

La campagne ParisFog

Dans ce chapitre, nous présentons la campagne ParisFog et les moyens mis en oeuvre au SIRTA (Site Instrumental de Recherche par Télédétection Atmosphérique), puis les données utilisées pendant les travaux de thèse pour les simulations, leur validation, et l'analyse statistique globale des résultats.

Sommaire

2.1	Présentation de la campagne Parisfog	43
2.1.1	Présentation du site du SIRTA	44
2.1.2	Dispositif expérimental déployé	44
2.1.3	Description des données	46
2.2	Situations des brouillards observés	47
2.3	Les Périodes d'Observations Intensives	48

2.1 Présentation de la campagne Parisfog

Afin de documenter de manière simultanée l'ensemble des processus intervenant dans le cycle de vie du brouillard (turbulence, microphysique et rayonnement) et d'améliorer notre compréhension des processus pilotant son cycle et la description des phénomènes de petite échelle une campagne de mesures a été réalisée. Cette campagne de mesures, appelée ParisFog¹, menée conjointement par le CEREAs (Centre d'Enseignement et de Recherche en Environnement Atmosphérique, laboratoire commun École des Ponts ParisTech/EDF R&D, Université Paris-Est), l'IPSL (Institut Pierre Simon Laplace, qui regroupe des laboratoires parisiens dans le domaine des sciences de l'atmosphère), et le CNRM (Centre National de Recherches Météorologiques, laboratoire commun Météo-France et CNRS) s'est déroulée pendant l'hiver 2006-2007 - du 1^{er} novembre 2006 au 31 mars 2007 - sur le site du SIRTA, localisé sur le campus de l'École Polytechnique à Palaiseau.

Cette campagne a permis, de part le nombre important d'instruments mis en oeuvre, de disposer d'une grande quantité de mesures de différentes natures sur un site particu-

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

lièrement intéressant du fait de sa complexité potentiellement à même d'être décrite par *Code_Saturne*.

2.1.1 Présentation du site du SIRTA

Le SIRTA est une plate-forme de mesures atmosphériques, spécialisée dans les mesures de télédétection. Il est situé sur le campus de l'École Polytechnique, à Palaiseau [48°42'47"N, 2°12'29"E] (Fig. 2.1). Il a été créé par l'Institut Pierre-Simon Laplace (IPSL) et l'École Polytechnique en 1999. C'est une des plus importantes plateformes de ce genre en Europe, avec Chilbolton au Royaume-Uni et Cabauw aux Pays-Bas. Sa thématique se focalise principalement sur l'étude des nuages et des aérosols, mais il sert également de base de données et de plateforme pour l'enseignement expérimental. Le site couvre environ 10 km² et regroupe des conditions de surfaces hétérogènes (lac, zones boisées, herbe, bâtiments). Pour EDF, il s'avère bien représentatif d'un site industriel en environnement proche des grandes agglomérations. De part sa complexité, il est donc parfaitement adapté pour documenter l'influence des hétérogénéités de surface à petite échelle sur le cycle de vie du brouillard.

