AO INSU 2011
Section « Océan-Atmosphère »

Dossier scientifique

Référence du projet : **AO2011- 656956**

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

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

Intérêt scientifique et état de l'art

Introduction

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 particulaires 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.

Objectif scientifiques

La complexité, la diversité et les échelles fines des processus en jeu (dynamiques, radiatifs et microphysiques) rendent incertains par les modèles classiques de prévision numérique météorologique, non seulement le diagnostic mais aussi la prévision des épisodes de brouillard. Le travail proposé dans le cadre de cette demande LEFE visera donc :

(i) à mettre en place, à coordonner et à valoriser un ensemble d'observations permettant de documenter de manière simultanée l'ensemble des processus intervenant dans le cycle de vie du brouillard. Ceci dans le cadre des campagnes de mesures ParisFog au cours des hivers 2010-2013 sur le site du SIRTA (http://sirta.ipsl.polytechnique.fr/) grâce à la mutualisation des moyens d'observations des partenaires du projet (IPSL, CNRM, CEREA)

(ii) à améliorer notre compréhension des processus dynamiques, radiatifs, chimiques et microphysiques régissant le cycle de vie des brouillards. Des études fines de seuils et de sensibilités seront menées sur les bases de données issues du SIRTA et une étude climatologique du brouillard en région parisienne sera effectuée.

(iii) à intercomparer des simulations de cas bien documentés permettant non seulement de mieux comprendre les processus physiques mais également de mettre en évidence les faiblesses des modèles 1D utilisés. Une étude préalable sera conduite pour évaluer et identifier les possibles options d'amélioration.

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 évènements 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 tong 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 (Méso-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±10% pour le brouillard. Enfin, les particules très fines (Ø<0.1µm) et fines (Ø<1µm) 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 **Boyouk 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 ~0.2m/s permet l'apparition du brouillard alors qu'une vitesse de précipitation plus forte de ~0.8m/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 nouvelle campagne de 2010-2011 met 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 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), péroxyle (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.

Plan de recherche et calendrier de réalisations

1 Réalisation des observations 4
1.1 Mesures routinières au SIRTA 4
1.2 Campagnes de mesures au SIRTA 6
1.3 Mesures à l'échelle locale et régionale 7
2 Données et interprétation des mesures 7
2.1 Base de données et accès 7
2.2 Algorithmie – Produits géophysiques 8
2.3 Synergie instrumentale – Validation 8
3 Etude de seuil et de sensibilité par les observations 9
3.1 Climatologie des brouillards en région parisienne 9
3.2 Impacts des propriétés microphysiques des aérosols sur le spectre granulométrique du brouillard .. 10
3.3 Propriétés optiques des aérosols et gouttelettes 10
3.4 Impact de la dynamique nuageuse et de l'air clair sur le cycle de vie des brouillards 11
3.5 Caractérisation des propriétés microphysiques et dynamiques nuageuses par radar 12
3.6 Validation d'une nouvelle paramétrisation de la sursaturation 13
3.7 Caractérisation du processus chimiques liés aux interactions aérosols- brouillard 13
4 Modélisation 1D du brouillard 14
4.1 Etude systématique de toute la campagne ParisFog par application d'un modèle 1D 14
4.2 Modélisation 1D de quelques cas d'étude avec Meso-NH et Code_Saturne 14
5 Synthèse des objectifs scientifiques, calendrier et perspectives 15

1 Réalisation des observations

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[1] 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.

1.1 Mesures routinières au SIRTA

Coordinateur : C. Pietras

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 1 indique l'ensemble du dispositif instrumental déployé de manière pérenne sur le SIRTA ainsi que les instruments spécifiquement installé pour les campagnes de mesures (en grisé).

Type	***Thématique***	***Instrument***	***Mesure***	***Laboratoire et zone***
Lidars	Distribution verticale des couches atmosphériques :	Lidar rétrodiffusion LNA	Profil vertical de l'extinction des aérosols et nuages , 2 à 15km	LMD, Z2
		Lidar rétrodiffusion ALS450	Profil vertical de l'extinction des aérosols et nuages, 0.5 à 8km	LMD, Z1

