



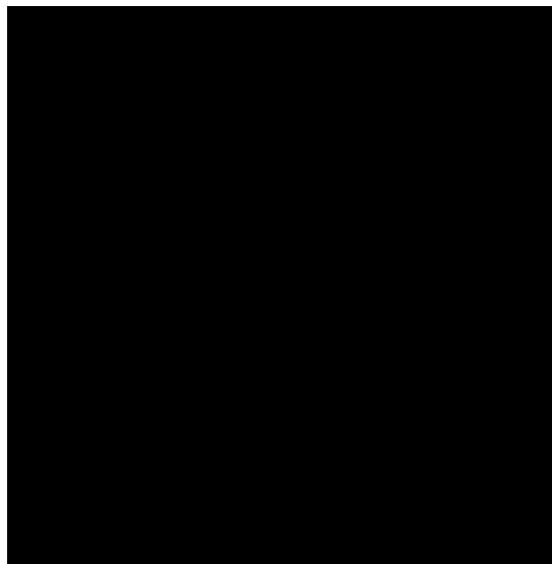
Atmosphère et Industrie dans les Districts Européens du Rhin supérieur
Atmosphäre und Industrie in den Distrikten von Europa am Oberrhein



Le projet « Atmo-IDEE » est cofinancé par l'Union européenne (Fonds européen de développement régional – FEDER) dans le cadre du programme INTERREG IV Rhin Supérieur. « Dépasser les frontières : projet après projet »
Das Projekt „Atmo-IDEE“ wird von der Europäischen Union (Europäischer Fonds für Regionale Entwicklung – EFRE) im Rahmen des Programms INTERREG IV Oberrhein kofinanziert. „Der Oberrhein wächst zusammen, mit jedem Projekt“

Rapport d'étude

Version 1.5
Février 2014



**Atmo-IDEE
INTERREG IV
Rhin Supérieur**



**Synthèse et
analyse des
données récoltées
pendant la
campagne
météorologique de
mesure de l'hiver
2013**

■ Intervenants

■ PARTENAIRE

ASPA
Association pour la Surveillance et l'Etude de
la Pollution Atmosphérique en Alsace
Espace Européen de
L'Entreprise de Strasbourg
5 rue de Madrid
67300 Schiltigheim

■ PARTENAIRE

ICUBE
UMR 7357
Pôle API, Bd Sébastien Brant
BP 10413
67412 Illkirch Cedex

■ PARTENAIRE

LUBW
Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz
Baden-Württemberg
Postfach 10 01 63
76231 Karlsruhe Prénom NOM

■ NUMTECH

6, Allée Alan Turing
CS 60242
Parc Technologique de La Pardieu
63178 AUBIERE Cedex
Tel: 04 73 28 75 95
Fax : 04 73 28 75 99
E-mail : numtech@numtech.fr

Chargés de l'étude :

Delphine LEROY, *Docteur en physique de l'atmosphère*
David POULET, *Docteur en physique de l'atmosphère*

Rédaction : Delphine LEROY, David POULET

Vérification : Fabien BROCHETON, Raphaële DEPROST

■ Table des matières

Introduction	4
1. Synthèse de la campagne de mesure	6
1.1. Dispositifs déployés	6
1.2. Disponibilité des données	11
2. Analyse des données	35
2.1. Conditions de vent.....	35
2.2. Température.....	38
2.3. Stabilité	43
3. Conclusions.....	52
Liste des figures.....	53
Liste des tableaux.....	55
Annexe 1 : Etude de sensibilité de la modélisation ADMS Urban à la température et au rayonnement....	56

■ Introduction

Ce document présente l'analyse des données météorologiques recueillies pendant la campagne de l'hiver 2013 sur la zone de l'Eurodistrict Strasbourg Ortenau dans le cadre du projet Interreg IV Rhin Supérieur Atmo-IDEE. L'objectif de cette étude est de caractériser l'hétérogénéité des conditions météorologiques sur cette région afin de préparer la future modélisation de la zone avec ADMS Urban. Cette étude météorologique est le complément de la précédente réalisée pour la campagne estivale 2012.

De manière analogue au rapport sur la campagne estivale 2012, le présent document comporte deux parties distinctes. La première partie est consacrée à la description et à la vérification de la représentativité des différents jeux de données à disposition. Avant toute analyse, il est en effet indispensable de connaître la disponibilité des différentes données afin d'attribuer en toute connaissance de cause des importances relatives aux informations fournies par les différentes sources de données. La deuxième partie est consacrée à l'analyse des données en elles-mêmes, en se focalisant sur le vent (vitesse et direction), la température et la stabilité atmosphérique dont la connaissance est nécessaire pour la modélisation urbaine.



Synthèse de la campagne de mesure

1.1. Dispositifs déployés

1.2. Disponibilité des données

1. Synthèse de la campagne de mesure

1.1. Dispositifs déployés

Sur la zone de l'Eurodistrict Strasbourg Ortenau, on recense les stations fixes suivantes météorologiques ou mesurant des paramètres météorologiques :

- 3 stations appartenant à Météo France : Entzheim, Sélestat et La Wantzenau,
- 5 stations du réseau ASPA : STG Ouest, STG CRR, STG Sud 2, STG A35 et STG DRIRE,
- 4 stations du réseau du LUBW : Kehl Hafen, Oppenau, Oberharmersbach, Bad Rippoldsau,
- 10 stations gérées par le Deutscher Wetterdienst (DWD) : Lahr, Ohlsbach, Wolfach, Durbach-Ebersweier, Haslach im Kinzigtal, Khel-Odelshofen, Neuried-Altenheim, Oppenau, Zell am Harmersb et Rheinau-Menprechtshofen.
- Pour la campagne de l'hiver 2013, les mesures de 11 stations du LTZ sont venues s'ajouter à cette liste initiale. Les sites de mesures du LTZ sont situés à Vormberg-Sinzheim, Lichtenau, Bühl, Sasbachwalden, Fautenbach, Zusenhofen, Eckartsweier, Oberkirch, Nussbach, Neuried Altenheim et Ortenberg (cf. **Figure 1**).

Lors de la campagne de mesure de l'hiver 2013, ce réseau fixe a été complété avec :

- 2 anémomètres soniques, déployés par l'ASPA et Weather Measures,
- un laboratoire mobile appartenant à l'ASPA,
- un sodar, loué à Weather Measures,
- un ceilomètre acquis par la LUBW dans le cadre du projet,
- et 7 stations de bio-climatologie urbaine gérées par le LSIT.

Suite à des problèmes techniques, seuls trois anémomètres soniques ont été déployés pour cette campagne hivernale, contre 4 pour la campagne estivale. Sur ces 3 instruments, seules les mesures de 2 ont pu être exploitées. En outre, il n'était pas possible de disposer de la cabine ASPA et de son mât de 10 m qui avait été positionné à Hœnheim. Suite à l'analyse de la campagne estivale qui montrait d'une part l'intérêt du site de Kehl (et l'intérêt d'avoir une mesure de référence en ce point), l'intérêt du site de Geispolsheim, et d'autre part d'un comportement suspect au niveau de Hœnheim, il a été décidé de déployer les 3 anémomètres soniques à Geispolsheim, Kehl et Bodersweier.

Le sodar et le ceilomètre ont tous deux été positionnés au bord du Rhin, sur la commune de Kehl. Le ceilomètre a été mis en place grâce à ce projet, ainsi qu'en partie les stations du LSIT, et il est à noter que ces dernières doivent continuer à collecter des données pendant toute la durée du projet.

La **Figure 1** montre la localisation des différents dispositifs fournissant des données météorologiques. Le type de données météorologiques fournies ainsi que leurs caractéristiques (hauteur de mesure, résolution temporelle par exemple) sont récapitulés dans le **Tableau 1**. Lorsque plusieurs résolutions temporelles étaient disponibles pour un même instrument de mesure, la résolution temporelle la plus en rapport avec les problématiques de modélisation urbaine a été systématiquement retenue (c'est-à-dire la plus proche de la résolution horaire), et est la seule indiquée dans le **Tableau 1**.

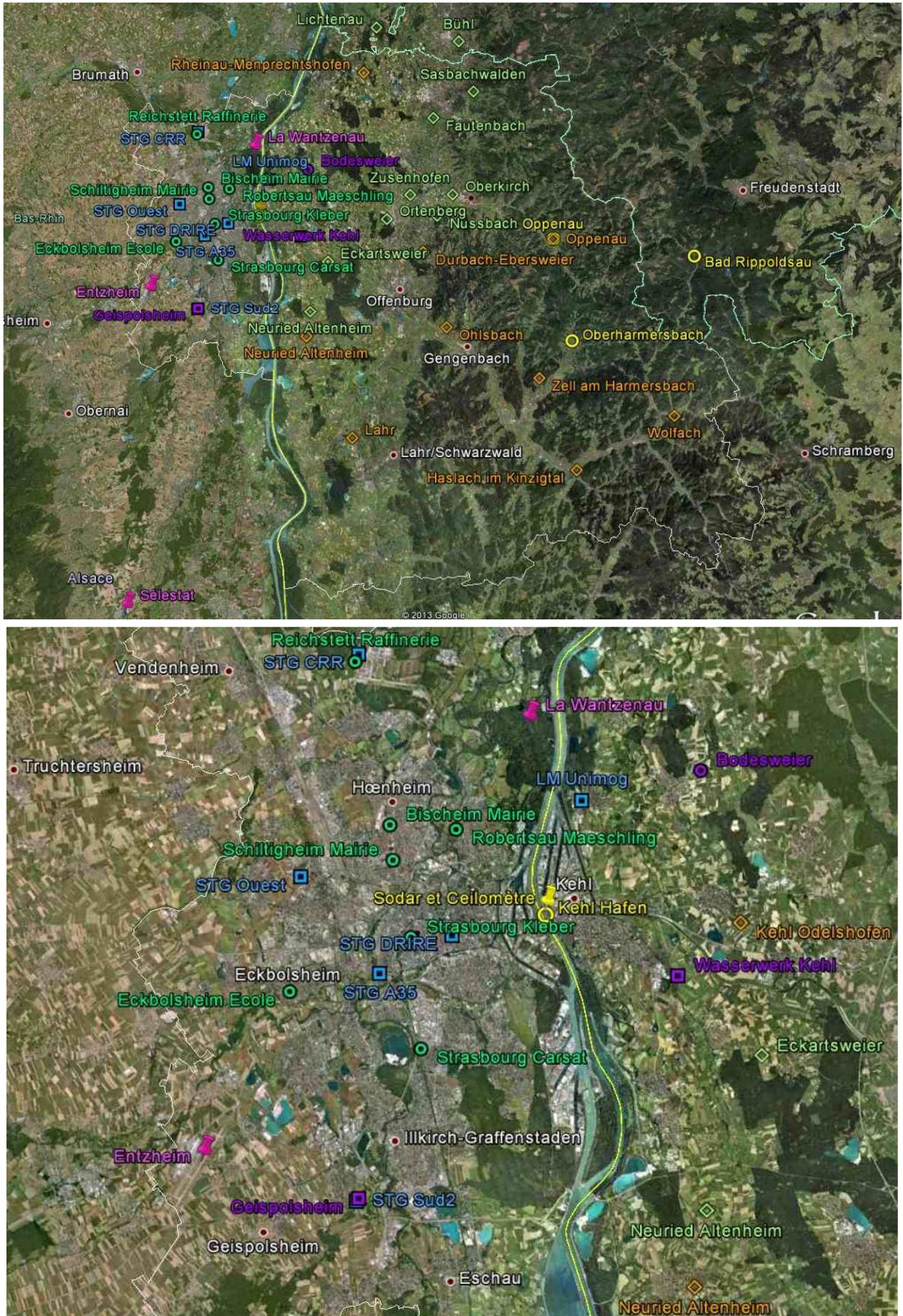


Figure 1 – Localisation des sites de mesure fournissant des données météorologiques sur l'Eurodistrict Strasbourg Ortenau (frontière = ligne blanche) pendant la campagne de l'hiver 2013. Figure du bas = zoom sur Strasbourg/Kehl.

- Réseaux fixes de qualité de l'air :

 ASPA

 LUBW

- Réseaux fixes de météorologie :

 Météo France

 DWD

- Campagnes de mesure Atmo-IDEE :

 Climatologie urbaine LSIIT (**3 ans**)

 Anémomètres soniques (ASP, NUMTECH)

 SODAR WM et ceilomètre LUBW

Tableau 1 – Caractéristiques des mesures météorologiques effectuées pendant la campagne de l'hiver 2013. Le tableau ne se limite pas strictement aux stations au sein même de l'Eurodistrict, mais mentionne également les stations météorologiques fixes autour et dont les mesures ont également été mises à disposition.

Dispositif de mesure	Propriétaire	Localisation	Résolution temporelle	Température	vitesse du vent	Direction du vent	Humidité relative	Précipitations	Autres paramètres disponibles	Remarques
Ceilmètre	LUBW	Kehl Hafen	horaire						Hauteur de couche limite et couverture nuageuse	
Stations	LUBW	Kehl Hafen	30 min	✓	✓	✓	✓	✓	Rayonnement solaire	
		Oppenau						✓		
		Oberharmersbach						✓		
		Bad Rippoldsau						✓		
SODAR	Weather Measures	Kehl Hafen	10 minutes		✓	✓			Echantillonnage du vent selon un profil vertical du sol jusqu'à 700 m de hauteur.	
Anémomètres soniques	Weather Measures / ASPA	Geispolsheim	quart-horaire	✓	✓	✓			Longueur de Monin-Obukhov, énergie cinétique turbulente, flux de chaleur, vitesse de frottement, rafales et covariances	Mesures à 3 m du sol.
		Wasserwerk Kehl	10 min		✓	✓			Longueur de Monin-Obukhov, flux de chaleur, flux de quantité de mouvement et classe de Pasquill	Mesures à 10 m de haut.
		Bodersweier – Exploitation horticole	quart-horaire	✓	✓	✓			Longueur de Monin-Obukhov, flux de chaleur, flux de quantité de mouvement et classe de Pasquill	Mesures à 2 m du sol.
Sondes	Weather Measures	Wasserwerk Kehl	quart-horaire	✓			✓		Pression, rayonnement solaire, température potentielle et température du point de rosée	Mesures effectuées à 1 m du sol environ
Stations fixes	ASPA	STG Ouest - Schiltigheim	horaire	✓	✓	✓	✓	✓		
		STG CRR – Reichstett		✓	✓	✓	✓	✓		
		Nord Est Alsace – Munshausen		✓	✓	✓	✓	✓		
		STG Sud 2 – Geispolsheim		✓				✓		
		Vosges moyennes 2 – Grandfontaine		✓				✓	✓	Pression
		Vosges du Nord – La Petite Pierre		✓	✓	✓				
		STG DRIRE – Strasbourg			✓	✓				
		STG A35 – Strasbourg			✓	✓				

Dispositif de mesure	Propriétaire	Localisation	Résolution temporelle	Température	vitesse du vent	Direction du vent	Humidité relative	Précipitations	Autres paramètres disponibles	Remarques
Laboratoire mobile	ASPA	LM Unimog – Kehl	horaire	✓	✓	✓	✓		Pression	
Stations fixes	Météo France	Entzheim	horaire	✓	✓	✓			Nébulosité, rayonnement solaire et précipitations	Données fournies par l'ASPA
		La Wantzenau		✓	✓	✓		✓		
		Sélestat		✓	✓	✓		✓		
Stations de bioclimatologie urbaine	LSIIT / ICUBE	Bischeim Mairie	quart-horaire	✓			✓			Pas de temps quart-horaire à partir du 21/02/2013
		Reichstett Raffinerie		✓			✓			
		Robertsau Maeschling		✓			✓			
		Schiltigheim Mairie		✓			✓			
		Eckbolsheim Ecole		✓			✓			
		Strasbourg Carsat		✓			✓			
		Strasbourg Kleber		✓			✓			
Stations	DWD	Lahr	horaire	✓	✓	✓	✓	✓		
		Ohslbach	horaire	✓			✓	✓		
		Wolfach	horaire	✓			✓	✓		
		Durbach-Ebersweier	horaire					✓		
		Haslach im Kinzigtal	horaire					✓		
		Khel – Odelshofen	horaire					✓		
		Neuried – Altenheim	quotidienne					✓		
		Oppenau	horaire					✓		
		Zell am Harmersb	quotidienne					✓		
Rheinau - Membrechtshofen	horaire					✓				
Stations	LTZ	Bühl	horaire	✓			✓	✓		
		Eckartweier		✓	✓		✓	✓		
		Fautenbach		✓	✓		✓	✓		
		Lichtenau		✓	✓		✓	✓		
		Oberkirch		✓			✓	✓		
		Ortenberg		✓			✓	✓		
		Neuried-Altenheim		✓	✓		✓	✓		
		Nussbach		✓	✓		✓	✓		
		Sasbachwalden		✓			✓	✓		
		Vormberg-Sinzheim		✓			✓	✓		
		Zusenhofen		✓			✓	✓		

1.2. Disponibilité des données

Pour rappel, la période officielle de la campagne météorologique était du 17 janvier 2013 au 04 mars 2013.

■ Dispositifs propres à la campagne de mesure

■ Anémomètres soniques

Les anémomètres soniques permettent de réaliser une mesure de vent à partir d'une mesure de la durée de déplacement d'une onde ultrasonore. Dans le cadre d'anémomètres soniques 2D (Figure 2), deux couples de transducteurs ultrasonores¹ sont alternativement émetteurs et récepteurs d'un train d'onde ultrasonore. Les temps de transits aller et retour sont mesurés et on en déduit, par différence de fréquence (suivant le principe de l'effet Doppler), la vitesse du vent le long de l'axe formé par les deux transducteurs.

Le même principe est utilisé par les anémomètres soniques 3D (Figure 2) tels qu'utilisés dans ce projet. La différence est que trois couples de transducteurs sont utilisés et non plus deux. Ceci permet alors de mesurer la vitesse du vent et la vitesse du son le long de trois axes.



Figure 2 – illustration d'un anémomètre sonique 2D (à gauche) et 3D (à droite)

Les impulsions ultrasoniques de courtes durées sont échangées sur trois directions différentes grâce à des sondes acoustiques qui peuvent être émettrices ou réceptrices. Chaque paire de transducteurs transmet et reçoit un signal ultrasonique. Les trains d'onde sonore émis, vont dans un sens puis dans l'autre le long de l'axe joignant chacune des trois paires de transducteurs. Le temps de transmission entre les paires de transducteurs est directement relié à la vitesse du vent le long de l'axe des transducteurs. La mesure du temps de propagation du train d'impulsions aller et retour permet de déterminer les composantes u , v et w du vecteur de la vitesse du vent ainsi que la célérité du son c . La vitesse du vent peut alors être calculée en effectuant la différence entre la vitesse du son dans l'air statique et celle mesurée effectivement.

Ce capteur mesure donc aussi la vitesse du son qui est directement liée à la densité de l'air, et cette densité dépend de la température mais aussi de l'humidité. Ceci permet alors d'obtenir également une mesure de température virtuelle de l'air corrigée par l'humidité. Enfin, les fluctuations turbulentes horizontales et verticales du vent (u' , v' et w') à haute fréquence peuvent aussi être déduites. Il en est de même pour les flux turbulents de quantité de

¹ Un transducteur est un dispositif convertissant une grandeur physique en une autre, dans le cas présent une onde sonore en signal électrique et inversement.

mouvement $u'v'$, $u'w'$, $v'w'$ et de chaleur $u'T'$, $v'T'$, $w'T'$, l'énergie cinétique turbulente TKE (effectuée à partir des mesures de $u'u'$, $v'v'$ et $w'w'$), la vitesse de rugosité, et d'autres paramètres micro-météorologiques (vitesse de frottement, longueur de rugosité, longueur de Monin-Obukhov, etc.). C'est la fréquence d'acquisition des mesures de ces anémomètres, ici fixée à 10 Hz, qui permet de prendre en compte l'essentiel des échelles de fluctuation du vent.

L'avantage de ce type de capteur est aussi de ne pas avoir de pièces en mouvement (facilité de maintenance et plus grande stabilité des mesures dans le temps) et d'avoir un faible seuil de détection et une haute précision de mesure (de l'ordre du cm/s pour la vitesse du vent) par rapport à des anémomètres plus classiques (à coupelle couplé à des girouettes).

