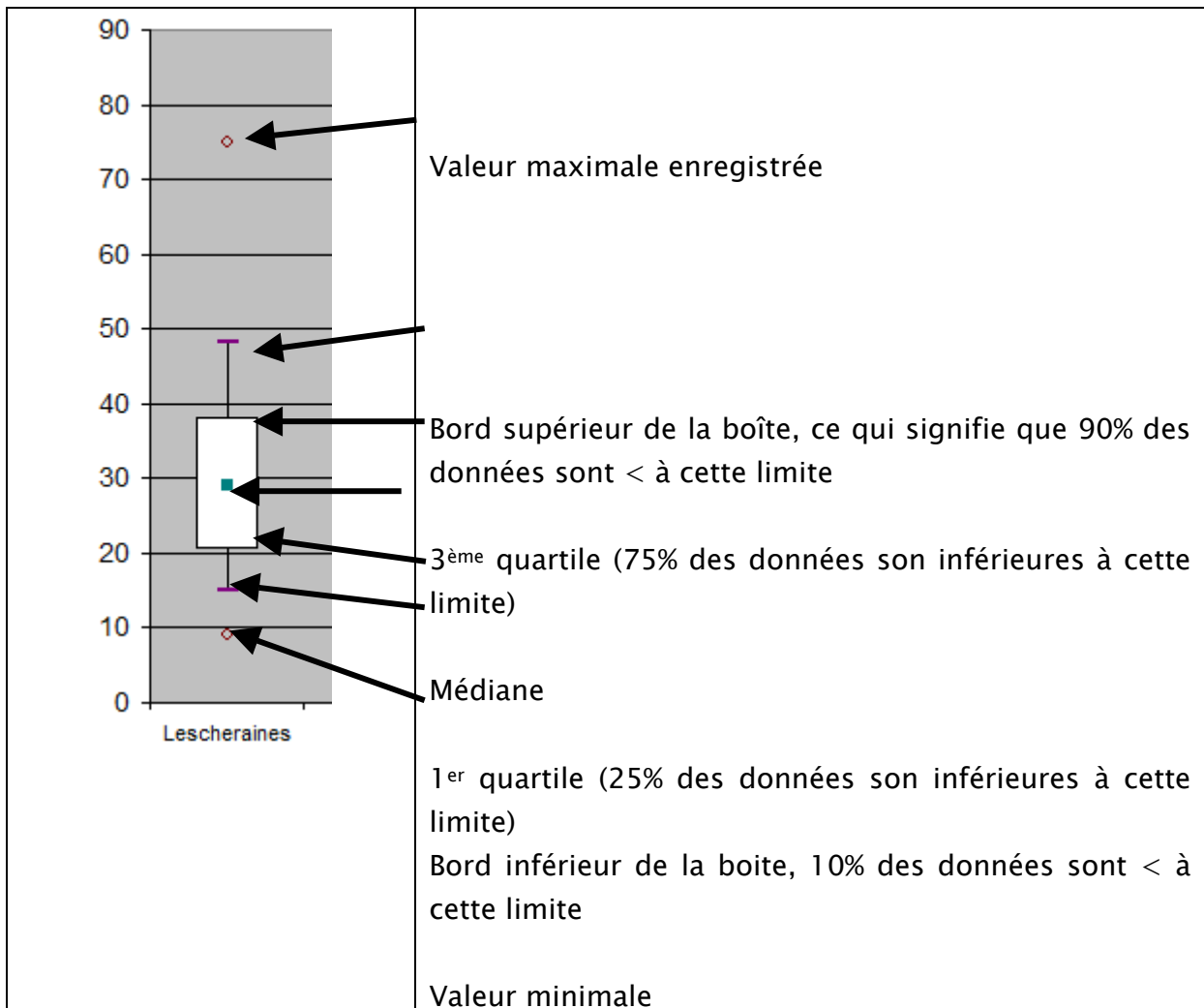


## **Annexe 7 : Utilisation des boxplots**

## Annexe 7

### Utilisation des boxplots

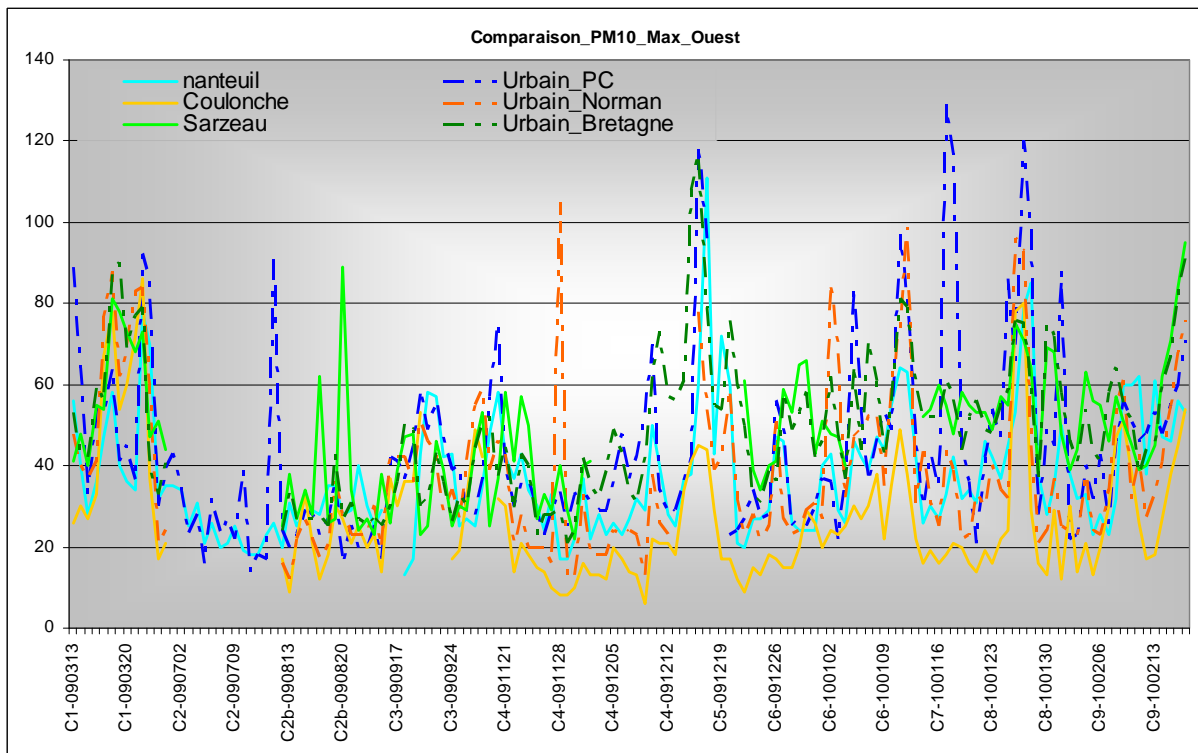
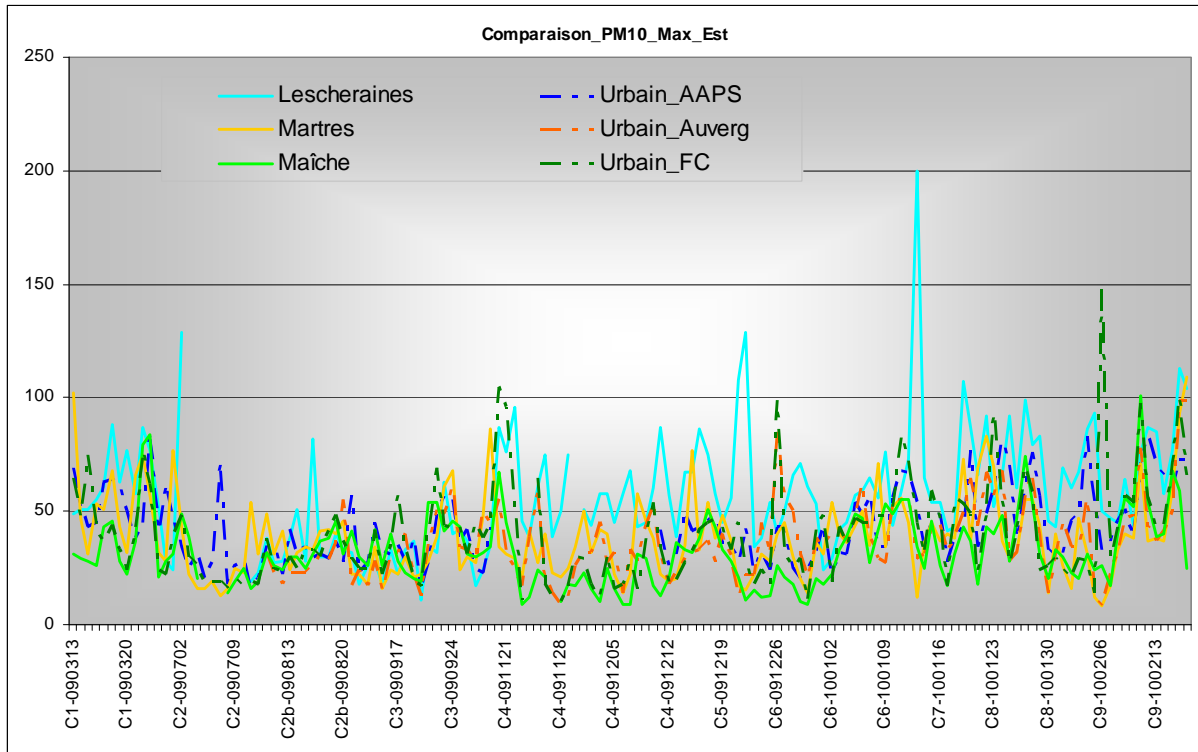
Le Boxplot, appelé également « Boîte à moustaches », permet d'étudier la distribution des concentrations. Il représente d'une manière simple la répartition d'un groupe d'observations et synthétise une série de stats récapitulatives : la médiane, le 1<sup>er</sup> et 3<sup>ème</sup> quartile ainsi que les observations qui s'écartent fortement de la population étudiée.