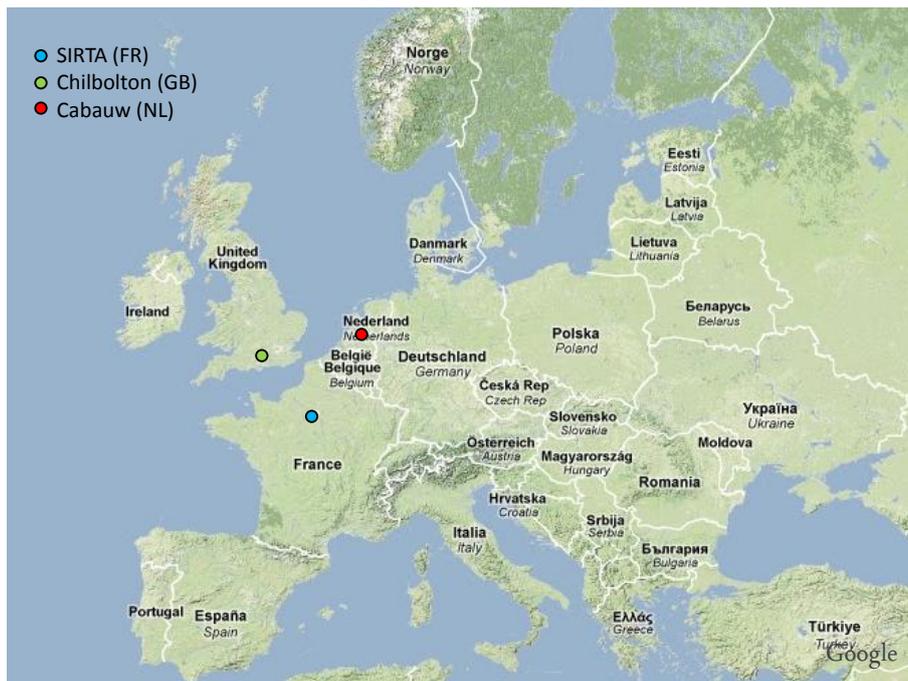


FIG. 2.1 : Localisation du site du SIRTA dans l'Europe.

2.1.2 Dispositif expérimental déployé

Le site du SIRTA est décomposé en plusieurs zones (Fig. 2.2). La zone 1, située au nord-ouest, est le point principal d'instrumentation. On y trouve notamment un mât de 30 m (avec des capteurs de température, d'humidité et des anémomètres ultrasoniques), et c'est à cet endroit que l'on a déployé le ballon captif et réalisé les radiosondages durant

la campagne ParisFog. Cette zone comporte également des capteurs de température et d'humidité dans le sol, ainsi que des capteurs de mesure de flux de rayonnement. On dispose également d'un RADAR UHF, d'un radar Doppler 95 Ghz, et d'un SODAR, pour des mesures de vitesse du vent et de turbulence en altitude. Enfin, on dispose aussi d'un télémètre pour observer le plafond nuageux et d'un diffusomètre pour la mesure de la visibilité. Pour le volet microphysique, c'est sur cette zone que sont déployées les mesures de granulométrie et que sont réalisées les mesures des propriétés optiques des aérosols à l'aide d'un aethalomètre et d'un néphélomètre.

La zone 2 située sur le toit du bâtiment du Laboratoire de Météorologie Dynamique (LMD). Ici on dispose de pyréliomètres, pyranomètres et pyrgéomètres pour les mesures de flux solaires et infrarouges descendants. Il y a également un GPS qui permet d'obtenir le contenu intégré en vapeur d'eau. Enfin, s'ajoute à ce dispositif un LIDAR rétrodiffusion, un photomètre, un radio-mètre infrarouge et 2 radio-mètres micro-ondes qui servent à obtenir des propriétés optiques des aérosols et des couches nuageuses, ainsi que les contenus intégrés en vapeur d'eau et eau liquide.

En zone 3, qui se situe à l'est du campus, se trouvent 1 mât de 30 m, avec des capteurs de température et d'humidité et des anémomètres ultrasoniques, ainsi qu'un SODAR disponible durant une courte période pendant ParisFog, et un diffusomètre disponible à partir de mi-février 2007.



FIG. 2.2 : Plan du campus de l'École Polytechnique, avec le détail des différentes zones de mesures. ① : zone1, ② : zone2 et ③ : zone3.