Les intérêts de déployer des anémomètres soniques pendant les campagnes estivales et hivernales sont :

- d'une part, de pouvoir fournir des mesures de la turbulence et notamment des paramètres que sont la longueur de Monin-Obukhov (LMO) ou le flux de chaleur sensible. Ces paramètres peuvent être utilisés directement (soit l'un soit l'autre, soit les deux conjointement) comme paramètres d'entrée de la modélisation urbaine. En réalité, classiquement le paramètre d'entrée utilisé est la couverture nuageuse ou la mesure du rayonnement solaire global, qui permettent d'estimer la LMO ou le flux de chaleur sensible via un pré-processeur météorologique. Cette estimation est bien évidemment entachée d'incertitudes de calcul, et avoir à disposition une mesure plus directe de ces paramètres devrait pouvoir améliorer la qualité des simulations réalisées. Ceci permet également d'estimer l'erreur potentielle faite en utilisant une donnée comme la nébulosité en lieu et place de la LMO, au travers des tests de sensibilité réalisés lors des étapes de modélisation. L'idée au final serait d'évaluer l'intérêt du déploiement des mesures permanentes de vent avec des anémomètres soniques 3D sur la zone de l'Eurodistrict pour mieux contraindre les modélisations urbaines (ADMS Urban).
- d'autre part, d'avoir une meilleure caractérisation des régimes de vents faibles puisque ce type d'instrument a une limite de détection (en vitesse et direction) largement plus basse que les anémomètres classiques. Par exemple, cela permet de vérifier que l'hypothèse appliquée par ADMS Urban sur les vents faibles (tout vent inférieur à 0.75 m/s est ramené à 0.75 m/s) n'est pas trop éloignée de la réalité, i.e. que les vents faibles sont plus proches de 0.75 m/s que 0 m/s.



Figure 3 – Photos des sites de Geispolsheim (à gauche), Bodersweier (à droite)

Le **Tableau 2** récapitule la disponibilité des données des trois anémomètres installés à Geispolsheim, Bodersweier et Kehl sur la période allant du 16 janvier au 14 mars 2013. A Kehl, l'anémomètre n'a malheureusement fonctionné que 3 jours². A l'inverse, l'anémomètre situé à Bodersweier n'a commencé à récolter des mesures qu'à partir du 7 février. La période de mesures consécutives la plus grande concerne l'anémomètre situé à Geispolsheim qui a fonctionné du début de la période jusqu'au 21 février³.

Il n'était pas prévu initialement un suivi particulier de ces dispositifs complémentaires, mais le retour d'expérience sur cette campagne hivernale, et dans une moindre mesure sur la campagne estivale avec des conditions de fonctionnement moins contraignantes, montre qu'il est important de prévoir un suivi soit au travers de moyen de communication à distance, soit au travers de visites régulières de techniciens formés pour des campagnes d'aussi longue durée (1 à 3 mois).

Mois par mois, on peut résumer la disponibilité des données ainsi :

- sur la deuxième quinzaine de Janvier, les mesures de vent ne sont disponibles qu'au niveau de Geispolsheim. La sonde complémentaire à Kehl a également fonctionné.
- Le mois de février est couvert au 2/3 par l'anémomètre de Geispolsheim et à moitié par l'anémomètre de Bodersweier.
- Sur la première quinzaine du mois de mars, on ne dispose de données qu'au niveau de Bodersweier.

Tableau 2 - Disponibilité des données des trois anémomètres soniques sur la période de mesure.

		Anémomètres soniques			Sonde
		Kehl	Bodersweier	Geispolsheim	Kehl
Janvier	16/01/2013	0	0	1	1
	17/01/2013	1	0	1	1
	18/01/2013	1	0	1	1
	19/01/2013	1	0	1	1
	20/01/2013	0	0	1	1
	21/01/2013	0	0	1	1
	22/01/2013	0	0	1	1
	23/01/2013	0	0	1	1
	24/01/2013	0	0	1	1
	25/01/2013	0	0	1	1
	26/01/2013	0	0	1	1
	27/01/2013	0	0	1	1
	28/01/2013	0	0	1	1
	29/01/2013	0	0	1	1
30/01/2013	0	0	1	1	
31/01/2013	0	0	1	1	
Février	01/02/2013	0	0	1	1
	02/02/2013	0	0	1	1
	03/02/2013	0	0	1	1
	04/02/2013	0	0	1	1
	05/02/2013	0	0	1	1
	06/02/2013	0	0	1	0
	07/02/2013	0	1	1	0
	08/02/2013	0	1	1	0
	09/02/2013	0	1	1	0
	10/02/2013	0	1	1	0
	11/02/2013	0	1	1	0
	12/02/2013	0	1	1	0
	13/02/2013	0	1	1	0

² Ceci a été observé lors de la désinstallation du site où il a été constaté que le branchement du coffret de mesure sur la prise allemande avait été modifié : lors de l'installation celui-ci était branché sur une multiprise branché sur la prise principale dans le bunker. A la désinstallation, le coffret était branché directement sur la prise principale. Il y a donc eu naturellement un arrêt de l'alimentation électrique et la relance automatique de l'acquisition de l'anémomètre sonique n'a pas fonctionné (la sonde additionnelle a quant à elle redémarré, mais a fourni des mesures jusqu'à début février seulement). Etant donné que ces stations n'étaient pas équipées de moyen de communication à distance (équipement non prévu lors de la phase de montage du projet), il n'était pas possible d'en faire une supervision, et ce problème n'a pas pu être détecté.

³ Lors de la désinstallation, il a été observé que le PC d'acquisition était également bloqué sur une phase de reboot, il semble que le 21 février correspond à une date de coupure électrique.

		Anémomètres soniques			Sonde	
		Geispolsheim	Kehl	Geispolsheim	Kehl	
Février	14/02/2013	0	1	1	0	
	15/02/2013	0	1	1	0	
	16/02/2013	0	1	1	0	
	17/02/2013	0	1	1	0	
	18/02/2013	0	1	1	0	
	19/02/2013	0	1	1	0	
	20/02/2013	0	1	1	0	
	21/02/2013	0	1	1	0	
	22/02/2013	0	0	0	0	
	23/02/2013	0	0	0	0	
	24/02/2013	0	0	0	0	
	25/02/2013	0	0	0	0	
	26/02/2013	0	0	0	0	
	27/02/2013	0	0	0	0	
28/02/2013	0	1	0	0		
Mars	01/03/2013	0	1	0	0	
	02/03/2013	0	1	0	0	
	03/03/2013	0	1	0	0	
	04/03/2013	0	1	0	0	
	05/03/2013	0	1	0	0	
	06/03/2013	0	1	0	0	
	07/03/2013	0	1	0	0	
	08/03/2013	0	1	0	0	
09/03/2013	0	1	0	0		

■ SODAR

Un SODAR (Sonic Detection And Ranging) est un appareil de télédétection qui utilise les ondes sonores pour mesurer la vitesse et la direction des vents en altitude ainsi que la structure thermodynamique et la turbulence dans les basses couches de l'atmosphère terrestre.

Une antenne émet dans l'atmosphère dans plusieurs directions des impulsions acoustiques (dans une gamme de fréquences de 1,2 à 2 kHz). Elle analyse ensuite l'écho rétro-diffusé par les hétérogénéités de température dans l'atmosphère, et détermine la variation de la fréquence émise dans chaque direction de tir. Ce décalage en fréquence (effet Doppler) est directement lié à la vitesse radiale de déplacement des cellules cibles. A partir de 3 directions de tir, il est ainsi possible de reconstituer le vecteur vent (profil vertical de vitesse et direction du vent) ainsi qu'une information sur la turbulence atmosphérique (intensité de l'écho, fluctuations des vitesses verticales).

Le SODAR émet donc à la verticale et dans deux directions, généralement le nord et l'est, avec un angle entre 15 et 30 degrés de la verticale. Dans chacune de ces trois directions, l'écho de retour comporte un changement de fréquence dû au mouvement de l'air (effet Doppler). Le changement dans la direction verticale correspond à la vitesse verticale de l'air. Pour mesurer le vent horizontal, le SODAR utilise les échos revenant dans deux directions orthogonales pour trouver les composantes radiales de la vitesse dans ces directions. En combinant ces deux données et la vitesse verticale dans l'équation de continuité de masse, il est alors possible de calculer le vent total et donc sa composante horizontale.



Figure 4 – Illustration des émetteurs et écouteurs et d'un SODAR Doppler

On obtient des résultats avec une bonne résolution sur les premières centaines de mètres de l'atmosphère, voire jusqu'à 1 km. Au-delà, l'atténuation des ondes acoustiques dans l'atmosphère est trop importante. En conditions optimales, 70% des mesures instantanées sont disponibles à 300 m. La portée maximale de mesure dépend de l'agitation de l'atmosphère et des conditions d'environnement du site. Plus l'atmosphère est instable, moins la portée utile du SODAR sera grande. La propagation dépend également de la fréquence utilisée, de la puissance de l'émetteur, de la turbulence atmosphérique et du niveau de bruit dans l'environnement.

En effet, le signal reçu par le SODAR peut lui-même être brouillé par les bruits environnants. Typiquement, les performances attendues d'un SODAR se trouvent dégradées par temps de pluie. Ceci est également le cas en cas de perturbations sonores non récurrentes ou cycliques (dans le cas de perturbations constantes ou récurrentes, il est possible lors de l'analyse des signaux d'essayer d'extraire une telle perturbation ; ce qui est impossible quand la perturbation est ponctuelle dans le temps). Cependant, le SODAR permet de compléter efficacement les mesures obtenues avec d'autres instruments (comme un radar ST) dans les basses couches, là où ceux-ci sont perturbés par les « échos de sol ». Les mesures par SODAR donnent donc des informations très utiles pour l'étude de la couche limite planétaire.

Le SODAR déployé sur le site de Kehl permet de réaliser une mesure sur trois bandes de fréquence différentes. L'intérêt d'une telle mesure est d'augmenter la précision et disponibilité des mesures, puisque les interférences atmosphériques et acoustiques diffèrent légèrement selon la fréquence émise. Il permet d'avoir une information sur les premières centaines de mètres de l'atmosphère sur le vent afin d'évaluer si il est intéressant ou non de prendre en compte ce type d'information dans ADMS Urban, et dans un premier temps d'observer si le vent varie fortement selon la verticale au niveau du point d'observation (centre du domaine d'étude).



Figure 5 – Photo du site de Kehl Hafen (campagne hiver)

Le SODAR installé au bord du Rhin a fonctionné entre le 16 janvier et le 4 mars 2013. Sur cette période, les données de vitesse et direction du vent sont disponibles selon la verticale, tous les 20 m entre le sol et 380 m de hauteur, ainsi que pour les hauteurs 680 et 700 m. Trois profils différents sont obtenus en fonction de la fréquence d'échantillonnage : 1800, 2100 et 2400 Hz.

Le **Tableau 3** donne le pourcentage de profils disponibles par jour et en fonction de la fréquence d'échantillonnage retenue. Pour une échéance donnée, le profil est considéré comme disponible dès lors qu'au moins une valeur valide existe parmi toutes les mesures possibles. Enfin, les dernières lignes du **Tableau 3** comptabilisent le nombre de données disponibles selon trois catégories : plus de 95% de données disponibles, entre 90 compris et 95%, et inférieur à 90%.

Tableau 3 - Disponibilité des profils de vent (en %) par jour et par fréquence d'échantillonnage. Les cases sur fond vert correspondent à des disponibilités de données supérieures ou égales à 95 %, tandis que celles sur fond bleu indiquent des pourcentages de disponibilité compris entre 90 et 95 %. La donnée est considérée comme disponible dès qu'au moins une mesure est disponible et valide à une altitude.

	jour	Fréquence d'échantillonnage		
		1800 Hz	2100 Hz	2400 Hz
Janvier	16/01/2013	59.7	59.7	59.7
	17/01/2013	100	100	100
	18/01/2013	98.6	99.3	100
	19/01/2013	99.3	100	99.3
	20/01/2013	99.3	100	99.3
	21/01/2013	100	100	99.3
	22/01/2013	96.5	99.3	100
	23/01/2013	98.6	100	100
	24/01/2013	98.6	100	98.6
	25/01/2013	98.6	100	100
	26/01/2013	100	99.3	100
	27/01/2013	95.1	96.5	97.9
	28/01/2013	97.2	97.2	98.6
	29/01/2013	97.2	99.3	99.3
	30/01/2013	92.4	95.8	96.5
31/01/2013	96.5	93.1	93.8	
Février	01/02/2013	93.8	98.6	91.0
	02/02/2013	95.8	97.9	96.5
	03/02/2013	96.5	97.9	100
	04/02/2013	97.9	100	99.3
	05/02/2013	94.4	97.9	95.8
	06/02/2013	91.7	100	100
	07/02/2013	98.6	100	100
	08/02/2013	99.3	100	100
	09/02/2013	100	100	100
	10/02/2013	100	100	100
	11/02/2013	100	100	100
	12/02/2013	99.3	100	99.3
	13/02/2013	97.2	100	100
	14/02/2013	100	100	100
	15/02/2013	97.9	99.3	100
	16/02/2013	97.2	100	98.6
	17/02/2013	98.6	99.3	99.3
	18/02/2013	97.2	99.3	100
	19/02/2013	96.5	98.6	97.9
	20/02/2013	97.9	100	100
	21/02/2013	99.3	100	100
	22/02/2013	99.3	100	100
	23/02/2013	100	100	100
	24/02/2013	99.3	100	100
	25/02/2013	99.3	97.2	99.3
	26/02/2013	98.6	99.3	100
	27/02/2013	99.3	99.3	99.3
	28/02/2013	99.3	100	99.3
Mars	01/03/2013	97.9	100	100
	02/03/2013	93.1	97.9	100
	03/03/2013	97.9	100	100
	04/03/2013	97.9	99.3	99.3

Catégorie	Effectif		
[95,100]	42	46	45
[90,95[5	1	2
[0,90[1	1	1

Le **Tableau 4** détaille la disponibilité des données de vent en fonction de la hauteur et sur l'ensemble de la période de la campagne de mesure. Quelle que soit la fréquence d'échantillonnage considérée, le vent (vitesse et direction) a principalement été mesuré entre 40 et 140 m d'altitude. Au-dessus de 200 m, les disponibilités des données tombent sous les 50 %.

Tableau 4 - Disponibilité des données de vent (en %) en fonction de la hauteur et par fréquence d'échantillonnage sur l'ensemble de la campagne de mesure. Les cases sur fond violet correspondent à des disponibilités de données supérieures ou égales à 70 %.

Hauteur (m)	Fréquence d'échantillonnage		
	1800 Hz	2100 Hz	2400 Hz
20	0	0	84.6
40	0	54.8	92.3
60	86.1	84.7	83.9
80	78.1	89.9	82.8
100	82.7	87	74.5
120	73.2	83.2	63.6
140	62	77.1	50.8
160	52.5	69.2	38.6
180	41	61.1	27.5
200	32.3	53.5	20.1
220	24.8	45.3	14.5
240	20	37	10.4
260	15	30.1	7
280	11.2	24.2	4.5
300	7.5	18.9	2.7
320	5.3	14.2	1.3
340	4	10.5	0.8
360	3.6	7.2	0.4
380	1.9	5.6	0.2
680	0	0	0
700	0	0	0

Comme expliqué précédemment, les mesures sodar peuvent être perturbées par certaines conditions atmosphériques (précipitations, turbulence spécifique) et également par des sources sonores extérieures proches du site de mesure. Toutefois, contrairement à la campagne estivale, on observe une forte disponibilité des mesures jour par jour, confirmant que les travaux de gros œuvre réalisés en été 2012 à l'emplacement de la station étaient à l'origine d'une partie des perturbations des mesures. Par contre, concernant la disponibilité des mesures selon la verticale, on retrouve le constat de la campagne estivale à savoir des mesures disponibles essentiellement en dessous de 200m. Il est donc possible que la proximité du Rhin puisse conduire à des phénomènes atmosphériques locaux (turbulence, etc ...) qui perturbent la mesure SODAR.

■ Ceilomètre

Nébulosité

Le **Tableau 5** donne la disponibilité des valeurs de nébulosité déduites des mesures du ceilomètre. On constate que sur la période de la campagne de mesure, le jeu de données est complet.

Tableau 5 - Disponibilité (en %) des données de nébulosité fournies par le ceilomètre.

Mois	Date	Nébulosité	Mois	Date	Nébulosité	Mois	Date	Nébulosité		
Janvier			Février	01/02/2013	100	Mars	01/03/2013	100		
				02/02/2013	100		02/03/2013	100		
				03/02/2013	100		03/03/2013	100		
				04/02/2013	100		04/03/2013	100		
				05/02/2013	100		05/03/2013	100		
				06/02/2013	100		06/03/2013	100		
				07/02/2013	100		07/03/2013	100		
				08/02/2013	100		08/03/2013	100		
				09/02/2013	100		09/03/2013	100		
				10/02/2013	100					
				11/02/2013	100					
				12/02/2013	100					
				13/02/2013	100					
				14/02/2013	100					
				15/02/2013	100					
		16/01/2013		100			16/02/2013	100		
		17/01/2013		100			17/02/2013	100		
		18/01/2013		100			18/02/2013	100		
		19/01/2013		100			19/02/2013	100		
		20/01/2013		100			20/02/2013	100		
		21/01/2013		100			21/02/2013	100		
		22/01/2013		100			22/02/2013	100		
		23/01/2013		100			23/02/2013	100		
		24/01/2013		100			24/02/2013	100		
		25/01/2013		100			25/02/2013	100		
		26/01/2013		100			26/02/2013	100		
		27/01/2013		100			27/02/2013	100		
		28/01/2013		100			28/02/2013	100		
		29/01/2013		100						
		30/01/2013		100						
		31/01/2013		100						

Hauteurs de couche limite

Le **Tableau 6** donne la disponibilité des valeurs de hauteur de couche limite déduites des mesures du ceilomètre. Sur la période de la campagne de mesure, la disponibilité des données va en diminuant selon que l'on considère les valeurs BLH 1, BLH 2 et BLH 3. Quantitativement, les disponibilités pour le paramètre BLH 1 sont pour une grande part supérieures à 90% tandis que pour le paramètre BLH 3, on oscille la plupart du temps entre 20 et 60% de données disponibles par jour. Ces pourcentages sont toutefois légèrement plus faibles que pendant la campagne estivale, ce qui peut être dû aux conditions météorologiques particulièrement rigoureuses pendant cet hiver avec de nombreux jours avec précipitations neigeuses.

Un ceilomètre est un instrument qui émet une onde lumineuse à sa verticale et qui mesure la partie de ce rayonnement qui est rétro-diffusé vers le bas suite à sa dispersion par les particules présentes dans l'atmosphère à la verticale de l'instrument (en fait ceci correspond au principe de mesure dite LIDAR = Light detection and ranging). L'intensité de ce rayonnement mesuré (et son décalage de phase) permet d'évaluer l'altitude à laquelle la dispersion

se produit. Initialement, un tel appareil a été conçu pour détecter la hauteur de la base des nuages, puisque les gouttes d'eau constituant les nuages dispersent le rayonnement émis par l'instrument (directement et par le fait qu'une goutte d'eau se crée autour d'un noyau de condensation = particules).



Figure 6 – Illustration du ceilomètre acquis par la LUBW

Mais en cas de couche d'aérosol suffisamment concentrée dans l'atmosphère, l'instrument permet également de détecter la présence de ces aérosols ou de micro-particules, en particulier quand ces couches résultent de phénomènes de stratification/accumulation dans l'atmosphère : un exemple est la présence d'une inversion de température selon la verticale qui constitue une frontière entre deux couches de l'atmosphère qui est ainsi le lieu d'accumulation de particules et de différenciation entre ces deux couches avec un fort gradient de concentration. En plus de la mesure de l'altitude de la base des nuages, selon la configuration du ceilomètre, il est donc possible de détecter la présence d'aérosols et ainsi d'en déduire des altitudes des couches de mélange et/ou des profils verticaux d'aérosols.

Le ceilomètre installé par le LUBW estime en automatique jusqu'à 3 hauteurs de mélange (hauteur mesurée chacun par rapport au sol) qui correspondent respectivement à :

- BLH1 = hauteur de mélange la plus basse qui correspond à la première couche de l'atmosphère impacté directement par le sol (effet thermique ou dynamique) et par des effets d'inversion de température à la surface. C'est la couche de l'atmosphère située à proximité du sol dans laquelle les composants de l'air sont bien mélangés.
- BLH2 = hauteur d'une couche située au dessus de la couche de mélange dans laquelle un second gradient de concentration apparaît par rapport aux couches supérieures de l'atmosphère. Une telle couche apparaît généralement la nuit (cf figure suivante) :

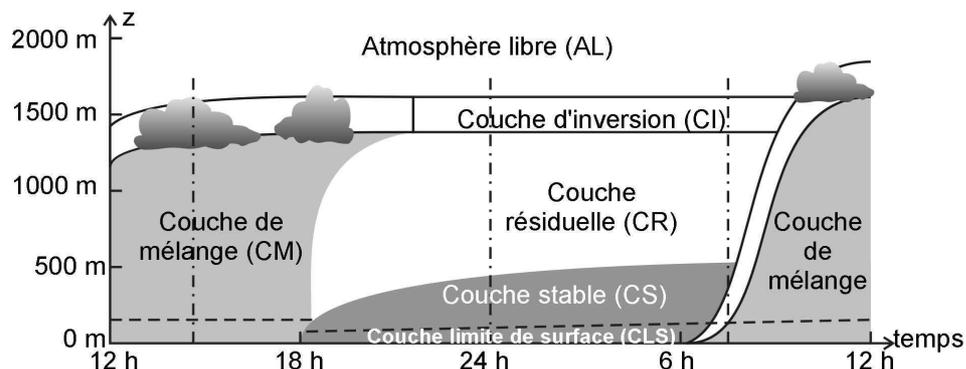


Figure 7 - Evolution de la structure thermique de la couche limite atmosphérique au cours d'une journée. D'après R. Stull (1988)

- BLH 3 = troisième hauteur possible de différenciation du gradient de concentration des particules.