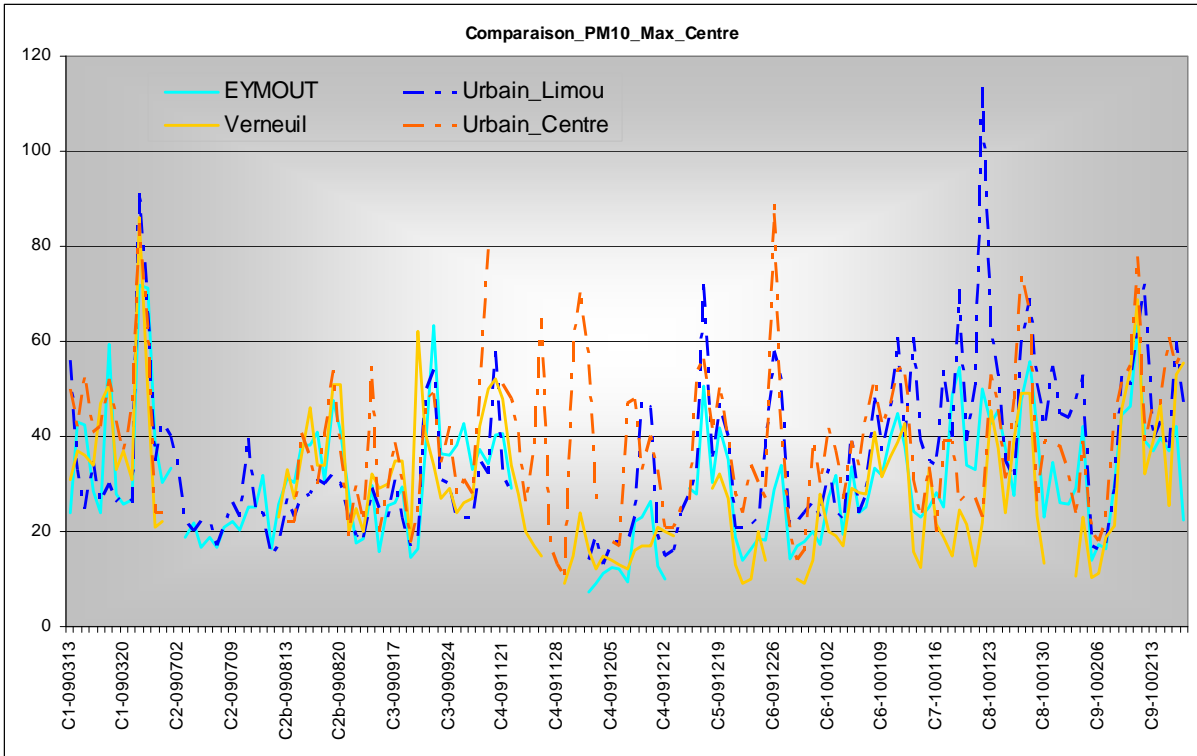


## **Annexe 8 : Comparaison des maxima horaires journaliers en PM10 sur les sites Particul'Air et les sites urbains proches**

## Annexe 8

### Comparaison des maxima horaires journaliers en PM10 sur les sites Particul'Air et les sites urbains proches





## **ANNEXE 9 Impact des conditions climatiques sur la granulométrie des particules**

## ANNEXE 9 Impact des conditions climatiques sur la granulométrie des particules

Dans cette section, on cherche à mettre en avant les évolutions de ces concentrations en nombre avec les variables météorologiques et les concentrations chimiques mesurées.

Le graphique suivant représente les coefficients de corrélation entre des moyennes journalières de température et d'humidité (mesurées par le GRIMM) et le nombre de particules (comptage journalier) pour chacune des classes de taille. Ces corrélations sont établies pour l'ensemble des journées de prélèvement des PM (n = 63).