[1] SIRTA : Site Instrumental de Recherche par Télédétection Atmosphérique

	aérosols, brume et nuages			
	Dynamique atmosphérique	Lidar vent WLS70	Champ de vent 3D 40 à 200m, resol. verti. 20m	CEREA, Z1
Radars	Dynamique atmosphérique	Radar millimétrique Doppler 95 GHz BASTA	Vitesse verticale, TKE et réflectivité 0.2 à 15km, resol. verti. 60m	LATMOS, Z1
	Dynamique atmosphérique	Radar UHF	Champ de vent 3D 80 à 4000m, resol. verti. 75m	CEREA, Z1
Sodars	Dynamique atmosphérique	Sodar Remtech PA-2	Champ de vent 3D 50 à 800m, resol. verti. 50m	CEREA, Z1
Radiomètres	Eau atmosphérique	Radiomètre micro-onde DRAKKAR	Contenu intégré en vapeur d'eau et eau liquide	LATMOS, Z1
	Eau atmosphérique Profils T et HR	Radiomètre micro-onde HATPRO	Contenu intégré en vapeur d'eau et eau liquide, profil d'humidité et de température	LMD, Z1
	Vapeur d'eau	GPS (Réseau RGP IGN)	Contenu intégré en vapeur d'eau	LMD/IGN, Z2
	Aérosols	Photomètre solaire (Réseau AERONET)	Propriétés optiques des aérosols intégrées sur la colonne atmosphérique	LOA, Z2
	Bilan radiatif	Pyranomètre / Pyrgéomètre (Réseau BSRN)	Rayonnements solaire et infrarouge à la surface	LMD/CEREA, Z1 et Z2
	Microphysique nuage	Radiomètre infrarouge RADIR	Température de brillance des nuages	LOA, Z2
Sondeurs in situ	Conditions météorologiques de surface	Station météo	Température, pression, humidité, vent, précipitation 2, 10 et 30m	LMD CEREA IPGP, Z1, Z2, Z4
		Sondes dans le sol	Température, humidité -5, -10, -20, -50cm	LMD, Z1
	Profils verticaux de variables météorologiques	Radiosonde RS90, 00:00 et 12:00 TU	Température, pression, humidité, vent entre 0 et 20 km	CBRM, Trappes, 15 km du SIRTA
		Radiosonde RS92, 2 fois par épisode		LMD/CNRM, Z1
	Précipitations	Sondeur de bruine et précipitation fine YES HotPlate	Taux de précipitation 0-50 mm/hr	Achat, Z1
		Disdromètre	Distribution en taille des précipitations	LATMOS, Z1
	Dynamique atmosphérique	Anémomètres soniques	Flux turbulents (sensibles, latent) 10 et 30m, Z1 et Z4	LMD CEREA IPGP, Z1, Z4
	Extinction atmosphérique	Visibilimètre DF20, DF20+	Visibilité atmosphérique horizontale	LMD/CEREA, Z1, Z3
	Distribution en taille des aérosols et gouttelettes	TSI SMPS	Aérosols de diamètre de 0.01 à 0.50 µm	CNRM, Z1
		APSD (Aerosol Particle Spectrometer with Depolarization)	Aérosols de diamètre de 0.3 à 20 µm, indice de réfraction et asphéricité	CCA, Z1
		Grimm OPC		CNRM/LSCE, Z1
		DMT CCNC-100	Fraction de noyaux de condensation parmi aérosols	CNRM, Z1

		PALAS WELAS-2000	Particules de diamètre compris entre 0.39 et 42 µm	CNRM, Z1
		Fog Monitor DMT FM100	Particules de diamètre compris entre 2 et 50 µm	CNRM, Z1
	Eau liquide dans le brouillard	Gerber-PVM-100	Contenu en eau liquide	CNRM, Z1
	Diffusion et absorption des aérosols	Aéthalomètre 7 longueurs d'onde	Coefficient d'absorption des aérosols interstitiels, et dépendance spectrale	LSCE, Z1
		PM2.5 en TEOM-FDMS		LSCE, Z1

Tableau 1 : dispositif instrumental déployé au SIRTA, mesures associées et laboratoire impliqués. En grisé apparaissent les instruments spécifiques aux campagnes ParisFog 2010-2013.

1.2 Campagnes de mesures au SIRTA

Coordinateurs : L. Gomes / J. Sciare / C. Pietras

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 synchrone 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). A l'image de cette campagne, de nouvelles périodes d'observations intensives au cours des hivers 2010-2011 et 2011-2012 seront mises en place grâce au projet PreViBOSS[2] qui financera une grande partie des équipements (hors chimie). Une partie des équipements de chimie déployés sur le SIRTA sont propriétés du LSCE (TEOM-FDMS, OPC, Aethalometre) ; 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.

La caractérisation de la microphysique et de la chimie des aérosols/gouttelettes pendant les différentes phases du cycle de vie du brouillard sera un enjeu majeur pour ces campagnes hivernales. Le Tableau 1 indique l'ensemble des instruments déployés pendant les futures campagnes de mesures ParisFog au-cours des hivers 2010-2013. Le fonctionnement de chaque instrument dédié spécifiquement à ces campagnes de mesures sera optimal et les opérations de maintenance/étalonnage seront minimiser afin d'assurer une couverture temporelle des processus la plus complète possible.

[2] 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.

1.3 Mesures à l'échelle locale et régionale

Coordinateurs : M. Haeffelin

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 PM2.5, PM10, NO_x, O_3 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 MSG[3] 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.

