

Ref : INERIS-DRC-11-118202-04218A

4 Avril 2011

## Note du LCSQA/INERIS

Objet : **Éléments de compréhension d'épisodes de pollution particulaire hivernaux (janvier-mars 2011)**

### Contexte

De fortes concentrations de PM, entraînant des dépassements de valeurs limites/cibles, sont fréquemment observées en début d'année (janvier-mars), en raison de la conjonction entre les activités anthropiques (chauffage, transport, agriculture) et la survenue de conditions météorologiques favorables à la formation et à l'accumulation des polluants atmosphériques. En 2011, après trois premières semaines relativement bonnes à l'échelle nationale, la qualité de l'air en France a été significativement altérée lors de différents épisodes sub-continentaux (30/01-02/02 et début mars) ou plus localisés (cf. Annexe 1).

Cette note présente les moyens mis en œuvre par le dispositif national de surveillance de la qualité de l'air pour comprendre et documenter ces épisodes de pollution, ainsi que les premiers résultats d'analyses et éléments d'interprétation.

### Organisation

Le programme CARA mis en place par le dispositif national de la surveillance de la qualité de l'air (AASQA, LCSQA et MEDDTL) vise à apporter une meilleure compréhension des sources et des processus de formation de la pollution particulaire.

Afin de mieux comprendre ces phénomènes, des filtres prélevés dans le cadre du programme CARA ainsi que sur d'autres sites d'AASQA contactées pour l'occasion, ont été rapatriés et analysés à l'INERIS. La Figure 1 présente la localisation de ces sites.

Environ trois cents filtres ont ainsi été rapatriés. Tous ont fait l'objet d'analyses de carbone élémentaire et carbone organique (EC/OC), d'anions  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ , et cations :  $\text{Na}^+$ ,  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ . Certains ont fait (ou feront) l'objet d'analyses supplémentaires (métaux, traceurs de combustion de biomasse) en fonction de l'origine suspectée de l'épisode. L'ensemble de ces analyses permet de réaliser un bilan de masse des concentrations totales en  $\text{PM}_{10}$  mesurées par TEOM-FDMS, et renseignent sur les sources et mécanismes de formation de ces épisodes de pollution particulaire.

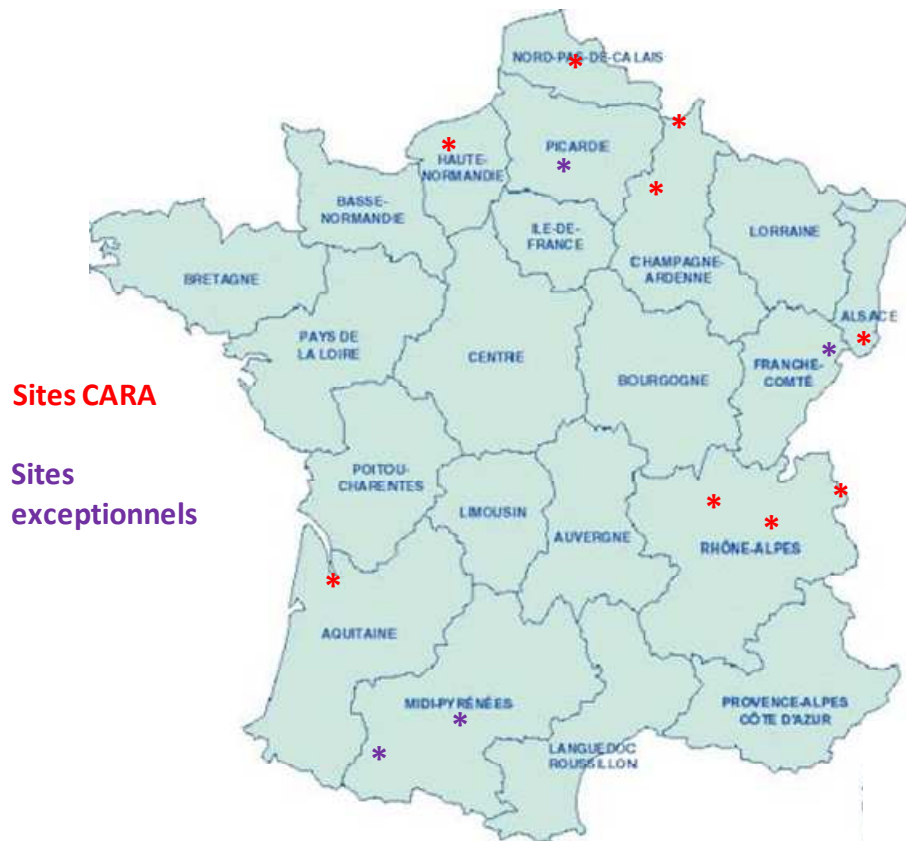


Figure 1 : Sites de prélèvement des filtres analysés. En rouge: sites intégrés dans le dispositif CARA, en mauve: sites supplémentaires (filtres fournis par ORAMIP et prélèvements réalisés par le LCSQA à Creil, pour compléter la présente étude, et en Franche-Comté, dans le cadre de la fiche LCSQA « représentativité spatiale des stations en dépassements de VL pour les PM).

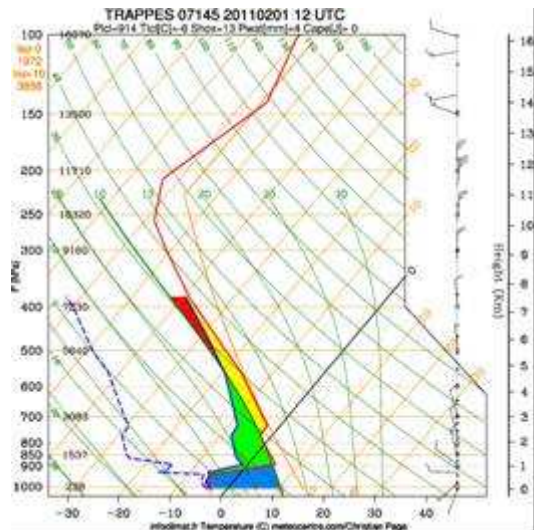
### **Interprétation des résultats**

La présente note vise à fournir le plus rapidement possible des éléments de compréhension des épisodes de pollution particulaire de début 2011. Elle est basée sur des résultats d'analyses et des interprétations scientifiques réalisées sur une période très courte (trois semaines pour l'ensemble des rapatriements et analyses chimiques, quelques jours pour l'interprétation des résultats), ne permettant pas une vérification systématique et exhaustive des données brutes, ni un examen approfondi des hypothèses de travail retenues (notamment pour l'estimation des sels de mer, des poussières crustales et de la matière organique totale à partir de composés traceurs). La base de données constituée sera consolidée en 2011, et une analyse scientifique plus approfondie sera fournie dans le rapport LCSQA 2011 relatif au programme CARA. Soulignons toutefois que les éléments de compréhension présentés ci-dessous sont basés sur un travail d'interprétation scientifique nous paraissant le plus adapté à ce stade de l'étude.

