation. Les caractéristiques du brouillard quant à son heure de formation, son contenu en eau liquide et son développement verticale ont été analysées pour différentes natures d'aérosols. **La thèse de X. Zhang** (CEREA) a analysé l'impact de paramétrisations physiques utilisées dans le code de mécanique des fluides Mercure_Saturne sur les différentes phases du cycle de vie de brouillards radiatifs. En particulier, on s'est attaché à quantifier le poids des paramétrisations de turbulence (modèle k-epsilon, modèle de Louis), de sédimentation et de nucléation. On a noté en particulier un déficit important d'énergie cinétique turbulente donc de mélange pour des conditions de forte stabilité dans les simulations (facteur > 10 entre observations et simulations). Les travaux de **Boyok et al. (2010)** montre l'importance / la différence de la concentration en particules (PM25, épaisseur optique) dans les phases précédant la formation des brumes et brouillards. Ceci s'explique en partie par la relation entre le nombre de particules (aérosols en mode accumulation) et la visibilité (r^2 de 0.75) pendant la phase précédant le brouillard. Enfin, les travaux de **Dupont et al. (2009)** ont permis de quantifier l'impact des processus dynamiques dans la transition stratus-brouillard sur un cas d'étude pendant la campagne ParisFog2006. L'utilisation des données Radar, lidar et mesures in-situ de surface permet de mettre en évidence l'importance de la dynamique nuageuse lors de la persistance et dissipation du brouillard. La sédimentation des gouttelettes d'eau nuageuses à une vitesse verticale de $\sim 0.2 \text{m/s}$ permet l'apparition du brouillard alors qu'une vitesse de précipitation plus forte de $\sim 0.8 \text{m/s}$ engendre la dislocation rapide du brouillard. Le rayonnement solaire matinal est un facteur accélérateur alors que le refroidissement infrarouge de surface semble favoriser l'extension verticale de la couche de brouillard.

D'un point de vue purement instrumental, la campagne de mesure 2006-2007 nous a montré que le radar Doppler 95GHz RASTA est capable de restituer la taille des gouttelettes qui engendre la sédimentation des particules : processus clé pour « vider » le brouillard de son contenu en eau et ainsi contribuer à sa dissipation. Cet instrument est donc performant pour des altitudes basses en permettant une mesure précise du sommet de la couche de brouillard [Dupont et al., 2010]. Par rapport à la campagne précédente, la campagne de 2010-2011 a mis en œuvre de nouveaux instruments renforçant très significativement le volet microphysique aérosols/brouillard et le volet dynamique en air clair et en atmosphère nuageux. Ces deux aspects se révèlent être centraux dans les processus pilotant les phases de formation et dissipation des brouillards. **La campagne 2011-2012 comportera quant à elle plusieurs périodes d'observations ciblées vers des objectifs précis pour tester certains dispositifs instrumentaux : étude de faisabilité pour opérer un ballon sonde avec un treuil automatique sur quelques centaines de mètres, hétérogénéité spatiale des mesures Palas (sol puis 10m), etc.**

La caractérisation chimique des brouillards va nous permettre d'améliorer nos connaissances liées aux processus physico-chimiques qui ont lieu dans les nuages. Les nuages, qui occupent en moyenne environ 15 % du volume de la basse troposphère avec une occurrence spatiale et temporelle très variable, jouent un rôle crucial dans la chimie de la troposphère et peuvent ainsi avoir in fine un impact notable sur les aérosols. D'une part, les aérosols solubles ou partiellement solubles peuvent rejoindre la phase aqueuse du nuage et y être impliqués dans des processus réactionnels très différents de ceux susceptibles de se produire en phase gazeuse, ce qui conduira à la formation d'un aérosol modifié après dissipation du nuage. D'autre part, les nuages affectent la capacité oxydante de l'atmosphère en modifiant, par piégeage d'oxydants solubles et/ou création de nouveaux oxydants, les concentrations d'oxydants importants, tels les radicaux hydroxyles (OH), peroxyde (HO_2) ou nitrate (NO_3), ce qui aura un impact sur la composition chimique des aérosols. Or, il est important d'être capable de décrire et de prévoir précisément la composition chimique des aérosols car celle-ci détermine leurs propriétés physiques, c'est-à-dire leur impact sur la santé et le climat qui sont des questions sociétales majeures. Pour ce faire, une bonne compréhension des effets des nuages sur les processus chimiques à l'œuvre en leur sein et sur les bilans de masse en oxydants est donc nécessaire. L'étude proposée ici est très complémentaire de celle actuellement menée sur la campagne internationale HCCT (Hill Cap Cloud Thuringia 2010) et qui implique notamment IRCE (C. George). La campagne de mesures ParisFog2010 apportera des informations plus spécifiques liées à la proximité des émissions parisiennes, et permettra un meilleur couplage entre propriétés microphysiques et chimiques.

4 ETUDES DE PROCESSUS

4.1 Impact des aérosols sur le brouillard

Coordinateurs: F. Burnet (CNRM), L. Gomes (CNRM)

Les aérosols vont jouer un rôle important dans le cycle de vie d'une couche de brouillard, notamment à travers les processus microphysiques et radiatifs. Tout d'abord, l'hygroscopicité des particules d'aérosol va jouer sur la fraction activable du spectre. Pour une même sursaturation (imposée par la thermodynamique), un spectre d'aérosol de particules hydrophiles fournira des gouttelettes plus nombreuses et plus petites en activant des particules plus fines. Ainsi, la composition chimique et la granulométrie de l'aérosol vont déterminer les propriétés microphysiques du brouillard, ce qui influencera le cycle de vie du brouillard, en particulier son développement vertical et sa capacité à sédimenter, et ses propriétés optiques. Par ailleurs, la nature de l'aérosol va avoir un effet radiatif non négligeable, en particulier lors de la phase de dissipation. Si les noyaux de condensation sont chargés en suie, très absorbante du rayonnement solaire, les gouttelettes de brouillard seront elles aussi très absorbantes, ce qui conduira à un réchauffement plus rapide de la couche de brouillard. La présence d'aérosol absorbant devrait également accentuer le cycle diurne du brouillard, comme c'est le cas pour d'autres nuages de couche limite, de type strato-cumulus.

Enjeux observationnels :

La distribution dimensionnelle des particules couvrant plusieurs ordres de grandeur, plusieurs instruments sont nécessaires pour balayer la granulométrie de toutes les particules, des aérosols ultra-fins de diamètre inférieur à $0.1\mu\text{m}$ aux gouttelettes de diamètre supérieur à $20\mu\text{m}$, en passant par les aérosols du mode d'accumulation, et par ailleurs trois autres instruments échantillonnent les propriétés optiques. Le visibilimètre fournit la visibilité qui est directement anti-proportionnelle au coefficient d'extinction à 550nm (équation de Koschmeider). Le néphélomètre fournit le coefficient de diffusion, et l'aéthalomètre le

coefficient d'absorption, à plusieurs longueurs d'onde. La combinaison des mesures de granulométrie a besoin d'être validée en comparant les propriétés optiques déduites de la distribution dimensionnelle aux mesures optiques. La caractérisation de la microphysique des gouttelettes est également un enjeu fort basée sur la synergie Palas, Fog-Monitor et PVM, nécessitant une évaluation pointue.

Développements algorithmiques :

L'étude de fermeture des propriétés microphysiques et optiques des aérosols permettra de valider le modèle microphysique des aérosols utilisé pour fournir le champ angulaire et spectral des propriétés de diffusion et d'absorption des particules. La fermeture en extinction du rayonnement visible (pour les aérosols) et la fermeture en eau liquide (gouttelettes) seront alors analysées, validées ou non. Cette dernière mettra ou non en avant notre capacité à caractériser complètement la distribution en taille des gouttelettes.