La difficulté des mesures du ceilomètre est de savoir si, par exemple la nuit, la mesure BLH1 correspond à la hauteur de la couche limite de surface ou de la couche stable, etc ... De même le jour, la question est de savoir si BLH2 est la hauteur de la couche de mélange ou d'une éventuelle couche d'inversion thermique existante au dessus de cette couche de mélange. D'autant que les analyses du LUBW montrent que parfois, même avec des conditions propices, il n'y a pas de première couche de mélange détectée (cassure des couches à midi, affaissement des régimes journaliers). Et lorsqu'il pleut, qu'il y a du brouillard, ou d'autres événements, la couche de mélange n'est pas donnée non plus. En cas de pluie le ceilomètre donne un signal parasite.

Tableau 6 - Disponibilité (en %) des données de hauteur de couche limite issues des mesures du ceilomètre.

Mois	Date	BLH 1	BLH 2	BLH 3
Janvier	16/01/2013	81.3	75.0	39.6
	17/01/2013	22.9	20.8	0.0
	18/01/2013	62.5	62.5	27.1
	19/01/2013	62.5	62.5	47.9
	20/01/2013	2.1	2.1	0
	21/01/2013	54.2	54.2	39.6
	22/01/2013	93.8	93.8	81.3
	23/01/2013	50.0	50.0	18.8
	24/01/2013	41.7	39.6	14.6
	25/01/2013	85.4	66.7	14.6
	26/01/2013	97.9	77.1	29.2
	27/01/2013	91.7	87.5	43.8
	28/01/2013	97.9	83.3	43.8
	29/01/2013	68.8	54.2	25.0
30/01/2013	95.8	70.8	27.1	
31/01/2013	95.8	43.8	18.8	
Février	01/02/2013	45.8	37.5	20.8
	02/02/2013	85.4	81.3	45.8
	03/02/2013	93.8	85.4	37.5
	04/02/2013	77.1	68.8	27.1
	05/02/2013	89.6	75.0	39.6
	06/02/2013	60.4	58.3	33.3
	07/02/2013	91.7	87.5	45.8
	08/02/2013	75.0	70.8	41.7
	09/02/2013	91.7	89.6	70.8
	10/02/2013	93.8	58.3	33.3
	11/02/2013	45.8	41.7	18.8
	12/02/2013	100	75.0	41.7
	13/02/2013	100	50.0	0
	14/02/2013	87.5	87.5	39.6
15/02/2013	50.0	47.9	35.4	
16/02/2013	95.8	95.8	14.6	
17/02/2013	66.7	66.7	27.1	
18/02/2013	97.9	79.2	14.6	

Mois	Date	BLH 1	BLH 2	BLH 3
Février	19/02/2013	91.7	89.6	79.2
	20/02/2013	77.1	77.1	47.9
	21/02/2013	100	91.7	31.3
	22/02/2013	95.8	91.7	35.4
	23/02/2013	45.8	37.5	10.4
	24/02/2013	43.8	29.2	14.6
	25/02/2013	83.3	83.3	62.5
	26/02/2013	52.1	47.9	10.4
	27/02/2013	68.8	52.1	2.1
Mars	28/02/2013	100	100	16.7
	01/03/2013	83.3	31.3	0
	02/03/2013	100	47.9	0
	03/03/2013	100	79.2	4.2
	04/03/2013	95.8	56.3	22.9
	05/03/2013	97.9	83.3	12.5
	06/03/2013	100	97.9	79.2
	07/03/2013	95.8	93.8	83.3
	08/03/2013	64.6	64.6	54.2
09/03/2013	100	95.8	79.2	

La figure suivante présente un exemple de rendu du ceilomètre au cours d'une journée.

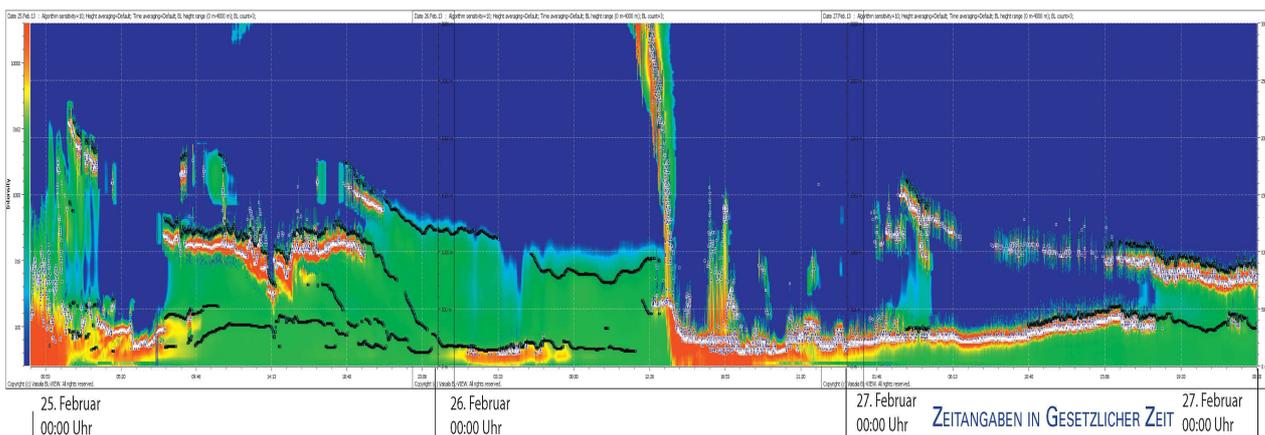


Figure 8 - Evolution de la couche limite du 25 au 27 février 2013

■ Stations fixes

■ ASPA

Vitesse et direction du vent

Le **Tableau 7** donne le taux de disponibilité des données de vent, jour par jour, au niveau des stations du réseau ASPA. Sur l'ensemble des stations fixes, le jeu de données de vitesses de vent est complet tandis que les données de direction de vent sont assez inégalement renseignées : en effet, aucune direction de vent n'est fournie lorsque la vitesse est inférieure à 0,5m/s.

Tableau 7 – Disponibilité (en %) des données de vent au niveau des stations du réseau ASPA. Pour chaque station, la première colonne correspond à la vitesse du vent tandis que la seconde colonne correspond à la direction du vent.

Mois	Date	Stations											
		STG Ouest		STG CRR		Nord Est Alsace		Vosges du Nord		STG DRIRE		STG A35	
		Vit	Dir	Vit	Dir	Vit	Dir	Vit	Dir	Vit	Dir	Vit	Dir
Janvier	01/01/2013	100	95.8	100	100	100	100	100	100	100	100	100	87.5
	02/01/2013	100	4.2	100	66.7	100	100	100	100	100	54.2	100	25.0
	03/01/2013	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
	04/01/2013	100	66.7	100	87.5	100	100	100	100	100	75.0	100	70.8
	05/01/2013	100	58.3	100	91.7	100	100	100	100	100	41.7	100	37.5
	06/01/2013	100	41.7	100	91.7	100	100	100	100	100	91.7	100	45.8
	07/01/2013	100	33.3	100	50.0	100	87.5	100	62.5	100	54.2	100	45.8
	08/01/2013	100	41.7	100	100	100	100	100	83.3	100	54.2	100	62.5
	09/01/2013	100	41.7	100	95.8	100	100	100	83.3	100	83.3	100	79.2
	10/01/2013	100	70.8	100	75.0	100	100	100	100	100	95.8	100	79.2
	11/01/2013	100	20.8	100	37.5	100	62.5	100	62.5	100	29.2	100	33.3
	12/01/2013	100	83.3	100	100	100	100	100	100	100	87.5	100	79.2
	13/01/2013	100	100	100	100	100	100	100	95.8	100	100	100	100
	14/01/2013	100	70.8	100	70.8	100	79.2	100	66.7	100	50.0	100	91.7
	15/01/2013	100	66.7	100	70.8	100	87.5	100	87.5	100	75.0	100	75.0
	16/01/2013	100	83.3	100	87.5	100	87.5	100	87.5	100	62.5	100	66.7
	17/01/2013	100	91.7	100	70.8	100	91.7	100	62.5	100	66.7	100	100
	18/01/2013	100	87.5	100	83.3	100	83.3	100	66.7	100	70.8	100	87.5
	19/01/2013	100	83.3	100	87.5	100	100	100	100	100	70.8	100	83.3
	20/01/2013	100	79.2	100	75.0	100	95.8	100	95.8	100	54.2	100	66.7
	21/01/2013	100	4.2	100	16.7	100	79.2	100	95.8	100	16.7	100	4.2
	22/01/2013	100	37.5	100	20.8	100	75.0	100	79.2	100	50.0	100	37.5
	23/01/2013	100	75.0	100	79.2	100	100	100	79.2	100	83.3	100	91.7
	24/01/2013	100	100	100	95.8	100	100	100	91.7	100	95.8	100	100
	25/01/2013	100	100	100	100	100	100	100	66.7	100	91.7	100	91.7
	26/01/2013	100	58.3	100	58.3	100	91.7	100	95.8	100	75.0	100	75.0
	27/01/2013	100	83.3	100	79.2	100	100	100	87.5	100	91.7	100	83.3
	28/01/2013	100	70.8	100	79.2	100	100	100	100	100	83.3	100	79.2
	29/01/2013	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
	30/01/2013	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
	31/01/2013	100	95.8	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Février	01/02/2013	100	87.5	100	95.8	100	100	100	100	95.8	100	87.5	
	02/02/2013	100	95.8	100	100	100	95.8	100	91.7	100	95.8	100	95.8
	03/02/2013	100	100	100	100	100	100	100	100	100	91.7	100	100
	04/02/2013	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
	05/02/2013	100	95.8	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
	06/02/2013	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	95.8
	07/02/2013	100	83.3	100	100	100	100	100	100	100	87.5	100	70.8
	08/02/2013	100	83.3	100	100	100	83.3	100	87.5	100	83.3	100	62.5
	09/02/2013	100	66.7	100	70.8	100	62.5	100	50.0	100	41.7	100	75.0
	10/02/2013	100	79.2	100	75.0	100	95.8	100	91.7	100	66.7	100	83.3
	11/02/2013	100	91.7	100	95.8	100	100	100	100	100	66.7	100	79.2
	12/02/2013	100	100	100	91.7	100	87.5	100	75.0	100	100	100	100
	13/02/2013	100	66.7	100	70.8	100	66.7	100	58.3	100	83.3	100	91.7
	14/02/2013	100	66.7	100	58.3	100	62.5	100	95.8	100	70.8	100	75.0
	15/02/2013	100	4.2	100	8.3	100	75.0	100	87.5	100	4.2	100	8.3
	16/02/2013	100	8.3	100	12.5	100	66.7	100	37.5	100	29.2	100	33.3
	17/02/2013	100	58.3	100	70.8	100	87.5	100	79.2	100	41.7	100	58.3
	18/02/2013	100	91.7	100	87.5	100	100	100	100	100	91.7	100	91.7
	19/02/2013	100	37.5	100	50.0	100	75.0	100	70.8	100	41.7	100	50.0
	20/02/2013	100	95.8	100	100	100	100	100	100	100	95.8	100	100
	21/02/2013	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
	22/02/2013	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
	23/02/2013	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
	24/02/2013	100	54.2	100	50.0	100	70.8	100	50.0	100	37.5	100	75.0
	25/02/2013	100	25.0	100	33.3	100	91.7	100	54.2	100	45.8	100	45.8

Mois	Date	Stations											
		STG Ouest		STG CRR		Nord Est Alsace		Vosges du Nord		STG DRIRE		STG A35	
		Vit	Dir	Vit	Dir	Vit	Dir	Vit	Dir	Vit	Dir	Vit	Dir
Février	26/02/2013	100	87.5	100	91.7	100	87.5	100	75.0	100	70.8	100	95.8
	27/02/2013	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	87.5	87.5
	28/02/2013	100	79.2	100	91.7	100	75.0	100	79.2	100	75.0	100	100
Mars	01/03/2013	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	95.8
	02/03/2013	100	58.3	100	79.2	100	91.7	100	83.3	100	45.8	100	54.2
	03/03/2013	100	50.0	100	62.5	100	66.7	100	66.7	100	62.5	100	58.3
	04/03/2013	100	33.3	100	62.5	100	100	100	100	100	50.0	100	54.2
	05/03/2013	100	20.8	100	37.5	100	45.8	100	100	100	16.7	100	12.5
	06/03/2013	100	33.3	100	58.3	100	70.8	100	95.8	100	37.5	100	41.7
	07/03/2013	100	29.2	100	45.8	100	75.0	100	83.3	100	41.7	100	33.3
	08/03/2013	100	20.8	100	33.3	100	83.3	100	91.7	100	20.8	100	25.0
	09/03/2013	100	87.5	100	100	100	100	100	100	100	79.2	100	79.2

Température

L'étude de la disponibilité des mesures de température (cf. **Tableau 8**) montre qu'au niveau des stations fixes, le jeu de données sur la période de la campagne est quasiment complet⁴.

Tableau 8 - Disponibilité (en %) des données de température au niveau des stations du réseau ASPA.

Mois	Date	Stations				
		STG Ouest	Nord Est Alsace	STG Sud2	Vosges moyennes2	Vosges du Nord
Janvier	01/01/2013	100	100	100	100	100
	02/01/2013	100	100	100	100	100
	03/01/2013	100	100	100	100	100
	04/01/2013	100	100	100	100	100
	05/01/2013	100	100	100	100	100
	06/01/2013	100	100	100	100	100
	07/01/2013	100	100	100	100	100
	08/01/2013	100	100	100	100	100
	09/01/2013	100	100	100	100	100
	10/01/2013	100	100	100	100	100
	11/01/2013	100	100	100	100	100
	12/01/2013	100	100	100	100	100
	13/01/2013	100	100	100	100	100
	14/01/2013	100	100	100	100	100
	15/01/2013	100	100	100	100	100
	16/01/2013	100	100	100	100	100
	17/01/2013	100	100	100	100	100
	18/01/2013	100	100	100	100	100
	19/01/2013	100	100	100	100	100
	20/01/2013	100	100	100	100	100
	21/01/2013	100	100	100	100	100
	22/01/2013	100	100	100	100	100
	23/01/2013	100	100	100	100	100
	24/01/2013	100	100	100	100	100
	25/01/2013	100	100	100	100	100
	26/01/2013	100	100	100	100	100
	27/01/2013	100	100	100	100	100
	28/01/2013	100	100	100	100	100
	29/01/2013	100	100	100	100	100
	30/01/2013	100	100	100	100	100
	31/01/2013	100	100	100	100	100

⁴ Pour information, la station STG CRR ne mesure plus la température depuis fin août 2012.

Mois	Date	Stations				
		STG Ouest	Nord Est Alsace	STG Sud2	Vosges moyennes2	Vosges du Nord
Février	01/02/2013	100	100	100	100	100
	02/02/2013	100	100	100	100	100
	03/02/2013	100	100	100	100	100
	04/02/2013	100	100	100	100	100
	05/02/2013	100	100	100	100	100
	06/02/2013	100	100	100	100	100
	07/02/2013	100	100	100	100	100
	08/02/2013	100	100	100	100	100
	09/02/2013	100	100	100	100	100
	10/02/2013	100	100	100	100	100
	11/02/2013	100	100	100	100	100
	12/02/2013	100	100	100	100	100
	13/02/2013	100	100	100	100	100
	14/02/2013	100	100	100	100	100
	15/02/2013	100	100	100	100	100
	16/02/2013	100	100	100	100	100
	17/02/2013	100	100	100	100	100
	18/02/2013	100	100	100	100	100
	19/02/2013	100	100	100	100	100
	20/02/2013	100	100	100	100	100
	21/02/2013	100	100	58.3	100	100
	22/02/2013	100	100	58.3	100	100
	23/02/2013	100	100	100	100	100
	24/02/2013	100	100	100	100	100
	25/02/2013	100	100	100	100	100
	26/02/2013	100	100	100	100	100
	27/02/2013	100	100	100	100	100
	28/02/2013	100	100	100	100	100
Mars	01/03/2013	100	100	100	100	100
	02/03/2013	100	100	100	100	100
	03/03/2013	100	100	100	100	100
	04/03/2013	100	87.5	100	100	100
	05/03/2013	100	100	100	100	100
	06/03/2013	100	100	100	100	100
	07/03/2013	100	100	100	100	100
	08/03/2013	100	100	100	100	100
09/03/2013	100	100	100	100	100	

■ Météo France

Vent

Au niveau des stations du réseau Météo France, le jeu de données de vent fourni (mesures de la vitesse et de la direction) est quasi-complet sur les trois stations (cf. **Tableau 9**).

Tableau 9 - Disponibilité (en %) des données de vent au niveau des stations Météo France.

Mois	Date	Stations		
		Entzheim	La Wantzenau	Sélestat
Janvier	16/01/2013	100	100	100
	17/01/2013	100	100	100
	18/01/2013	100	100	100
	19/01/2013	100	100	100
	20/01/2013	100	100	100
	21/01/2013	100	100	100
	22/01/2013	100	100	100
	23/01/2013	100	100	100
24/01/2013	100	100	100	

Mois	Date	Stations		
		Entzheim	La Wantzenau	Sélestat
Janvier	25/01/2013	100	100	100
	26/01/2013	100	100	100
	27/01/2013	100	100	100
	28/01/2013	100	100	100
	29/01/2013	100	100	100
	30/01/2013	100	100	100
	31/01/2013	100	100	100
Février	01/02/2013	100	100	100
	02/02/2013	100	100	100
	03/02/2013	100	100	100
	04/02/2013	100	100	100
	05/02/2013	100	100	100
	06/02/2013	100	100	100
	07/02/2013	100	100	100
	08/02/2013	100	100	100
	09/02/2013	100	100	100
	10/02/2013	100	100	100
	11/02/2013	100	100	100
	12/02/2013	100	100	100
	13/02/2013	100	100	100
	14/02/2013	100	100	100
	15/02/2013	100	100	100
	16/02/2013	100	100	100
	17/02/2013	100	100	100
	18/02/2013	100	100	100
	19/02/2013	100	100	100
	20/02/2013	100	100	100
	21/02/2013	100	100	100
	22/02/2013	100	100	100
	23/02/2013	100	100	100
	24/02/2013	100	100	100
	25/02/2013	100	100	100
	26/02/2013	100	100	100
	27/02/2013	100	100	100
	28/02/2013	100	91.7	100
Mars	01/03/2013	100	100	100
	02/03/2013	100	100	100
	03/03/2013	100	95.8	100
	04/03/2013	100	100	100
	05/03/2013	100	100	100
	06/03/2013	100	100	100
	07/03/2013	100	100	100
	08/03/2013	100	100	100
09/03/2013	100	100	100	

Température

A l'exception du 16 janvier sur Entzheim et du 28 février sur la Wantzenau, le jeu de données de température fourni est complet jusqu'au 9 mars pour les trois stations de mesure considérées (cf. **Tableau 10**).

Tableau 10 - Disponibilité (en %) des données de température au niveau des stations Météo France.

Mois	Date	Stations		
		Entzheim	La Wantzenau	Sélestat
Janvier	16/01/2013	95.8	100	100
	17/01/2013	100	100	100
	18/01/2013	100	100	100
	19/01/2013	100	100	100
	20/01/2013	100	100	100
	21/01/2013	100	100	100
	22/01/2013	100	100	100
	23/01/2013	100	100	100
	24/01/2013	100	100	100
	25/01/2013	100	100	100
	26/01/2013	100	100	100
	27/01/2013	100	100	100
	28/01/2013	100	100	100
	29/01/2013	100	100	100
30/01/2013	100	100	100	
31/01/2013	100	100	100	
Février	01/02/2013	100	100	100
	02/02/2013	100	100	100
	03/02/2013	100	100	100
	04/02/2013	100	100	100
	05/02/2013	100	100	100
	06/02/2013	100	100	100
	07/02/2013	100	100	100
	08/02/2013	100	100	100
	09/02/2013	100	100	100
	10/02/2013	100	100	100
	11/02/2013	100	100	100
	12/02/2013	100	100	100
	13/02/2013	100	100	100
	14/02/2013	100	100	100
	15/02/2013	100	100	100
	16/02/2013	100	100	100
	17/02/2013	100	100	100
	18/02/2013	100	100	100
	19/02/2013	100	100	100
	20/02/2013	100	100	100
	21/02/2013	100	100	100
	22/02/2013	100	100	100
	23/02/2013	100	100	100
	24/02/2013	100	100	100
	25/02/2013	100	100	100
	26/02/2013	100	100	100
	27/02/2013	100	100	100
	28/02/2013	100	91.7	100
Mars	01/03/2013	100	100	100
	02/03/2013	100	100	100
	03/03/2013	100	100	100
	04/03/2013	100	100	100
	05/03/2013	100	100	100
	06/03/2013	100	100	100
	07/03/2013	100	100	100
	08/03/2013	100	100	100
09/03/2013	100	100	100	

Précipitations

Les mesures de précipitations pendant la campagne au niveau des stations Météo France ont été quasi continues (cf. **Tableau 11**). Seules les journées du 28 janvier, 13, 15 et 28 février n'ont pas un taux de disponibilité de 100% sur les trois stations.