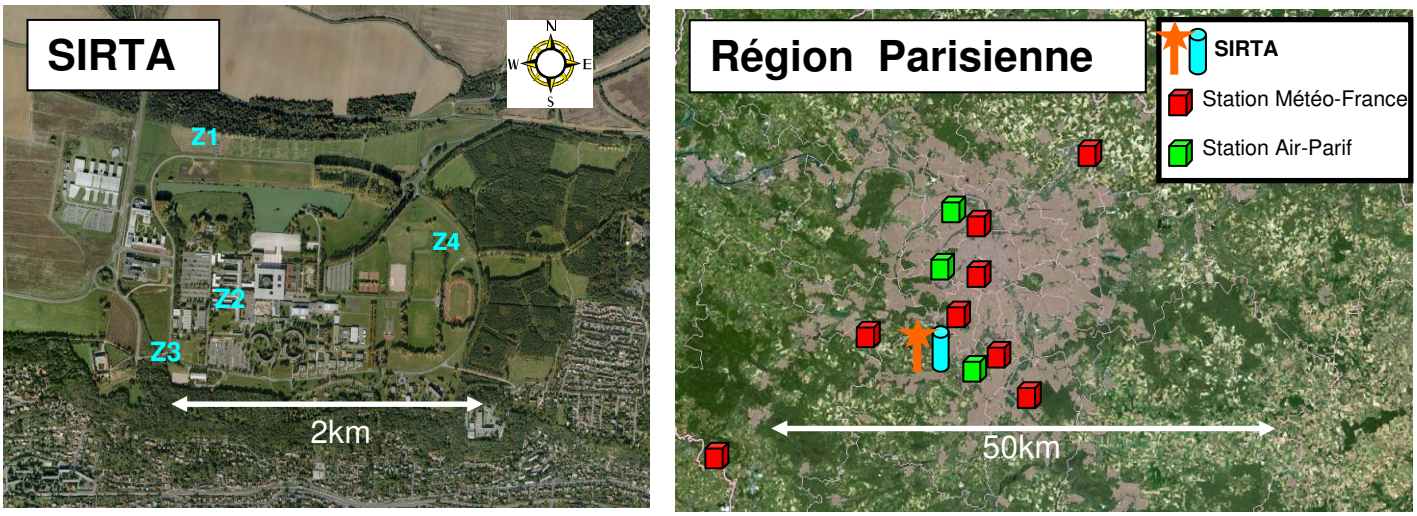

Figure 1. Différentes zones de mesures sur le SIRTA et localisation des sites Météo-France et stations Air-Parif dans un rayon d'une cinquantaine de km autour du SIRTA.

2 <u>Données et interprétation des mesures</u>

2.1 Base de données et accès

Coordinateur : C. Boitel

[3] MSG : Meteosat Second Generation

Les fichiers de données issus des différents instruments sont archivés en quasi temps-réel dans la majorité des cas et dans les 24 heures qui suivent leur acquisition au plus tard. Chaque système d'acquisition a à sa charge d'envoyer par réseau Ethernet, ses données sur le serveur de réception du SIRTA dont la tâche principale à ce niveau est d'appliquer aux fichiers une nomenclature permettant un archivage ordonné.

Un site web, http://parisfog.sirta.fr , dédié à ParisFog a été mis en place. En dehors de ses fonctions de promotion des objectifs scientifiques de la campagne ou de description des aspects techniques mis en œuvre pour réaliser les mesures, il met à disposition des participants des outils de sélection de données et de visualisation au travers d'aperçus. Ces aperçus permettent une analyse rapide des données soit dans le cadre d'une étude scientifique soit dans un but de diagnostic, pour vérifier à distance le bon fonctionnement des instruments de mesures. La création en temps réel de ces visualisations est une contrainte forte que le système de traitement doit être capable d'assurer au même titre que la gestion des flux de données.

Les données dites privées sont des données brutes issues des instruments, non traitées, le plus souvent enregistrées dans un format propriétaire et ne sont pas exploitables directement. C'est pourquoi seuls les responsables de ces instruments peuvent les récupérer au travers de comptes ftp individuels. Les données dites publiques sont pour l'essentiel des données issues de traitements, des visualisations temps réel ou différés. Elles proviennent soit des instruments permanents du SIRTA et sont disponibles sur le compte ftp sirta_access (sans mot de passe), soit d'instruments mis en place pour la durée de la campagne qui sont alors accessibles à tous les participants de la campagne sur le compte ftp parisfog_access protégé par mot de passe. L'ensemble de ces comptes sont sur le serveur ftp.sirta.ipsl.polytechnique.fr. Toute publication devra faire état de la provenance des données et des laboratoires participants à la campagne de mesures. Pour chaque étude, la personne responsable de l'étude veillera à contacter les scientifiques responsables des données utilisées pour cette étude afin de les informer de l'utilisation de leurs données et de leur proposer une participation en tant que co-auteur.