Les nouveaux instruments de mesures installés depuis l'automne 2010 permettront de documenter finement l'évolution des propriétés microphysiques au cours du cycle de vie du brouillard. En particulier la combinaison des mesures du SMPS et des OPC Grimm, Palas et Fog-Monitor permettra d'étudier le grossissement hygroscopique des particules d'aérosols lors de la phase de formation du brouillard pour mieux caractériser le processus de formation des gouttelettes d'eau.

Questions scientifiques :

- Quelles sont les sources majeures de particules activables dans le brouillard ? Comment le transport et l'évolution des particules modifient leurs propriétés hygroscopiques ?
- Quelle est la taille critique (sèche) et la supersaturation critique à laquelle une particule devient un CCN (processus activation) ? Les mesures permettent-elles de vérifier la validité de la relation aérosol-CCN établie par la théorie de Köhler ?
- Quel est l'impact du type d'aérosol sur la durée de vie et sur l'épaisseur physique de la couche de brouillard ?
- Quelles sont les échelles spatiales et temporelles des structures microphysiques du brouillard ?

4.2 Impact du brouillard sur la pollution particulaire

Coordinateurs: J. Sciare (LSCE) / L. Menut (LMD)

Les modifications (chimiques, physiques) induites par les processus liés à la capture des aérosols par le brouillard (et par les réactions hétérogènes induites dans les gouttelettes) vont constituer l'objectif principal de ce volet. Des mesures de chimie rapide (ions par PILS-IC, EC-OC par Sunset Field Inst.) ont été réalisées sur 2 épisodes de brouillard de la campagne ParisFog2006 [Sciare et al., unpublished data]. Ces mesures ont permis de montrer que le passage dans les gouttelettes de brouillard des aérosols solubles (ions) était un phénomène très rapide (1-2h) nécessitant la mise en place de techniques de chimie en temps réel. Nous avons pu observer que les aérosols carbonés (EC, OC) avaient des « vitesses » de passage dans le mode « gouttelette » différentes suivant les 2 épisodes. Les propriétés hydrosolubles de ces aérosols carbonés (et donc leur état de mélange) joueront certainement un rôle important dans ces cinétiques. Le chauffage bois est une source prépondérante des aérosols carbonés parisiens en hiver [Favez et al., 2009 ; Sciare et al., 2010 ; résultats non publiés du programme EU-MEGAPOLI]. Cette source représente une source majeure d'aérosols organiques hydrosolubles (susceptible de passer plus rapidement dans les gouttelettes du brouillard). La déconvolution des sources « fossil fuel » et « wood burning » en temps réel va

donc nous donner des informations très intéressantes sur leur cinétique de capture par les gouttelettes du brouillard.

Enjeux observationnels :

Les mesures de chimie disponibles sur le SIRTA sont celles qui seront réalisées (et financées) dans le cadre du programme EU-FP7-ACTRIS (2011-2015). Elles comprennent des mesures rapides (15min) d'ions ((NH₄)NO₃, (NH₄)₂SO₄) et d'aérosols organiques (OM) par mini-AMS (ACSM). La déconvolution des mesures organiques nous permettra de remonter aux fractions HOA (proxy des émissions primaires), OOA (proxy des sources secondaires) et pBBOA (proxy des émissions primaires de chauffage bois). Sur épisodes des mesures de WSOC/WIOC seront réalisées (PILS-TOC et Sunset Field Inst.). L'ensemble de ces mesures nous permettront de voir laquelle de ces différentes fractions organiques conduit aux gouttelettes.

Suivant la disponibilité des instruments du LSCE, nous pourrions envisager de tester une nouvelle procédure de capture des gouttelettes de brouillard par système PILS (dans lequel l'activation par vapeur sera désactivée). Cette configuration permettra de collecter les aérosols avec un diamètre supérieur à 1µm (principalement les gouttelettes de brouillard). La mesure ionique de ces gouttelettes nous permettra d'effectuer un bilan de masse (aérosol+gouttelettes) aux différents stades de vie du brouillard.

Développements algorithmiques :

Un effort important sera porté à la caractérisation de la suie à travers une mesure temps réel de sa granulométrie et de son *coating* (instrument SP2), de sa signature spectrale (instrument aéthalomètre), et de sa fraction graphitique (EC par instrument Sunset Field). Ces informations permettront d'adresser l'état de mélange de la suie et son origine (fuel fossile, chauffage bois). Ces mesures réalisées sur épisodes de brouillard nous permettront de voir dans quelle mesure la suie peut être captée par les gouttelettes. Ces bases de données pourront être comparées avec celles obtenues sur la campagne HCCT 2010. Une thèse cofinancée CEA-ENERIS sera proposée sur 2011 afin d'exploiter scientifiquement les données de chimie obtenues sur le SIRTA.

Questions scientifiques :

- Quel est l'impact du brouillard sur la qualité de l'air (concentration en PM et composition) ?
- Quel est l'impact de la chimie hétérogène pendant les épisodes de brouillard sur la formation d'aérosols organiques secondaires, sur la toxicité des aérosols (Oxy- & nitro- PAH, etc.) ?
- Quelles sont les modifications des propriétés des aérosols (taille, forme, nature, concentration) induites par le brouillard ?

4.3 Interactions turbulence-brouillard

4.3.1 Rôle de la dynamique de l'air clair

Coordinateurs: JC. Dupont (IPSL), L. Musson-Genon (CEREA), E. Dupont (CEREA)

Les points importants du cycle de vie du brouillard sur les aspects dynamiques portent principalement sur (1) **le développement vertical du brouillard dans sa phase mature**, (2) **les mécanismes de mélange dans la couche de brouillard et sur leurs effets catalyseurs éventuels de la dissipation** et (3) **l'impact des phénomènes d'entraînement au sommet de la couche de brouillard** [Zhou et al., 2007]. A titre d'exemple, la dynamique de basse couche va jouer un rôle fondamental concernant la formation des brouillards radiatifs initiée par le

refroidissement infrarouge de la masse d'air proche de la surface jusqu'à la saturation : un mélange trop intense empêchera l'inversion de température et donc la condensation à la surface, un mélange trop faible induira la formation de rosée sur le sol et le non développement vertical du brouillard.

Enjeux observationnels :

Les mesures de turbulence in-situ (0-30m) sont actuellement complétées sur le SIRTa par des moyens de télédétection active, radars (LATMOS, CEREa) et lidars/sodars (CEREa), permettant d'avoir une vue complète des champs de vent sur la verticale (entre 0 et 2.5km) dans l'air clair et l'air nuageux [Dupont et al., 2010a]. Les lidars doppler installés par le CEREa pendant les campagnes de mesures ParisFog sont un atout indéniable dans la précision et la résolution spatio-temporelle des champs de vent 3D avec un pas vertical de 20m entre 40 et 200m pour le WLS7v2 et un pas de 50m entre 50 et 2000m pour le WLS70. Pour des situations de ciel clair, on tire profit du fort échantillonnage temporel des lidars doppler pour mieux caractériser la turbulence de basse couche. Par contre, la portée de ces derniers semblent réduite dans des situations de brouillard contrairement au sodar qui semble peu affectée et donc tout à fait propice à documenter la dynamique du brouillard. **Cette complémentarité et les capacités propres à chaque instrument doivent encore être analysées.**

Développements algorithmiques :

Des inter-comparaisons fines entre ces moyens de télédétection active sont actuellement effectuées pour évaluer la pertinence des produits géophysiques de sortie (vitesse et direction du vent). Des scores statistiques seront établis à l'image des travaux réalisés pour la conférence ISARS [Dupont et al., 2010a]. Nous travaillons actuellement à la création d'un produit optimal « Profils de vent » à partir de cette forte synergie instrumentale pour les périodes de ciel sans nuage. On sélectionnera en outre Une partie de l'étude se focalisera sur les périodes de brouillard **pour caractériser la dynamique de part et d'autre du brouillard, notamment à l'interface brouillard-air clair siège d'une forte activité turbulente** (synergie sodar, radiosondage et radar nuage).