Tableau 11 - Disponibilité (en %) des données de précipitation au niveau des stations Météo France.

Mois	Date	Stations		
		Entzheim	La Wantzenau	Sélestat
Janvier	16/01/2013	100	100	100
	17/01/2013	100	100	100
	18/01/2013	100	100	100
	19/01/2013	100	100	100
	20/01/2013	100	100	100
	21/01/2013	100	100	100
	22/01/2013	100	100	100
	23/01/2013	100	100	100
	24/01/2013	100	100	100
	25/01/2013	100	100	100
	26/01/2013	100	100	100
	27/01/2013	100	100	100
	28/01/2013	95.8	100	100
	29/01/2013	100	100	100
	30/01/2013	100	100	100
31/01/2013	100	100	100	
Février	01/02/2013	100	100	100
	02/02/2013	100	100	100
	03/02/2013	100	100	100
	04/02/2013	100	100	100
	05/02/2013	100	100	100
	06/02/2013	100	100	100
	07/02/2013	100	100	100
	08/02/2013	100	100	100
	09/02/2013	100	100	100
	10/02/2013	100	100	100
	11/02/2013	100	100	100
	12/02/2013	100	100	100
	13/02/2013	100	95.8	100
	14/02/2013	100	100	100
	15/02/2013	87.5	100	100
	16/02/2013	100	100	100
	17/02/2013	100	100	100
	18/02/2013	100	100	100
	19/02/2013	100	100	100
	20/02/2013	100	100	100
21/02/2013	100	100	100	
22/02/2013	100	100	100	
23/02/2013	100	100	100	
24/02/2013	100	100	100	
25/02/2013	100	100	100	
26/02/2013	100	100	100	
27/02/2013	100	100	100	
28/02/2013	100	91.6	100	
Mars	01/03/2013	100	100	100
	02/03/2013	100	100	100
	03/03/2013	100	100	100
	04/03/2013	100	100	100
	05/03/2013	100	100	100
	06/03/2013	100	100	100
	07/03/2013	100	100	100
	08/03/2013	100	100	100
	09/03/2013	100	100	100

Nébulosité

Sur les trois stations du réseau Météo France, la nébulosité n'est mesurée qu'au niveau de la station d'Entzheim. Et, contrairement aux autres paramètres, la fourniture de ce paramètre reste assez discontinue avec des journées, voire des périodes, complètes (comme du 19 au 24 janvier) et inversement comme la période du 18 février ou 4 mars par exemple, cf. **Tableau 12**). Pour rappel, ceci n'est pas à proprement parler une indisponibilité de la mesure mais que depuis la mise en place d'une mesure automatique de la nébulosité à Entzheim (comme pour les autres Centres Départementaux en France), seules les nébulosités supérieures à 6 sont mesurées. Le pourcentage d'indisponibilité correspond donc essentiellement à des couvertures nuageuses inférieures à 6 octas.

Tableau 12 - Disponibilité (en %) des données de nébulosité au niveau de la station d'Entzheim.

Mois	Date	Entzheim	Mois	Date	Entzheim	Mois	Date	Entzheim	
Janvier			Février	01/02/2013	95.8	Mars	01/03/2013	100	
				02/02/2013	87.5		02/03/2013	91.7	
				03/02/2013	83.3		03/03/2013	25	
				04/02/2013	100		04/03/2013	0	
				05/02/2013	83.3		05/03/2013	16.7	
				06/02/2013	100		06/03/2013	54.2	
				07/02/2013	87.5		07/03/2013	87.5	
				08/02/2013	100		08/03/2013	87.5	
				09/02/2013	41.7		09/03/2013	87.5	
				10/02/2013	45.8				
				11/02/2013	100				
				12/02/2013	87.5				
				13/02/2013	83.3				
				14/02/2013	45.8				
				15/02/2013	100				
		16/01/2013		75	16/02/2013		87.5		
		17/01/2013		100	17/02/2013		100		
		18/01/2013		91.7	18/02/2013		8.3		
		19/01/2013		100	19/02/2013		45.8		
		20/01/2013		100	20/02/2013		83.3		
		21/01/2013		100	21/02/2013		91.7		
		22/01/2013		100	22/02/2013		87.5		
		23/01/2013		100	23/02/2013		100		
		24/01/2013		100	24/02/2013		100		
		25/01/2013		95.8	25/02/2013		87.5		
		26/01/2013		62.5	26/02/2013		50		
		27/01/2013		79.1	27/02/2013		100		
		28/01/2013		83.3	28/02/2013		100		
		29/01/2013		100					
		30/01/2013		91.7					
		31/01/2013		62.5					

■ DWD

Vent

Parmi les 10 stations du réseau DWD, seule la station de Lahr mesure le vent. Le **Tableau 13** détaille la disponibilité des données de vent sur cette station et montre que ce jeu de données est complet sur la période de la campagne de mesure.

Tableau 13 - Disponibilité (en %) des données de vent au niveau de la station de Lahr.

Mois	Date	Lahr	Mois	Date	Lahr	Mois	Date	Lahr	
Janvier			Février	01/02/2013	100	Mars	01/03/2013	100	
				02/02/2013	100		02/03/2013	100	
				03/02/2013	100		03/03/2013	100	
				04/02/2013	100		04/03/2013	100	
				05/02/2013	100		05/03/2013	100	
				06/02/2013	100		06/03/2013	100	
				07/02/2013	100		07/03/2013	100	
				08/02/2013	100		08/03/2013	0	
				09/02/2013	100		09/03/2013	0	
				10/02/2013	100				
				11/02/2013	100				
				12/02/2013	100				
				13/02/2013	100				
				14/02/2013	100				
				15/02/2013	100				
		16/01/2013		100	16/02/2013		100		
		17/01/2013		100	17/02/2013		100		
		18/01/2013		100	18/02/2013		100		
		19/01/2013		100	19/02/2013		100		
		20/01/2013		100	20/02/2013		100		
		21/01/2013		100	21/02/2013		100		
		22/01/2013		100	22/02/2013		100		
		23/01/2013		100	23/02/2013		100		
		24/01/2013		100	24/02/2013		100		
		25/01/2013		100	25/02/2013		100		
		26/01/2013		100	26/02/2013		100		
		27/01/2013		100	27/02/2013		100		
		28/01/2013		100	28/02/2013		100		
		29/01/2013		100					
		30/01/2013		100					
		31/01/2013		100					

Température

Sur le réseau DWD, la température n'est mesurée que par les stations de Lahr, Ohlsbach et Wolfach. Le **Tableau 14** indique la disponibilité de ce paramètre au niveau de ces trois stations sur la période de la campagne de mesure de l'été 2013. Pour les trois stations concernées, il n'y a aucune donnée de température manquante sur la période d'intérêt.

Tableau 14 - Disponibilité (en %) des données de température au niveau des stations de Lahr, Ohlsbach et Wolfach.

Mois	Date	Station		
		Lahr	Ohlsbach	Wolfach
Janvier	17/01/2013	100	100	100
	18/01/2013	100	100	100
	19/01/2013	100	100	100
	20/01/2013	100	100	100
	21/01/2013	100	100	100
	22/01/2013	100	100	100
	23/01/2013	100	100	100
	24/01/2013	100	100	100
	25/01/2013	100	100	100
	26/01/2013	100	100	100
	27/01/2013	100	100	100
	28/01/2013	100	100	100
	29/01/2013	100	100	100
	30/01/2013	100	100	100
31/01/2013	100	100	100	

Mois	Date	Station		
		Lahr	Ohsibach	Wolfach
Février	01/02/2013	100	100	100
	02/02/2013	100	100	100
	03/02/2013	100	100	100
	04/02/2013	100	100	100
	05/02/2013	100	100	100
	06/02/2013	100	100	100
	07/02/2013	100	100	100
	08/02/2013	100	100	100
	09/02/2013	100	100	100
	10/02/2013	100	100	100
	11/02/2013	100	100	100
	12/02/2013	100	100	100
	13/02/2013	100	100	100
	14/02/2013	100	100	100
	15/02/2013	100	100	100
	16/02/2013	100	100	100
	17/02/2013	100	100	100
	18/02/2013	100	100	100
	19/02/2013	100	100	100
	20/02/2013	100	100	100
	21/02/2013	100	100	100
	22/02/2013	100	100	100
	23/02/2013	100	100	100
	24/02/2013	100	100	100
	25/02/2013	100	100	100
	26/02/2013	100	100	100
	27/02/2013	100	100	100
	28/02/2013	100	100	100
Mars	01/03/2013	100	100	100
	02/03/2013	100	100	100
	03/03/2013	100	100	100
	04/03/2013	100	100	100
	05/03/2013	100	100	100
	06/03/2013	100	100	100
	07/03/2013	100	100	100
	08/03/2013	0	0	0
09/03/2013	0	0	0	

■ LUBW

Vent

Sur les 4 stations du LUBW, seule celle située à Kehl Hafen mesure le vent. Le **Tableau 15** détaille la disponibilité des données de vent au niveau de cette station. A l'exception du 20 janvier, les taux de disponibilité sur l'ensemble de la période sont élevés avec seulement 5 jours où ils n'atteignent pas 100 %.

■ LTZ

Qu'il s'agisse de la vitesse du vent (cf. **Tableau 17**) ou de la température (cf. **Tableau 18**), les jeux de données pour les différentes stations du LTZ sont complets.

Vitesse du vent

Tableau 17 - Disponibilité (en %) des données de vent au niveau des stations du LTZ.

Dates	ECKA	FAUT	LITH	NRAL	NUSB
Du 16/01/2013 au 09/03/2013	100	100	100	100	100

Température

Tableau 18 - Disponibilité (en %) des données de température au niveau des stations du LTZ

Dates	BULH	ECKA	FAUT	LITH	NRAL	NUSB	OBK	ORTB	SASB	VORS	ZUSE
Du 16/01/2013 au 09/03/2013	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

■ Stations de bio-climatologie urbaine

Les 7 stations de bio-climatologie urbaine mesurent la température et l'humidité relative. La disponibilité de ces données est récapitulée dans le **Tableau 19**. A la date de rédaction de ce rapport, et plus particulièrement de l'analyse des données de la campagne hivernale, les données n'étaient disponibles que jusqu'au 28 février 2013. On observe par contre qu'aucune donnée n'est alors manquante sur la période fournie. A noter également que la station de Strasbourg Kleber n'apparaît pas dans ce tableau car les données sont disponibles qu'à compter du 21 février.

Tableau 19 - Disponibilité (en %) des données de température et d'humidité relative au niveau des stations de bio-climatologie urbaine.

Dates	Stations					
	Bisheim Mairie	Eckolsheim Ecole	Reichstett Raffinerie	Robertsau Maeschling	Schiltigheim Mairie	Strasbourg Carsat
Du 16/01/2013 au 28/02/2013	100	100	100	100	100	100

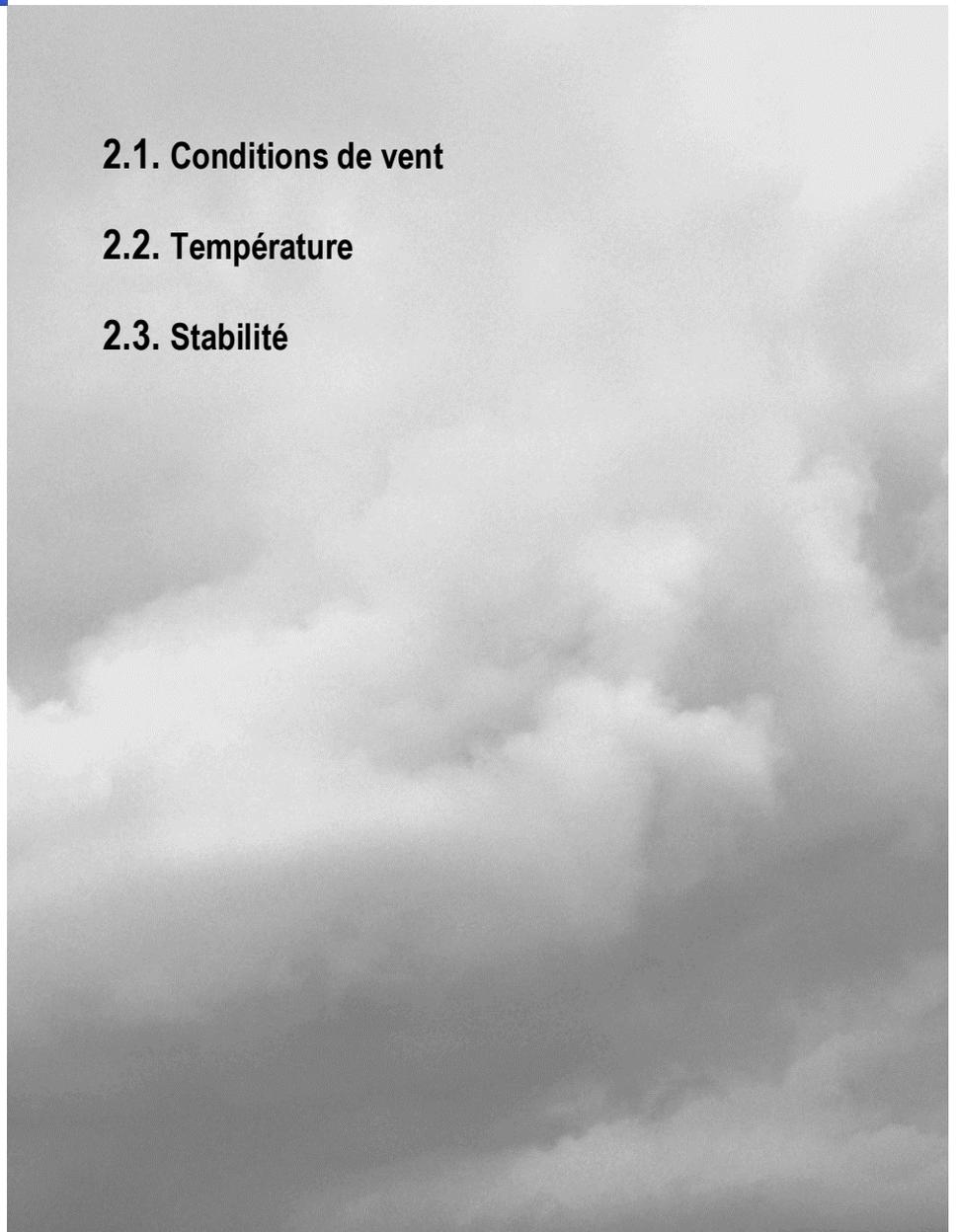
Analyse des données



2.1. Conditions de vent

2.2. Température

2.3. Stabilité



2. Analyse des données

La modélisation avec le modèle ADMS Urban ne requiert que la connaissance et fourniture de données concernant le vent, la température et la stabilité atmosphérique (nébulosité, rayonnement solaire, ...⁵). En conséquence, l'analyse des données s'est concentrée sur ces paramètres, et l'analyse des paramètres comme l'humidité relative, les précipitations ou la pression a été écartée. Les précipitations ne sont pas utilisées car les sorties analysées ne concernent que les concentrations atmosphériques de différents polluants et non pas les flux de dépôt au sol. Ne pas prendre en compte le lessivage permet alors d'avoir un résultat majorant par rapport à ces concentrations atmosphériques (choix retenu par l'ASPA dans sa modélisation de la communauté urbaine de Strasbourg). En outre, hormis pour quelques espèces spécifiques, très solubles (comme le SO₂) ou particulaires (comme les PM₁₀) le lessivage ne conduit qu'à une très faible diminution des concentrations atmosphériques.

2.1. Conditions de vent

■ Régimes de vent autour de l'Eurodistrict

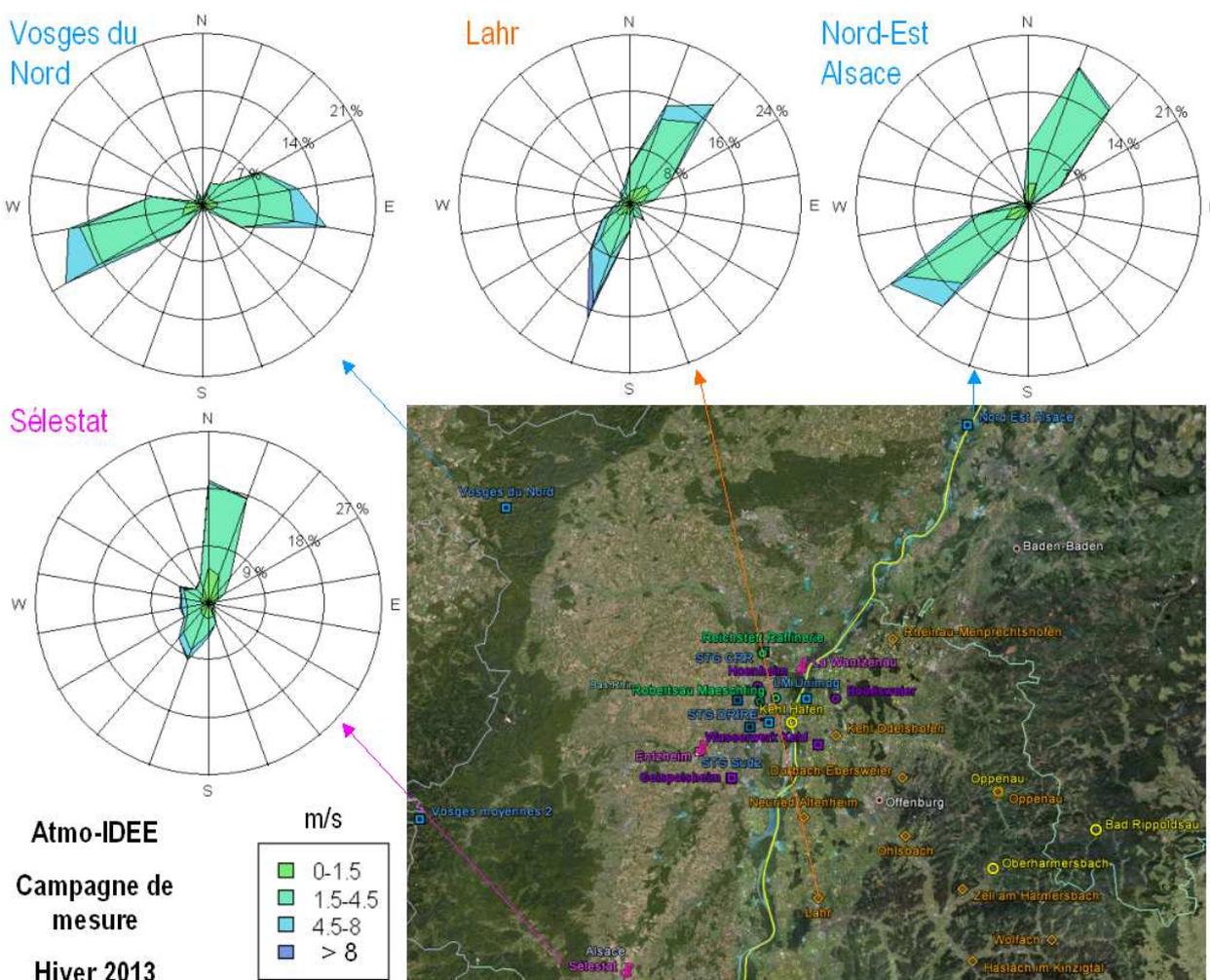


Figure 9 – Roses des vents sur la période de la campagne de mesure sur les stations de Sélestat, des Vosges du Nord et Nord Est Alsace, extérieures à l'Eurodistrict, ainsi que sur la station de Lahr.

⁵ Guide Utilisateur du modèle ADMS Urban version 3.1, 2012

La **Figure 9** montre les roses des vents sur les stations de Sélestat (Météo France), Vosges du Nord et Nord-Est Alsace (réseau ASPA) et Lahr (DWD) sur la période correspondant à la campagne de mesure (hiver 2013). Les régimes de vent sont très similaires à ceux observés sur l'été 2012, avec même des amplitudes de directions de vent plus restreintes. La différence la plus notable concerne toutefois la station de Sélestat où l'on observe un vent de NNE principalement, un peu de SSO et quasiment pas d'O, alors que ces 3 directions étaient observés avec une fréquence identique en été. Notons que les données du LTZ n'apparaissent pas car seule la vitesse du vent est disponible et pas la direction (paramètre qui est le plus intéressant des deux).

■ Régimes de vent autour de Strasbourg

En raison du grand nombre de stations mesurant le vent autour de Strasbourg - Kehl, les roses des vents issues des mesures effectuées pendant la campagne de l'hiver 2013 sont présentées sur deux figures, la **Figure 10** et la **Figure 11** (la rose des vents de la station de Wasserwerk Kehl n'y est pas représentée compte tenu du faible nombre de mesures disponibles pour ce site pendant l'hiver 2013).