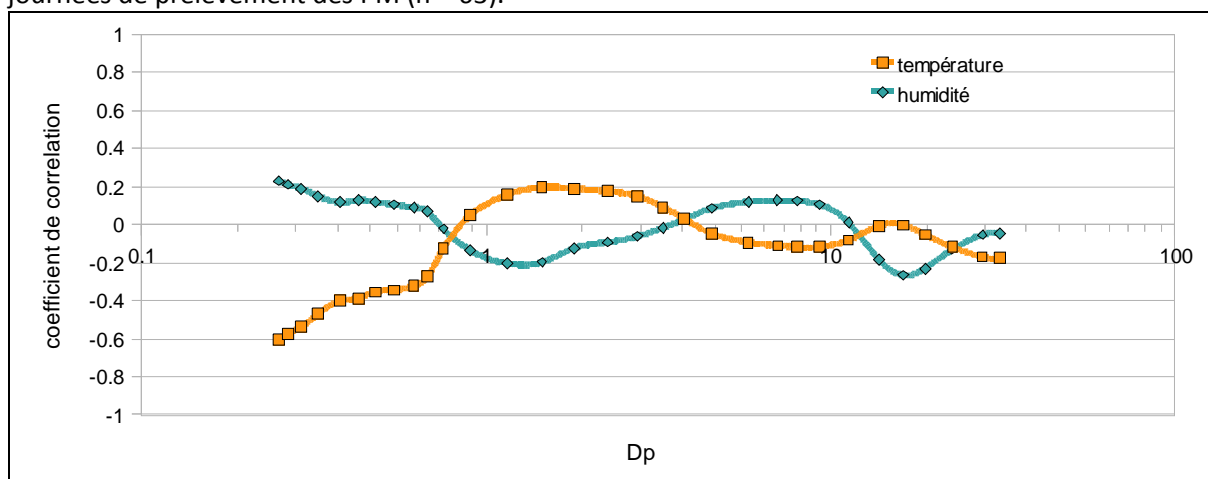


Figure 1 : corrélation par classe granulométrique du nombre de particules moyen journalier et des conditions de température et d'humidité

Quelle que soit la taille des particules, les corrélations sont peu marquées avec l'humidité ambiante ce qui tend à indiquer que les variations d'humidité ne favorisent pas l'apparition de telle ou telle classe de taille. En revanche, les corrélations entre le nombre de particules les plus fines et la température ambiante sont assez élevées ( $R^2 = -0,6$  à  $-0,4$  pour les particules de taille de l'ordre de  $0,25$  à  $0,40\mu\text{m}$ ). Autrement dit, le nombre de particules les plus fines a tendance à baisser lorsque la température augmente, ce qui peut être interprété par la présence de particules volatiles parmi les plus fines ou par des sources (primaires ou secondaires) de particules fines plus importantes par temps froid. Les graphiques suivants représentent à l'échelle journalière les évolutions comparées des moyennes des comptages de particules pour 2 regroupements de classes pour les particules de tailles inférieures à  $0,58\mu\text{m}$  et de la température moyenne observée.

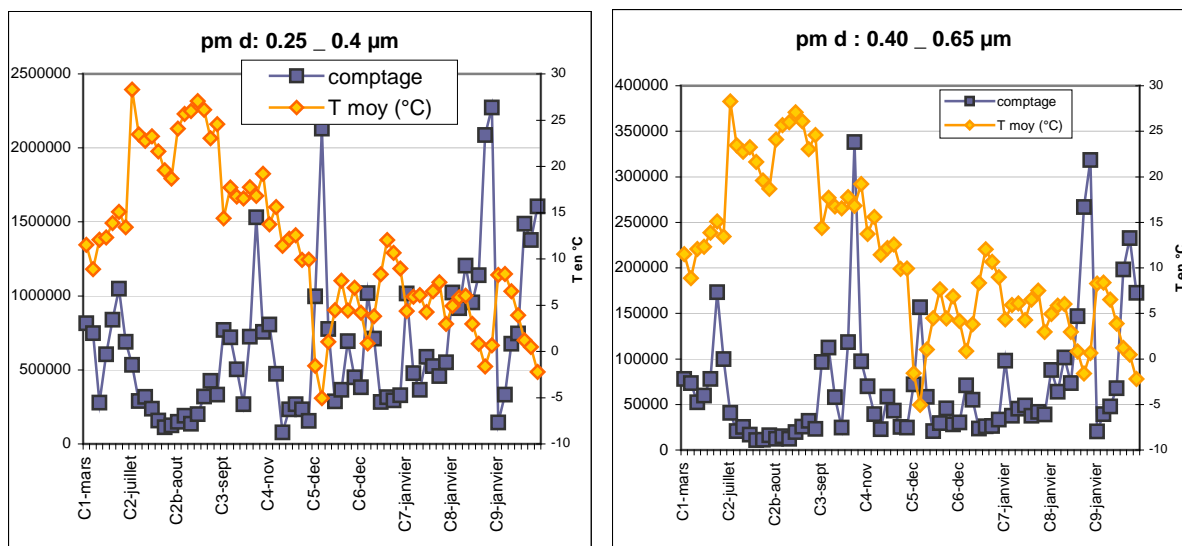


Figure 2 moyenne journalière de comptage des particules de moins de  $0.5\mu\text{m}$  et température moyenne associée.

On note que, pour ces deux classes de tailles, les concentrations en nombre restent faibles durant les campagnes estivales (juillet et août, campagnes C2 à C3), indiquant des mécanismes de production (primaires ou secondaires) peut actifs à cette période. En revanche, des pics de concentrations sont ponctuellement observés durant les campagnes les plus froides, notamment les 19 décembre (C5), 28 janvier (C8), et sur la fin de campagne C9. Ces trois épisodes correspondent à des températures journalières négatives. De plus, durant ces trois épisodes, les concentrations en nitrate, sulfate et ammonium augmentent brutalement, et les variations de la somme de leurs concentrations sont alors très bien corrélées avec celles du nombre de particules de moins de  $0.25\mu\text{m}$  de diamètre (cf figure x).

Cette figure montre de plus que, d'une façon générale, on observe une assez bonne corrélation entre ces deux variables, même en dehors de ces épisodes extrêmes, indiquant que les conditions favorisant les épisodes de fortes concentrations de ces espèces chimiques favorisent aussi l'apparition de particules de cette classe de taille. On note cependant des périodes (par ex sur les C5 et C6) où les deux signaux sont décorrélés, indiquant que d'autres types de conditions peuvent aussi générer des particules ultra fines.

Finalement, la figure X indique une assez bonne covariation sur l'ensemble de la période de mesure entre les mesures de PM<sub>10</sub> (en masse) et les mesures en nombre des particules les plus fines, soulignant probablement l'homogénéité temporelle de la distribution en taille des particules (puisque le principal de la masse des PM<sub>10</sub> n'est pas constitué de cette gamme de particules), et la conjonction entre épisodes de fortes concentrations de ces deux variables.