2.2 Algorithmie – Produits géophysiques

Coordinateur : N. Boyouk / JC. Dupont

La mise en place d'instruments supplémentaires sur le SIRTA pendant les campagnes de mesures intensives produit un flux de données supplémentaires qu'il faut analyser et documenter. A l'image du travail effectué par le SIRTA, ces nouveaux jeux de données doivent être cohérents et homogènes conformes au cahier des charges du site. **Cette activité nécessite le développement d'algorithmes de traitement pour convertir en produits géophysiques et mettre au format les données brutes de sortie des instruments.** Cette conversion requière une collaboration étroite entre les équipes installatrices des instruments, les informaticiens et les scientifiques utilisant ces nouveaux flux de données. Cette nouvelle chaine de traitement fournit en sortie des variables exploitables par une communauté scientifique large complétées par des contrôles-qualité robustes et documentés. Ces nouveaux algorithmes de traitement seront développés et mis en place avec l'arrivée des instruments spécifiques aux campagnes de mesures afin de fournir les données d'entrée clés nécessaires aux différentes études de sensibilités qui suivent.

2.3 Synergie instrumentale – Validation

Coordinateurs : J.-C. Dupont / F. Burnet

Au niveau microphysique, le dispositif instrumental a été considérablement étoffé avec l'ajout d'un Fog Monitor permettant de caractériser le spectre de taille des gouttelettes d'eau les plus grosses (diamètre compris entre 2 et 50 µm) et d'un PVM-100 permettant une mesure directe du contenu en eau liquide (moment d'ordre 3 du spectre) et de la surface intégrée des gouttelettes (moment d'ordre 2). Il faudra au préalable valider ces mesures en comparant les propriétés déduites de l'intégration des spectres granulométriques avec les mesures intégrées directes (fermeture).
Le SIRTA met donc en œuvre un dispositif instrumental complet et cohérent pour mesurer un ensemble de paramètres atmosphériques documentant les processus thermodynamiques, radiatifs et microphysiques régissant le cycle de vie des brouillards et nuages bas. Les différentes campagnes ParisFog vont renforcer ce dispositif pérenne essentiellement sur l'aspect microphysique (aérosols, gouttelettes d'eau). Tout ce dispositif est complémentaire (différentes longueurs d'onde, altitudes de mesures, méthodes d'estimation) avec cependant un certain nombre de mesures redondante de par les principes de mesures ou encore les algorithmes de calculs. Ainsi, on peut par exemple citer les travaux actuels effectués sur le contenu intégré en vapeur (synergie entre radiosondage, radiomètres micro-onde, photomètre solaire et GPS) ou encore sur la distribution en taille des aérosols (synergie entre SMPS, CPC, PALAS et FM-100). La synchronisation temporelle et spatiale de cet ensemble d'instruments sur le SIRTA permet de comparer et donc de calculer des scores statistiques de pertinence des mesures entre elles. Ces intercomparaisons sont *(1)* un moyen de **valider les algorithmes de traitement** et de déceler les **dérives possibles des instruments** (étalonnage régulier à effectuer, changement des capteurs sensibles, etc.) et *(2)* indispensables pour déterminer **la complémentarité des mesures** (notamment pour la distribution spectrale en taille/masse des aérosols et gouttelettes). Les limitations instrumentales liées à chaque dispositif sont ainsi mises en évidence et permettent d'analyser plus rigoureusement les données de sortie. Cette étape de validation est essentielle afin de fournir des mesures aussi fiables que possible. Une méthodologie sera développée pour effectuer des comparaisons systématiques entre capteurs afin d'établir des scores de confiance accru pour certaines variables clés.

3 Etude de seuil et de sensibilité par les observations

3.1 Climatologie des brouillards en région parisienne

Coordinateur : M. Haeffelin

Nous disposons actuellement des bases de données SIRTA et Météo-France donnant accès aux mesures de visibilité depuis respectivement 2006 et 2000. Malgré la forte variabilité interannuelle et la rareté de ce phénomène, nous devrions être en mesure d'établir une climatologie du brouillard en région parisienne. Les données Météo-France moyennées sur une base horaire pour une dizaine de stations en région parisienne serviront le projet dans un rayon d'une centaine de kilomètre autour du SIRTA. On utilisera alors les mesures thermodynamiques de surface (température, humidité, vent, précipitation, pression) ainsi que les mesures de visibilité permettant de diagnostiquer les épisodes de brouillard et de brumes. On complètera le dispositif par des mesures aérosols (PM2.5, PM10) issues du réseau AirParif. A travers cette étude, on pourra se demander *(i)* quelle est l'hétérogénéité **spatiale et temporelle du brouillard** à l'intérieur d'un maille de 100km*100km autour du SIRTA, *(ii)* quelles sont les **tendances saisonnières et du cycle diurne des épisodes de visibilité réduite** pour chaque site et *(iii)* quelle est la **variabilité temporelle des propriétés thermodynamiques/aérosols** pour les différentes phases du cycle de vie des brumes et

brouillards.