De manière générale, on retrouve deux secteurs de vent bien marqués pour chaque station ; et contrairement à la campagne estivale, il y a une très forte homogénéité et cohérence des roses des vents sur l'ensemble du domaine, y compris avec des stations comme Bodersweier ou STG-Ouest.

De manière schématique le régime de vent NNE observés au nord du domaine s'oriente en N au sud de Strasbourg, et l'autre régime correspond quasiment à un vent de S dans l'ensemble du domaine, hormis La Wantzenau avec une composante SSO comme observé précédemment.

Entzheim se distingue par des vitesses de vent mesurées un peu plus fortes qu'aux autres stations, mais cela est probablement dû à une hauteur de mesure plus élevée : 10m, tout comme on peut le voir à la station de Kehl Hafen ou avec le SODAR.

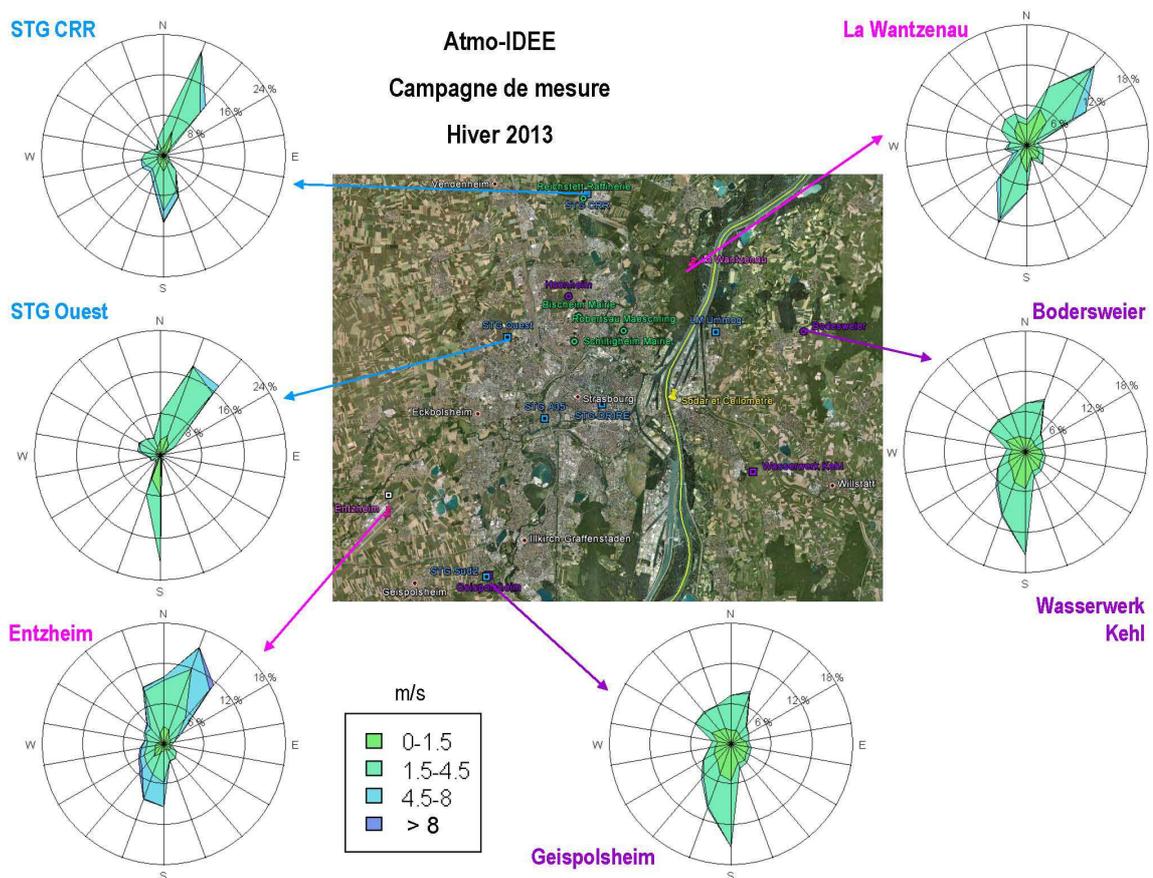


Figure 10 - Roses des vents sur la période de la campagne de mesure pour une partie des stations de l'Eurodistrict.

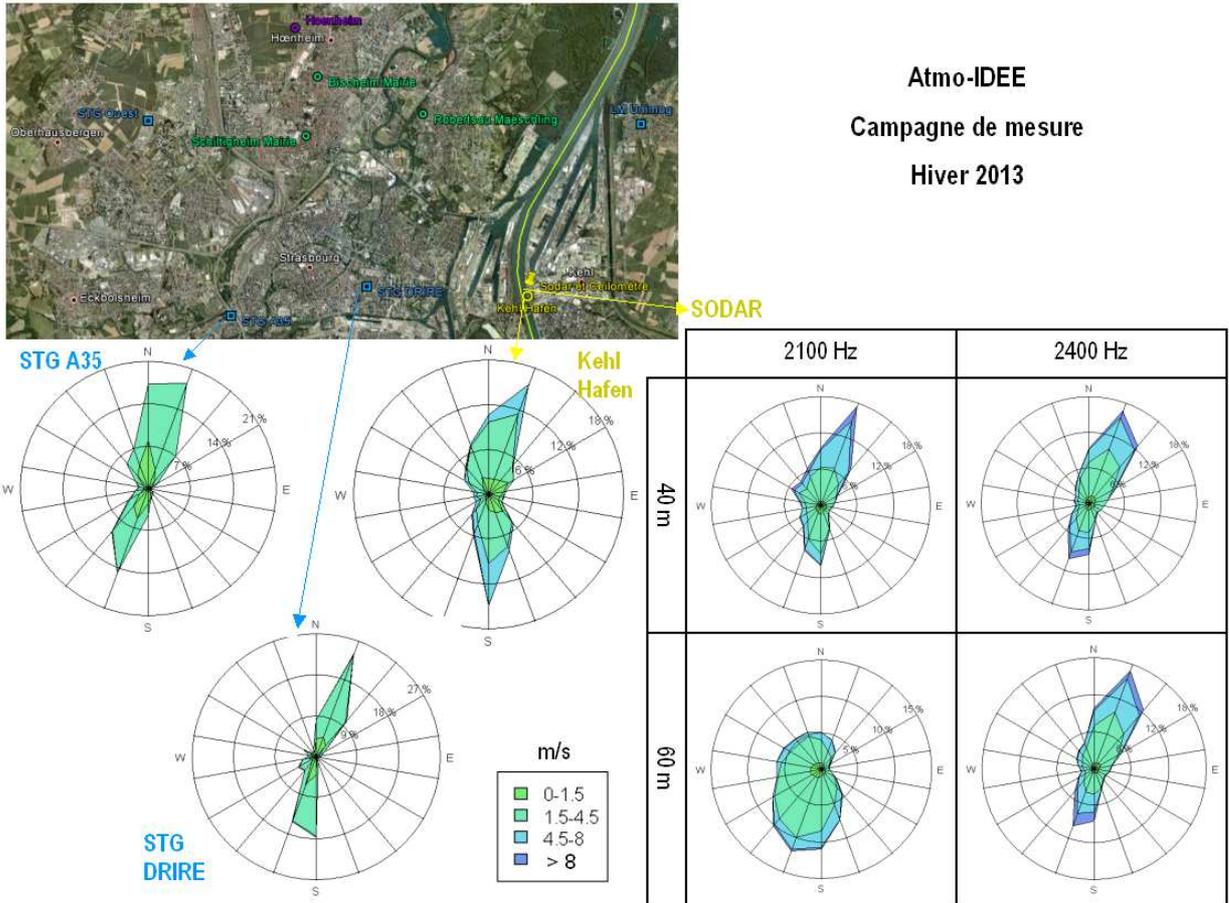
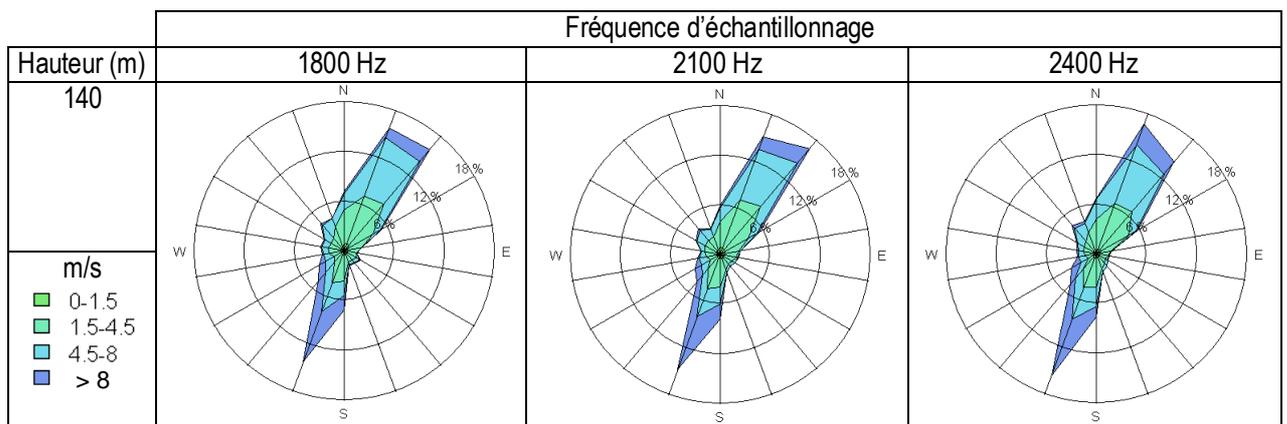


Figure 11 – Complément de la Figure 10. Roses des vents sur la période de la campagne de mesure pour le restant des stations dans l’Eurodistrict.

■ Evolution du vent selon la verticale

La Figure 12 présente les roses des vents issues des mesures SODAR pour les hauteurs 140 et 220 m.



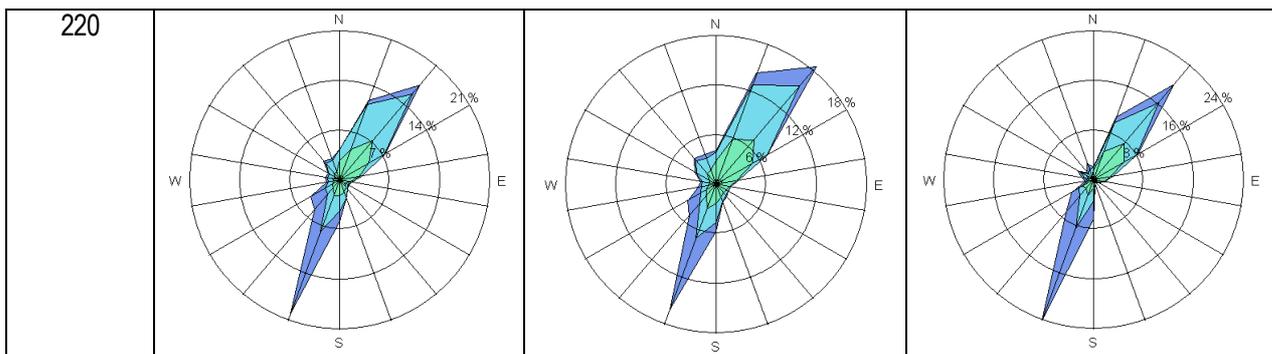


Figure 12 – Roses des vents sur la période de la campagne de mesure d’après les données du SODAR à 140 m (en haut) et 220 m (en bas) de hauteur et pour les trois fréquences d’échantillonnage disponibles.

L’ensemble des roses des vents de la **Figure 12** met en évidence une prépondérance des vents de secteur NE et SSO quelque soit l’altitude considérée, ceci en cohérence avec les régimes de vents observés en surface).

2.2. Température

■ Anémomètres soniques

La **Figure 13** montre l’évolution temporelle des températures journalières moyennes, minimales et maximales mesurées par les anémomètres soniques au niveau de Bodersweier, Geispolsheim et Wasserwerk Kehl. On retrouve le comportement observé pendant la campagne été de l’instrument de Geispolsheim avec un défaut de calibration conduisant à un biais d’environ +10°C. Compte tenu des périodes de disponibilité des mesures qui ne se recouvrent pas d’un site à l’autre, il est difficile de conclure sur une relative cohérence spatiale de ce paramètre, comme cela avait été observé en été sur ces sites ou comme cela est observé avec les autres sources disponibles. Néanmoins, on peut observer une certaine continuité quand on passe d’une série à l’autre. Et surtout, quand on compare ces mesures à celles des autres sources (ASPA, Météo France, ...), on retrouve le même profil temporel avec le même ordre de grandeur.

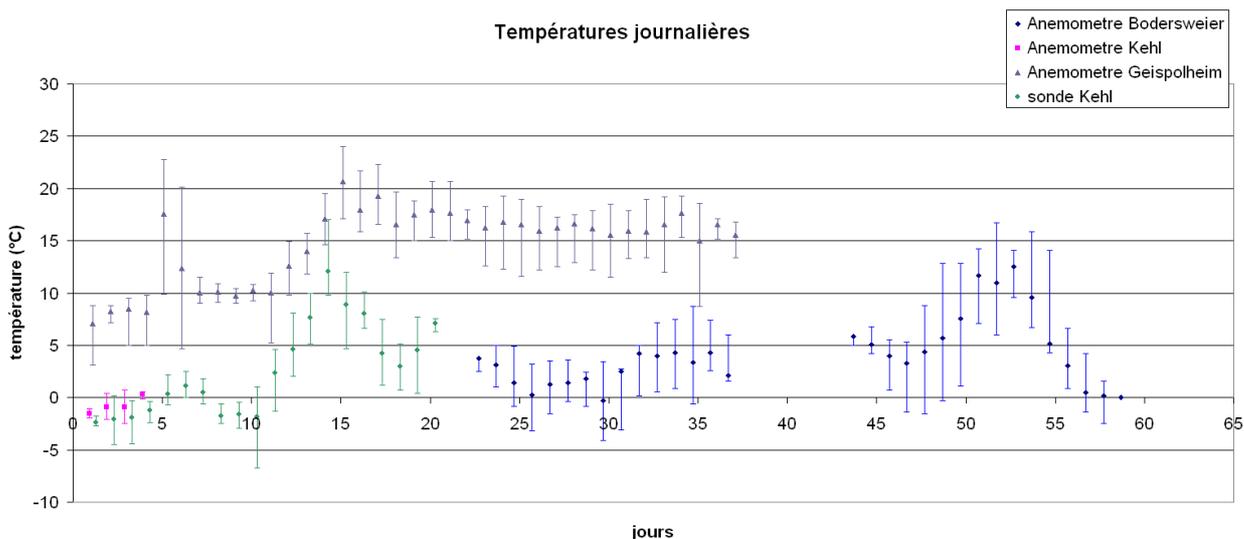


Figure 13 – Evolution temporelle des températures journalières moyennes, minimales et maximales au niveau des points de mesure de Bodersweier, Geispolsheim et Kehl. Les valeurs moyennes sont indiquées par un symbole tandis que des barres verticales permettent de localiser les minima et maxima journaliers.

■ Mesures ASPA

La **Figure 14** montre l'évolution temporelle des températures journalières moyennes, minimales et maximales mesurées au niveau des sites de STG Ouest et STG Sud 2. Les deux sources de données ne montrent pas d'anomalie, les évolutions temporelles sont cohérentes d'une station à l'autre. Cependant, il est intéressant de noter que les températures semblent en général légèrement plus élevées à STG Sud 2, jusqu'à quelques degrés.

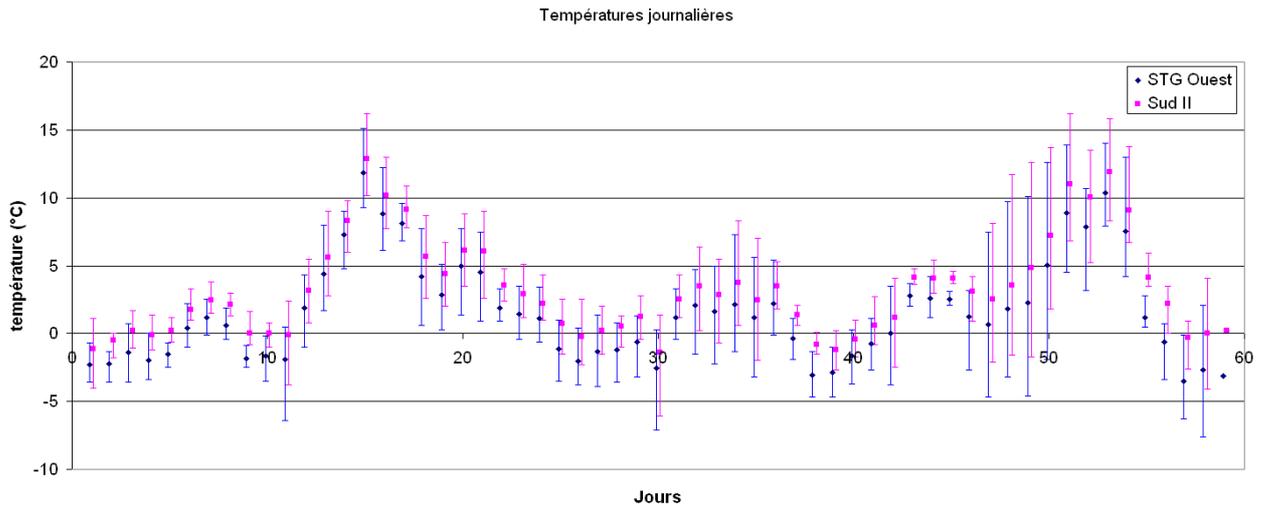


Figure 14 - Evolution temporelle des températures journalières moyennes, minimales et maximales au niveau des points de mesure STG Ouest et STG Sud II. Les valeurs moyennes sont indiquées par un symbole tandis que des barres verticales permettent de localiser les minima et maxima journaliers.

■ Mesures Météo France

La **Figure 15** montre l'évolution temporelle des températures journalières moyennes, minimales et maximales mesurées au niveau des stations Météo France d'Entzheim, Sélestat et de La Wantzenau. Les trois stations mesurent des conditions de température relativement similaires.

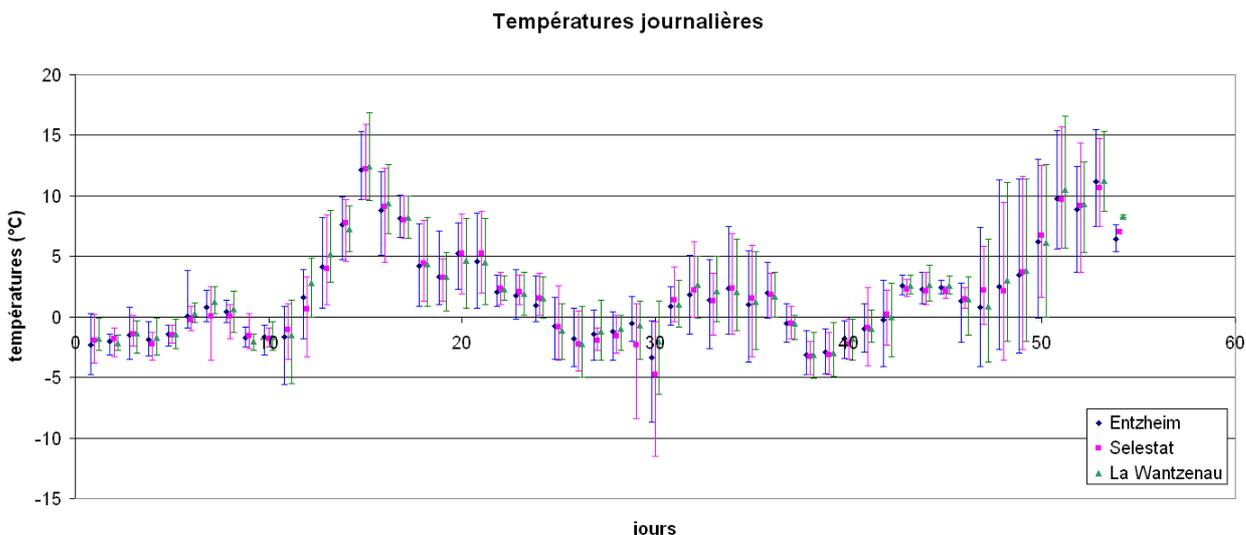


Figure 15 - Evolution temporelle des températures journalières moyennes, minimales et maximales au niveau des points de mesure Entzheim, Sélestat et La Wantzenau. Les valeurs moyennes sont indiquées par un symbole tandis que des barres verticales permettent de localiser les minima et maxima journaliers.