Questions scientifiques :

- Y a-t-il une valeur critique de turbulence (énergie cinétique turbulente, vitesse et direction du vent) favorable à la formation des brouillards radiatifs ? Au développement vertical du brouillard ?
- Sommes-nous capables de caractériser les structures cohérentes lors de la forte stabilité de la couche de surface avant la formation du brouillard radiatif ?
- Quel est le poids des flux turbulents de surface (latent et sensible) sur la formation d'un brouillard par affaissement de stratus par comparaison au rôle joué par le refroidissement sommital ou encore la subsidence de grande échelle ?

4.3.2 Caractérisation et rôle de la dynamique nuageuse

Coordinateurs : J. Delanoë (LATMOS), J.C. Dupont (IPSL)

Les travaux de Dupont et al. (2011) analysent un épisode de 7 jours montrant l'oscillation d'un stratus entre la surface (plusieurs épisodes de quelques heures de brouillard) et quelques centaines de mètres d'altitude. Le radar nuage RASTA développé au LATMOS a permis de documenter finement les structures nuageuses, en particulier les vitesses de chute des gouttelettes entre la base et le sommet du nuage ou encore l'apparition ou non de drizzle sous la base du nuage. Ces deux points jouent un rôle clés dans le cycle de vie du brouillard

pouvant entrainer tantôt la formation du brouillard (une vitesse de chute lente des gouttelettes dans le nuage entraine une évaporation modérée à la base du nuage qui induit la descente lente du niveau de condensation jusqu'à la surface), tantôt la dissipation du brouillard (le drizzle caractérisé par des gouttes de l'ordre du mm collecte aisément les gouttelettes de brouillard - $\sim 20\mu\text{m}$ - avec une efficacité de l'ordre de 90%, pour tomber ensuite sur le sol).

Enjeux observationnels :

Le nouveau radar nuages à émission continue BASTA du LATMOS, qui fait partie de l'instrumentation de base du SIRTA, permet de s'affranchir des limitations des radars pulsés pour l'étude des propriétés du brouillard, en permettant un échantillonnage à partir de 20 m au-dessus du radar (à titre de comparaison, 240 m pour les radars 95 GHz pulsés). Cependant, ce radar BASTA est encore le sujet de recherches actives pour améliorer sa sensibilité au niveau requis. Ce travail devrait aboutir d'ici la fin du mois de septembre et permettre de détecter une grande partie des brouillards au SIRTA et ainsi **contribuer à leur caractérisation microphysique** (avec les mesures de réflectivité et Doppler, restitution du contenu en glace, de la vitesse de chute, de l'extinction, du nombre de particules et de la taille caractéristique des gouttelettes) **et dynamique** (avec le Doppler, restitution de la vitesse verticale de l'air dans le milieu nuageux).

Développements algorithmiques :

Il est donc proposé dans ce projet de développer l'algorithme radar Doppler nécessaire **pour passer des mesures radar aux propriétés du brouillard**. Pour cela, les nombreuses mesures in-situ de la distribution dimensionnelle des brouillards seront analysées en utilisant le concept de distribution normalisée développé au laboratoire [Delanoë et al. 2005] pour faire le lien entre observables et propriétés physiques. Une méthode « réflectivité + Doppler » [RadOn, Delanoë et al. 2007], et une méthode radar-lidar [Delanoë et Hogan, 2008], développés précédemment pour les nuages de glace, seront ensuite adaptés à la lueur de l'analyse des distributions dimensionnelles mesurées pendant la campagne pour restituer ces propriétés nuageuses. **Quel est le degré de précision des propriétés nuageuses sur la verticale restituées par les mesures radar/lidar ?**

Questions scientifiques :

- Le découplage entre la base du nuage et la surface induit par l'évaporation des gouttelettes dans la couche sous-nuageuse, peut-il à lui seul empêcher la formation de brouillard par affaissement de stratus ?
- Peut-on établir des seuils de vitesses de chute de particules favorables à la formation ou à la disparition des brouillards radiatifs et par affaissement de stratus ?
- Quel est le niveau de stabilité au sommet du brouillard où l'entraînement et le déentraînement sont pilotés par l'inversion de température due au refroidissement infrarouge ?

4.4 Interactions rayonnement-brouillard

Coordinateurs: M. Haeffelin (IPSL), T. Elias (HYGEOS), L. Musson-Genon (CEREA), P. Dubuisson (LOA)

La durée de vie du brouillard dépend en grande partie de son réchauffement par le rayonnement solaire. Les gouttelettes d'eau composant le brouillard (1) diffusent le rayonnement visible, la couche de brouillard réfléchissant ainsi une partie du rayonnement solaire vers le sommet de l'atmosphère avant qu'il n'atteigne la surface et (2) absorbent une

partie du rayonnement solaire, ce qui a pour effet de réchauffer la couche de brouillard. Quant au rayonnement infrarouge, les taux de refroidissement sont contrôlés d'une part par la couverture nuageuse et d'autre part par le contenu intégré en vapeur d'eau. La présence de nuages de plus haute altitude (que le sommet du brouillard) va directement impacter le cycle de vie du brouillard en modulant le bilan radiatif sommital. Cette variabilité sommitale sera estimée et l'impact sur la dynamique nuageuse quantifié.

Enjeux observationnels :

Les capteurs radiatifs installés sur les mâts de 30 m en zone 1 et à 17m en zone 2 peuvent permettre une mesure directe du bilan radiatif de la couche de surface du brouillard (tout dépend de l'épaisseur de celle-ci). On pourra alors calculer le bilan radiatif net à la surface pendant la phase précédant la formation du brouillard et voir quel est l'impact des aérosols hydratés sur le gradient de température (temporel et vertical). L'installation d'un nouveau mat de mesures de 10m en zone 1 permettra de documenter avec une incertitude encore plus faible ces bilans radiatifs solaires et infrarouge.

Développements algorithmiques :

On s'intéressera particulièrement aux **variabilités temporelles des signaux infrarouges à la surface et au sommet du brouillard lors de ces phases de transition**. Cette étude se base sur la forte synergie instrumentale mise en place sur le SIRTa avec entre autre le radar BASTA (propriétés optiques et l'extension verticale du brouillard), le radiomètre micro-onde HATPRO (champs de température et humidité) et les pyrgéomètres CG4 (flux infrarouge à la surface et à 30m).

Questions scientifiques :

- Peut-on quantifier l'effet des aérosols hydratés sur le refroidissement infrarouge à la surface ? Impact sur l'inversion de température ?
- Y a-t-il une signature des propriétés des aérosols sur le réchauffement solaire dans le nuage (cas propres, cas pollué) ?
- Quel est l'ordre de grandeur du refroidissement infrarouge sommital ? Quelle modulation avec des nuages plus hauts ? Quel impact sur la dynamique nuageuse ?

5 STRATEGIE

5.1 Observations depuis la surface

Les mesures de terrain fédérées sur une station unique permettent d'évaluer avec précision les degrés d'implication des divers processus en jeu, et d'en suivre leur évolution temporelle. Les mesures réalisées au SIRTa permettent de décrire les propriétés dynamiques, radiatives, et thermodynamiques de la couche atmosphérique de surface, ainsi que les propriétés microphysiques et chimiques. Deux modes d'acquisition des mesures sont utilisés : les campagnes de mesures sont essentielles pour mieux comprendre l'ensemble des processus physiques et améliorer la modélisation des phénomènes, et les mesures de routine sont complémentaires pour décrire la climatologie des événements et valider les résultats observés sur des campagnes de mesures sur le long terme.