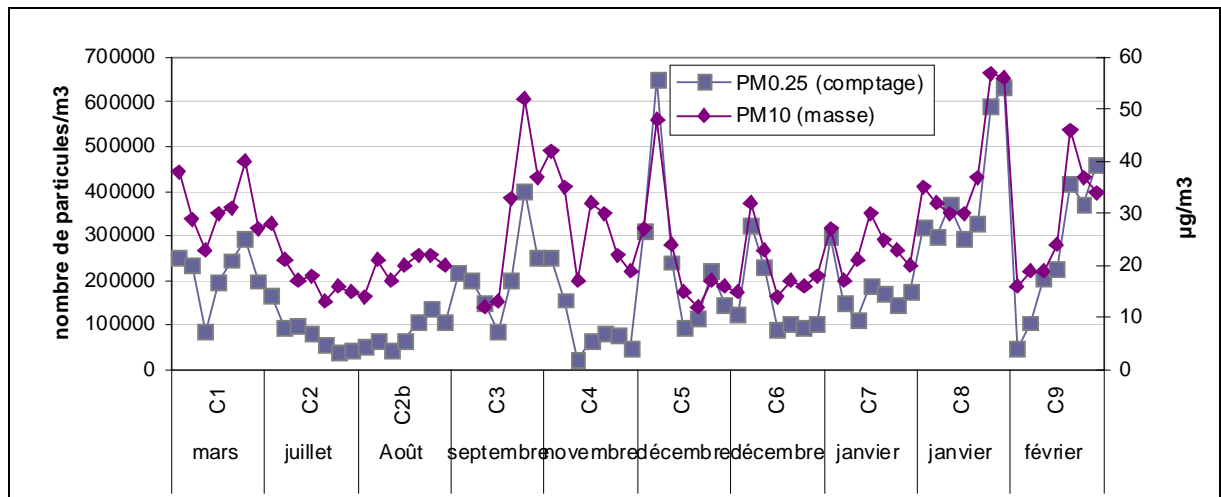
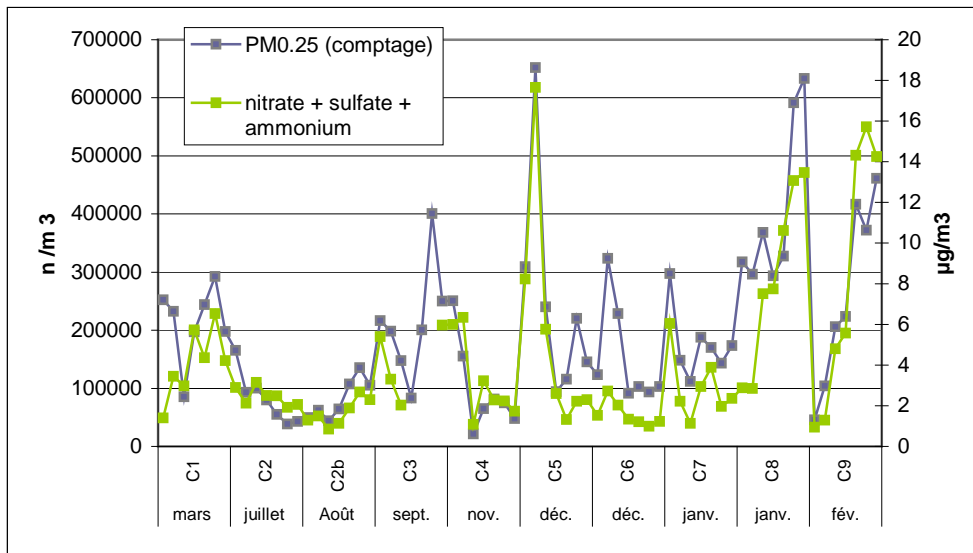


Figure 3

## **ANNEXE 10 Corrélations entre la granulométrie des particules et les concentrations de quelques composés**

## ANNEXE 10 Corrélations entre la granulométrie des particules et les concentrations de quelques composés

Cette section propose de généraliser ces observations sur les liens entre chimie et taille des PM. Les graphiques suivants représentent les coefficients de corrélation entre des moyennes journalières des concentrations de différentes espèces chimiques et des nombres de particules (comptage journalier) pour chacune des classes de taille. Le sodium, le chlore et le magnésium, qui constituent une grande part de la masse des embruns marins ont des évolutions fortement corrélées avec celles des particules de tailles comprises entre 0.7 et 1.6  $\mu\text{m}$ , qui peuvent donc représenter ici la granulométrie dominante (en nombre) des embruns.

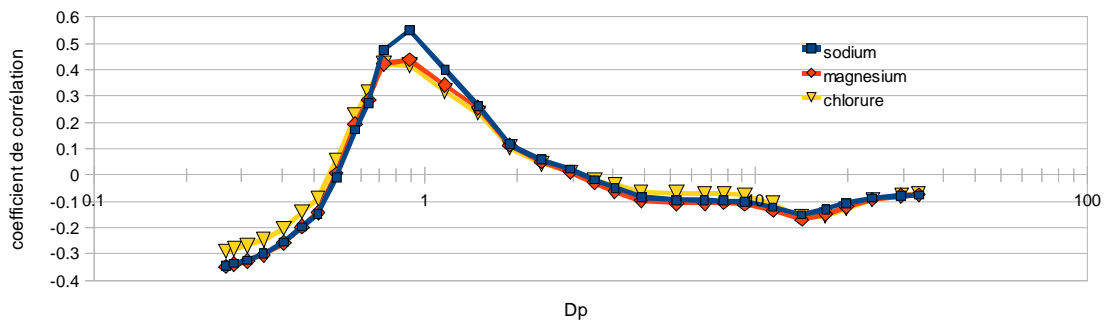


Figure 1 corrélation par classe granulométrique du nombre de particules moyen journalier et des concentrations en sodium, magnésium et chlorure

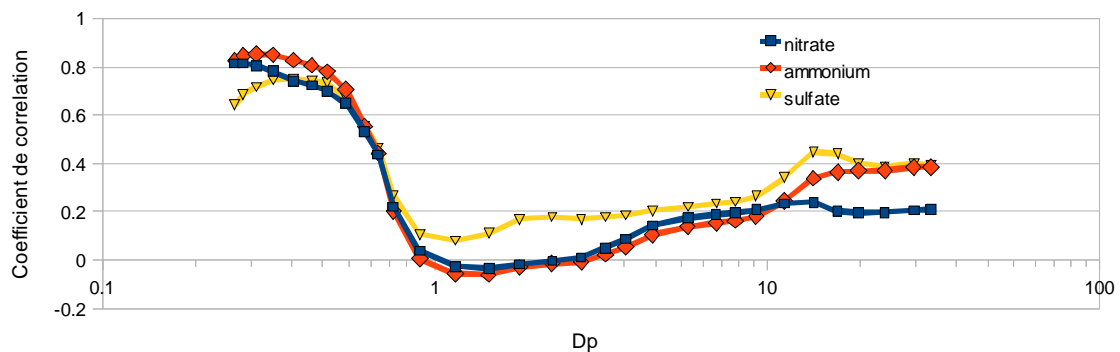


Figure 2 corrélation par classe granulométrique du nombre de particules moyen journalier et des concentrations en nitrate, ammonium et sulfate

Les évolutions des concentrations du nitrate, de l'ammonium et du sulfate sont par contre très fortement corrélées avec celles du nombre des particules les plus fines (moins de 0.58 $\mu\text{m}$ ) dont on rappelle qu'elles étaient fortement liées à la température (cf figure 1). Comme indiqué plus haut, cette observation peut éventuellement découler d'une plus grande volatilité de ces particules aux températures élevées, mais est plus probablement liée à des processus de formation (primaires et/ou secondaires) favorisés aux basses températures.

Les trois composés suivants (potassium, lévoglucosan et oxalate), potentiellement associés aux émissions de combustion de biomasse, montrent des corrélations qui augmentent lorsque la taille des particules diminue. Dans le cas du potassium, les corrélations les plus élevées sont obtenues pour la classe de particules de diamètre compris entre 0.5 et 0.8  $\mu\text{m}$ . Ces trois composés auront donc tendance à être présents lors des conditions favorables à l'apparition des particules les plus fines, autrement lorsque les températures sont les plus basses.