■ Données DWD et LUBW

L'évolution temporelle des températures journalières moyennes, minimales et maximales au niveau des stations du LUBW et du DWD est présentée sur la **Figure 16**. Les mesures des quatre stations sont cohérentes entre elles. On retrouve comme pour la campagne estivale des températures en moyenne plus faibles relevées à Wolfach qui s'expliquent par la différence d'altitude entre cette station et les trois autres. Wolfach est située en effet à 291 m d'altitude, tandis que Lahr, Ohlsbach et Kehl Hafen sont plus basses en altitude, respectivement à 155, 176 et 135 m d'altitude. De plus, Wolfach est la station la plus éloignée du centre urbain de l'Eurodistrict et proche de sa limite Est, tout en étant situé dans la Forêt Noire.

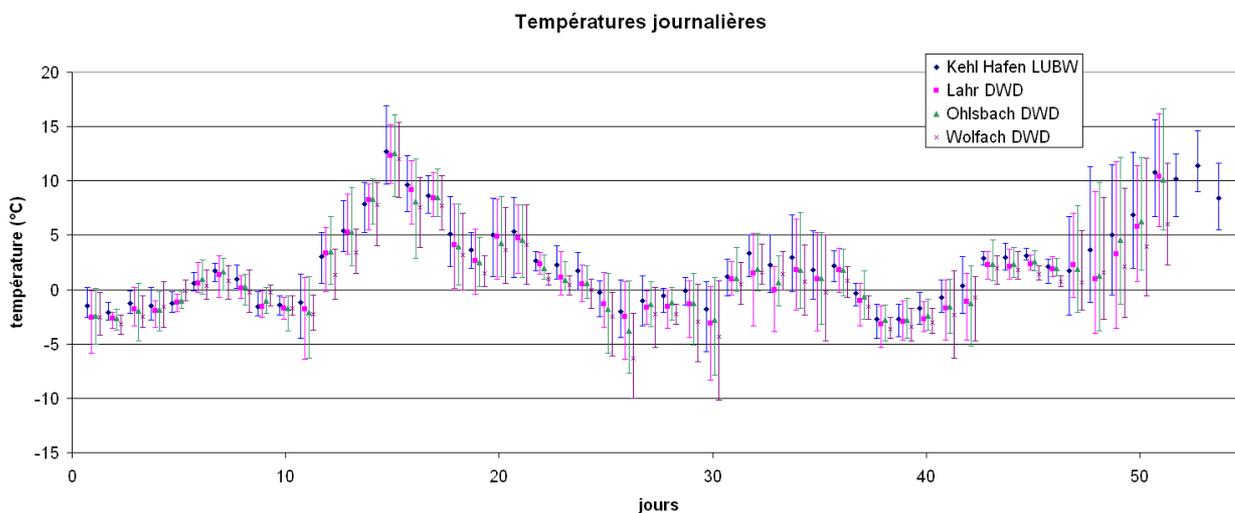


Figure 16 - Evolution temporelle des températures journalières moyennes, minimales et maximales au niveau des stations de Kehl Hafen (LUBW), Lahr, Ohlsbach, Wolfach (DWD). Les valeurs moyennes sont indiquées par un symbole tandis que des barres verticales permettent de localiser les minima et maxima journaliers.

■ Données LTZ

En considérant toujours les moyennes journalières, les minima et les maxima journaliers, on retrouve une forte cohérence sur les températures mesurées en chacune de ces localisations, malgré leur éloignement géographique.

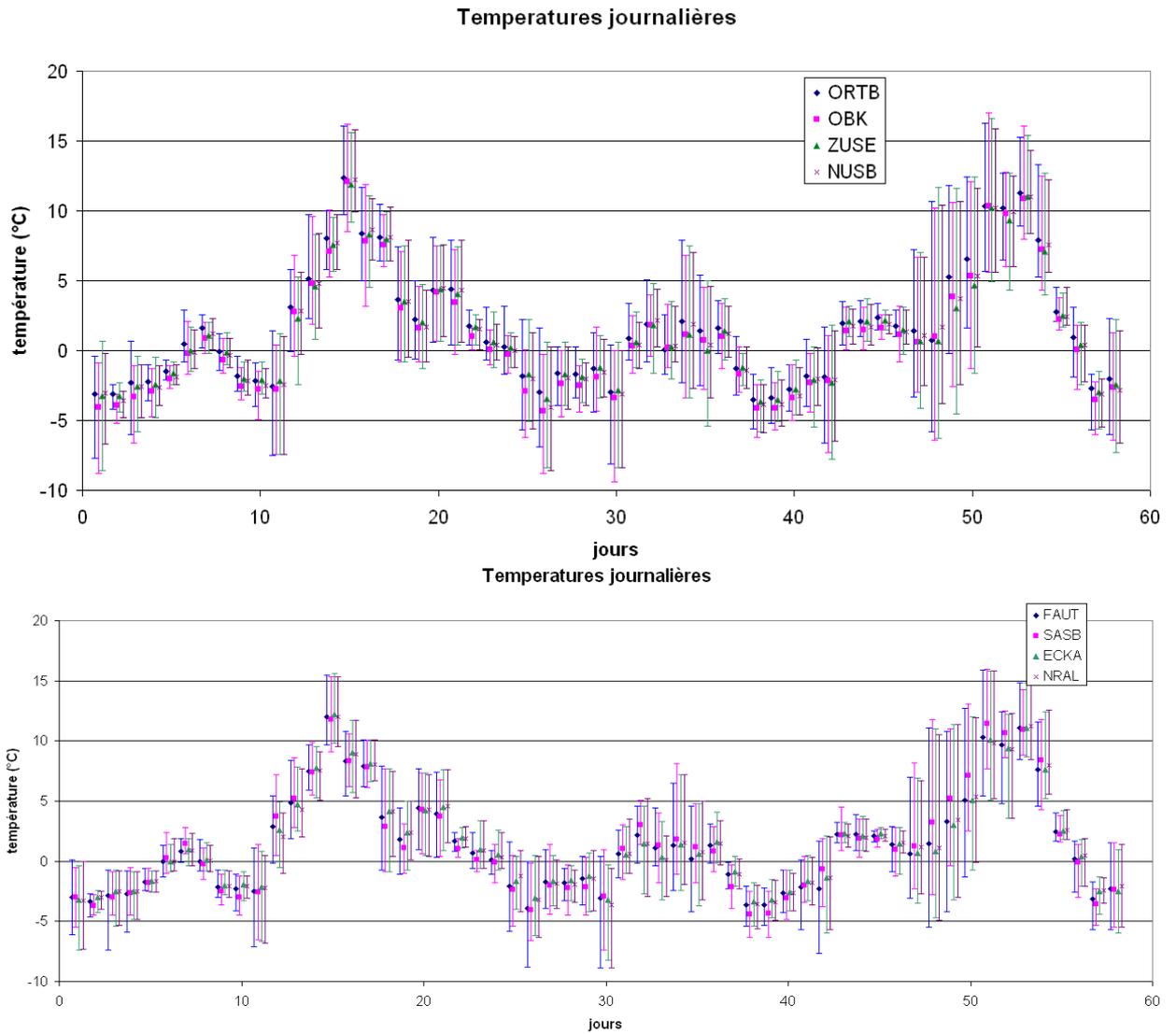


Figure 17 - Evolution temporelle des températures journalières moyennes, minimales et maximales au niveau des stations du LTZ. Les valeurs moyennes sont indiquées par un symbole tandis que des barres verticales permettent de localiser les minima et maxima journaliers.

■ Données ICUBE

De manière macroscopique, on retrouve à nouveau une forte cohérence entre les mesures.

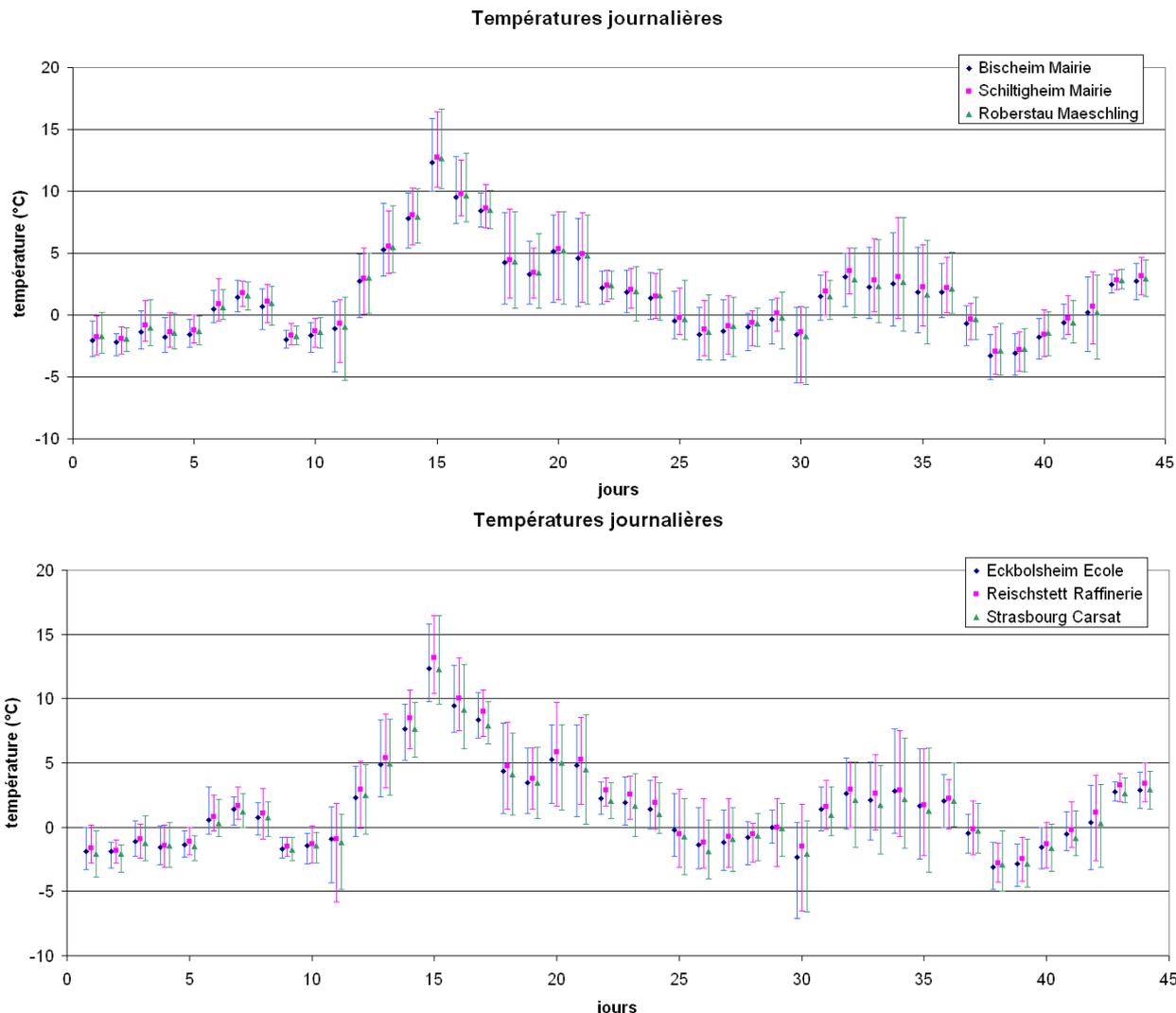


Figure 18 - Evolution temporelle des températures journalières moyennes, minimales et maximales au niveau des stations du LSIIT. Les valeurs moyennes sont indiquées par un symbole tandis que des barres verticales permettent de localiser les minima et maxima journaliers.

■ Synthèse

En comparant l'ensemble des données disponibles sur l'ensemble de l'Euro-district (y compris des mesures en limite de domaine), on observe une forte cohérence/homogénéité spatiale de la température à échelle « macroscopique ». Bien évidemment, des différences apparaissent quand on considère les évolutions horaires, mais dans l'objectif d'une modélisation avec un modèle tel qu'ADMS Urban, les écarts de quelques degrés peuvent être considérés comme négligeables. Ceci n'est pas le cas quand on se place dans d'autres exploitations de ces données, comme par exemple la modélisation de l'îlot de chaleur urbain comme le fait Icube.

En effet, dans un modèle tel qu'ADMS Urban la température est d'une part considéré comme une donnée d'entrée qui est homogène spatialement (la prise en compte du relief ou de l'occupation des sols ne modifie pas cette homogénéité spatiale). D'autre part, ce paramètre n'intervient qu'à deux niveaux : (i) le calcul de sur-hauteur des rejets qui ne sont pas modélisés à température ambiante (i.e. principalement les sources industrielles), et (ii) la chimie des NOx quand celle-ci est activée dans certaines options. Une variation de la température atmosphérique n'influence pas le calcul de dispersion de sources d'émission à température ambiante, ce qui est souvent le choix par défaut pour la majorité des sources modélisées dans ADMS Urban. Enfin, par expérience, il faut une variation de la température atmosphérique de plusieurs degrés pour voir un réel impact sur le calcul de sur-hauteur et donc sur les concentrations modélisées.

C'est pourquoi, dans le cadre d'une modélisation type ADMS Urban, on peut considérer que les différentes mesures disponibles peuvent être considérées comme homogènes. Il peut alors être fait le choix de considérer la température mesurée à Entzheim comme température de référence pour la modélisation de l'Euro-district. Cette hypothèse a été testée et est présentée dans l'annexe 1.

2.3. Stabilité

■ Nébulosité

La mesure de nébulosité est disponible au niveau de la station Météo France d'Entzheim, mais elle est également déduite des mesures du ceilomètre. La **Figure 19** montre la distribution des valeurs de nébulosité fournies sur Entzheim et par le ceilomètre pendant la campagne de mesure de l'hiver 2013.

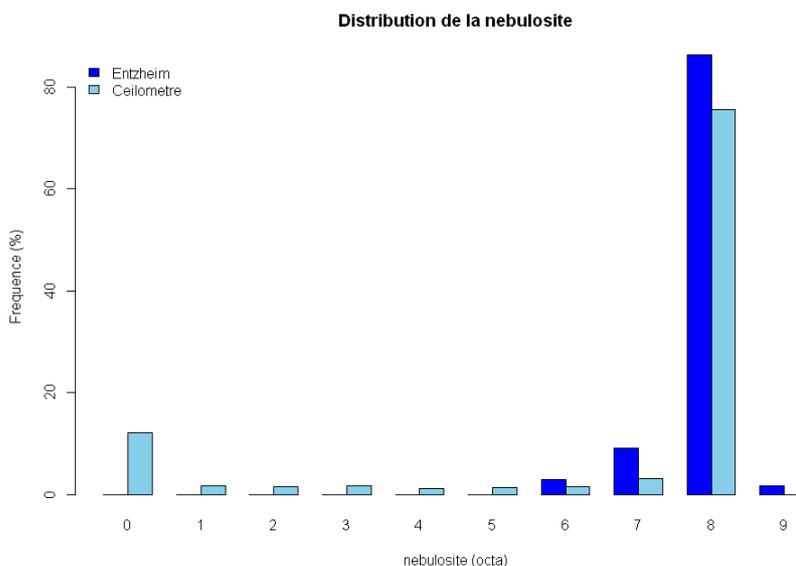


Figure 19 – Distribution des nébulosités mesurées sur Entzheim (bleu foncé) et par le ceilomètre (en bleu clair).

Dans le jeu de données fourni par Météo France, seuls sont renseignés les cas de ciels très nuageux à couvert (nébulosités supérieures à 6 octas). Ceci est lié à la méthode de mesure par télémétrie qui remplace de plus en plus les méthodes impliquant un observateur au sol dans le réseau Météo France.

Le manque d'information sur la fréquence d'occurrence des ciels clairs et peu nuageux au niveau d'Entzheim ne nous permet donc pas de conclure directement quand à l'homogénéité de la couverture nuageuse sur la zone de l'Eurodistrict. Néanmoins, quand on s'intéresse qu'aux échéances pour lesquelles une mesure à Entzheim existe et qu'on compare la nébulosité mesurée à celle du ceilomètre à Kehl, on obtient les résultats du tableau suivant. On constate qu'en majorité la nébulosité mesurée entre les deux localisations est similaire, puisque plus de 90% du temps l'écart est de 1 octa au maximum.

Ceci s'observe sur la **Figure 20** qui représente la moyenne journalière de la nébulosité mesurée au niveau d'Entzheim et de Kehl, d'une part en ne considérant que les échéances pour lesquelles les deux mesures sont disponibles et d'autre part pour toutes les échéances disponibles au niveau du site de Kehl (i.e. en considérant les heures pour lesquelles la nébulosité mesurée à Entzheim est inférieure à 6 octas).

On observe ainsi que les moyennes journalière quand les deux mesures sont disponibles sont très proches, hormis quelques cas particuliers (26 janvier, 18 février, début mars, ...). Ces cas particuliers correspondent à des journées où parfois la mesure de Kehl est très basse (voir anormalement basse) en comparaison à celle d'Entzheim. Par exemple, le 26 janvier quand Entzheim fournit une mesure de 8 octas, le ceilomètre fournit une mesure de 0 octas.

Tableau 20 – Pourcentage d'occurrence des classes de différences de nébulosité mesurée à Entzheim et Kehl (-2 signifie que la nébulosité mesurée à Kehl est de 2 octa inférieure à celle d'Entzheim)

Classe de différences de nébulosité (octa)	Pourcentage d'occurrence
-2	1.0%
-1	5.9%
0	86.3%
1	2.3%
2	1.0%
3	0.6% (représente 8 cas)
4	0.4% (représente 6 cas)
5	0.4% (représente 6 cas)
6	0.4% (représente 6 cas)
7	0.6% (représente 8 cas)
8	0.8% (représente 11 cas)

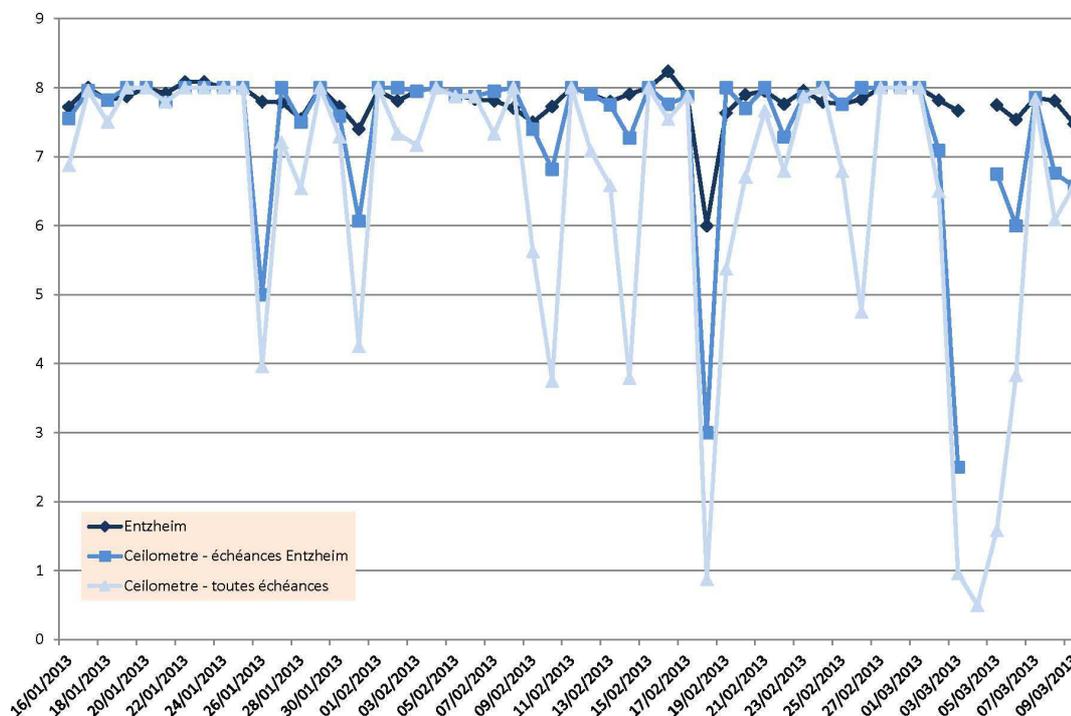


Figure 20 - Evolution temporelle de la moyenne journalière de la couverture nuageuse mesurée à Entzheim (bleu foncé) et à par le ceilomètre (bleu moyen et bleu clair)

■ Hauteur de couche limite

La **Figure 21** montre l'évolution temporelle des trois valeurs de hauteur de couche limite déduites des mesures du ceilomètre. Les trois mesures correspondent à des informations distinctes.

D'une manière générale, on peut déjà constater qu'en moyenne les hauteurs mesurées sont plus basses que pendant la campagne estivale, d'environ 500 mètres. Si on se restreint au paramètre BLH 1 qui est la mesure la plus fréquemment disponible (cf. paragraphe 1.2), on observe ainsi que la hauteur moyenne mesurée se situe en dessous de 500m sur la période, même si l'amplitude de variation de la hauteur de couche limite au cours de la journée peut être très importante tout en étant moins marquée que pendant l'été. Ces observations sont compatibles avec les conditions météorologiques pendant la campagne marquée par une très forte nébulosité (voir figure 13, l'occurrence des mesures de 8 octas), associée à des précipitations (voir **Figure 22** : il y a eu des précipitations pendant 60% des journées de la campagne) et qui ont souvent été neigeuses ; et probablement à un plafond nuageux relativement bas.