5.1.1 Mesures routinières au SIRTA

Coordinateur : C. Pietras (LMD)

Le SIRTA situé à 25 km au sud de Paris en zone périurbaine possède un grand nombre d'instruments in-situ et d'instruments de télédétection active ou passive fonctionnant de manière pérenne [Haeffelin et al., 2005]. Ces instruments couvrent une période de plusieurs années et appartiennent pour la plupart à des réseaux de mesures internationaux. Le Tableau situé en annexe indique l'ensemble du dispositif instrumental déployé de manière pérenne sur le SIRTA ainsi que les instruments spécifiquement installés pour les campagnes de mesures.

5.1.2 Campagnes de mesures au SIRTA

Coordinateurs : JC. Dupont (IPSL)

La campagne de mesures ParisFog2006 nous a permis (1) de documenter finement certains des processus pilotant le cycle de vie des brumes et brouillards, (2) d'acquérir une expérience robuste sur le matériel novateurs par rapport aux mesures routinières (notamment sur la microphysique) et enfin (3) d'identifier par retour d'expériences les lacunes du dispositif (déjà conséquent) mis en place pour cette campagne. Dans cette optique, nous allons réaliser de nouvelles campagnes de mesures intensives. Une première a eu lieu entre le 15 janvier et le 15 février 2010 synchronisée avec la campagne internationale Megapoli (<http://megapoli.dmi.dk>). Elle se focalisait tout particulièrement sur les mesures de microphysique et la chimie des aérosols et des gouttelettes d'eau liquide. Elle nous a permis d'identifier l'importance de nouveaux instruments notamment sur la microphysique nuageuse (Fog Monitor) et la dynamique (lidar vent Leopshere). À l'image de cette campagne, de nouvelles périodes d'observations intensives au cours des hivers 2010-2013 ont été, sont et seront mises en place grâce au projet PreViBOSS qui financera une grande partie des équipements. Une partie des équipements de chimie déployés sur le SIRTA sont propriétés du LSCE (TEOM-FDMS, OPC, Aéthalomètre) ; l'autre partie (ACSM, SP2) ayant été obtenue en 2010 dans le cadre d'un programme DIM R2DS. Le fonctionnement des observations de chimie (PM, EC, OC, OM, ions) est assurée sur une base pluriannuelle (2010–2014) par le programme EU-FP7 ACTRIS. Pour ces campagnes de mesures, l'équipe SIRTA s'attache tout particulièrement à diffuser largement des informations relatives aux mesures en veillant à :

- ✓ Informer 48h puis 24h à l'avance l'éventualité d'un épisode de brouillard afin que chaque équipe s'assure du bon fonctionnement de son instrumentation ;
- ✓ La mise à jour de la page web ParisFog (<http://parisfog.sirta.fr>), organisée en 5 principales rubriques (Projet, Instruments, Data, Science, Documentation) ;
- ✓ La tenue d'un tableau de suivi des instruments ;
- ✓ La mise en place d'astreinte pour monitorer 24h/24 et 7j/7 ;
- ✓ La création de visualisation en temps réel rendue possible grâce à la création de fichier de niveau 1a (critère qualité, variables géophysiques, nomenclature et entête SIRTA) ;

5.1.3 Mesures à l'échelle locale et régionale

Coordinateurs : M. Haeffelin (IPSL)

Le SIRTA est composé de 4 zones de mesures dans un rayon de 2km. La principale zone de mesure se trouve en zone 1 (Z1) et comporte de nombreux instruments de télédétection active, la zone 2 (Z2) se trouve sur le toit du LMD à 15m au-dessus du sol, la zone 3 (Z3) correspond à la tour en bois de 15m où un visibilimètre a été installé et enfin la zone 4 (Z4) à l'extrême Est du campus où des mesures thermodynamiques sont effectuées à 10 et 30m. La figure 1 montre la localisation des 4 zones.

Une dizaine de stations automatiques Météo-France en région parisienne fournissent un ensemble de variables météorologiques dans un rayon de 100km autour du SIRTA. Cette base de données comporte des données météorologiques de surface au moyennage horaire

(température, humidité, vent, précipitation et pression) et la variables « visibilité ». Cette dernière est une donnée clés permettant de détecter la formation et la dissipation du brouillard. Ces stations permettent donc de quantifier l'homogénéité ou non du brouillard sur la région parisienne. La figure 1 montre la localisation de ces sites Météo-France autour du SIRTA. Trois stations du réseau AirParif complètent le jeu de données par l'échantillonnage des concentrations en PM_{2.5}, PM₁₀, NO_x, O₃ et CO, pour informer sur la distribution régionale de la qualité de l'air au niveau de la surface. Le couplage avec les données Météo-France permet de sous-échantillonner les épisodes clairs des épisodes de visibilité réduite. Les sorties MSG⁴ apporteront de l'information complémentaire sur l'étendue spatiale de la couche de brouillard autour du SIRTA. Une méthodologie sera développée dans le cadre du projet Previboss afin de distinguer aussi finement que possible les brouillards des nuages bas.

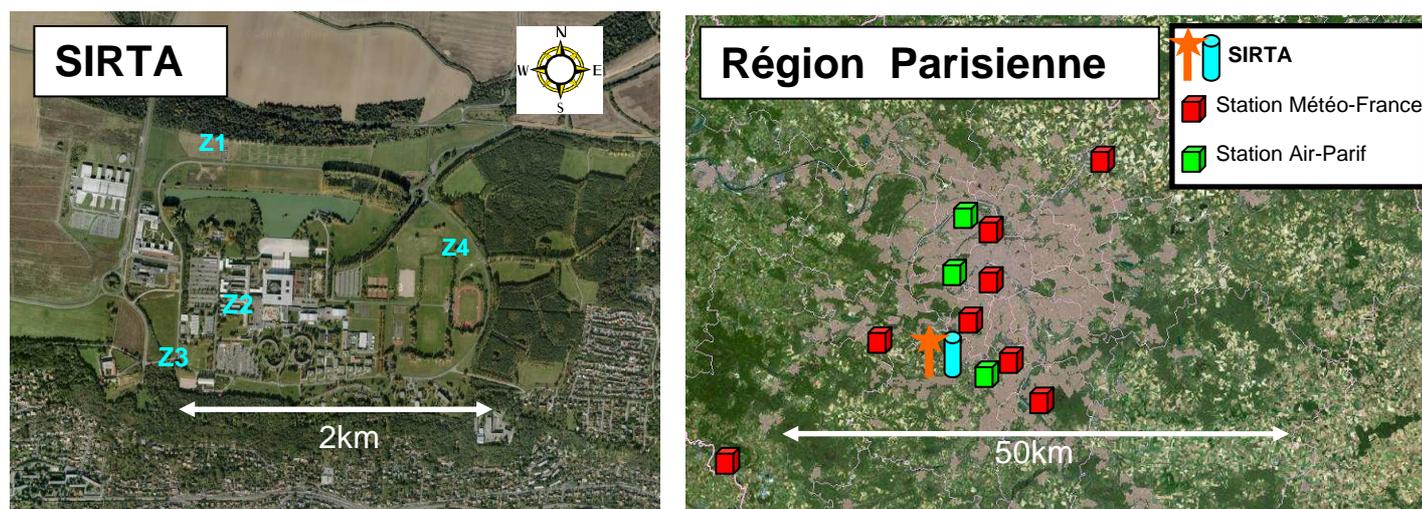


Figure 1. Différentes zones de mesures sur le SIRTA et localisation des sites Météo-France et stations Air-Parif dans un rayon d'une cinquantaine de km autour du SIRTA.