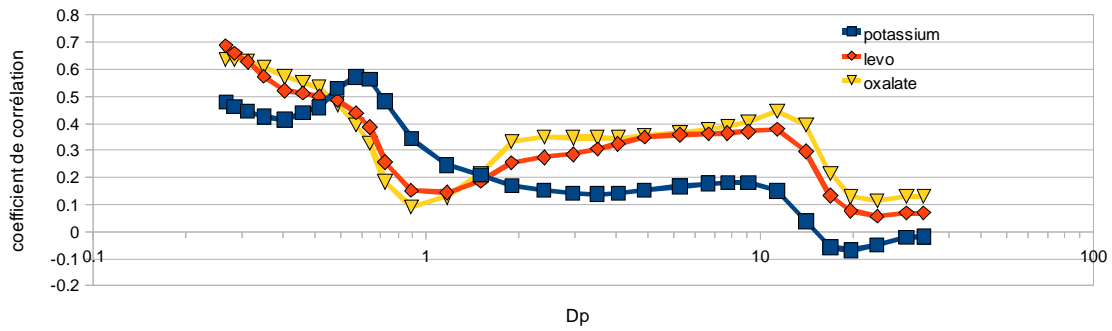


Figure 3 : corrélation par classe granulométrique du nombre de particules moyen journalier et des concentrations en potassium, lévoglucosan et oxalate

Enfin, dans le cas du calcium, dont le comportement représente celui la fraction crustale des particules, les corrélations sont assez faibles. On remarque cependant que les valeurs les plus élevées sont comprises dans un classe granulométrique assez élevé : de 1 à 3 $\mu$ m, qui pourrait représenter la majeure partie de la fraction crustale des PM10.

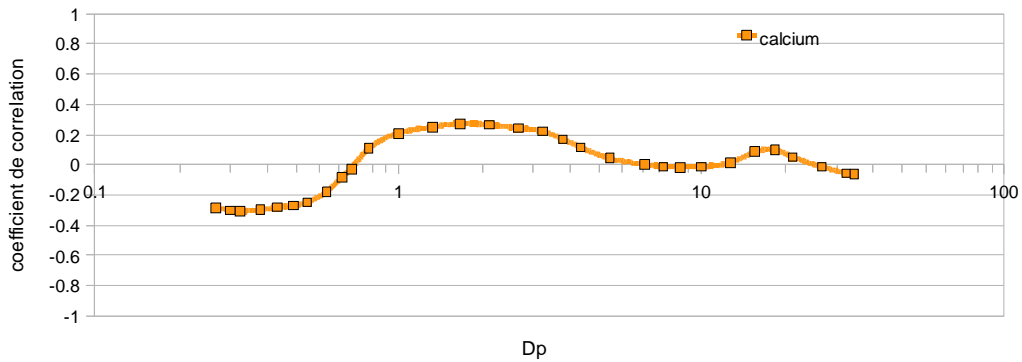


Figure 4 : corrélation par classe granulométrique du nombre de particules moyen journalier et des concentrations en calcium

## **Annexe 11 : Evolutions temporelles des différentes espèces chimiques principales**

## Annexe 11

### Evolutions temporelles des différentes espèces chimiques principales

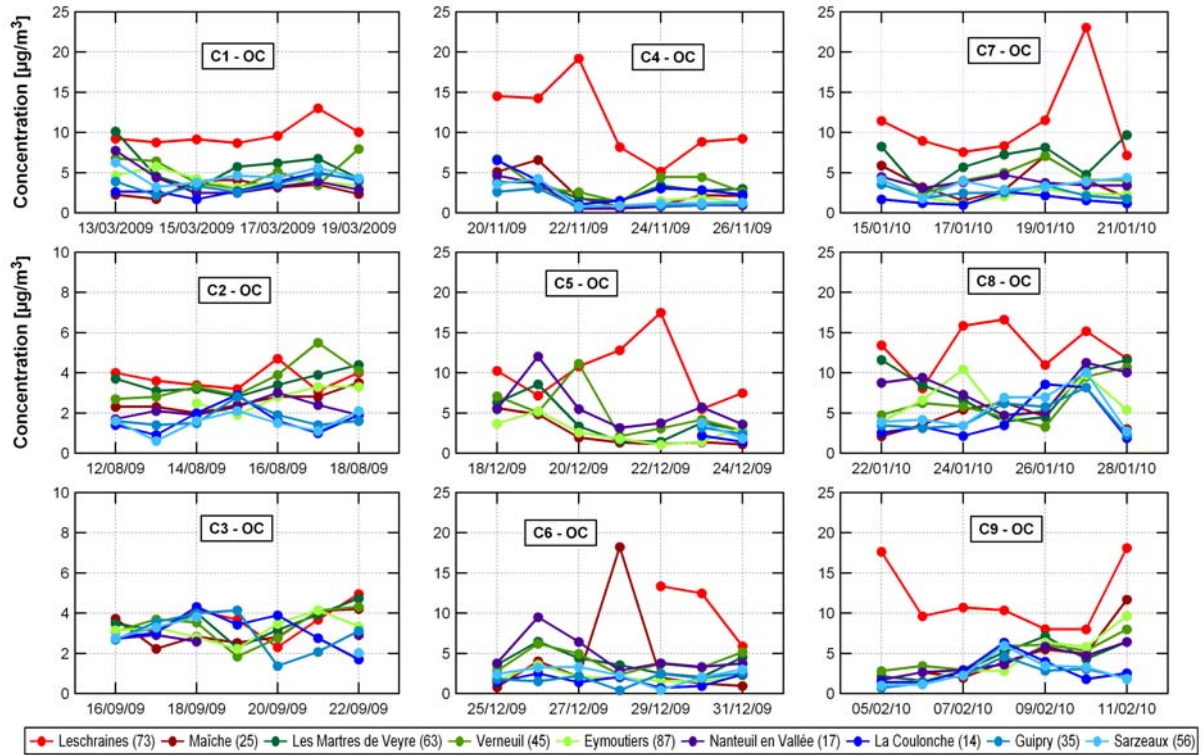


Figure 1: Evolution temporelle de OC au cours des 9 campagnes de Particul'air pour les 9 sites

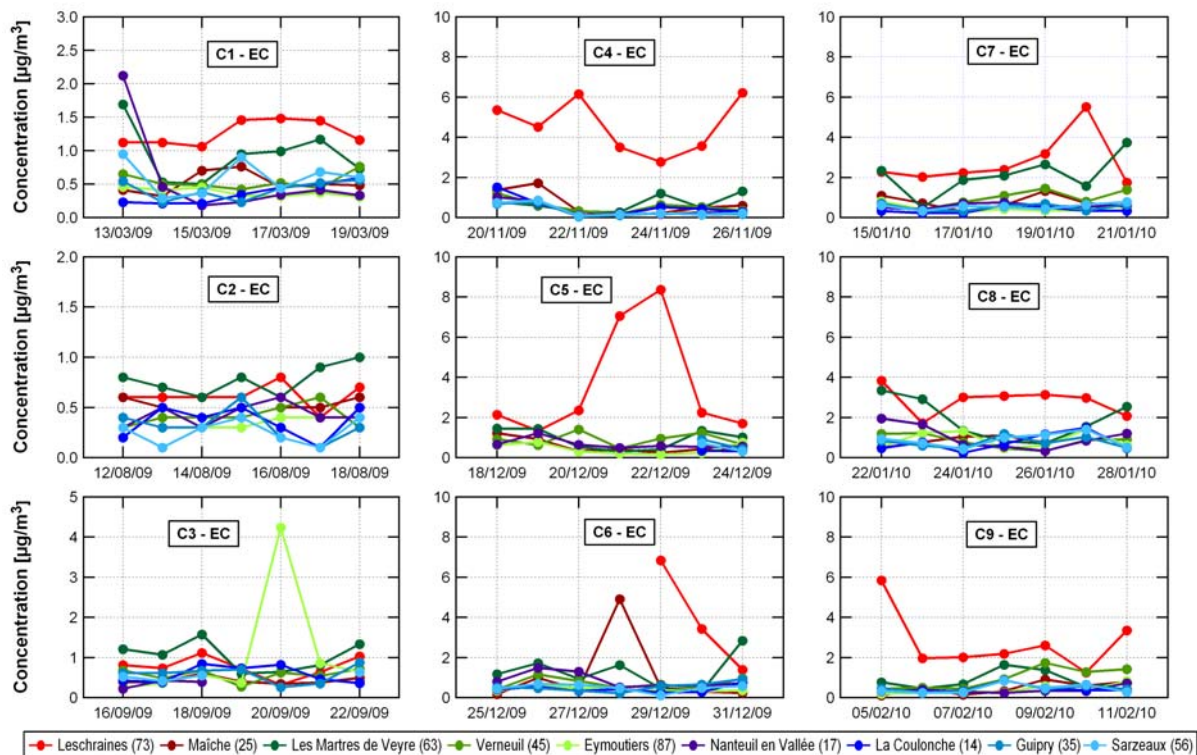


Figure 2: Evolution temporelle de EC au cours des 9 campagnes de Particul'air pour les 9 sites