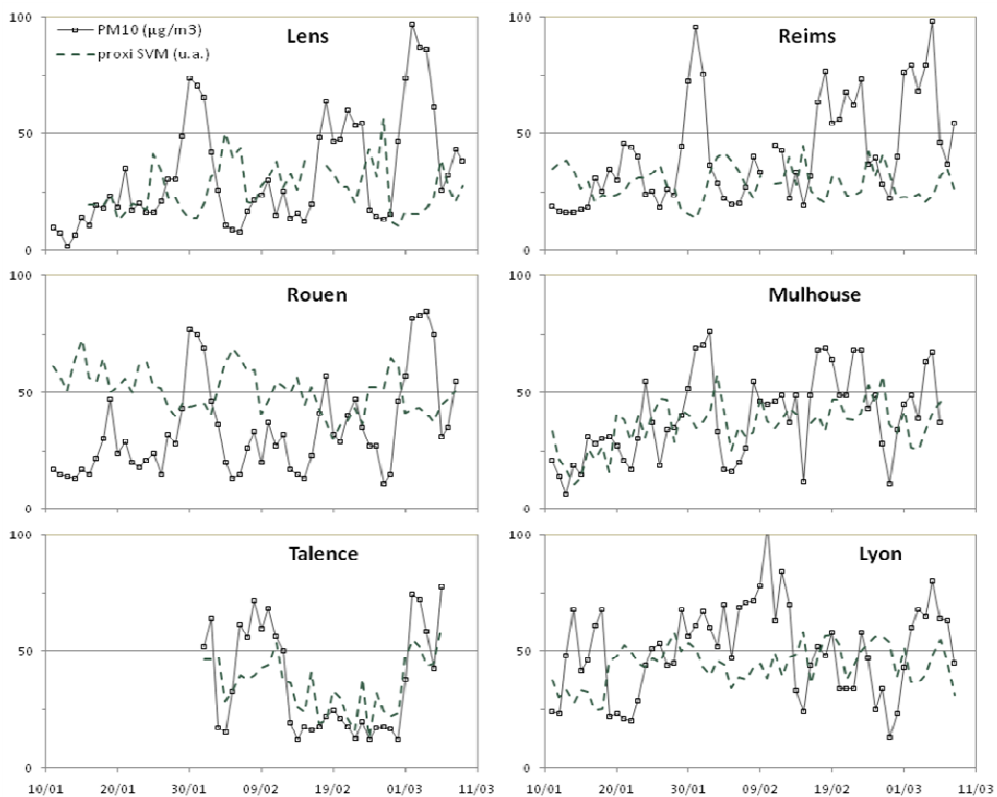
### Episode de début février (30/01 au 02/02)

Une situation anticyclonique s'installe sur l'Europe avec des vents variables assez chaotiques car très faibles de vitesse inférieure à 5 m/s au sol. Ce flux transporte de l'air très froid et stable qui s'installe sur la France les 30 et 31 janvier. Les températures négatives atteignent leurs plus bas niveaux lors des journées du 01/02 et 02/02 avec des minimales entre -5 et -10 et des maximales autour de 0 sur une majeure partie de la France.

**Figure 2 : Radiosondage de Trappes le 1er février 2011 à 12h montrant une inversion thermique.**



Lors de cette période, les températures froides et les vents faibles sont combinées à des inversions thermiques de subsidence (du à l'affaissement de l'air anticyclonique) qui concentrent les polluants émis dans une couche de faible épaisseur pendant une bonne partie de la journée. Le sommet de la couche limite peut tout de même culminer à 500 m d'altitude (Figure 2). Cette stabilité atmosphérique entraîne une augmentation des niveaux de PM10 d'un facteur 3 dans la partie (Nord-)Ouest de l'Hexagone et d'un facteur 2 à l'Est (où les concentrations étaient déjà proches du seuil réglementaire les jours précédents). Cf. Figure 3 et Annexe 1.



**Figure 3 : Evolution des concentrations de PM10 sur six sites urbains de fond (du dispositif CARA) entre le 11/01 et début mars. Proxi SVM (en unité arbitraire) = rapport de la fraction semi-volatile (estimée à partir des mesures TEOM-FDMS ou de la différence entre les mesures TEOM-FDMS et TEOM seul) à la masse totale.**

La Figure 4 présente les compositions chimiques moyennes analysées pour les périodes 27-29/01 (situation initiale) et 31/01-01/02 (cœur de l'épisode), sur les sites de Lens, Mulhouse, Rouen et Lyon. Le nitrate d'ammonium et la fraction organique restent partout les espèces majoritaires (50-65% des PM10 sur cette période).

Pour l'ensemble des quatre sites étudiés ici, on constate par ailleurs une nette augmentation des concentrations et contributions relatives en sulfates d'ammonium, en particulier dans le Nord et l'Ouest ( $25 \mu\text{g m}^{-3}$  à Lens, 20 à Revin et 17 à Rouen pour  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ ). Ces résultats reflètent l'influence des processus photochimiques lors du transport des masses d'air avant d'atteindre la France (par le Nord), et ce malgré le très faible ensoleillement sur cette période.

Egalement, de façon intéressante, on n'observe pas d'augmentation significative des concentrations en carbone élémentaire lors de l'épisode, suggérant à nouveau une diminution notable de la contribution relative des émissions locales/régionales.