2.1.3 Description des données

Le tableau résumant les instruments déployés, le mode de fonctionnement et les processus documentés est disponible sur le site web : <http://sirta.ipsl.polytechnique.fr/parisfog/>. Deux mâts de 30 m sont installés sur la zone 1 et la zone 3 qui permettent de documenter les profils météorologiques de la couche limite de surface : les profils thermodynamique et dynamique. De plus, la turbulence est mesurée par des anémomètres soniques à 10 m et 30 m sur les mâts en différentes de zones. Les flux radiatifs solaire et infrarouge sont mesurés à 2 m et 30 m en zone 1 et zone 2, ce qui permet d'étudier l'influence des hétérogénéités de surface à petite échelle sur le cycle de vie du brouillard. Les profils météorologiques sont complétés par les radiosondages de Trappes (78, [48 :46N 02 :01E]) pour la partie plus haute de l'atmosphère. De plus, des radiosondages sont réalisés pendant les périodes d'observation intensive sur le site toutes les trois heures de manière à suivre l'évolution de la couche limite. Dans le sol, des capteurs jusqu'à 50 cm de profondeur mesurent la température et le contenu en eau du sol. Ces données sont complétées par une station "rapport de BOWEN" qui permet d'estimer les flux de chaleur sensible et latente au niveau de l'interface sol-atmosphère. Des techniques de télédétection sont utilisées pour documenter les propriétés macrophysiques du brouillard (Télémètre CT25K, Sodar, Radar) et les propriétés des nuages au-dessus du brouillard (Radar Doppler 95 GHz, Détection de nuages semi-transparents par SEVIRI/MSG). Au niveau de la microphysique, notamment pour le spectre des particules, nous avons documenté trois classes de tailles. La granulométrie et le nombre de particules d'aérosols ont été obtenus à partir d'un compteur SMPS (Scanning Mobility Particle Sizer) composé d'un granulomètre type DMA (Differential Mobility Aerosol) connecté à un compteur des gouttes CPC (Condensation Particle Counter) pour des particules de tailles comprises entre 10.6 et 496 nm et à partir d'un compteur de particules optiques (OPC, model GRIMM 1.109) pour des particules de tailles comprises entre 0.25 et 32 μm . Les granulométries ont été mesurées par un granulomètre WELAS de PALAS. 65 classes de particules ont été définies selon leur taille entre 0.4 et 41 μm . La concentration totale en nombre de gouttelettes (cm^{-3}) est déterminée par la somme du nombre de gouttes dans toutes les classes. De plus, les caractéristiques physico-chimiques des aérosols ont été obtenues par des prélèvements de particules sur filtres (la composition chimique, masse totale et fraction massique). Durant toute la durée de la campagnes, deux modes de fonctionnement ont été mis en oeuvre : un mode routinier, où nous disposions uniquement des mesures d'instruments automatiques, comme les mâts de mesures ou les stations météo de surface, et des Périodes d'Observations Intensives (POI), où l'on déployait spécifiquement des radiosondages sur le site, le ballon captif et les mesures de granulométrie.

Corrections sur la température du radiosondage à 00 TU du 19 février 2007 réalisé sur le site du SIRTA Sur ce radiosondage, un écart de la température est observée par rapport au mesures du mât en zone 1 (d'environ 1.6 °C, voir la figure 2.3). Pour pallier à ce problème nous avons deux possibilités : soit ignorer le radiosondage, soit établir une correction, cette deuxième solution a été retenue. De ce fait, on fait une

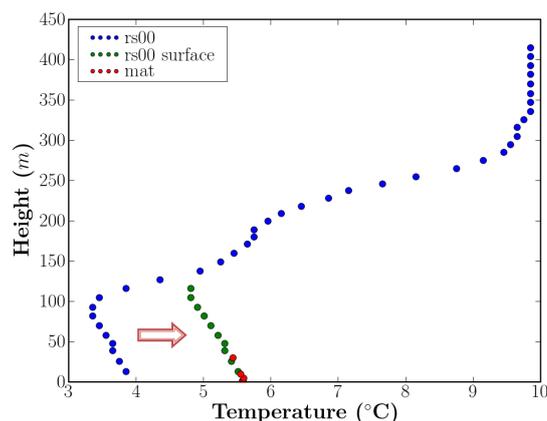


FIG. 2.3 : Corrections sur la température du radiosondage à 00 TU du 19 février 2007 réalisé sur le site du SIRTa

correction en déplaçant la température du radiosondage pour les 11 premiers niveaux, soit sur une épaisseur de 110 m, vers les températures mesurées par le mât (de 1 m à 30 m).

2.2 Situations des brouillards observés

En s'inspirant des travaux de Tardif and Rasmussen (2007), divers types de brouillard ont été observés :

- brouillard de rayonnement,
- brouillard par affaissement de stratus (*présence d'un plafond nuageux bas avec descente de la base du nuage jusqu'en surface*),
- brouillard d'advection,
- brouillard de précipitation (*évaporation de gouttes chaudes de pluie dans l'air plus froid d'une inversion*),
- brouillard d'évaporation.
- Dans le cas où un processus est impossible à déterminer, on le classifera comme "autre".