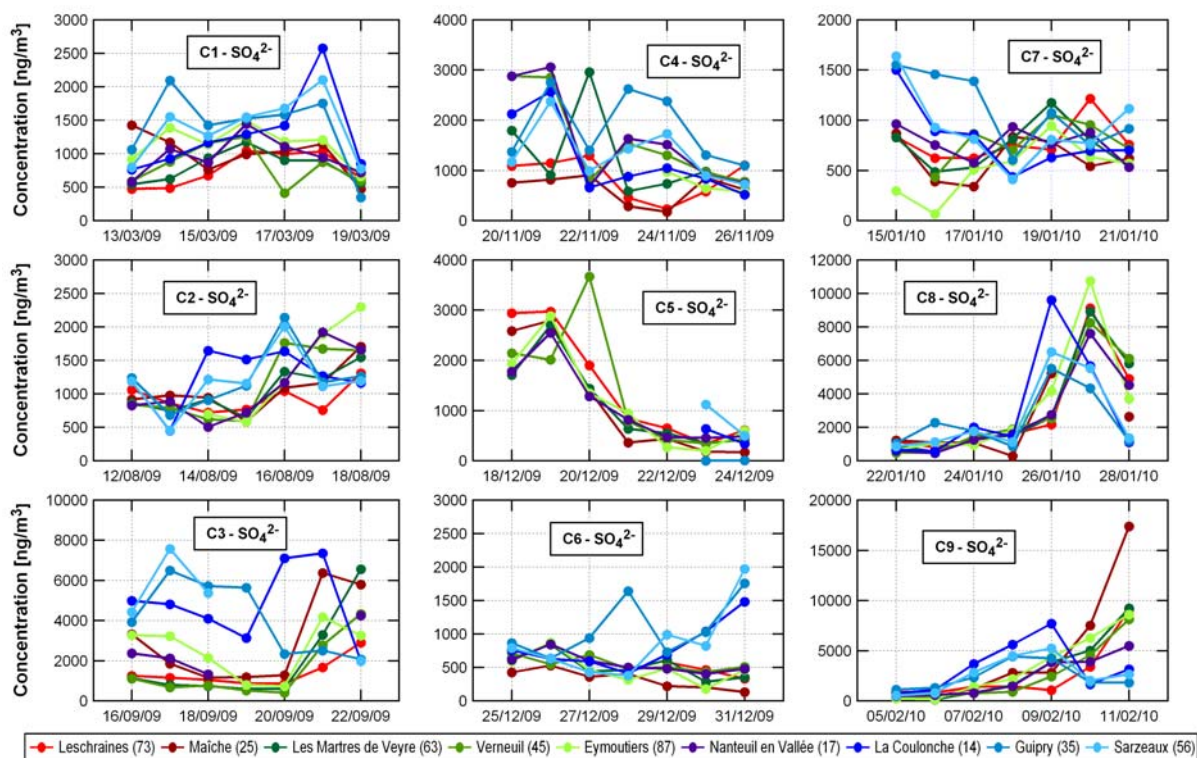


Figure 3: Evolution temporelle de  $\text{SO}_4^{2-}$  au cours des 9 campagnes de Particul'air pour les 9 sites



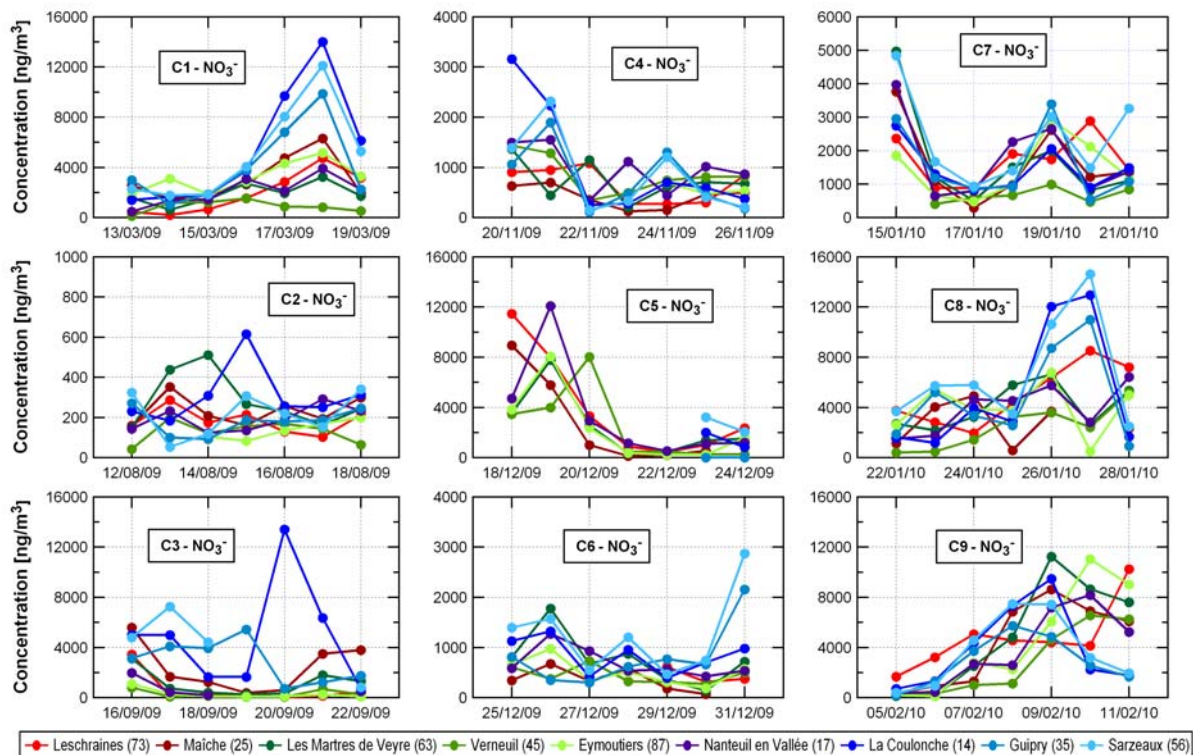


Figure 4: Evolution temporelle de  $\text{NO}_3^-$  au cours des 9 campagnes de Particul'air pour les 9 sites