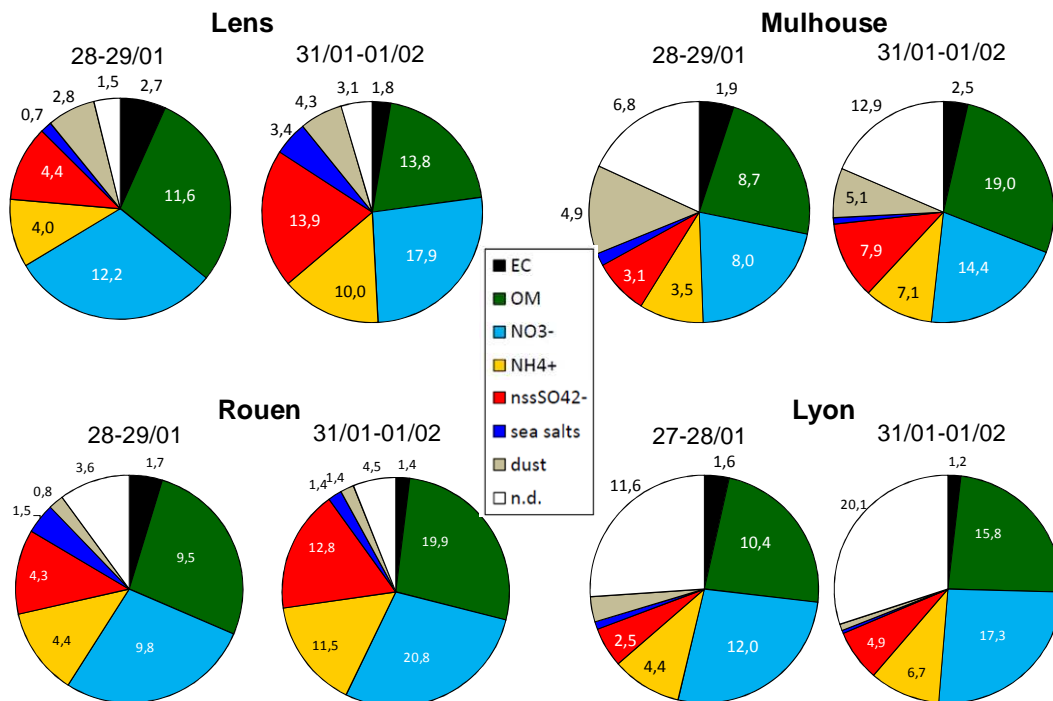


Figure 4: compositions chimiques moyennes lors de l'épisode de PM du 30/01 au 02/02. Les valeurs numériques indiquent la concentration massique par espèces en moyenne sur la période considérée ; la fraction blanche représente la part de matière non déterminée par analyses chimiques et/ou utilisation de composés traceurs.

Enfin, les premiers résultats d'analyses de traceurs organiques (lévoglucosan et mannosan) - réalisées par le Laboratoire des Sciences du Climat et de l'Environnement - indiquent une diminution de la contribution des particules issues de la combustion de biomasse au sein de la fraction organique.

Notons que la contribution de la source « feu de biomasse » à la fraction organique (OM) est comprise dans une fourchette de 20 à 40% lors de l'épisode considéré ici, avec une influence plus marquée dans le (Nord-)Est du pays. Par comparaison avec des observations précédentes (ex. en janvier 2009 et 2010, cf. Annexe 2 et rapports LCSQA de 2009 et 2010 relatifs au dispositif CARA),

cette source ne semble pas être un paramètre majeur dans la formation de l'épisode de début février 2011 (et encore moins dans celui de début mars 2011).

Néanmoins, il est également intéressant de noter que les ratios Lévo-glucosan/Mannosan diminuent globalement lors de cet épisode (et lors de celui de début mars), suggérant un apport des particules de combustion de biomasse de nature sensiblement différente des émissions locales/régionales (apports d'aérosols provenant de la combustion de bois plus tendre et/ou de bois reconstitué, aérosols organiques plus âgés/oxydés, ...).

La fin de la période se caractérise par un basculement de la circulation d'air (à partir du 03/02) avec des vents qui restent faibles mais de secteur ouest sud-ouest apportant de l'air maritime. Au Nord l'air se réchauffe alors qu'il reste assez froid sur les régions montagneuses (Rhône-Alpes) et le sud de la France le 03 et 04 février.

#### Succession d'épisodes plus localisés au cours du mois de février

Durant les trois semaines suivantes, les températures sont assez froides et des inversions thermiques fréquentes et/ou des faibles développements de couches limites sont constatés.

Sur la partie nord, une succession de journées avec des vents faibles désorganisés et des journées avec une circulation générale marquée peuvent être observées :

- 1) Vents assez forts : 05-08/02, 13/02, 15/02.
- 2) Vents faibles : 09/02-12/02, 14/02, 16/02-25/02.

De même une succession de journées avec précipitations et sans :

- 1) Avec : 11, 13-16, 20-22, 24.
- 2) Sans : 6-10, 12, 17-19, 23, 25

Sur la partie sud-est et particulièrement les reliefs montagneux les vents demeurent très faibles et désorganisés (chaotiques) jusqu'au 26 février où le vent s'intensifie dans la vallée du Rhône.

Ces conditions climatiques favorisent :

- Au Nord, le développement d'une succession de courts épisodes de pollution particulaire, vraisemblablement marqués par l'influence des émissions régionales (pouvant être transfrontières : Sud du Royaume-Uni, Bénélux et/ou Ruhr, selon les sites). Ainsi, de fortes concentrations en sulfate d'ammonium sont par exemple observées le 18 février 2011 à Lens, mais pas à Rouen (Figure 5). De même, une concentration en carbone élémentaire relativement élevée (plus de deux fois supérieure à celles mesurées sur les filtres de Lens et Rouen) a été mesurée ce jour-là à Mulhouse. En complément de ces premiers résultats, une analyse préliminaire de la campagne de terrain réalisée par le LCSQA et Atmo Franche-Comté dans le Territoire de Belfort au cours du mois de février 2011 est présentée en Annexe 3.

- Dans le Sud (dont Rhône-Alpes), la persistance de niveaux élevés de concentrations de PM<sub>10</sub>. Les analyses réalisées sur les filtres de Lyon et sur deux filtres de Talence correspondant à cette période indiquent ici aussi une contribution plus importante des émissions locales/régionales (trafic et chauffage bois en particulier) que lors des épisodes de début février et début mars. De même, les analyses effectuées sur les filtres prélevés à Passy (Pays du M<sup>t</sup> Blanc) illustrent l'importance des

émissions locales de polluants carbonés, dont les émissions par combustion de biomasse, sur les niveaux de fond de PM dans les vallées alpines (Figure 6).