L'identification et la classification des situations de brouillard basées sur les travaux de Tardif and Rasmussen (2007) (Tab. 2.3) est illustrée par la figure 2.4. La situation de brouillard est définie par deux critères : la visibilité horizontale inférieure à 1000 m et la durée de la présence d'un épisode de brouillard supérieure à 30 minutes. Pour le *quasi-brouillard*, la visibilité horizontale se situe entre 1000 m et 1500 m avec une durée d'au moins 30 minutes.

Un total de 36 situations de brouillard ont été observées pendant la campagne ParisFog dont environ 42 % des cas sont des affaissements de stratus et plus de 38 % des brouillards de rayonnement (RAD). Dans ces 38% de RAD, 11 situations de brouillard avec $T > 0$ °C et 3 situations avec $T < 0$ °C ont été observés. La période la plus favorable à la formation de brouillard se situe fin d'octobre et début novembre 2006. En fait, la

région Ile-de-France est soumise à des conditions anticycloniques durant cette période, situations favorables à la formation du brouillard. Au sein d'un anticyclone, la masse d'air présente souvent une ou plusieurs couches stables (souvent des résidus d'anciens fronts). La compression adiabatique qui accompagne la subsidence ² peut alors transformer une telle couche en une inversion de subsidence. Cette couche d'inversion est très nette. Les nuages se limitent à la couche située sous cette couche d'inversion où tout transport de vapeur d'eau vers le haut est empêché. Il en résulte une accumulation de vapeur d'eau dans les couches atmosphériques sous inversion. Sous ces conditions, le brouillard peut se former facilement lorsque le sol est relativement froid (nuit, saison d'hiver). On remarque alors que la formation du brouillard est sensible aux échanges d'humidité et de température avec le sol. À partir du mois de novembre, on trouve une alternance de situations entre stratus bas et brouillard.

La période du mois décembre 2006, notamment la dernière décade du mois, présente 7 situations consécutives de transition entre brouillard et nuages bas. Cette période montre une forte variabilité sur la formation des nuages bas. Par exemple, durant les journées des 23, 24 et 25 décembre 2006 (Fig. 2.5), la formation de stratus a lieu vers 10 *TU* le 23 décembre, la visibilité diminue progressivement à partir de 20 *TU* et le brouillard se forme vers 04 *TU*. Cette évolution peut être considérée comme un affaissement du stratus du jour précédent. La durée de la présence du brouillard est seulement de 84 minutes, celui-ci évoluant par la suite en stratus. L'évolution du stratus se poursuit, il se disloque puis se transforme en brouillard. Une question se pose : quel est le processus pilotant le cycle de vie de ces nuages bas, la transition en brouillard ? L'utilisation conjointe de la base de données de ParisFog et d'outils numériques pourraient aider à répondre ces questions et mieux appréhender les interactions sol-atmosphère et l'alternance clair/nuages qui impactent directement les phases de formation et de dissipation du brouillard.

2.3 Les Périodes d'Observations Intensives

Il y eu au total 16 Périodes d'Observations Intensives (POIs) au cours de la campagne, dont 5 situations de brouillard de rayonnement, 5 situations de quasi-brouillard, 2 situations d'affaissement de stratus, et 4 situations sans brouillard (voir Tab. 2.1). La première POI (numéro 0) a permis essentiellement de tester le déploiement des instruments. En plus de ces situations, on dénombre également 8 situations avec brouillard hors-POI, les mesures réalisées sont alors restreintes aux observations de routine.

Au cours de ces POIs, les radiosondages en basses couches permettent d'analyser finement les cents à deux cents premiers mètres de l'atmosphère. Par ailleurs, un Lidar rétrodiffusion (rétrodiffusion de la lumière d'un faisceau laser par les particules en suspension dans l'air) permet de déterminer la présence de couches nuageuses supérieures.

²La subsidence est un affaissement global de l'air sur une région plus ou moins vaste. L'air s'accumulant au-dessus d'une région, la masse d'air devient de plus en plus dense. La force de pression sur la surface considérée est donc augmentée.