5.2 Modélisation numérique

5.2.1 WRF-modèle 1D

Coordinateurs : S. Stolaki (Post-Doc, LMD)

La base de données accessible au SIRTA et les études de sensibilité effectuées précédemment mettent en évidence des paramètres météorologiques clés pilotant le cycle de vie du brouillard. Des poids relatifs à chacun de ces variables doivent être estimés pour les brouillards de type radiatif ou par affaissement de stratus. Les travaux de [Zhou and Ferrier 2007] illustrent la méthodologie pour un brouillard radiatif et établissent un diagramme spécifiant les critères de turbulence et d'humidité favorisant la persistance ou non du brouillard de type radiatif. Une post-doc commençant en Novembre 2011 (financement projet Ecole Polytechnique-DGA) va effectuer des simulations à partir du couplage entre WRF et un modèle 1D à déterminer. Le but de ce travail sera d'effectuer des études des sensibilités sur des paramètres identifiés comme fondamentaux dans le cycle de vi des brouillards. Des aspects tels que la turbulence ou encore le gradient de refroidissement infrarouge seront particulièrement étudiés.

⁴ MSG : Meteosat Second Generation

5.2.2 Modélisation 1D avec Meso-NH et Code_Saturne

Coordinateurs : T. Bergot (CNRM)/ L. Musson-Genon (CEREA)

Les études réalisées précédemment, que ce soit par exemple lors de la thèse de X. Zhang au CEREA à l'aide du modèle Code_Saturne ou lors de la thèse de J. Rangognio au CNRM à l'aide du modèle Meso-NH, ont montré que les simulations 1D permettaient d'aider à la compréhension des phénomènes physiques en jeu dans le cycle de vie d'un événement de brouillard. De plus, l'intercomparaison de simulations de cas bien documentés permet non seulement de mieux comprendre les processus physiques mais également de mettre en évidence les faiblesses des modèles utilisés, voir par exemple l'intercomparaison de cas de brouillard documentés à Paris-Charles de Gaulle (Bergot et al, 2007 « Intercomparison of single column numerical model for the prediction of radiation fog »). Les simulations de la POI13 de ParisFog2006 à l'aide des modèles Meso-NH et Code_Saturne ont également permis de mettre en évidence l'effet des différences au niveau de la paramétrisation turbulente sur la simulation de ce cas de brouillard.

Le but de cette partie sera de simuler certains brouillards radiatifs bien documentés au niveau microphysique, turbulent et radiatif. On essaiera de choisir des cas présentant des différences au niveau de l'heure de formation et du développement vertical. **Au cours de cette étude, on se focalisera plus particulièrement sur les paramétrisations microphysiques** afin de voir si elles sont adaptées au brouillard (présence de nombreuses petites gouttelettes) et d'étudier comment les améliorer. Cependant pour mener à bien cette étude, il sera important de pouvoir disposer également d'observation de la structure verticale de l'atmosphère avant, pendant et après le brouillard afin de pouvoir initialiser les simulations et tester l'impact sur la structure verticale de l'atmosphère. Ces mesures seront assurées par des radiosondages avant, pendant et après l'épisode de brouillard et par le fonctionnement continu du radiomètre micro-ondes Hatpro et des instruments de télédétection active (lidar, sodar, radar)

6 SYNTHÈSE DES OBJECTIFS SCIENTIFIQUES ET CALENDRIER

Section	Question scientifique	Responsable scientifique	Calendrier		
			2012	2013	2014
<i>Impact des aérosols sur le brouillard</i>					
4.1.1	Evaluation des restitutions de la microphysique aérosols et gouttelettes par les mesures in-situ	F. Burnet T. Elias	X		
4.1.1	Impact des propriétés microphysiques des aérosols sur le spectre granulométrique du brouillard ?	F. Burnet	X	X	
4.1.2	Validation d'une nouvelle paramétrisation de la sursaturation	L. Gomes			X
<i>Impact du brouillard sur la pollution particulaire</i>					
4.2	Impact de la chimie hétérogène pendant les épisodes de brouillard sur la formation d'aérosols organiques secondaires	J. Sciare	X		
4.2	Impact du brouillard sur la qualité de l'air (concentration en PM et composition) ?	J. Sciare L. Menut		X	
4.2	Modifications des propriétés des aérosols (taille, forme, nature, concentration) induites par le brouillard	T. Elias			X

Interactions turbulence-brouillard					
4.3.1	Evaluation des champs de vent 3D dans la couche limite atmosphérique (synergie lidar, radar, sodar, mesure in-situ)	JC Dupont E. Dupont	X		
4.3.1	Structures cohérentes lors de la forte stabilité de la couche de surface avant la formation du brouillard radiatif	E. Dupont		X	
4.3.1	Gamme de variabilité de la turbulence favorable à la formation mais aussi au développement vertical du brouillard.	JD. Dupont		X	
4.3.2	Caractérisation de la dynamique nuageuse par mesures radar-lidar	J. Delanöe	X		
4.3.2	Rôle de l'entraînement sommital dans le développement vertical du brouillard.	L. Musson-Genon		X	
4.4	Etude de sensibilités par la modélisation pour quantifier le poids des processus turbulents.	S. Stolaki	X	X	
Interactions rayonnement-brouillard					
4.4	Impact des aérosols hydratés sur le refroidissement infrarouge précédant le brouillard radiatif	L. Musson-Genon P. Dubuisson	X	X	
4.4	Rôle des aérosols dans la dissipation du brouillard induite par absorption du rayonnement solaire	T. Elias M. Haeffelin		X	
4.4	Etude de sensibilités par la modélisation pour quantifier le poids des processus radiatifs	L. Musson-Genon T. Bergot	X		X

7 ANNEXES

7.1 Perspectives

A l'issue de la campagne de mesures au SIRTA, de l'analyse de ces mesures et des calculs de sensibilité à la formation du brouillard avec le modèle COBEL, les différents schémas numériques pourront être intégrés à la chaîne de modélisation déterministe WRF-CHIMERE. A partir de la paramétrisation obtenue et optimisée sur des cas réels, des incertitudes associées, il s'agira de quantifier son réalisme lorsque le schéma est appliqué à un environnement de plus large échelle.

Le calcul explicite de formation du brouillard sera pris en compte après les calculs de météorologie à méso-échelle sur la région Parisienne. Les caractéristiques de la couche limite devraient être affectées par un diagnostic de brouillard: modification de la hauteur de la couche limite, du taux de mélange vertical et de la teneur en eau liquide. Ces variations auront un impact sur la chimie aqueuse réalisée avec CHIMERE, impact mal connu et qu'il faut quantifier. En particulier, la modélisation de chimie-transport montre régulièrement des difficultés à simuler les épisodes de pollution hivernaux: la couche limite est peu convective, la hauteur de cette couche limite difficile à diagnostiquer. En région fortement urbanisée comme la région Parisienne, une erreur sur les caractéristiques dynamiques près de la surface conduit à des erreurs importantes sur les concentrations estimées. Lors des épisodes de

brouillard, si celui-ci n'est pas correctement estimé, le modèle aura tendance à confiner les oxydes d'azote et à créer des pics irréalistes. Un diagnostic plus réaliste du brouillard devrait permettre de modéliser une pollution régionale hivernale de manière plus robuste.

7.2 Ressources nécessaires à la réalisation du projet

Dans le cadre de ce projet LEFE, nous demandons un soutien pour financer l'organisation de deux réunions annuelles de la communauté ParisFog. La première en Octobre au SIRTÀ à l'occasion de l'installation du matériel pour la campagne hiver de mesures intensives et la deuxième en Avril à l'occasion du démontage du dispositif instrumental dédié.

En pratique, le budget sera versé à l'IPSL qui se chargera d'organiser les réunions et de payer les missions des participants.