3.2 Impacts des propriétés microphysiques des aérosols sur le spectre granulométrique du brouillard

Coordinateurs : N. Boyouk / F. Burnet

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 de l'aérosol va jouer sur la fraction activable du spectre d'aérosol. 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 influencer le spectre granulométrique du brouillard, ce qui influencera le cycle de vie du brouillard, en particulier son développement vertical et ses propriétés optiques. Grâce à l'utilisation d'une chambre CCN capable de contrôler de faibles sursaturations, on pourra ainsi se demander **quelle part des petites particules (de diamètre inférieure à 0.5µm) s'active dans la phase de formation d'un brouillard de type radiatif.**
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. La nature des aérosols et l'influence du transport régional de pollution sur le brouillard seront analysées. On étudiera en particulier **l'impact du type d'aérosol sur la durée de vie et sur l'épaisseur physique de la couche de brouillard**.

3.3 Propriétés optiques des aérosols et gouttelettes

Coordinateur : T. Elias

La formation, le développement, et la dissipation du brouillard dépendent du transfert radiatif entre la surface et les couches atmosphériques au-dessus de la brume et du brouillard. Ce sont les propriétés optiques des particules (aérosols et gouttelettes) qui régissent le transfert radiatif aux courtes longueurs d'onde, c'est-à-dire les coefficients de diffusion et d'absorption ainsi que la dépendance angulaire de la diffusion, et leur dépendance spectrale et leur profil vertical. Dans le cas de la documentation du cycle de vie de brouillard, les propriétés optiques des particules nécessaires pour reproduire le transfert radiatif sont calculées à partir des mesures de la granulométrie des particules.
Une étude de fermeture des propriétés microphysiques et optiques des particules est essentielle pour valider le modèle microphysique des aérosols déduit des mesures. En effet, la taille 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 0.1µm aux gouttelettes de diamètre supérieur à 20µm, 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'aethalomètre le coefficient d'absorption, à plusieurs longueurs d'onde. Par souci de cohérence instrumentale, le modèle microphysique des aérosols construit à partir de la combinaison des mesures de granulométrie a besoin d'être validé. Un cas d'étude de ParisFog2006 [Elias et al., 2009] montre que la contribution des

aérosols du mode d'accumulation à l'extinction du rayonnement visible est important en ciel clair et dans la brume mais aussi dans le brouillard, et montre aussi que la granulométrie des gouttelettes de brouillard de diamètre supérieur à 20µm est mal connu. Le dispositif expérimental des futures campagnes ParisFog est alors complété par le FM100 dédié à sonder toutes les gouttelettes de diamètre supérieur à 2µm, et l'étude de fermeture sera réalisée pour différentes conditions atmosphériques et différents brouillards.
Les propriétés optiques (et en particulier l'absorption) dépendent des granulométries mais aussi de la nature des particules qui affecte l'indice de réfraction. Les mesures de la nature chimique des aérosols offrent alors une contrainte sur l'indice de réfraction des aérosols. En outre, la mesure des propriétés microphysique des particules peut améliorer l'estimation du profil vertical des particules par le lidar et par le radar. En particulier, le signal lidar dépend non seulement du nombre de particules mais aussi de la propriété de rétrodiffusion qui peut être estimée à partir du modèle microphysique des aérosols. **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 et pour améliorer l'estimation du profil vertical des particules avant, pendant et après le brouillard.
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. Les capteurs radiatifs installés sur les mâts de 30 m offrent une mesure directe du bilan radiatif de la couche de surface du 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. Nous étudierons donc également les signatures lors des phases de formation et de dissipation du brouillard. On s'intéressera particulièrement aux **variabilités temporelles des signaux 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).

3.4 Impact de la dynamique nuageuse et de l'air clair sur le cycle de vie des brouillards

Coordinateur : J.-C. Dupont

Les points importants du cycle de vie du brouillard sur les aspects couplés rayonnement – dynamique 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 phénomène d'entrainement au sommet de la couche de brouillard** [Zhou et al., 2007]. Les mesures de turbulence in-situ effectuées depuis la surface (0-30m) sont actuellement complétées sur le SIRTA par des moyens de télédétection active, radars (LATMOS, CEREA) et 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].
Dans les processus d'échanges d'énergie et de matière dans les basses couches de l'atmosphère, la détermination des flux de chaleur sensible et latente n'est pas aisée. La méthode de référence constituée par l'Eddy corrélation (type CSAT3+KH20+FW05, Campbell Scientifi Ltd.), permet une mesure directe des flux sans hypothèse sur les relations flux/gradients. Mais cette méthode reste difficile d'application pour des mesures sur le long