Les conditions des cinq POIs bien documentées en situation de brouillard de rayonnement sont résumées ci-dessous (on précise le nombre de radiosondages réalisés) (cf <http://sirta.ipsl.polytechnique.fr/parisfog/forum.html>) :

1. **POI-1 (29-30/11/2006)** 3 radiosondages ont été réalisées durant cette POI. Le brouillard se forme vers 22 *TU*, puis se dissipe vers 09 *TU* sur la zone urbaine de l'École Polytechnique et persiste en zone rurale environnante. Il a évolué en Stratus (Stratocumulus) pendant la journée puis s'est affaïssé en début de la nuit du 1^{er} décembre.
2. **POI-2 (14-15/12/2006)** 2 radiosondages réalisées dans cette POI. Le brouillard se forme vers 18 *TU*, puis devient givrant ($T < 0\text{ }^{\circ}\text{C}$). Le 15 décembre au matin le brouillard givrant se généralise en région parisienne (Orly, Villacoublay, Toussus, Aéroport Charles de Gaulle et SIRTa), son épaisseur, caractérisée par le niveau de l'inversion, est d'environ 100 mètres. Puis il dissipe complètement vers 10 *TU* (perturbation sur la Manche).
3. **POI-8 (29-30/01/2007)** 7 radiosondages réalisés dans cette POI. Le brouillard se forme vers 00 *TU* puis se dissipe vers 04 *TU*. Il évolue en stratus à 06 *TU*. La durée du brouillard est seulement de 4 heures 25 minutes.
4. **POI-13** 9 radiosondages ont été réalisés durant cette POI dont le premier était lancé à 18 *TU*. Les paramètres microphysiques du brouillard sont bien documentés. Les systèmes de prélèvement et les mesures de chimie atmosphérique ont parfaitement fonctionnés. Le brouillard se forme vers 22 *TU* par vent très calme. La dissipation du brouillard a lieu à partir du sol vers 09 *TU*, puis la couche de brouillard évolue vers en stratus avec un plafond à 250 *m*. C'est l'une des deux POIs les mieux documentées.
5. **POI-15** 3 radiosondages réalisés. Les brouillards sont sous forme de bancs de brouillard épars. C'est une situation où le brouillard est très dense et très hétérogène en temps et en espace. Il est donc particulièrement intéressant d'étudier l'effet de l'hétérogénéité du site sur son cycle de vie.