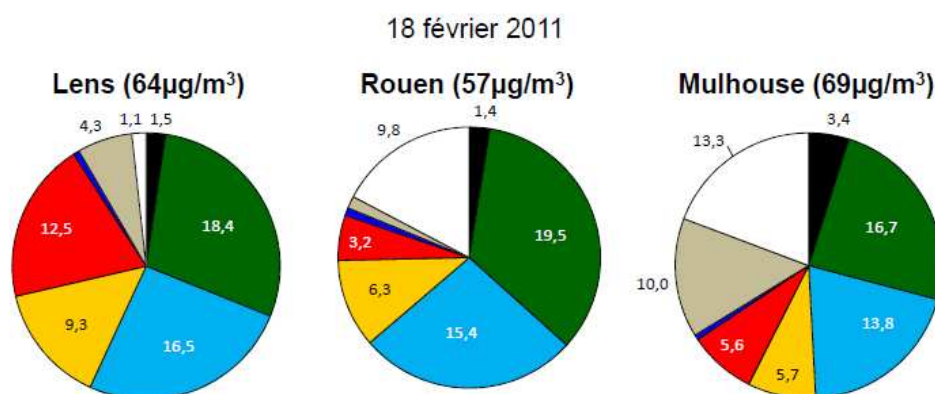


Figure 5: compositions chimiques moyennes à Lens, Rouen et Mulhouse le 18 février 2011. Les valeurs numériques indiquent la concentration massique par espèces en moyenne sur la période considérée.

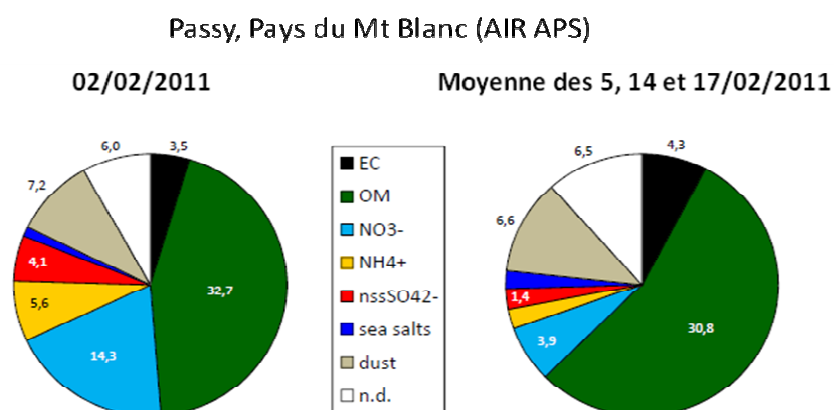


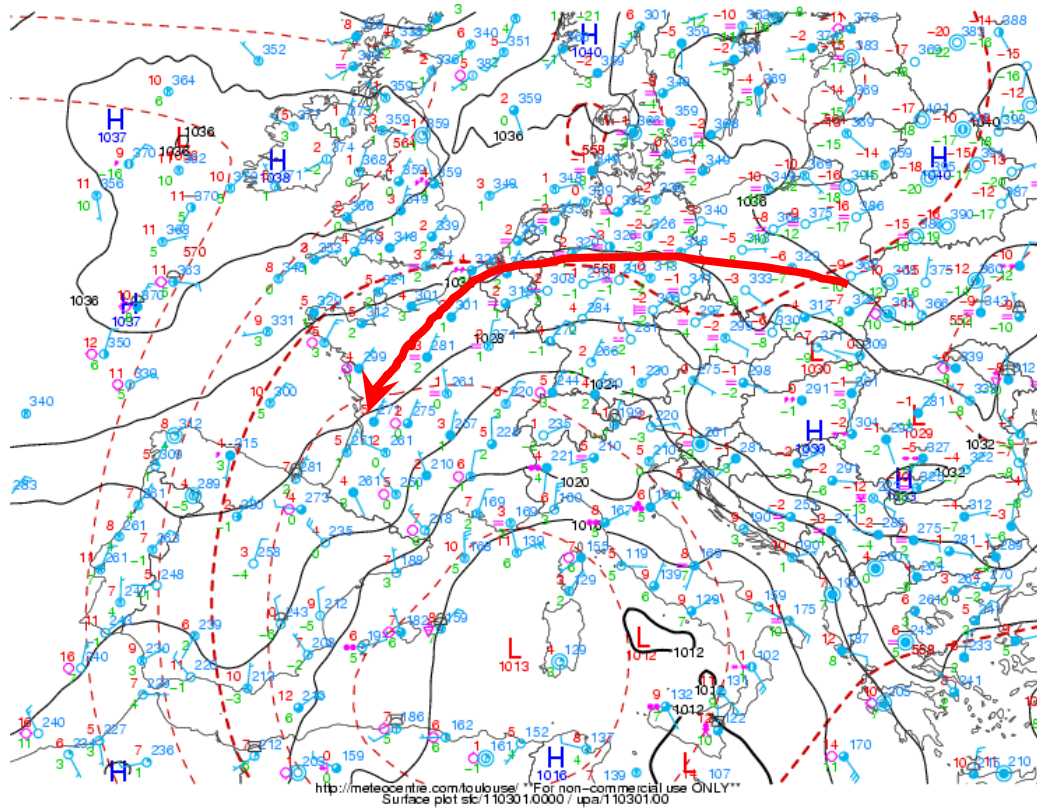
Figure 6 : Compositions chimiques moyennes à Passy pendant et après l'épisode de début février. Les valeurs numériques indiquent la concentration massique par espèces en moyenne sur les périodes considérées.

### Episode(s) de début mars

Un anticyclone est positionné sur l'est de l'Europe depuis plusieurs jours et étend son influence sur l'Europe de l'Ouest englobant la France à partir du 1<sup>er</sup> mars (Figure 7). Il est caractérisé par des vents faibles de secteur est nord-est ( $\sim 5 \text{ m s}^{-1}$ ) qui forçissent et fluctuent en cours de journée notamment sur le nord de la France, le Benelux et le nord de l'Allemagne autour de  $10 \text{ m s}^{-1}$  avec des rafales à  $20 \text{ m s}^{-1}$  jusqu'au 2 mars après-midi quand l'intensité des vents diminue à nouveau. Une inversion thermique de subsidence assez marquée favorise alors l'accumulation des polluants atmosphériques. Les minimales des températures sont entre  $0^\circ$  et  $5^\circ$  et les maximales entre  $8^\circ$  et  $15^\circ$ . L'air, assez



humide le 1<sup>er</sup> mars, s'assèche et présente les jours suivants une humidité entre 60 et 70 %. Aucune précipitation marquante n'est observée sur cette période.