terme (maintenance), ne fournit pas de données fiables la nuit, ni en période de forte hygrométrie (saturation du KH20). Pour cela, il est important d'évaluer encore aujourd'hui les possibilités des systèmes de mesure à partir de valeurs moyennes. La mise en place d'un scintillomètre sur le SIRTA permettra de quantifier la précision de ces mesures de flux turbulents. Le CEREA a pour objectif d'évaluer finement cet instrument capable de restituer les flux turbulents moyens sur une distance de quelques dizaines de mètres. De plus, l'utilisation de l'anémométrie à coupelles avec des instruments bon marché et robustes offre des possibilités de suivi spatial par l'implantation de nombreux systèmes.
Le lidar vent installé parle CEREA pendant les campagnes de mesures ParisFog est un atout indéniable dans la précision et la résolution spatio-temporelle des champs de vent 3D avec un pas verticale de 20m entre 40 et 200m. Les champs de vent sont ensuite documentés par les mesures sodar jusqu'à 800m et jusqu'à 2500m avec les mesures radar UHF. Des **intercomparaisons 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.
Les **flux turbulents de surface et d'entrainement au sommet de la couche de brouillard** seront ainsi documentés et l'impact de chacun de ces processus dynamiques quantifiés. Les vitesses Doppler en air nuageux seront estimées par le radar BASTA et le processus d'entrainement en atmosphère claire est mesuré avec la synergie lidar-sodar-radar UHF. La méthodologie appliquée dans [Dupont et al 2010b] sera ainsi généralisée à d'autres cas d'étude en distinguant les brouillards radiatifs et par affaissement de stratus. En effet, les mécanismes de formation, de persistance et de dissipation pour ces deux grand types de brouillard s'avèrent différents [Gultepe et al., 2007].

3.5 Caractérisation des propriétés microphysiques et dynamiques nuageuses par radar

Coordinateurs : A. Protat / J. Delanoë

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 en fin d'année 2010 et permettre de détecter une grande partie des brouillards au SIRTA et ainsi **contribuer à leur caractérisation microphysique et radiative** (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. 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. Des climatologies de ces propriétés par type de brouillard, exploitant l'ensemble des mesures de la campagne, seront ensuite

développées pour servir au développement et à l'évaluation des modèles de prévision du brouillard.

3.6 Validation d'une nouvelle paramétrisation de la sursaturation

Coordinateurs : F. Burnet / L. Gomes

D'autre part, les nouvelles mesures permettront de documenter finement l'évolution des propriétés microphysiques au cours du cycle de vie du brouillard. En particulier **on étudiera 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**. En effet des études récentes ont montré que la paramétrisation actuelle de ce processus dans les modèles numériques, qui est calquée sur le processus d'activation tel qu'il se produit dans les nuages convectifs n'est pas adapté au brouillard. Une nouvelle paramétrisation utilisant un pseudo pronostique de la sursaturation a été développée au CNRM permettant de s'affranchir de l'ajustement à saturation. Elle doit maintenant être validée à partir d'observations en comparant notamment le nombre total de particules activées en fonctions des propriétés de l'aérosol initial. On s'appuiera donc sur les différentes mesures permettant de reconstruire la distribution dimensionnelle des particules, de quelques dizaines de nanomètres pour les particules d'aérosols sèches à quelques dizaines de microns pour les gouttes d'eau, réalisées par les différents instruments (SMPS, OPC (Grimm, Palas, Fog Monitor) et CCNC).

3.7 Caractérisation du processus chimiques liés aux interactions aérosols- brouillard

Coordinateurs : J. Sciare / L. Gomes

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.

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 ($(NH_4)NO_3$, $(NH_4)_2SO_4$) 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 la cinétique de captage de ces différentes fractions

organiques aux gouttelettes.
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 captées par les gouttelettes.
Suivant la disponibilité des instruments du LSCE, nous pourrons 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.
Ces bases de données pourront être comparées avec celles obtenues sur la campagne HCCT 2010. Une thèse cofinancée CEA-INERIS sera proposée sur 2011 afin d'exploiter scientifiquement les données de chimie obtenues sur le SIRTA.
A noter qu'en dehors des campagnes estivales du programme CHARMEX (été 2011, 2012), le LSCE n'est impliqué dans aucune campagne expérimentale sur la période 2010-2014. De fait l'équipe Aérosol du LSCE (et ses équipements de chimie rapide) seront disponibles pour ce programme qui a lieu au SIRTA (c'est-à-dire à proximité du LSCE).

4 Modélisation 1D du brouillard

4.1 Etude systématique de toute la campagne ParisFog par application d'un modèle 1D

Coordinateurs : JC. Dupont / N. Boyouk

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. L'analyse de paramétrisations issues du modèle 1D Cobel-Isba, comme par exemple celle de la turbulence en couche stable ou encore celle de la microphysique, seront menées afin de calculer tout d'abord des scores statistiques de convergence entre observations et modélisation. Une optimisation des ces paramétrisations pourra ensuite être conduite pour améliorer le diagnostique brouillard de sortie.