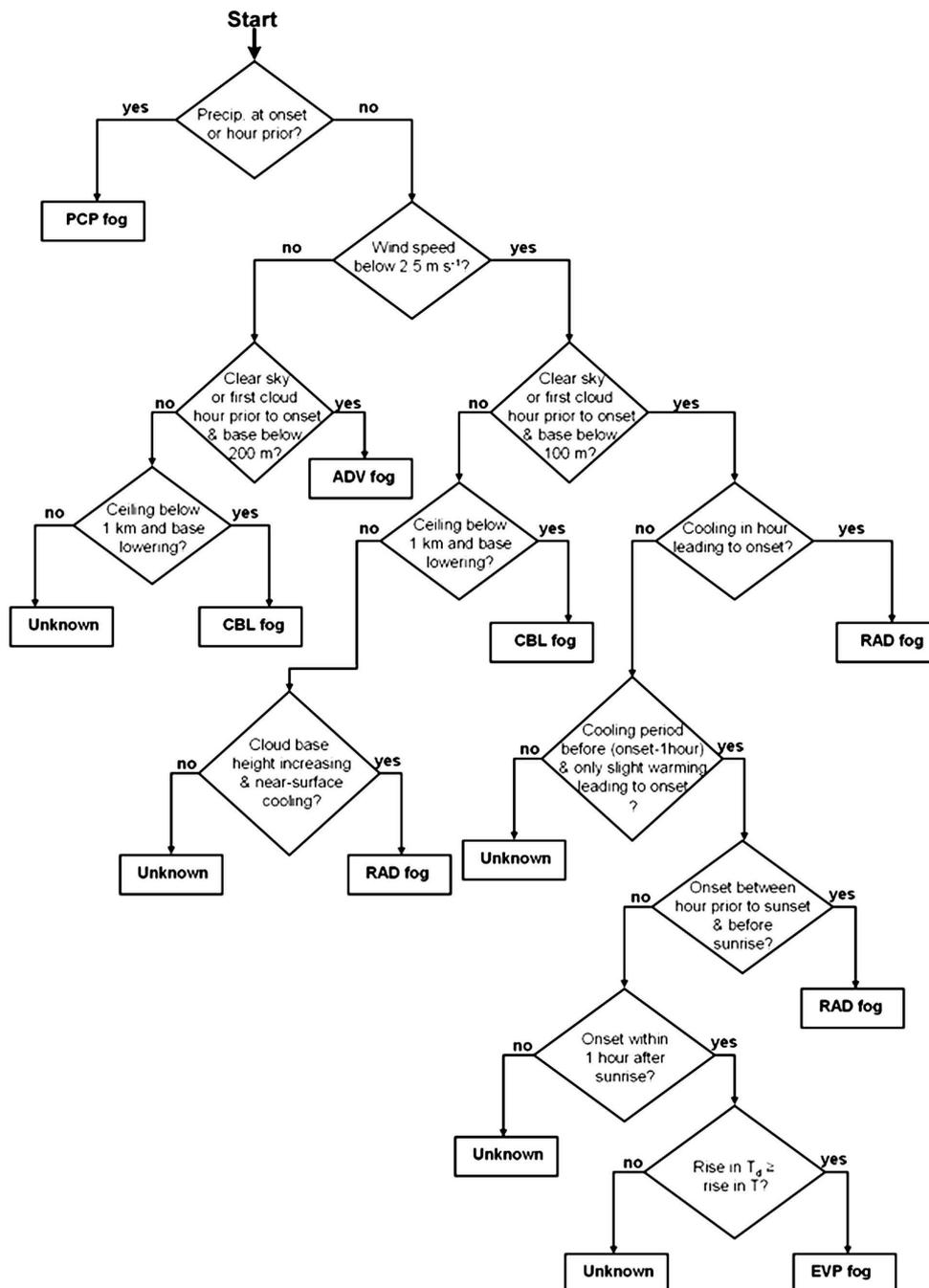
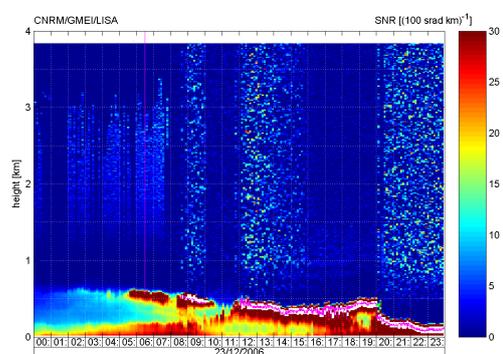
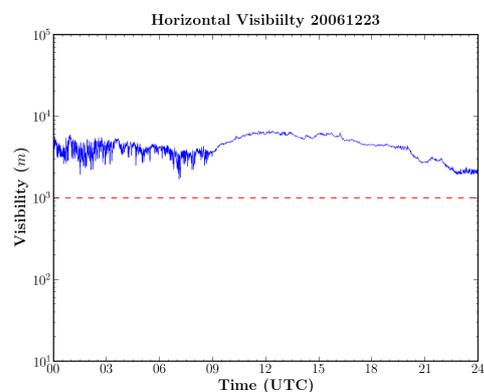


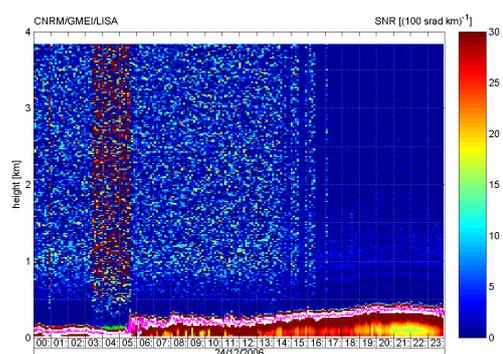
FIG. 2.4 : Graphique récapitulatif de la structure utilisée pour classer les situations des brouillards pendant la campagne ParisFog. (Tardif and Rasmussen, 2007)