Compte tenu des budgets limités de LEFE, je demanderai 7500€ par an, pour 2012, 2013, et 2014.

7.3 Liste des contributeurs et ETP

Nom	Expertise	Poste	Courriel	1 ⁵	2	3	4	%ETP
-----	-----------	-------	----------	----------------	---	---	---	------

⁵ 1 : Impact des aérosols sur le brouillard, 2 : Impact du brouillard sur la pollution particulaire, 3 : Interactions turbulence-brouillard, 4 : Interactions rayonnement brouillard

Nom	Expertise	Poste	Courriel	1 ⁵	2	3	4	%ETP
CNRM-GAME								
Laurent Gomes	Microphysique aérosol	CR1 CNRS	laurent.gomes@meteo.fr	X	X			10
Frédéric Burnet	Microphysique gouttelettes	IT MF	frederic.burnet@meteo.fr	X				10
Thierry Bourriane	Instrumentation et mesures	IT MF	thierry.bourriane@meteo.fr	X				10
J. M. Etcheberry	Maintenance instrumentale	TSI	jm.etcbebert@meteo.fr	X				5
Thierry Bergot	Modélisation numérique	IT MF	thierry.bergot@meteo.fr			X	X	10
LMD								
Christophe Pietras	Infrastructure	IR2	christophe.pietras@lmd.polytechnique.fr	X				20
Christophe Boitel	Informatique et réseau	IR2	chripophe.boitel@lmd.polytechnique.fr	X				10
Yohann Morille	Traitement de données, algorithmie	IE	yohann.morille@lmd.polytechnique.fr		X			15
Laurent Menut	Modélisation CHIMERE	CR1 CNRS	laurent.menut@lmd.polytechnique.fr		X			10
Bernard Romand	Electronique et déploiement instrumental	IE	bernard.romand@lmd.polytechnique.fr	X				20
Technicien MétéoFrance	Déploiement instrumental et maintenance	Technicien MétéoFrance		X				20
Florian Lapouge	Déploiement instrumental et maintenance	AI	florian.lapouge@lmd.polytechnique.fr	X				20
Ludmila Klenov	Traitement de données, algorithmie	IE	ludmila.klenov@lmd.polytechnique.fr		X			10
Stavroula Stolaki	Modélisation 1D du brouillard	CDD-Postdoc			X	X	X	100
IPSL								
Martial Haeffelin	Nuage / rayonnement	IR1	martial.haeffelin@ipsl.polytechnique.fr				X	10
Jean-Charles Dupont	Physique nuageuse / rayonnement	Physicien-Adjoint SIRTA	jean-charles.dupont@ipsl.polytechnique.fr			X	X	30
LSCE								
Jean Sciare	Propriétés physico-chimiques des aérosols Observatoire SIRTA (mesures in situ)	CR-CNRS	jean.sciare@lsce.ipsl.fr		X			15
Roland Sarda-Estève	Aérosols-Chimie (Mesure, Calibration)	ING CEA	roland.Sarda-Estève@lsce.ipsl.fr		X			20
Dominique Baumier	Aérosols-Chimie (Routine, bases de	ING CEA	dominique.baumier@lsce.ipsl.fr		X			20

Nom	Expertise	Poste	Courriel	1 ⁵	2	3	4	%ETP
Jean-Eudes Petit	données) Aérosols-Chimie (Routine)	CDD Ing.- Thèse	jeaneudes.petit@gmail.com		X			30
Nicolas Bonnaire	Aérosols-Chimie (Calibrage)	IE-CNRS	nicolas.bonnaire@lsce.ipsl.fr		X			10
LATMOS								
Alain Protat	Scientifique radar	CR	alain.protat@latmos.ipsl.fr			X		10
Julien Delanoë	Scientifique radar et mesures in-situ	MC	julien.delanoë@latmos.ipsl.fr			X		10
Jean-Paul Vinson	Ingénieur radar BASTA	IR	jean-paul.vinson@latmos.ipsl.fr			X		10
Christophe Le Gac	Ingénieur radar BASTA	IR	christophe.legac@latmos.ipsl.fr			X		10
HYGEOS								
Thierry Elias	Microphysique et optique des aérosols et gouttelettes, transfert radiatif et méthode statistique	IR	thierry.elias@lsce.ipsl.fr	X			X	20
CEREA								
Luc Musson-Genon	Modélisation Numérique Code_Saturne	DR EDF	luc.musson-genon@edf.fr				X	5
Eric Dupont	Instrumentation et mesures	IR EDF	eric.dupont@edf.fr			X		5
Dominique Demengel	Instrumentation et mesures	IR EDF	dominique.demengel@edf.fr			X		5
Eric Gilbert	Ingénieur traitement de données	IR EDF	eric.gilbert@edf.fr			X		5
Yannick Lefranc	Déploiement instrumental	Technicien EDF	yannick.lefranc@edf.fr			X		5
Thomas Lhoir	Déploiement instrumental	Technicien	thomas-externe.lhoir@edf.fr			X		5
LOA								
Philippe Dubuisson	Transfert radiatif solaire et infrarouge	Prof.	philippe.dubuisson@univ-lille1.fr				X	5

TOTAL	500
--------------	------------

7.4 Valorisation des travaux antérieurs

Références bibliographiques

Bergot T. and D. Guédalia, Evaluation de la qualité de la prévision du brouillard par un modèle numérique, *La Météorologie*, **14**, 27-35, 1996.

Bergot, T., M. Haeffelin, L. Musson-Genon, R. Tardif, M. Colomb, C. Boitel, G. Bouhours, T. Bourriane, T. Elias, et al., Paris-FOG: des chercheurs dans le brouillard, *La Météorologie*, **62**, 2008.

Boyouk N., M. Haeffelin, J.-C. Dupont, Observation de l'impact des aérosols sur l'apparition et formation du brouillard, *Journée scientifique SIRTA 2010*, Palaiseau, 2010

Choulaton T. W., Colvile R. N., Bower K. N., Gallagher M. W., The Great Dun Fell Cloud Experiment 1993: An overview, *Atmospheric Environment*, **31**,16, 2393-2405, 1997

Delanoë J and Hogan R., A variational scheme for retrieving ice cloud properties from combined radar, lidar and infrared radiometer. *J. Geophys. Res.*, **113**, D07204, doi:10.1029/2007JD009000, 2008

Delanoë, J., A. Protat, D. Bouniol, A. J. Heymsfield, A. Bansemer, and P. R. Brown, The characterization of ice cloud properties from Doppler radar measurements. *J. Appl. Meteor.*, **46**, 1682–1698, 2007

Delanoë, J., A. Protat, J. Testud, D. Bouniol, A. J. Heymsfield, A. Bansemer, P. R. A. Brown, and R. M. Forbes, Statistical properties of the normalized ice particle size distribution, *J. Geophys. Res.*, **110**, D10201, doi:10.1029/2004JD005405, 2005.

Dupont J.-C., P. Drobinski, T. Dubos, M. Haeffelin, B. Carissimo, E. Dupont, L. Musson-Genon, X. Zhang, Dynamic and radiative process driving the stratus – fog transition, *ISTP meeting*, The Netherlands, 2009

Dupont J.-C., Cycle de vie des nuages de couche limite et brouillard / Transition stratus-brouillard, *Journée scientifique SIRTA 2010*, Palaiseau, 2010

Dupont J.-C., M. Haeffelin, Y. Morille, E. Dupont, L. Musson-Genon, D. Demengel, D. Richard, H. Alsakka, C. Legac, A. Weill, Wind vertical profile derived from multiple in-situ measurements and active remote sensing : case studies and statistics over SIRTA site, *ISARS meeting*, France, 2010

Dupont J.-C., M. Haeffelin, A. Protat, D. Bouniol, N. Boyouk, Y. Morille, Stratus fog formation and dissipation. A 6-day case study, *Boundary Layer Meteorology ISARS special issue*, 2010, submitted

Eldridge R. G., Haze and fog distributions, *J. Atmos. Sci.*, **23**, 605-613, 1966.