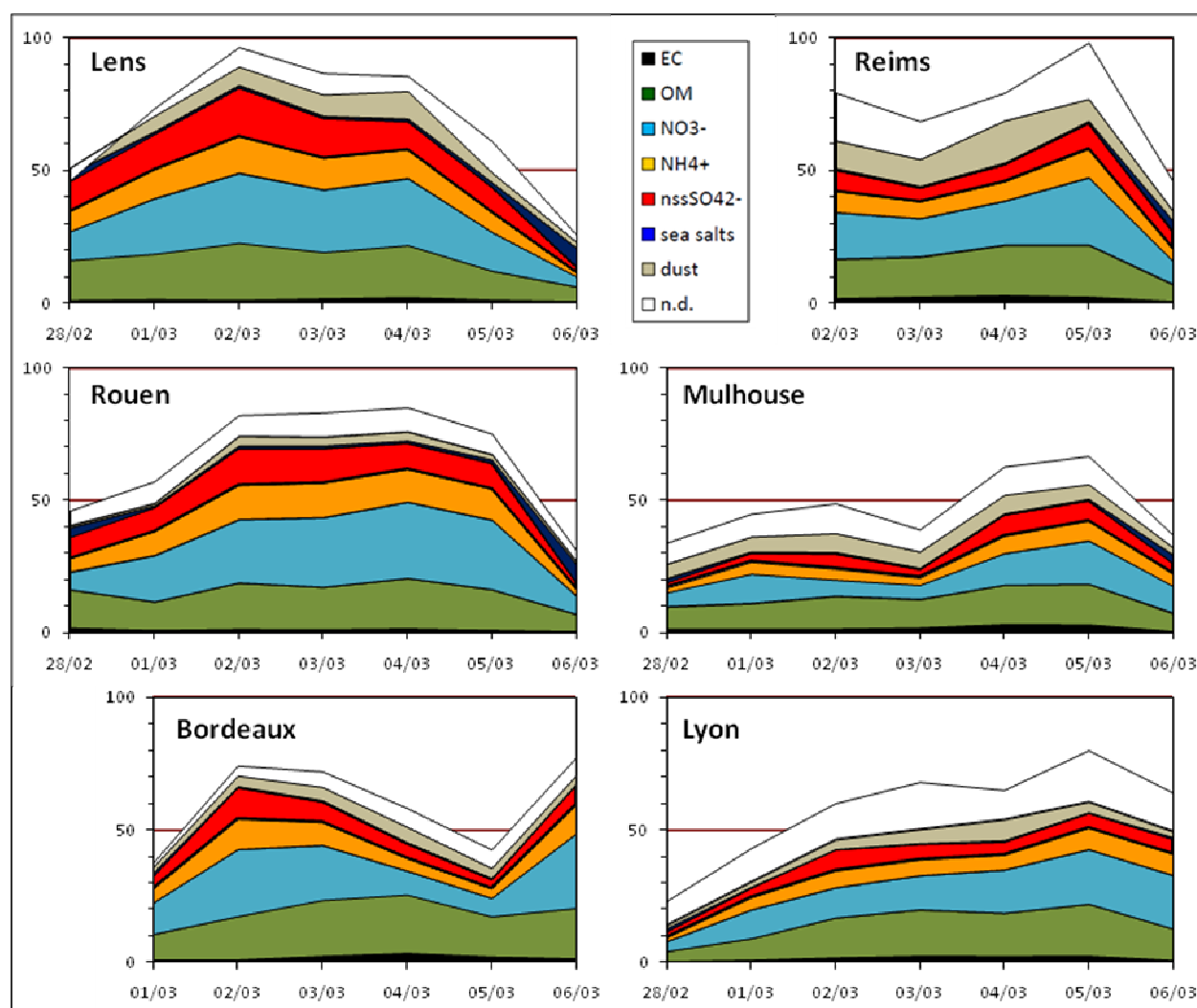
**Figure 7 : Analyse météorologique sur l'Europe le 1er mars 2011 à 00h montrant un flux à l'échelle européenne d'est vers l'ouest qui traverse la France du nord-est vers le sud-ouest.**

Comme illustré par la Figure 8, cet épisode d'échelle sub-continentale se caractérise notamment par une augmentation des concentrations en nitrate d'ammonium, en particulier dans l'Ouest de la France. A Rouen, par exemple, les concentrations estimées de  $\text{NH}_4\text{NO}_3$  passent d'environ  $10 \mu\text{g m}^{-3}$  (environ 20% des concentrations de  $\text{PM}_{10}$ ) à  $40 \mu\text{g m}^{-3}$  (environ 45%). Ce phénomène est à relier à l'ensoleillement relativement important sur toutes les journées de cette période, favorisant les réactions photochimiques conduisant à la formation d'aérosols secondaires. Par ailleurs, les concentrations en carbone organique ne connaissent globalement pas de hausses notables et on observe une diminution de la contribution relative de cette fraction organique dans le Nord et l'Ouest.

En revanche le site de Lyon est marqué du 3 au 7 mars par une augmentation de la part relative de la matière organique passant de 17 % le 1er mars (avant le début de l'épisode) à 24 % en moyenne au cours de l'épisode.

De fortes augmentations en nitrate d'ammonium sont également observées sur le site de Talence au cours de l'épisode considéré ici. Il est à noter que ce site est le seul des sites présentés sur la Figure 3 à connaître une hausse notable de la contribution relative de la matière semi-volatile (SVM) à la masse totale de  $\text{PM}_{10}$  lors des épisodes de début février et début mars. Un travail d'investigation

reste à mener pour expliquer ce phénomène au regard des conditions climatiques et de l'intensité de l'activité anthropique (agriculture, transports, ...).



**Figure 8 : Evolution des concentrations des espèces chimiques majeures sur les sites de Lens, Rouen, Bordeaux (Talence), Reims, Mulhouse et Lyon lors de l'épisode de pollution de début mars.**

L'épisode s'achève le 5-6 mars car le flux d'est bien établi sur l'Europe se scinde en deux au niveau de l'Allemagne sous l'effet de vents du nord (Figure 9). De fortes concentrations de PM10 sont néanmoins encore observées dans le sud de la France jusqu'au 8 mars (cf. Annexe 1), sous l'effet de conditions météorologiques stables.