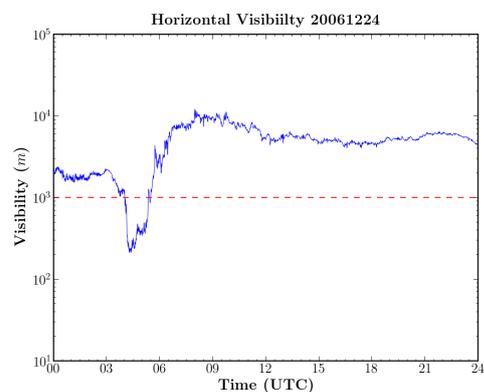
(a) Signal rétrodiffusé 23/12



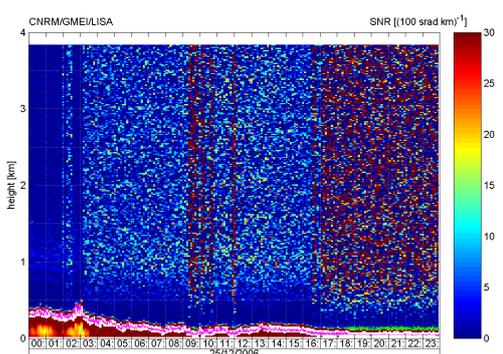
(b) Visibilité 23/12



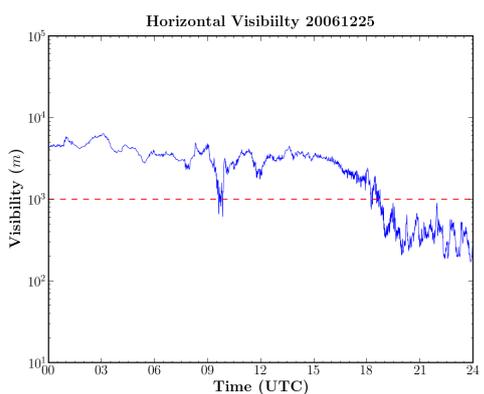
(c) Signal rétrodiffusé 24/12



(d) Visibilité 24/12



(e) Signal rétrodiffusé 25/12



(f) Visibilité 25/12

FIG. 2.5 : *Signal Rétrodiffusé Télémètre et visibilité horizontales mesurées sur le SIRTA pendant la campagne ParisFog pour les journées 23, 24 et 25 décembre 2006 respectivement.*

TAB. 2.1 : *Présentation des POIs. La date observée, le type d'évènement documenté (qFG : (quasi-brouillard)), la durée ainsi que la visibilité minimum observée durant la POI sont montrées.*

N°	Date	Type	Durée (min)	VIS _{min} (m)	N°	Date	Type	Durée (min)	VIS _{min} (m)
0	07-08/11/2006	STL	283	86	8	27-28/01/2007	RAD	265	165
1	29-30/11/2006	RAD	1271	64	9	30-31/01/2007	-	-	7100
2	14-15/12/2006	RAD	777	76	10	02-03/02/2007	qFG	220	2700
3	17-18/12/2006	STL	460	200	11	03-04/01/2007	-	-	6710
4	19-20/12/2006	-	-	6500	12	14-15/02/2007	qFG	90	3690
5	20-21/12/2006	qFG	440	2580	13	18-19/02/2007	RAD	640	61
6	14-15/01/2007	qFG	140	3400	14	10-11/03/2007	qFG	190	1410
7	22-23/01/2007	-	-	8090	15	13-14/03/2007	RAD	506	65

TAB. 2.2 : Liste d'instruments déployés pour la campagne ParisFog (mesures in-situ, hors ballon captif)