Elias, T., M. Haeffelin, P. Drobinski, L. Gomes, J. Rangognio, T. Bergot, P. Chazette, J.-C. Raut, and M. Colomb, Particulate contribution to extinction of visible radiation: pollution, haze, and fog, *Atm. Res.*, doi:10.1016/j.atmosres.2009.01.006, 2009.

Favez, O., H. Cachier, J. Sciare, R. Sarda-Estève, L. Martinon, Evidences for a significant contribution of wood burning aerosols to PM_{2.5} during the winter season in Paris, France, *Atmos. Environ.*, 43,3640-3644, 2009.

Fitzjarrald, D. R., and G. G. Lala, Hudson Valley Fog Environments. *J. Appl. Meteor.*, 28, 1303–1328, 1989.

Fuzzi, S., Facchini M.C., Orsi G., Lind J.A., Wobrock W., Kessel M., Maser, R., Jaeschke W., Enderle K.H., Arends B.G., Berner, A., Solly A., Kruisz C., Reischl G., Pahl S., Kaminski U., Winkler P., Ogren J.A., Noone K.J., Hallberg, A., Fierlinger-Oberlinninger H., Puxbaum H., Marzorati A., Hansson H.-C., Wiedensohler A., Svenningsson I.B., Martinsson B.G., Schell D., and Georgii H.W., The Po Valley Fog Experiment 1989. An Overview, *Tellus*, 44B, 448-468, 1992

Fuzzi, S., P. Laj, L. Ricci, Orsi G., Heintzenberg J., Wendisch M., Yuskiewicz B., Mertes S., Orsini D., Schwanz M., Wiedensohler A., Stratmann F., Berg O. H., Swietlicki E., Frank G., Martinsson B. G., Günther A., Dierssen J. P., Schell D., Jaeschke W., Berner A., Dusek U., Galamboš Z., Kruisz C., Mesfin N. S., Wobrock W., Arends B., and B. H. Ten, Overview of the Po Valley fog experiment 1994 (CHEMDROP), *Contr. Atmos. Phys.*, 71, 3- 19, 1998.

Guédalia, D., and T. Bergot, Numerical forecasting of radiation fog. Part II: a comparison of model simulations and several observed fog events, *Mon. Wea. Rev.*, 122, 1231-1246, 1994

Gultepe, I., G. Pearson, J. A. Milbrandt, B. Hansen, S. Platnick, P. Taylor, M. Gordon, J. P. Oakley and S. G. Cober, The fog remote sensing and modelling (FRAM) field project, *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 342-359, 2009.

Haefelin, M., L. Barthès, O. Bock, C. Boitel, S. Bony, D. Bouniol, H. Chepfer, M. Chiriaco, J. Cuesta, J. Delanoë, P. Drobinski, J-L. Dufresne, C. Flamant, M. Grall, A. Hodzic, F. Hourdin, F. Lapouge, Y. Lemaître, A. Mathieu, Y. Morille, C. Naud, V. Noël, B. O'Hirok, J. Pelon, C. Pietras, A. Protat, B. Romand, G. Scialom, and R. Vautard, SIRTA, a ground-based atmospheric observatory for cloud and aerosol research, *Annales Geophysicae*, 23, 253-275, 2005.

Haefelin, M., T. Bergot, T. Elias, R. Tardif, D. Carrer, P. Chazette, M. Colomb, P. Drobinski, E. Dupont, J-C. Dupont, L. Gomes, L. Musson-Genon, C. Pietras, A. Plana-Fattori, A. Protat, J. Rangognio, J-C. Raut, S. Rémy, D. Richard, J. Sciare, and X. Zhang, PARISFOG, shedding new light on fog physical processes, *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 2010

Kanakidou, M. , J. H. Seinfeld, S. N. Pandis, I. Barnes, F. J. Dentener, Organic aerosol and global climate modelling: a review, *Atmos. Chem. Phys.*, 5, 1053–1123, 2005

Laj, P., S. Fuzzi, M. C. Facchini, J. A. Lind, G. Orsi, M. Preiss, R. Maser, W. Jaeschke, E. Seyffer, G. Helas, K. Acker, W. Wiedensohler, D. Möller, B. G. Arends, J. J. Mols, R. N. Colvile, M. W. Gallagher, K. M. Beswick, K. J. Hargreaves, R. L. Storeton-West and M. A. Sutton, Cloud processing of soluble gases , *Atmospheric Environment*, Volume 31, Issue 16, 2589-2598 , 1997.

Mertes S., Galgon D., Schwirn K., Nowak A., Lehmann K., Massling A., Wiedensohler A.,

Wieprecht W., Evolution of particle concentration and size distribution observed upwind, inside and downwind hill cap clouds at connected flow conditions during FEBUKO, *Atmospheric Environment*, 39, 23-24, 4233-4245, 2005

Musson-Genon, L, Numerical simulation of a fog event with one-dimensional boundary layer model, *Mon. Wea. Rev.*, 115, 592-607, 1987.

Sciare, J., O. d'Argouges, R. Sarda-Estève, C. Gaimoz, C. Dolgorouki, N. Bonnaire, O. Favez, and V. Gros, Evidence a major source of water insoluble secondary organic aerosols in the region of Paris (France) during wintertime, *Atmospheric Environment*, submitted, 2010

Vautard, R., P. Yiou and G. J. van Oldenborgh, Decline of fog, mist and haze in Europe over the past 30 years, *Nature Geosc.*, 2, 115-119, doi:10.1038/ngeo414, 2009.

7.5 Projets en relation

- Le projet LEFE PARISFOG est mis en place en partenariat avec un projet DGA-RAPID (2010-2013) et un projet Ecole DGA-Ecole Polytechnique (2010-2013). **Le projet DGA-Rapid** (PreViBOSS) vise à Prévoir la Visibilité à la surface à courte échéance (quelques heures) par une approche statistique Basée sur des Observations Satellitaires et de Surface. Les deux axes majeurs et novateurs au cœur du projet sont *(i)* l'évaluation de la pertinence de la détection par satellite des événements de visibilité réduite au niveau de la surface et *(ii)* le développement d'une méthode statistique permettant de définir des niveaux de probabilité d'occurrence d'événements de visibilité réduite. En complément de ces deux problématiques scientifiques, **le projet DGA-Ecole** vise *(i)* à une meilleure compréhension des processus dynamiques et microphysiques pilotant le cycle de vie des nuages bas et brouillards et *(ii)* à mieux appréhender la turbulence en couche stable par une analyse des mécanismes mis en jeu dans la turbulence intermittente et pour la dispersion et le mélange des gaz inertes. La partie commune à ces deux projets consiste à générer une base de données expérimentale, aussi complète que possible, dédiée à l'observation des épisodes de visibilité réduite (brumes et brouillard) sur le SIRTA. Celle-ci servira le projet *DGA-Rapid* de part l'approche statistique de la méthode utilisée dans ce projet alors que des études de cas seront menées pour les études de processus du projet *DGA-Ecole*. Ainsi, les deux projets se complètent car *(i)* ils font appel à deux méthodes d'analyses différentes (études de cas, méthode statistique), *(ii)* ils utilisent des jeux de données qui leur sont propres (données de surface et satellitaires) et *(iii)* ils ont des objectifs scientifiques différents (prévisions et processus nuageux). Le projet DGA-Ecole permet le financement d'un post-doc (N. Boyouk) sur trois ans alors que le projet DGA-Rapid finance l'achat d'instruments pour les campagnes de mesures intensives ainsi qu'un an de CDD partagé entre l'IPSL et le CNRM pour l'analyse des mesures.
- Ce projet LEFE bénéficie également du soutien du SIRTA dans le déploiement des instruments et l'accès aux données via les portails web et ftp. Le SIRTA est labellisée « supersite » français pour le programme ACTRIS. Elle bénéficie à ce titre d'un soutien financier significatif pour les accès trans-nationaux (TNA) d'équipes de

recherche étrangères (EU) venant travailler sur cette station. Si ce projet LEFE ParisFog est financé, des contacts seront pris avec nos partenaires EU (réseau ACTRIS, ...) afin de promouvoir ce programme et agréger à l'actuel consortium de nouvelles équipes étrangères impliquées dans la thématique « nuage » (les participants à la campagne HCCT par exemple).