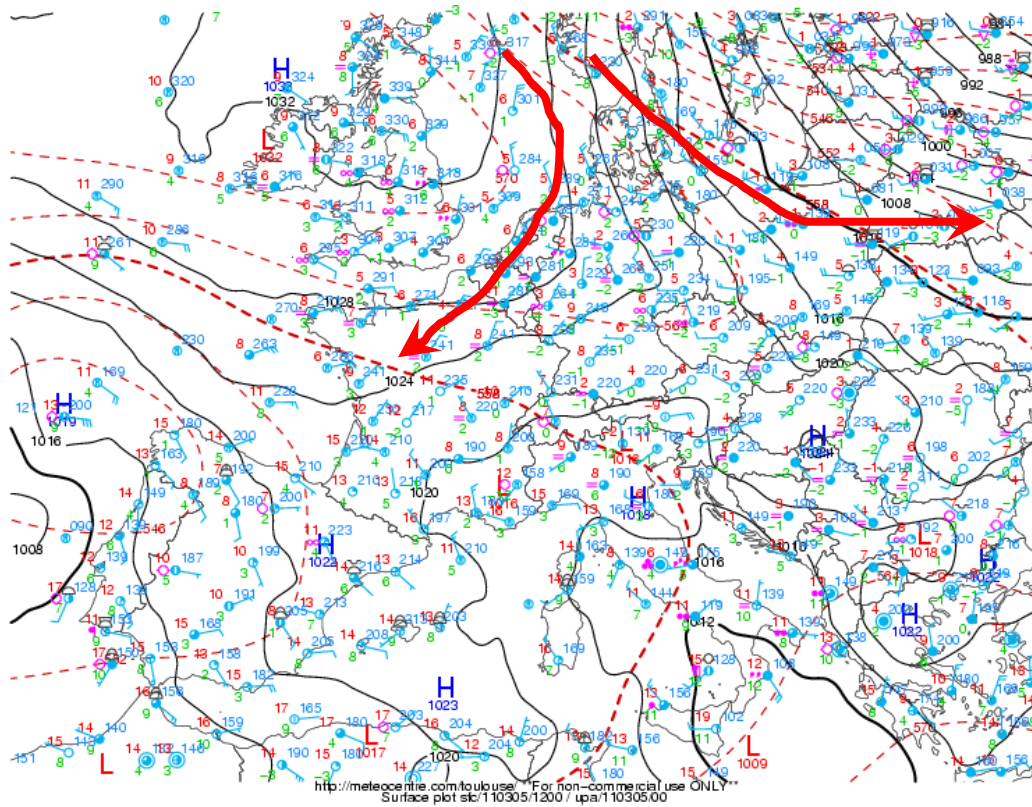
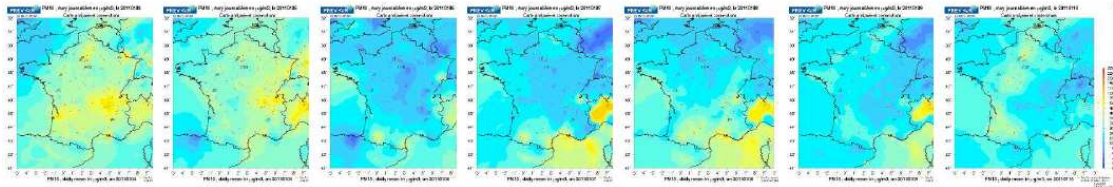


Figure 9 : Analyse météorologique sur l'Europe le 5 mars 2011 à 12h. Le flux d'est en ouest (fig6) est brisé sous l'influence de vent du nord d'origine maritime.

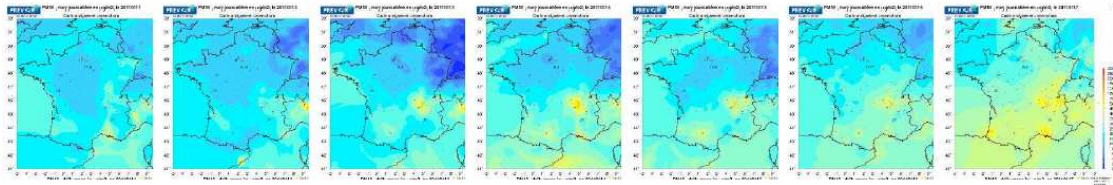
# Annexe 1

Compilation des cartes analysées de PM10 entre le 4 janvier et le 28 mars 2011 ([www.prevoir.org](http://www.prevoir.org))