4.2 Modélisation 1D de quelques cas d'étude avec Meso-NH et Code_Saturne

Coordinateurs : T. Bergot / L. Musson-Genon

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 essayera 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 vertical 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)

5 Synthèse des objectifs scientifiques, calendrier et perspectives

Section	Questions scientifiques	Responsable scientifique	Calendrier		
			2011	2012	2013
Réalisation des observations					
1.2	Quel dispositif instrumental est nécessaire pour documenter finement tout le spectre, de l'aérosol fin aux gouttelettes ?	L. Gomes	X		
1.2	Quel dispositif instrumental est nécessaire obtenir un champ de vent 3D complet entre la surface et le sommet de la couche limite ?	J.-C. Dupont	X		
Données et interprétation des mesures					
2.2	Quelle est la cohérence spatiale des mesures de flux turbulents de surface sur le SIRTA ?	E. Gilbert	X		
2.3	Quelle est la méthode à appliquer pour restituer de manière cohérente et fiable les profils de vent dans le brouillard et l'air clair ?	J.-C. Dupont		X	
2.3	Caractérisation physico-chimique des aérosols avant/pendant/après un épisode de brouillard	J. Sciare		X	X
2.3	Dans quelles mesures sommes-nous capables de réaliser expérimentalement la fermeture en extinction du rayonnement visible ?	T. Elias	X		
Etude de seuil et de sensibilité par les observations					
3.1	Quelle est l'hétérogénéité du brouillard en région parisienne ? Tendance décennale ?	M. Haeffelin		X	
3.2	Quel est l'impact du type d'aérosol sur leur activation et donc sur la formation du brouillard ?	L. Gomes			X
3.2	Quelle est l'influence du transport de pollution régionale sur la durée de vie et sur l'épaisseur du brouillard ?	N. Boyouk		X	
3.4	Quel est l'impact des flux turbulents de surface et de	J.-C.		X	

	l'entrainement sommital sur le cycle de vie du brouillard ?	Dupont			
3.5	Quelles sont les propriétés statistiques microphysiques, dynamiques et radiatives des différents types de brouillard vus par mesures in-situ et radar ?	A. Protat			X
3.6	Quelle paramétrisation de la sursaturation est adaptée au cas de brouillard ?	F. Burnet	X		
3.7	Impacts du brouillard sur les propriétés des aérosols carbonés	J. Sciare		X	X
Modélisation 1D du brouillard					
4.1	Quels sont les prédicteurs thermodynamiques et microphysiques clés nécessaires à la modélisation 1D du brouillard ?	N. Boyouk	X		
4.1	Quel est le score de diagnostique brouillard d'un modèle 1D sur le SIRTA et en région parisienne ? Limitations ?	JC. Dupont		X	
4.2	Etude de processus sur quelques cas à l'aide des modèles Méso-NH et Code_Saturne.	T. Bergot / L. Musson-Genon		X	X
4.2	Quel score statistique optimal peut-on espérer avec un modèle de diagnostique du brouillard ?	T. Elias			X

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 chaine 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 ce 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.

Ressources nécessaires à la réalisation du projet

1. Missions / Réunion de travail :

Soutien aux équipes impliquées dans le projet ParisFog, à la fois pour les publications, les

missions pour les collaborations nationales dans le cadre de ParisFog et la participation à des conférences internationales.

   a. *Organisation de deux réunions annuelles* de la communauté ParisFog. La première en Octobre au SIRTA 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. Cela représente 10 missions nationales de deux jours soit environ 10*550€ = 5 500€.
   b. *Participation à des conférences internationales*, 6 missions de 2 personnes soit environ 6*2500€ = 15000€

2. Fonctionnement : Biens consommables rattachés au SIRTA, soit 10% du budget annuel facturé au projet = 10000€.
3. Equipement : Achat de 30 radiosondes sur le SIRTA afin de documenter finement le profil vertical thermodynamique entre la surface et 20km d'altitude, soit un total de 30*500=15000€

Montant total demandé : **45 500€**

En pratique, le budget sera versé à l'IPSL qui se chargera d'organiser les réunions et de redistribuer les crédits correspondants aux ETP sur les autres laboratoires.

Liste des contributeurs et ETP:

Nom	Expertise	Poste	Courriel	1[4]	2	3	4	%ETP

[4] 1 : Réalisation des observations, 2 : Données et interprétations des mesures, 3 : Etude de seuil et de sensibilité par les observations, 4 : Modélisation 1D du brouillard

Nom	Expertise	Poste	Courriel	1[4]	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	X		10
Thierry Bourrianne	Instrumentation et mesures	IT MF	thierry.bourrianne@meteo.fr	X				10
J. M. Etcheberry	Maintenance instrumentale	TSI	jm.etcheberrt@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	chritophe.boitel@lmd.polytechnique.fr	X				10
Yohann Morille	Traitement de données, algorithmie	IE	yohann.morille@lmd.polytechnique.fr		X			15
Bernard Romand	Electronique et déploiement instrumental	IE	bernard.romand@lmd.polytechnique.fr	X				20
Mahdi Belaïd	Déploiement instrumental et maintenance	Technicien MétéoFrance	mahdi.belaid@lmd.polytechnique.fr	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
Neda Boyouk	Microphysique aérosol	CDD-Postdoc	neda.boyouk@lmd.polytechnique.fr		X	X	X	60
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	X	X	30
LSCE								
Jean Sciare	Propriétés physico-chimiques des aérosols Observatoire SIRTA (mesures in situ)	CR-CNRS	jean.sciare@lsce.ipsl.fr	X	X	X		15
Roland Sarda-Estève	Aérosols-Chimie (Mesure, Calibrage)	ING CEA	roland.Sarda-Esteve@lsce.ipsl.fr	X	X			20
Dominique Baumier	Aérosols-Chimie (Routine, bases de données)	ING CEA	dominique.baumier@lsce.ipsl.fr	X	X			20