- Aucun soutien (fonctionnement/équipements/missions) n'est demandé pour ici pour l'activité Aérosol-Chimie. Les observations Aérosols in-situ bénéficient du soutien d'un programme DIM R2DS 2010 (PI=J. Sciare) pour l'instrumentation du site du SIRTa (instruments ACSM et SP2). Le fonctionnement de ces mesures est pris en charge par le programme EU-FP7-ACTRIS. Pas de mission à prévoir en raison de la proximité SIRTa-LSCE.

7.6 Instrumentation installée au SIRTa

Vapeur d'eau

Instrument	Réseau	Mesure ⁶	Fonctionnement ⁷	Laboratoire	Resp. scientifique
Hygromètre		Surface	Pérenne	LMD	C. Pietras
Radiomètres micro-onde <i>Hatpro</i>	MWRNET	Intégré, profil	Pérenne	LMD	JC. Dupont
Radiomètres micro-onde <i>Drakkar</i>		Intégré	Pérenne	LATMOS	C. Legac
GPS	RGP IGN	Intégré	Pérenne	LMD	JC. Dupont
Photomètre solaire	PHOTON	Intégré	Pérenne	LOA	P. Goloub
Radiosondages	MétéoFrance	Profil	Pérenne (2 fois par jour à Trappes)	DSO/DOA	F. Besson

Eau liquide / solide et précipitations

Instrument	Réseau	Mesure	Fonctionnement	Laboratoire	Resp. scientifique
EAU LIQUIDE (microphysique – rayon effectif, distribution en taille, concentration, contenu intégré)					
Hygromètre		Sol	Pérenne	LMD	JC. Dupont
Fog Monitor (FM-100)		Surface	Campagne ParisFog	CNRM	F. Burnet
PVM Gerber		Surface	Campagne ParisFog	CNRM	F. Burnet
Palas Welas		Surface	Campagne ParisFog	CNRM	F. Burnet
Radiomètres micro-onde <i>Hatpro</i>	MWRNET	Intégré, profil	Pérenne	LMD	JC. Dupont
Radiomètres micro-onde <i>Drakkar</i>		Intégré	Pérenne	LATMOS	C. Legac
EAU LIQUIDE (macrophysique – altitude la base, sommet, couverture nuageuse, épaisseur optique)					
Lidar rétro-diffusion <i>LNA, ALS450</i>	CLOUDNET	Profil	Pérenne	LMD	C. Pietras
Radar millimétrique (95 GHz) <i>BASTA, RASTA</i>	CLOUDNET	Profil	Pérenne	LATMOS	J. Delanöe A. Protat
Imageur visible		Intégré	Pérenne	LMD	JC. Dupont

⁶ On considère 4 types de mesures : sol (dans le sol entre -5 et -50cm), de surface (entre 2 et 30m), par profil (entre 40 et plusieurs km) et intégré (intégrale sur toute l'atmosphère).

⁷ On distingue 2 types de fonctionnement : pérenne (mode automatique ou manuel mais sur plusieurs années et campagne de mesures (quelques semaines à quelques mois))

<i>TSI</i>					
CRISTAUX DE GLACE (forme, taille)					
Lidar rétro-diffusion <i>LNA, ALS450</i>	CLOUDNET	Profil	Pérenne	LMD	C. Pietras
Radiomètre infrarouge <i>CLIMAT</i>		Intégré	Pérenne	LOA	G. Brogniez
PRECIPITATIONS					
Hotplate Yes TPS3100		Surface	Pérenne	LMD	J-C. Dupont
Spectro-pluviomètre		Surface	Pérenne	LATMOS	N. Powell
Pluviomètre 3030-3029		Surface	Pérenne	LMD/CEREA	C. Pietras E. Dupont
Picarro		Surface	Campagne Picarro	LSCE	F. Vimeux

Aérosols

Instrument	Réseau	Mesure	Fonctionnement	Laboratoire	Resp. scientifique
Microphysique - distribution en taille, rayon effectif, concentration, masse, épaisseur optique					
SMPS		Surface	Campagne ParisFog	CNRM	L. Gomes
CPC		Surface	Campagne ParisFog	CNRM	L. Gomes
CCNC-100		Surface	Campagne ParisFog	CNRM	G. Roberts
Aethalomètre		Surface	Campagne ParisFog	LSCE	J. Sciare
TEOM-FMDS		Surface	Campagne ParisFog	LSCE	J. Sciare
Néphélomètres		Surface	Campagne ParisFog	LSCE	J. Sciare
Grimm-OPC		Surface	Campagne ParisFog	LSCE	J. Sciare
Photomètre solaire	PHOTON	Intégré	Pérenne	LOA	P. Goloub
Macrophysique – altitude de la base, sommet, épaisseur géométrique					
Lidar rétro-diffusion <i>LNA, ALS450</i>	EARLINET	Profil	Pérenne	LMD	C. Pietras

Rayonnement

Instrument	Réseau	Mesure	Fonctionnement	Laboratoire	Resp. scientifique
Radiomètre (UV, Vis, IR) <i>Descendant, ciel clair</i>	BSRN	Surface	Pérenne	LMD	M. Haeffelin
Radiomètre (Vis, IR) <i>Descendant/montant</i>		Surface	Pérenne	CEREA	E. Dupont

Flux de chaleur

Instrument	Réseau	Mesure	Fonctionnement	Laboratoire	Resp. scientifique
Flux de chaleur sensible		Surface	Pérenne	LMD CEREA	JC. Dupont E. Dupont
Flux de chaleur latente		Surface	Pérenne	LMD IPGP	JC. Dupont D. Richard
Flux de quantité de mouvement		Surface	Pérenne	LMD CEREA	JC. Dupont E. Dupont

Thermo-dynamique

Instrument	Réseau	Mesure	Fonctionnement	Laboratoire	Resp. scientifique
THERMIQUE					
Thermomètre		Surface	Pérenne	LMD CEREA	JC. Dupont E. Dupont

				IPGP	D. Richard
Radiomètres micro-onde <i>Hatpro</i>	MWRNET	Profil	Pérenne	LMD	JC. Dupont
Radiosondages	MétéoFrance	Profil	Pérenne (2 fois par jour à Trappes)	DSO/DOA	F. Besson

DYNAMIQUE (vitesse et direction du vent, énergie cinétique turbulente)

Anémomètre-girouette		Surface	Pérenne	LMD IPGP	JC. Dupont D. Richard
Anémomètre sonique		Surface	Pérenne	LMD CEREA IPGP	JC. Dupont E. Dupont D. Richard
Sodar PA2		Profil	Pérenne	CEREA	E. Dupont
Radar UHF		Profil	Pérenne	CEREA	E. Dupont
Lidar Doppler (WLS7)		Profil	Pérenne	CEREA	E. Dupont
Lidar Doppler (WLS70)		Profil	Pérenne	CEREA	E. Dupont
Radiosondages	MétéoFrance	Profil	Pérenne (2 fois par jour à Trappes)	DSO/DOA	F. Besson