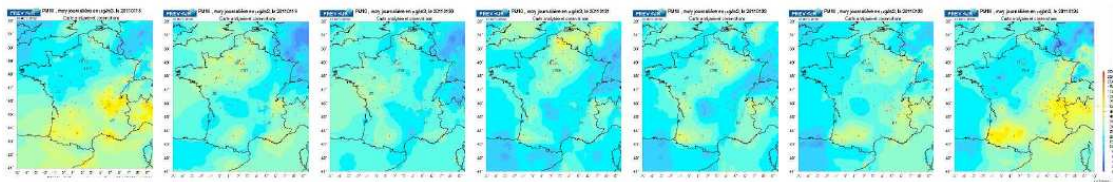
## 4 au 10 janvier



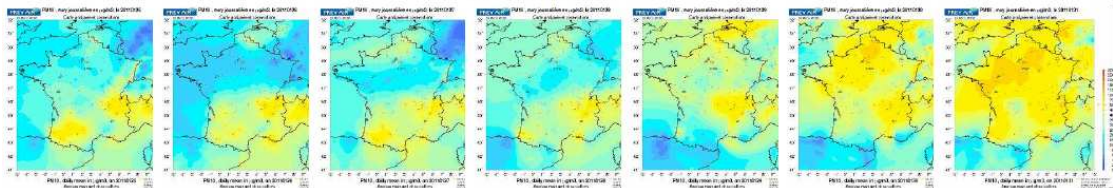
## 11 au 17 janvier



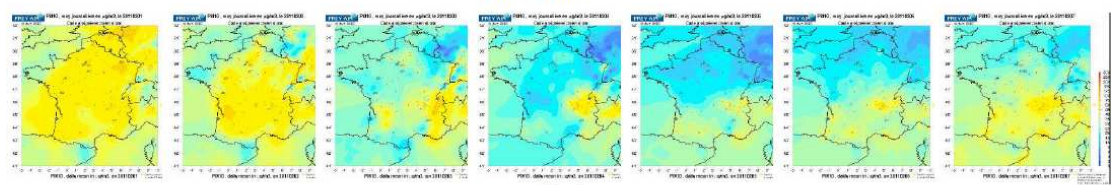
## 18 au 24 janvier



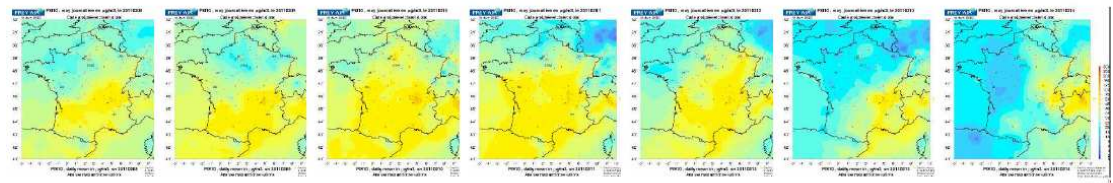
## 25 au 31 janvier



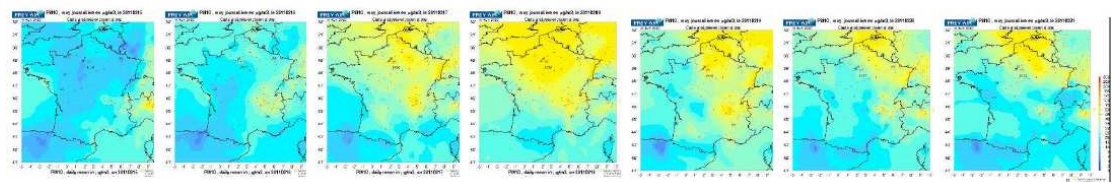
## 1 au 7 février



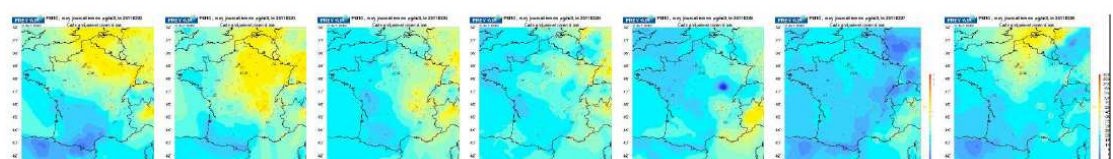
## 8 au 14 février



## 15 au 21 février

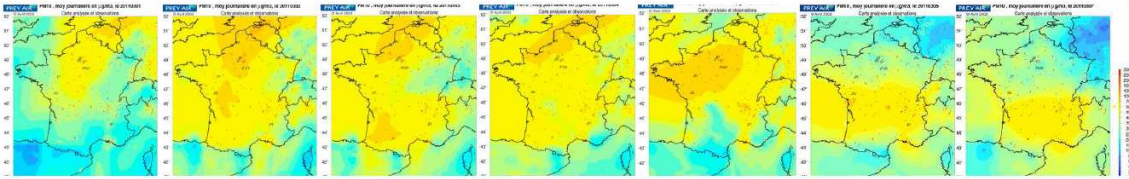


## 22 au 28 février

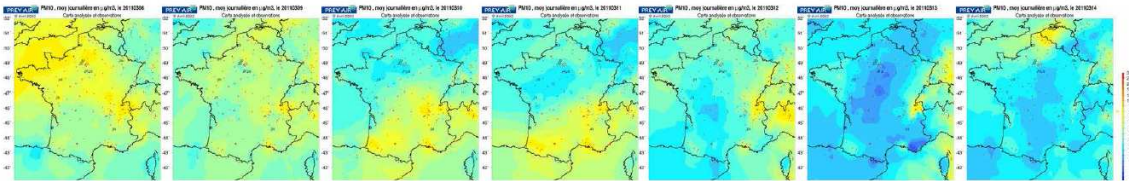




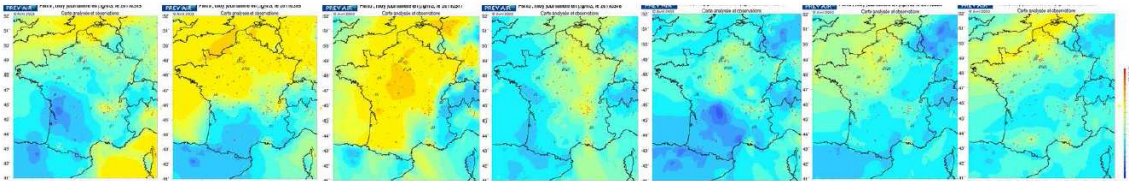
1 au 7 mars



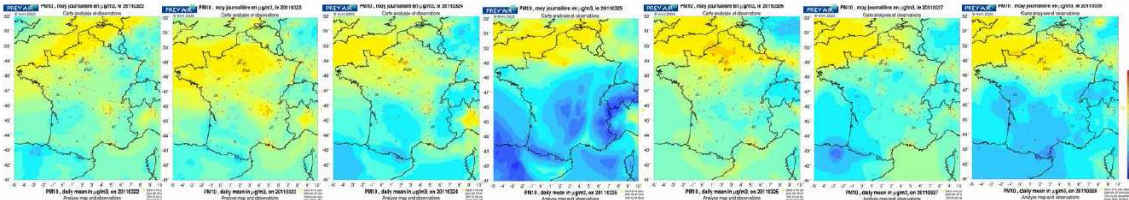
8 au 14 mars



15 au 21 mars



22 au 28 mars



## Annexe 2

Tableau récapitulatif des concentrations en PM10, carbone organique et lévoglucosan sur le site de Rouen en 2011 et lors d'un épisode de pollution en janvier 2009.

	PM10	OC	lévo
	$\mu\text{g m}^{-3}$		$\text{ng m}^{-3}$
28/01/2011	28	3	176
29/01/2011	43	7	204
30/01/2011	77	12	311
31/01/2011	75	10	262
01/02/2011	69	11	398
02/02/2011	46	8	320
03/02/2011	36	5	219
10/02/2011	37	7	354
11/02/2011	27	4	123
18/02/2011	57	11	460
28/02/2011	46	8	151
01/03/2011	57	6	103
02/03/2011	82	10	153
03/03/2011	83	9	137
04/03/2011	85	11	178
05/03/2011	75	9	191
06/03/2011	31	4	170
07/01/2009	74	20	1300
08/01/2009	42	8	700
09/01/2009	60	14	1300
10/01/2009	113	28	2700
11/01/2009	108	27	2300

## Annexe 3

### Analyse préliminaire de la campagne de Belfort (4-23 février 2011)

En collaboration avec ATMO Franche-Comté et dans le cadre de la fiche « méthodologie de détermination des zones géographiques concernées par les dépassements de seuils », le LCSQA a mené une campagne de terrain, incluant le prélèvement de PM10 sur filtres, à Belfort au cours du mois de février 2011.