Ces mesures pourront être comparées avec la hauteur de couche limite qui sera diagnostiquée par le pré-processeur météorologique du modèle ADMS Urban quand celui-ci sera initialisé avec des paramètres comme le rayonnement ou la nébulosité.

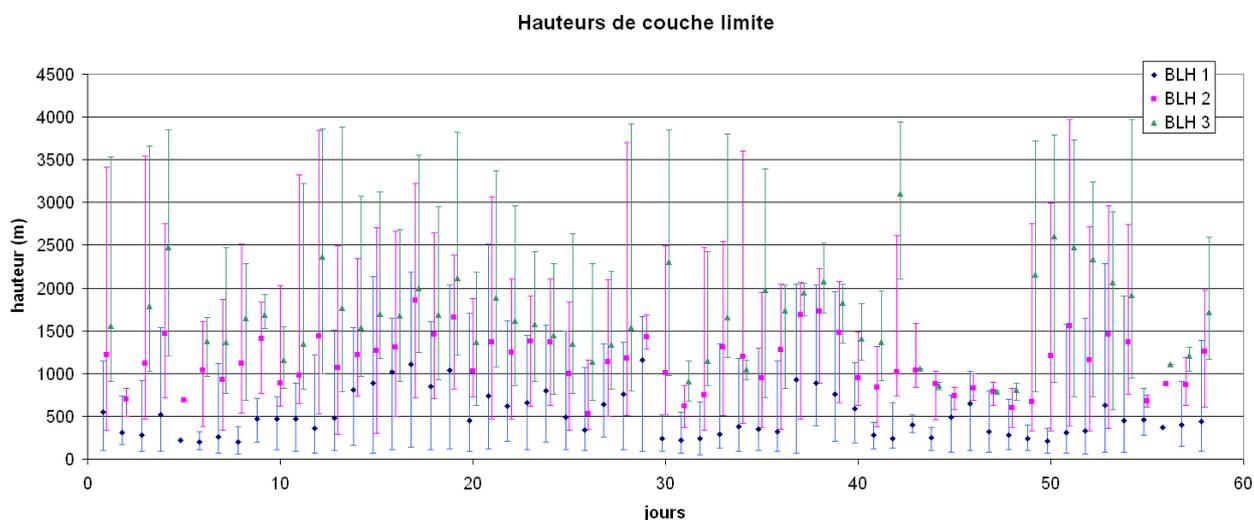


Figure 21 - Evolution temporelle des hauteurs de couche limite moyennes, minimales et maximales mesurées par le ceilomètre. Les valeurs moyennes sont indiquées par un symbole tandis que des barres verticales permettent de localiser les minima et maxima journaliers.

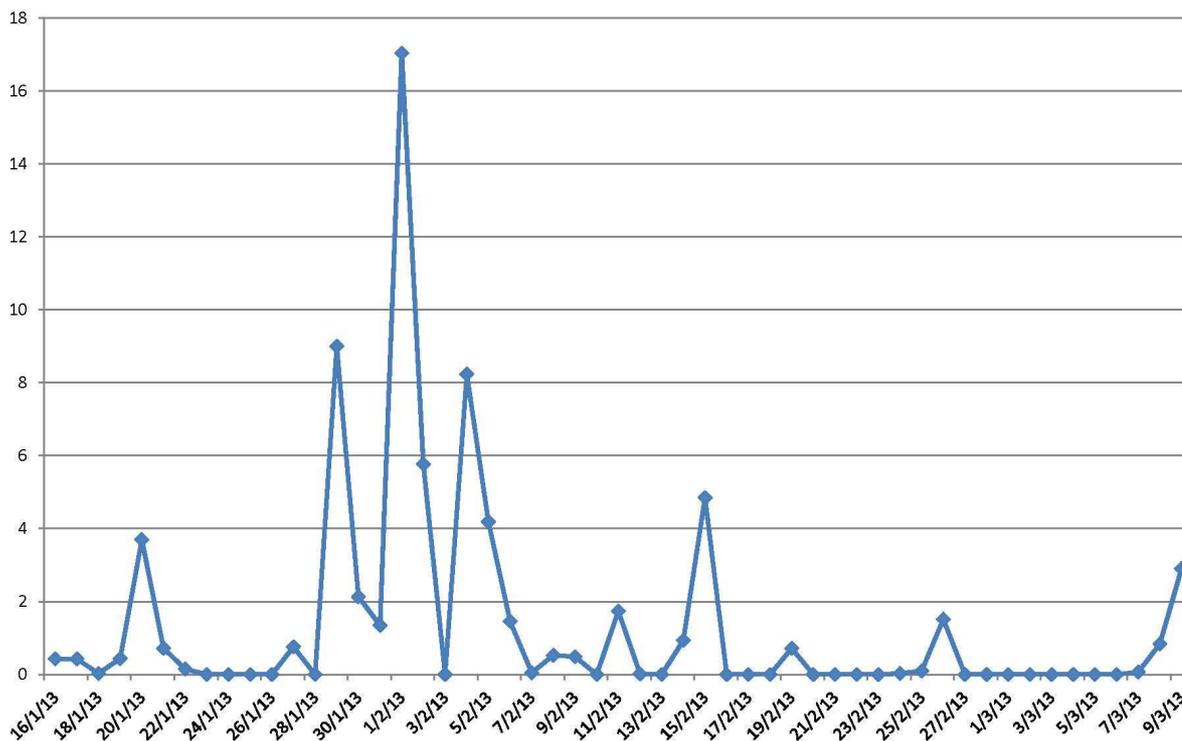


Figure 22 - Evolution temporelle du cumul journalier (en mm) des précipitations mesurées au niveau de Kehl Hafen (données LUBW).

■ Rayonnement solaire

Le rayonnement solaire est disponible à Kehl Hafen via les mesures du LUBW, à Wasserwerk Kehl via les mesures de Weather Measures, à Lahr via les mesures du DWD, ainsi qu'au niveau de la station Météo France d'Entzheim. La **Figure 23** montre les rayonnements solaires moyens journaliers mesurés sur ces quatre sites. En moyenne, les valeurs enregistrées par les capteurs sont cohérentes entre elles, ce qui confirme les observations de la campagne estivale. On notera toutefois quelques écarts entre la mesure à Lahr et les autres sites, avec un rayonnement parfois plus faible. Mais ce site de mesure se situe beaucoup plus au sud-ouest des trois autres, ce qui peut expliquer une telle différence.

Pour la zone d'importance de modélisation finale avec ADMS Urban, on peut considérer que le rayonnement solaire est relativement homogène spatialement. Ce résultat est logique, et pas très novateur, car le rayonnement solaire global est fortement dépendant de la couverture nuageuse. Or, sauf situations locales particulières (contraste thermique fort tel qu'en bordure de côte maritime/océanique ; ou présences de reliefs importants), la formation des nuages est avant tout un processus de grande échelle. Pour un domaine de simulation aussi réduit que celui visé par la modélisation urbaine de ce projet, il est donc naturel d'observer un tel résultat. D'ailleurs, par construction, il n'est pas prévu une variation spatiale de ce paramètre d'entrée dans un modèle comme ADMS Urban.

Tout comme pour la campagne estivale, prendre en compte la mesure d'Entzheim comme référence semble un choix pertinent compte tenu du caractère pérenne et opérationnel de cette mesure dans le futur. Cette hypothèse a été testée et est présentée dans l'annexe 1.

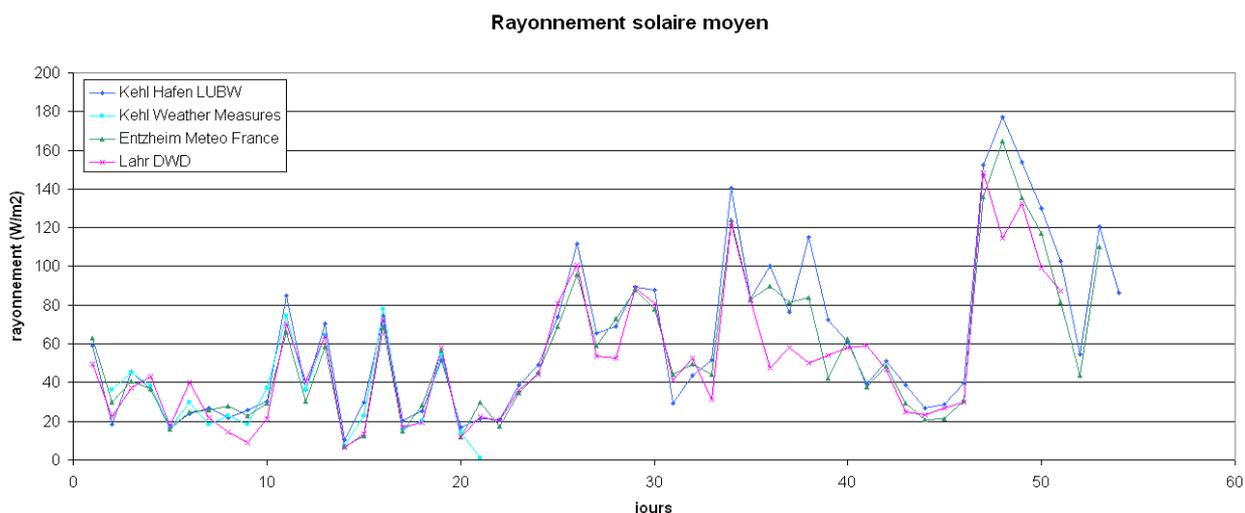


Figure 23 – Evolution du rayonnement solaire journalier mesuré par Weather Measures (en bleu) au niveau de Wasserwerk Kehl, par le LUBW (en magenta) au niveau de Kehl Hafen et par Météo France sur Entzheim (en vert) pendant la campagne de mesure de l'hiver 2013.

■ Longueur de Monin Obukhov et flux de chaleur sensible

Ces deux paramètres sont « mesurés » par les 4 anémomètres soniques déployés sur la zone. En réalité, ces paramètres sont déduits d'autres paramètres qui sont directement mesurés par l'anémomètre.

La valeur de LMO est calculée selon la relation suivante :

$$LMO = -\frac{\overline{T_k \cdot u_*^3}}{\kappa \cdot g \cdot w' T'}$$

avec :

- T_k : température moyenne mesurée par l'anémomètre sonique (°K)
- k : constante de von Karman : 0.37
- g : accélération de la pesanteur : 9.81 m.s⁻²
- u_* : vitesse de cisaillement (m/s)
- $w' T'$: flux cinématique de chaleur sensible (K.m.s⁻¹)

Les 2 derniers termes sont estimés à partir par la méthode de covariance des flux turbulents utilisant les données hautes fréquences du capteur (température et composantes du vent).

Le flux de chaleur sensible est déterminé quand à lui via la formule suivante :

$$F_{\theta} = \rho \cdot C_p \cdot (w' T')$$

avec :

- $w' T'$: le flux cinématique de chaleur sensible (le même que dans la formule de la LMO. Calculé de la même manière : méthode de corrélation des flux turbulents utilisant la composante w et la température)
- C_p : chaleur spécifique massique de l'air : 1005 J.Kg⁻¹.K⁻¹
- ρ : la densité de l'air estimée à partir de la température. Par exemple pour le capteur METEK, ρ est estimé par la formule $\rho = \rho_0 \cdot (T_0/T)$

avec :

- T : température moyenne mesurée par l'anémomètre (°K)
- $\rho_0 = 1.292 \text{ kg/m}^3$
- $T_0 = 273.16 \text{ °K}$

Dans ADMS-Urban, l'une ou l'autre de ces grandeurs peuvent être utilisées pour caractériser la stabilité atmosphérique. Elles présentent l'avantage de fournir une information plus proche des variables réellement utilisées par le modèle ce qui induit l'utilisation moindre de paramétrisations et donc diminue, en théorie, l'incertitude portant sur la modélisation. Toutefois, la mesure de ces paramètres est plus délicate car plus sensible aux caractéristiques locales du site d'implantation du capteur. Il convient donc d'étudier avec soin les relevés avant leur introduction dans le modèle.

Durant la campagne hiver, ces deux paramètres étaient mesurés par 3 anémomètres soniques implantés respectivement à Bodersweier, Geispolsheim et Wasserwerk. Il faut tout d'abord rappeler que ces capteurs ont connu des problèmes techniques durant la campagne (Cf paragraphe 1.2) qui ont rendu impossible la mesure durant des périodes plus ou moins longues. Ainsi les mesures ne couvrent qu'une période de 3 jours pour le capteur de Wasserwerk et d'une trentaine de jours pour les 2 autres (dont 15 jours seulement simultanément).

La Figure 24 présente la moyenne de ce paramètre en fonction de l'heure de la journée. Globalement les valeurs sont négatives en journée (situation neutre à instable) et positives (situation neutre à stable) de nuit. On retrouve par ailleurs l'une des caractéristiques observées lors de la campagne « été »⁶ : plusieurs stations présentent des valeurs négatives durant la période nocturne. Cette particularité est toutefois nettement moins marquée que pour le cas d'été.

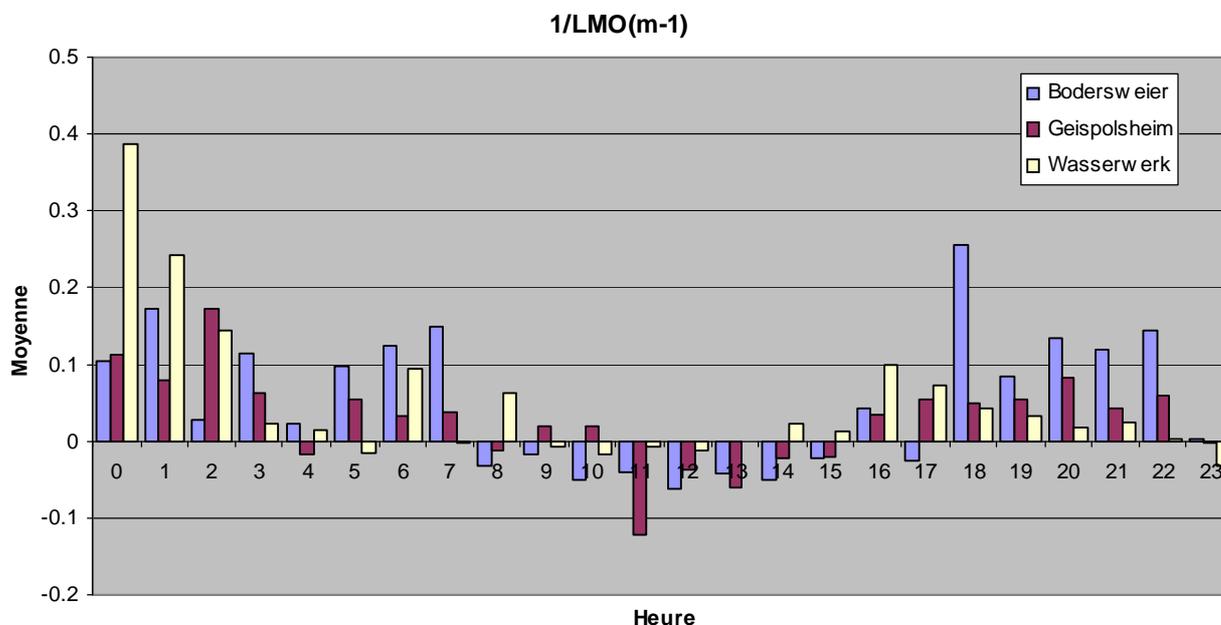


Figure 24 – Valeur moyenne de 1/LMO (m-1) par heure de la journée pour chacun des 3 capteurs disponibles.

La Figure 25 présente la même figure obtenue à partir des flux de chaleur sensible. On retrouve les caractéristiques habituelles de ce paramètre : les valeurs sont positives de jour et négatives de nuit. Comme durant la campagne été, la station de Bodersweier présente des valeurs diurnes nettement plus élevées. Cette constatation est toutefois à relativiser car, du fait du grand nombre de données manquantes, les valeurs représentées ne portent pas nécessairement sur la même période : en réalité, les mesures de Bodersweier correspondent à une période comprise entre le 7 février et le 14 mars alors que celles de Geispolsheim portent sur une période s'étendant du 16 janvier au 21 février. Or les valeurs de rayonnement solaire sont significativement plus fortes durant la première période évoquée que durant la seconde (voir Figure 23). Il est donc naturel d'observer des flux de chaleur sensible eux aussi plus élevés pour le capteur de Bodersweier. Il faut aussi rappeler que les valeurs du capteur de Wasserwerk, particulièrement faibles, ne portent que sur une période de 3 jours situés au milieu du mois de janvier.

⁶ Rapport Atmo-IDEA INTERREG IV Rhin Supérieur : Synthèse et analyse des données récoltées pendant la campagne météorologique de mesure de l'été 2012. Mars 2013.

Rappelons toutefois que ces valeurs diurnes plus élevées peuvent aussi être à relier à son implantation au sein d'une exploitation horticole : le sol est en effet recouvert de façon récurrente de bâche noire (Cf **Figure 27**).

La **Figure 26** présente le même paramètre sur une période où des mesures existent simultanément pour les capteurs de Bodersweier et de Geispolsheim : On note toujours des valeurs plus fortes pour le premier capteur, mais le rapport existant entre les deux est nettement réduit.

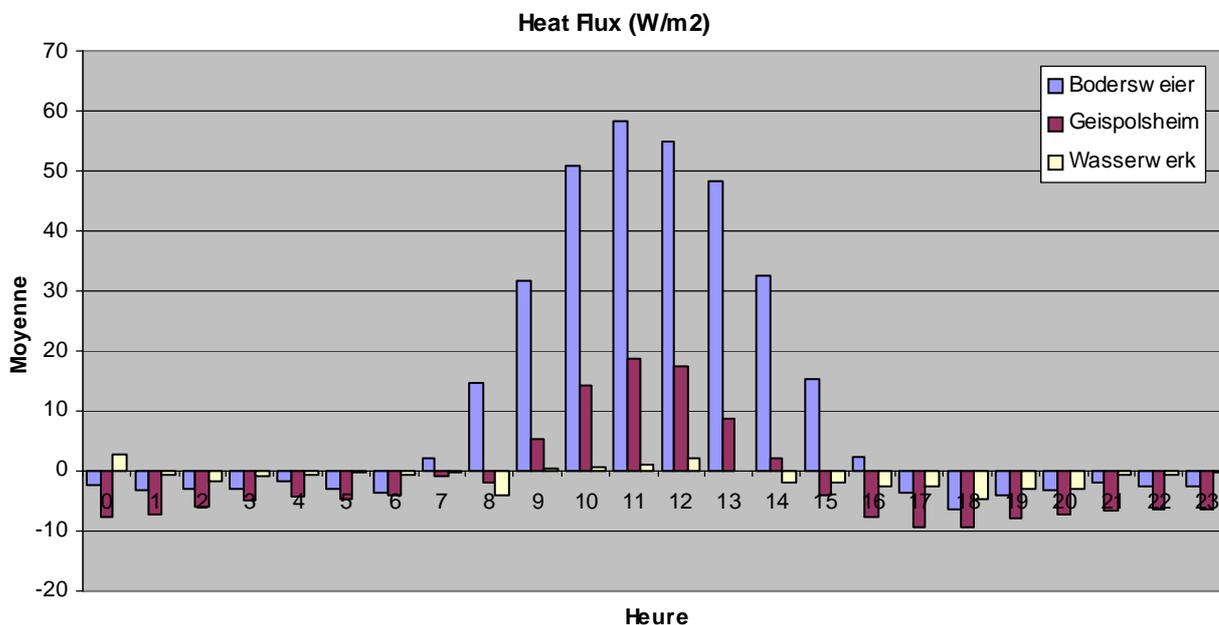


Figure 25 – Valeur moyenne de flux de chaleur sensible (W/m²) par heure de la journée pour chacun des 3 capteurs disponibles.

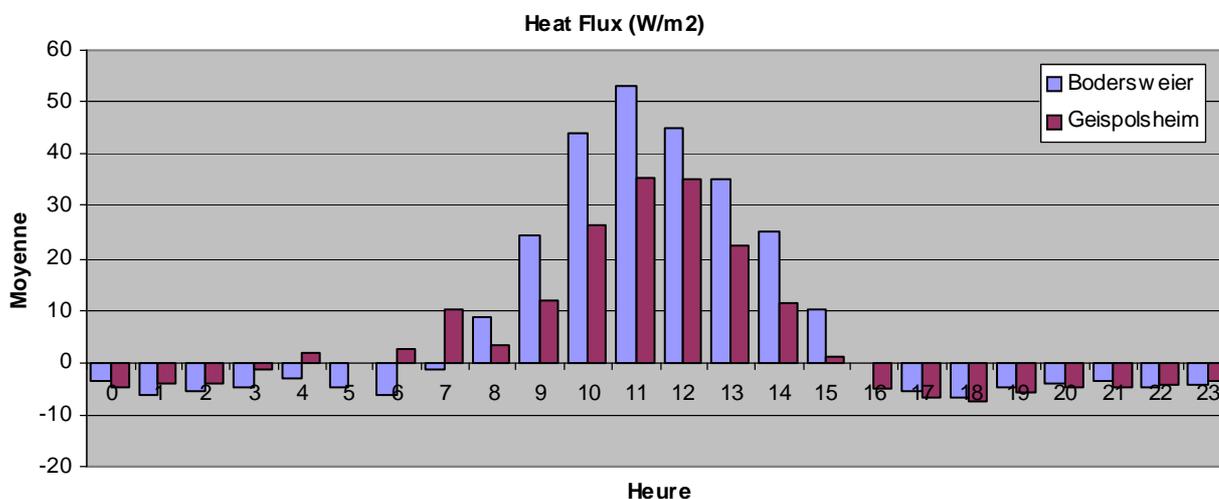


Figure 26 – Valeur moyenne de flux de chaleur sensible (W/m²) par heure de la journée pour chacun les capteurs de Bodersweier et Geispolsheim pour la période du 7 au 21 février 2013.