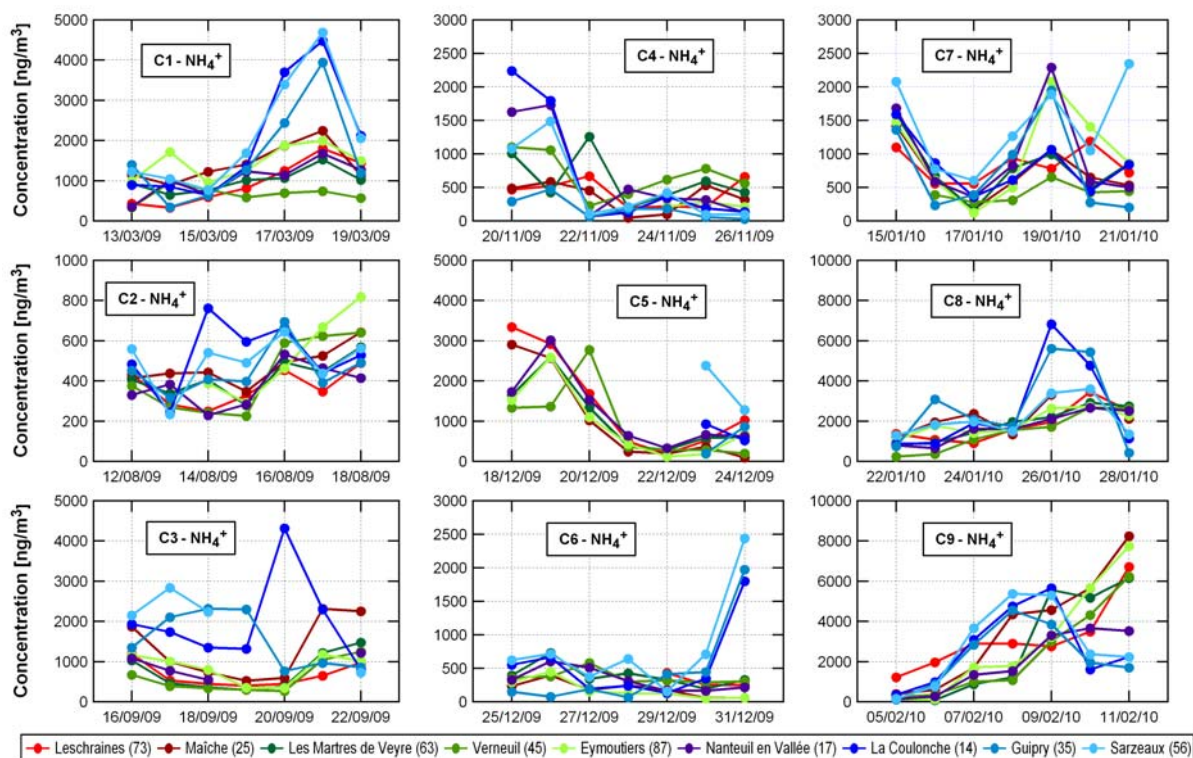


Figure 5: Evolution temporelle de  $\text{NH}_4^+$  au cours des 9 campagnes de Particul'air pour les 9 sites



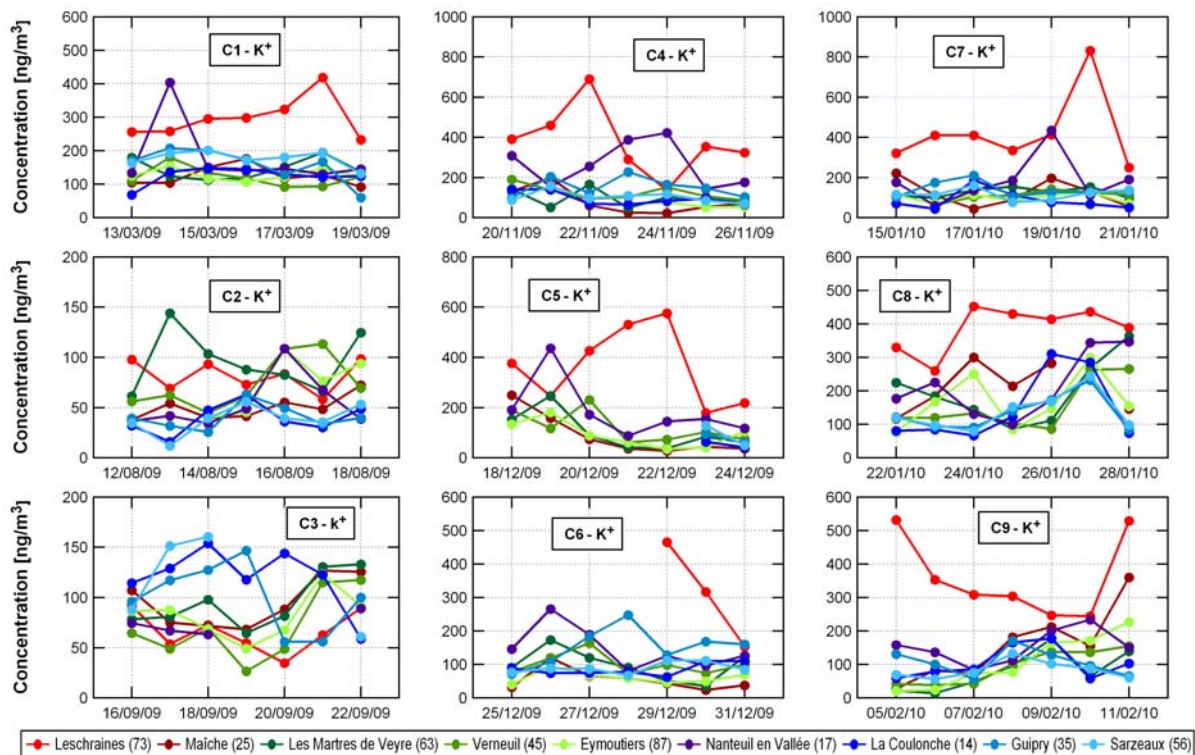


Figure 6: Evolution temporelle de  $K^+$  au cours des 9 campagnes de Particul'air pour les 9 sites