Comme illustré par la Fig. A3-1, les premiers résultats indiquent des concentrations de PM10 en site trafic environ 20% supérieures à celles obtenues sur le site urbain de fond. Ce différentiel est suffisant pour observer des dépassements de la valeur limite de  $50\mu\text{g}/\text{m}^3$  uniquement sur le site trafic par exemples les 7, 17 et 19 février.

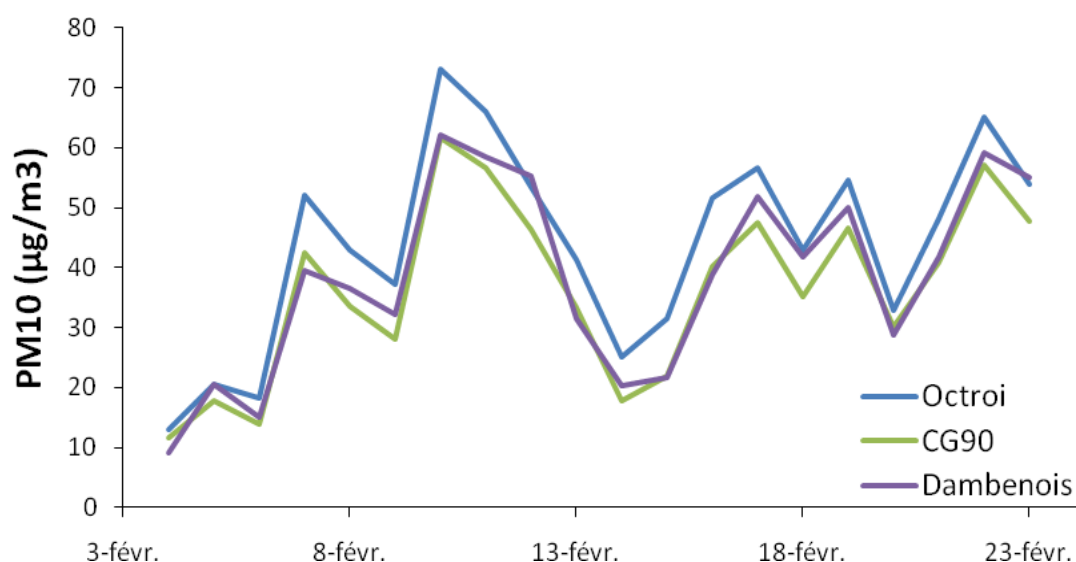
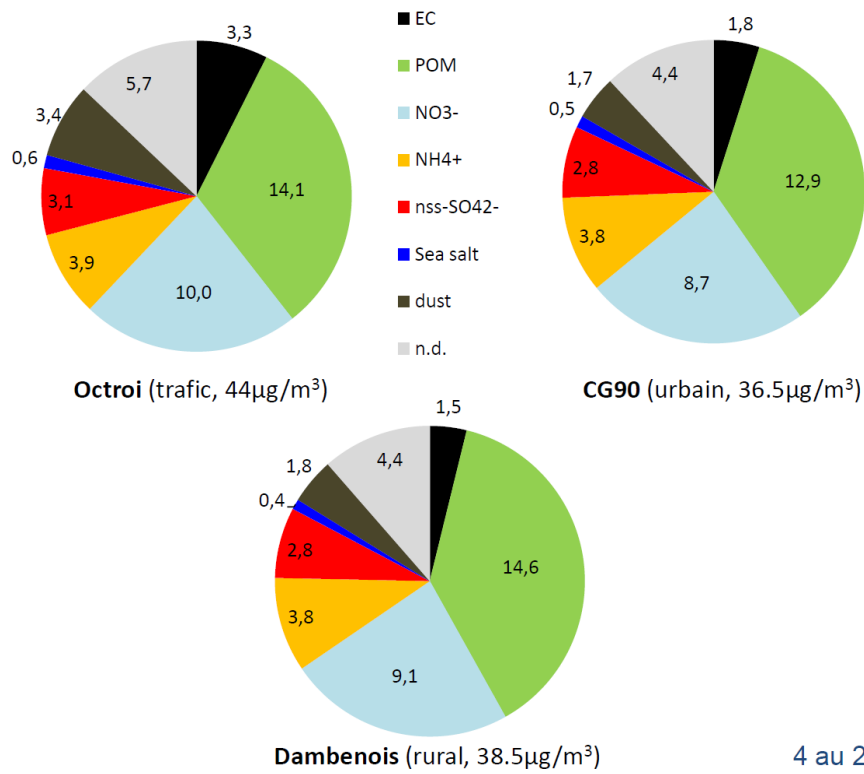


Figure A3-1 : Evolution des concentrations de PM10 (obtenues selon la méthode manuelle de référence, EN 12341) sur trois sites du Territoire de Belfort : Octroi = site trafic (Belfort), CG90 = site de fond urbain (Belfort), Dambenois = site rural situé à environ 25km à l'Ouest de Belfort.

Comme indiqué par la Figure A3-2, l'augmentation des concentrations de PM10 en site trafic s'explique notamment par l'influence des émissions véhiculaires directes (vue au travers de l'augmentation des concentrations en carbone élémentaire) et indirectes (resuspension de particules minérales, comprises dans les fractions « dust » et « non déterminées »).

De façon relativement surprenante, on constate également des niveaux de PM10 équivalents sur le site de fond urbain (CG90) et sur le site rural (Dambenois). Les analyses chimiques réalisées sur ces prélèvements indiquent des concentrations en carbone organique (ainsi qu'en lévoglucosan) globalement supérieures à Dambenois (Fig. A3-2), suggérant une influence locale non négligeable des émissions de combustion de biomasse.

Néanmoins, au-delà de ces observations, la grande similitude des compositions chimiques moyennes obtenues pour ces trois sites (Fig. A3-2) met en lumière l'influence des émissions régionales sur les niveaux de pollution des sites urbains étudiés ici.



4 au 24 fev. 2011

Figure A3-2 : Compositions chimiques moyennes des PM10 du 4 au 24 février 2011 sur les sites de Belfort Octroi, CG90 et Dambenois.