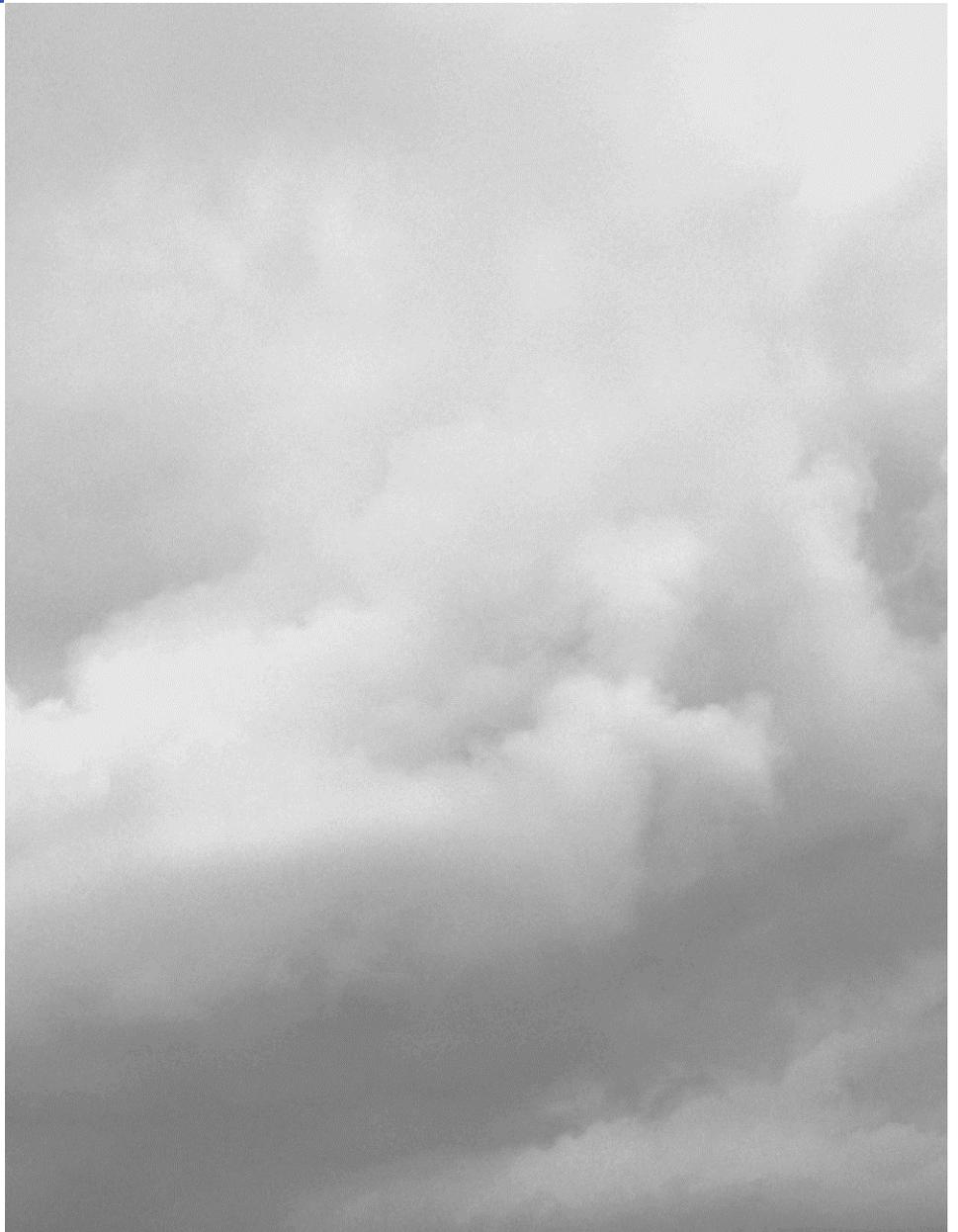


Figure 27 – Photographie du site d'implantation du capteur de Bodersweier au sein d'une exploitation horticole.

En conclusion, les observations suivantes peuvent être faites :

- Le grand nombre de données manquantes pour l'ensemble des capteurs rendra difficile la mise en évidence de constatations robustes dans l'exploitation ultérieure qui pourra être faite de ces valeurs, notamment en terme de modélisation. Il conviendra donc d'observer une certaine prudence vis à vis des conclusions de ces travaux.
- On observe toujours des valeurs négatives plutôt atypiques de LMO durant la nuit sur la plupart des capteurs. Elles sont toutefois nettement moins récurrentes que durant la campagne d'été.
- En termes de flux de chaleur sensible, la station de Bodersweier présente une nouvelle fois des valeurs significativement plus élevées. Bien qu'il soit difficile de dire dans le cas de cette campagne que les mesures de ce capteur sont biaisées par son environnement local (puisque l'on ne dispose que d'une seule autre station mesurant simultanément cette grandeur), les résultats de la campagne « été » peuvent faire penser que c'est bien le cas et donc que cette station est plutôt à éviter dans le cadre d'une utilisation comme données d'entrées d'un modèle.

Conclusions



3. Conclusions

La campagne de mesures météorologiques de l'hiver 2013 sur la région de l'Eurodistrict Strasbourg Ortenau a permis de réunir un jeu de données météorologique important. En effet, outre les nombreux sites instrumentés, la variété des dispositifs employés a permis de mesurer un large éventail de paramètres, des plus classiques (vent, température, humidité, etc.) jusqu'aux paramètres de stabilité moins triviaux (hauteur de couche limite par exemple).

L'étude de la disponibilité des différentes données a néanmoins conduit à l'élimination de quelques jeux de données, trop incomplets pour pouvoir être utilisés dans une analyse détaillée des conditions météorologiques sur la zone, pendant la période de la campagne. En effet, l'analyse des données en elle-même visait à détecter d'éventuelles hétérogénéités dans les champs météorologiques sur la zone de l'Eurodistrict. En lien avec l'implémentation d'un modèle urbain sur cette zone, l'analyse s'est focalisée sur les paramètres indispensables à la mise en place de simulations de dispersion, i.e. le vent, la température et la stabilité atmosphérique.

Tout comme pour la campagne estivale, la température est le paramètre le plus homogène sur la zone, la différence d'altitude d'environnement entre la plaine et la Forêt noire étant logiquement une cause de variation. On retrouve une telle homogénéité au niveau des mesures de rayonnement solaire.

Du point de vue du vent, les régimes de vent observés sont plus canalisés qu'en été, et surtout une cohérence spatiale plus forte est observée ; même si il y a une évolution des secteurs majoritaires entre le nord de la zone d'étude et le sud. Ces différences s'expliquent facilement par les reliefs plus présents au nord du domaine et à l'orientation de la vallée du Rhin au niveau de l'Eurodistrict.

Concernant la stabilité atmosphérique, on observe donc toujours une forte cohérence entre les mesures de rayonnement solaire disponibles sur Entzheim, Wasserwerk Kehl et Kehl Hafen. Les mesures de LMO et de flux de chaleur sensible réalisés par les anémomètres soniques pourraient aussi constituer une information intéressante en matière de caractérisation de la stabilité. Par rapport au rayonnement, elles présentent l'avantage de permettre cette caractérisation y compris en situation nocturne. Toutefois les problèmes techniques rencontrés durant la campagne ont sérieusement réduit le nombre de mesures disponibles. Les valeurs disponibles mettent cependant en évidence une atténuation importante de l'occurrence des valeurs négatives de LMO durant la nuit (problème rencontré durant la campagne « été ») et confirment la singularité des relevés de flux de chaleur sensible sur le capteur de Bodersweier.

■ Table des figures

Figure 1 – Localisation des sites de mesure fournissant des données météorologiques sur l'Eurodistrict Strasbourg Ortenau (frontière = ligne blanche) pendant la campagne de l'hiver 2013. Figure du bas = zoom sur Strasbourg/Kehl.....	7
Figure 2 – illustration d'un anémomètre sonique 2D (à gauche) et 3D (à droite).....	11
Figure 3 – Photos des sites de Geispolsheim (à gauche), Bodersweier (à droite).....	12
Figure 4 – Illustration des émetteurs et écouteurs et d'un SODAR Doppler.....	15
Figure 5 – Photo du site de Kehl Hafen (campagne hiver).....	16
Figure 6 – Illustration du ceilomètre acquis par la LUBW.....	20
Figure 7 - Evolution de la structure thermique de la couche limite atmosphérique au cours d'une journée. D'après R. Stull (1988).	21
Figure 8 - Evolution de la couche limite du 25 au 27 février 2013.....	22
Figure 9 – Roses des vents sur la période de la campagne de mesure sur les stations de Sélestat, des Vosges du Nord et Nord Est Alsace, extérieures à l'Eurodistrict, ainsi que sur la station de Lahr.....	35
Figure 10 - Roses des vents sur la période de la campagne de mesure pour une partie des stations de l'Eurodistrict.....	36
Figure 11 – Complément de la Figure 4. Roses des vents sur la période de la campagne de mesure pour le restant des stations dans l'Eurodistrict.....	37
Figure 12 – Roses des vents sur la période de la campagne de mesure d'après les données du SODAR à 140 m (en haut) et 220 m (en bas) de hauteur et pour les trois fréquences d'échantillonnage disponibles.....	38
Figure 13 – Evolution temporelle des températures journalières moyennes, minimales et maximales au niveau des points de mesure de Bodersweier, Geispolsheim et Kehl. Les valeurs moyennes sont indiquées par un symbole tandis que des barres verticales permettent de localiser les minima et maxima journaliers.....	38
Figure 14 - Evolution temporelle des températures journalières moyennes, minimales et maximales au niveau des points de mesure STG Ouest et STG Sud II. Les valeurs moyennes sont indiquées par un symbole tandis que des barres verticales permettent de localiser les minima et maxima journaliers.....	39
Figure 15 - Evolution temporelle des températures journalières moyennes, minimales et maximales au niveau des points de mesure Entzheim, Sélestat et La Wantzenau. Les valeurs moyennes sont indiquées par un symbole tandis que des barres verticales permettent de localiser les minima et maxima journaliers.....	40
Figure 16 - Evolution temporelle des températures journalières moyennes, minimales et maximales au niveau des stations de Kehl Hafen (LUBW), Lahr, Ohlsbach, Wolfach (DWD). Les valeurs moyennes sont indiquées par un symbole tandis que des barres verticales permettent de localiser les minima et maxima journaliers.....	40
Figure 17 - Evolution temporelle des températures journalières moyennes, minimales et maximales au niveau des stations du LTZ. Les valeurs moyennes sont indiquées par un symbole tandis que des barres verticales permettent de localiser les minima et maxima journaliers.....	41

Figure 18 - Evolution temporelle des températures journalières moyennes, minimales et maximales au niveau des stations du LSIT. Les valeurs moyennes sont indiquées par un symbole tandis que des barres verticales permettent de localiser les minima et maxima journaliers.	42
Figure 19 – Distribution des nébulosités mesurées sur Entzheim (bleu foncé) et par le ceilomètre (en bleu clair).	43
Figure 20 - Evolution temporelle de la moyenne journalière de la couverture nuageuse mesurée à Entzheim (bleu foncé) et à par le ceilomètre (bleu moyen et bleu clair).....	44
Figure 21 - Evolution temporelle des hauteurs de couche limite moyennes, minimales et maximales mesurées par le ceilomètre. Les valeurs moyennes sont indiquées par un symbole tandis que des barres verticales permettent de localiser les minima et maxima journaliers.	45
Figure 22 - Evolution temporelle du cumul journalier (en mm) des précipitations mesurées au niveau de Kehl Hafen (données LUBW).	46
Figure 23 – Evolution du rayonnement solaire journalier mesuré par Weather Measures (en bleu) au niveau de Wasserwerk Kehl, par le LUBW (en magenta) au niveau de Kehl Hafen et par Météo France sur Entzheim (en vert) pendant la campagne de mesure de l'hiver 2013.....	47
Figure 24 – Valeur moyenne de $1/LMO$ (m^{-1}) par heure de la journée pour chacun des 3 capteurs disponibles.	48
Figure 25 – Valeur moyenne de flux de chaleur sensible (W/m^2) par heure de la journée pour chacun des 3 capteurs disponibles.	49
Figure 26 – Valeur moyenne de flux de chaleur sensible (W/m^2) par heure de la journée pour chacun des capteurs de Bodersweier et Geispolsheim pour la période du 7 au 21 février 2013.....	49
Figure 27 – Photographie du site d'implantation du capteur de Bodersweier au sein d'une exploitation horticole.	50

■ Table des tableaux

Tableau 1 – Caractéristiques des mesures météorologiques effectuées pendant la campagne de l'hiver 2013. Le tableau ne se limite pas strictement aux stations au sein même de l'Eurodistrict, mais mentionne également les stations météorologiques fixes autour et dont les mesures ont également été mises à disposition.	9
Tableau 2 - Disponibilité des données des trois anémomètres soniques sur la période de mesure.....	13
Tableau 3 - Disponibilité des profils de vent (en %) par jour et par fréquence d'échantillonnage. Les cases sur fond vert correspondent à des disponibilités de données supérieures ou égales à 95 %, tandis que celles sur fond bleu indiquent des pourcentages de disponibilité compris entre 90 et 95 %. La donnée est considérée comme disponible dès qu'au moins une mesure est disponible et valide à une altitude.....	17
Tableau 4 - Disponibilité des données de vent (en %) en fonction de la hauteur et par fréquence d'échantillonnage sur l'ensemble de la campagne de mesure. Les cases sur fond violet correspondent à des disponibilités de données supérieures ou égales à 70 %.	18
Tableau 5 - Disponibilité (en %) des données de nébulosité fournies par le ceilomètre.....	19
Tableau 6 - Disponibilité (en %) des données de hauteur de couche limite issues des mesures du ceilomètre.....	21
Tableau 7 – Disponibilité (en %) des données de vent au niveau des stations du réseau ASPA. Pour chaque station, la première colonne correspond à la vitesse du vent tandis que la seconde colonne correspond à la direction du vent.....	23
Tableau 8 - Disponibilité (en %) des données de température au niveau des stations du réseau ASPA.....	24
Tableau 9 - Disponibilité (en %) des données de vent au niveau des stations Météo France.....	25
Tableau 10 - Disponibilité (en %) des données de température au niveau des stations Météo France.....	27
Tableau 11 - Disponibilité (en %) des données de précipitation au niveau des stations Météo France.....	28
Tableau 12 - Disponibilité (en %) des données de nébulosité au niveau de la station d'Entzheim.....	29
Tableau 13 - Disponibilité (en %) des données de vent au niveau de la station de Lahr.....	30
Tableau 14 - Disponibilité (en %) des données de température au niveau des stations de Lahr, Ohlsbach et Wolfach.....	30
Tableau 15 - Disponibilité (en %) des données de vent au niveau de la station de Kehl Hafen.....	32
Tableau 16 - Disponibilité (en %) des données de température au niveau de la station de Kehl Hafen.....	32
Tableau 17 - Disponibilité (en %) des données de vent au niveau des stations du LTZ.....	33
Tableau 18 - Disponibilité (en %) des données de température au niveau des stations du LTZ.....	33
Tableau 19 - Disponibilité (en %) des données de température et d'humidité relative au niveau des stations de bio-climatologie urbaine.	33
Tableau 20 – Pourcentage d'occurrence des classes de différences de nébulosité mesurée à Entzheim et Kehl (-2 signifie que la nébulosité mesurée à Kehl est de 2 octa inférieure à celle d'Entzheim).....	44
Tableau 21 – Comparaison des moyennes et maximums horaires simulés (en $\mu\text{g}/\text{m}^3$) de NO ₂ au niveau de différents points de mesures pour deux jeux de données météorologiques qui diffèrent sur la température et le rayonnement solaire.....	56
Tableau 22 - Comparaison des moyennes simulées (en $\mu\text{g}/\text{m}^3$) d'ozone au niveau de différents points de mesures pour deux jeux de données météorologiques qui diffèrent sur la température et le rayonnement solaire.....	57
Tableau 23 - Comparaison des moyennes et percentiles 90.4 des moyennes journalières simulés (en $\mu\text{g}/\text{m}^3$) de PM10 au niveau de différents points de mesures pour deux jeux de données météorologiques qui diffèrent sur la température et le rayonnement solaire	57

Annexe 1 :

Etude de sensibilité de la modélisation ADMS Urban à la température et au rayonnement

L'analyse des données des campagnes estivale et hivernale conduit à observer une variation spatiale de la température et du rayonnement solaire relativement homogène au niveau du domaine d'étude, du moins du point de vue de la modélisation avec un modèle tel que ADMS Urban. Ce constat nous conduit à considérer que prendre en compte la mesure d'Entzheim comme référence pour ces deux paramètres semble un choix pertinent, notamment compte tenu du caractère pérenne et opérationnel de cette mesure dans le futur.

La présente annexe a pour but d'illustrer la pertinence d'une telle conclusion. Pour cela, des simulations ont été réalisées avec deux jeux de données d'entrée météorologique : (i) un jeu dit de référence qui considère la mesure de température et de rayonnement solaire à Entzheim et (ii) le même jeu de donnée pour lequel uniquement ces deux paramètres sont remplacés par les mesures de Kehl Hafen. Les simulations ont été réalisées sur une période d'un an, du 15 mai 2012 au 15 mai 2013, et les tableaux suivants présentent les résultats obtenus au niveau de différents points de mesure permanent en France et en Allemagne. Pour obtenir plus de détails sur la modélisation urbaine mise en œuvre, le choix de la période, les paramètres calculés pour chaque polluant et les points de mesures considérés, le lecteur peut se reporter au rapport suivant : Rapport Atmo-IDEE INTERREG IV Rhin Supérieur : Modélisation haute résolution de la qualité de l'air sur l'Eurodistrict Strasbourg / Ortenau, Février 2014.

On observe que la modification du jeu de mesure sur la température et le rayonnement solaire a un impact négligeable sur les simulations réalisées, à quelques exceptions près (maximum horaire en NO₂ en certains points). Ces résultats montrent la faible sensibilité du modèle ADMS Urban aux variations spatiales observées pour la même échéance horaire sur le domaine d'étude pour ces deux paramètres ; et ainsi que prendre comme référence la mesure d'Entzheim est tout à fait justifiable.

Tableau 21 – Comparaison des moyennes et maximums horaires simulés (en µg/m³) de NO₂ au niveau de différents points de mesures pour deux jeux de données météorologiques qui diffèrent sur la température et le rayonnement solaire

NO ₂	STG Ouest	STG Nord	STG Clémenc.	STG Est	STG A35	DEBW 0022	LUBW 002
Moyenne simulée – Entzheim	21,2	25,8	50,9	28,7	58,5	22,3	29,8
Moyenne simulée - Kehl Hafen	20,9	25,4	50,3	28,3	57,8	21,9	29,4
Maximum horaire simulé - Entzheim	99,6	153,3	233,4	129,3	228,7	133,9	146,3
Maximum horaire simulé - Kehl Hafen	99,6	134,8	215,1	129,0	228,4	134,1	146,4

Tableau 22 - Comparaison des moyennes simulées (en $\mu\text{g}/\text{m}^3$) d'ozone au niveau de différents points de mesures pour deux jeux de données météorologiques qui diffèrent sur la température et le rayonnement solaire

O3	STG Nord	STG Est	STG Sud	DEBW 0022
Moyenne simulée - Entzheim	41,1	57,6	46,8	42,9
Moyenne simulée - Kehl Hafen	41,4	57,7	47,0	43,2

Tableau 23 - Comparaison des moyennes et percentiles 90.4 des moyennes journalières simulés (en $\mu\text{g}/\text{m}^3$) de PM10 au niveau de différents points de mesures pour deux jeux de données météorologiques qui diffèrent sur la température et le rayonnement solaire

PM10	STG Nord	STG Clémenc.	STG Est	STG A35	DEBW 0022
Moyenne simulée - Entzheim	21,9	24,5	23,6	30,9	19,9
Moyenne simulée - Kehl Hafen	21,9	24,3	23,5	30,7	19,9
P90.4 moyenne journalière simulée - Entzheim	35,9	39,7	38,8	52,8	33,4
P90.4 moyenne journalière simulée - Kehl Hafen	35,5	38,7	38,3	51,9	33,3