Nom	Expertise	Poste	Courriel	1[4]	2	3	4	%ETP
Jean-Eudes Petit	Aérosols-Chimie (Routine)	CDD Ing.- Thèse	jeaneudes.petit@gmail.com	X	X	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.delanoe@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		10
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

TOTAL	**435**

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

Choularton 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*, 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 PM2.5 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., GalamboS 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.

Haeffelin, 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.

Haeffelin, 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. Wieprechtd,D. Möllerd, 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.

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.

La figure 2 illustre les différents projets en relation avec le projet LEFE ParisFog concernant chacune des 4 parties composant le projet.

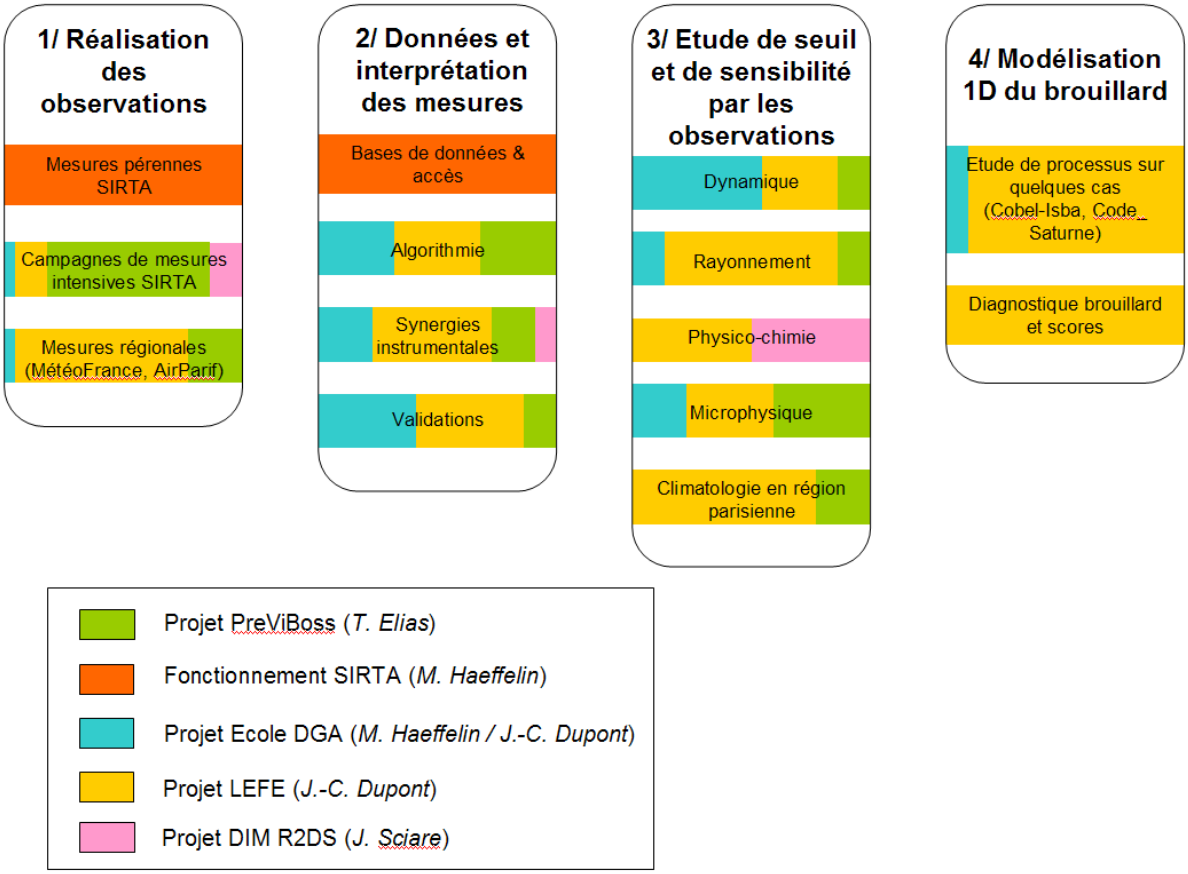

Figure 2. Schéma de synthèse décrivant les interconnections entre le projet LEFE ParisFog et d'autres projets connexes.