Categorie	Instruments	Grandeurs mesurées
Ground surface	Ground sensors at 0, -10, -20, -30, -50 cm BOWEN station	T, H
Surface layer meteo	2 30m-Masts (1, 2, 5, 10, 30m) PTUV sensors	T, H
Radiative Fluxes	Sonic anemometers	T, H, P, V, D
Atmospheric Profiles	Radiometers	TKE, u^*, Q_0
Aerosol Properties	Radiosondes	LW, SW
	Visibilimeter	T, H, P, V, D
	Aethalometer	Vis
	Nephelometer	Absorption coefficient
	Sunphotometer	Scattering coefficient
Microphysics		τ_a
Aerosol Chemistry	PALAS, SMPS, GRIMM 0.4,8 nm filters spectrometer analysis	Particle number concentration $C_{BC}, C_{majorions}$

TAB. 2.3 : Bilan des épisodes de brouillard pendant la campagne. Unité : de (UTC) à (UTC); Sunrise/Sunset (UTC); Durée (min); Visibilité minimum (m). Type : STL (transition de stratus au nuage bas); RAD (radiatif); ADV (advection); PCP (précipitation); MTR (transition matinale); OTH (autre).

N°	From to	Sunrise/Sunset	Durée	VIS _{min}	Type
1	27/10/06 0144 - 27/10 0750	0829/1839	366	85	STL
2	28/10/06 0048 - 28/10 0812	0831/1837	444	82	RAD
3	29/10/06 1723 - 29/10 1829	0732/1736	66	99	RAD
4	30/10/06 0221 - 30/10 0713	0734/1734	292	181	RAD
5	03/11/06 2007 - 04/11 0034	0742 (2 nd day)/1727	267	67	RAD
6	04/11/06 0145 - 04/11 0406	0742/1726	141	155	OTH
7	04/11/06 2222 - 05/11 1116	0744 (2 nd day)/1726	774	40	RAD
8	05/11/06 1740 - 06/11 0500	0745 (2 nd day)/1724	680	51	RAD
9	06/11/06 1726 - 06/11 1842	0745/1723	76	136	STL
10	07/11/06 1804 - 07/11 2202	0747/1721	238	86	STL
11	08/11/06 0654 - 08/11 0739	0748/1720	45	254	STL
12	29/11/06 2016 - 30/11 0903	0821 (2 nd day)/1658	767	64	RAD
13	30/11/06 1220 - 30/11 2044	0821/1657	504	98	STL
14	03/12/06 0044 - 03/12 0124	0825/1656	40	481	STL
15	14/12/06 1754 - 14/12 2247	0836/1654	293	77	RAD
16	15/12/06 0126 - 15/12 0156	0837/1654	30	218	RAD
17	15/12/06 0222 - 15/12 0956	0837/1654	454	76	STL
18	16/12/06 2147 - 17/12 0010	0839 (2 nd day)/1654	143	60	RAD
19	18/12/06 0239 - 18/12 0547	0839/1655	188	152	STL
20	18/12/06 0728 - 18/12 1153	0839/1655	256	143	STL
21	24/12/06 0401 - 24/12 0530	0843/1658	89	214	STL
22	25/12/06 1814 - 26/12 0302	0843 (2 nd day)/1658	528	160	STL
23	28/12/06 0146 - 28/12 0312	0844/1701	86	492	STL
24	28/12/06 0927 - 28/12 1149	0844/1701	107	492	STL
25	28/12/06 1557 - 29/12 0710	0844 (2 nd day)/1701	913	122	STL
26	07/01/07 0701 - 07/01 0753	0843/1711	52	364	ADV
27	27/01/07 0740 - 27/01 1120	0828/1739	220	135	STL
28	27/01/07 2325 - 28/01 0350	0827 (2 nd day)/1739	265	160	RAD
29	02/02/07 0945 - 02/02 1151	0820/1749	126	723	OTH
30	08/02/07 0216 - 08/02 0412	0820/1749	116	312	PCP
31	18/02/07 2229 - 19/02 0909	0753 (2 nd day)/1816	640	61	RAD
32	04/03/07 0620 - 04/03 0709	0728/1838	49	118	RAD
33	08/03/07 0651 - 08/03 0821	0720/1844	90	136	ADV
34	13/03/07 2241 - 14/03 0703	0707 (2 nd day)/1852	506	65	RAD
35	16/03/07 0701 - 16/03 0949	0720/1844	168	65	MTR
36	25/03/07 0021 - 25/03 0602	0744/2010	341	276	OTH