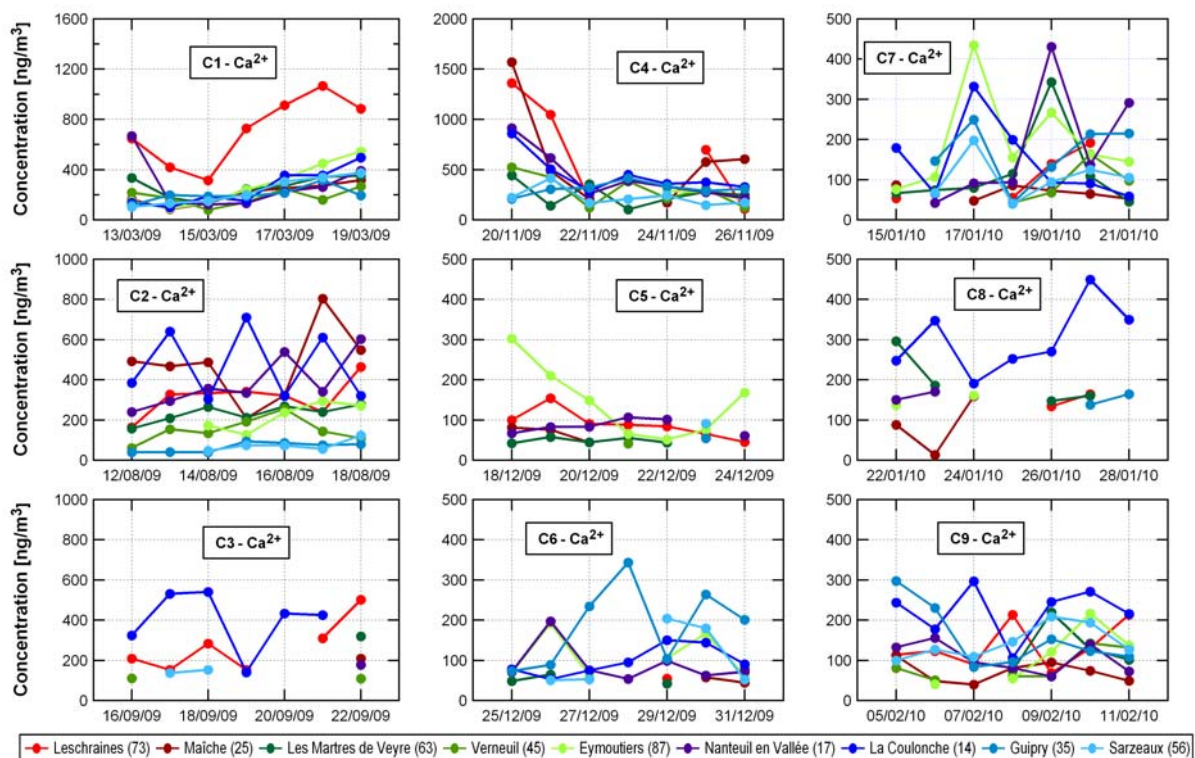


Figure 7: Evolution temporelle de  $Ca^{2+}$  au cours des 9 campagnes de Particul'air pour les 9 sites

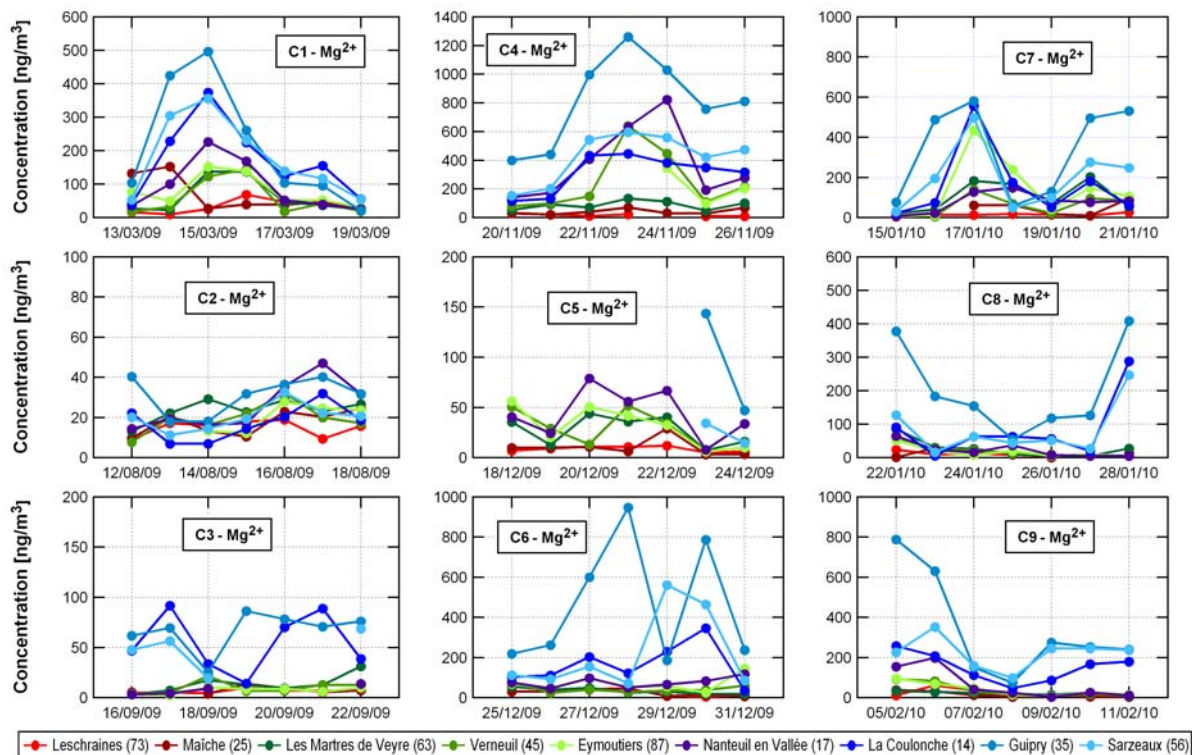


Figure 8: Evolution temporelle de  $Mg^{2+}$  au cours des 9 campagnes de Particul'air pour les 9 sites

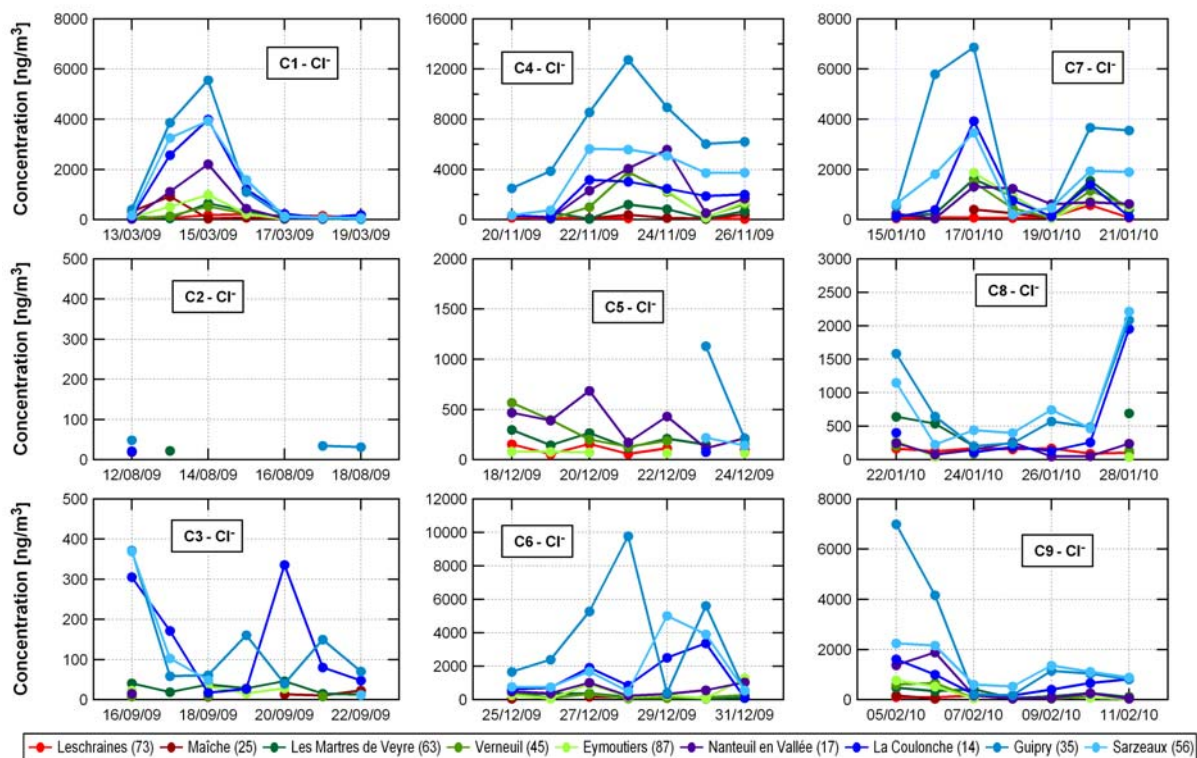


Figure 9: Evolution temporelle de  $Cl^-$  au cours des 9 campagnes de Particul'air pour les 9 sites



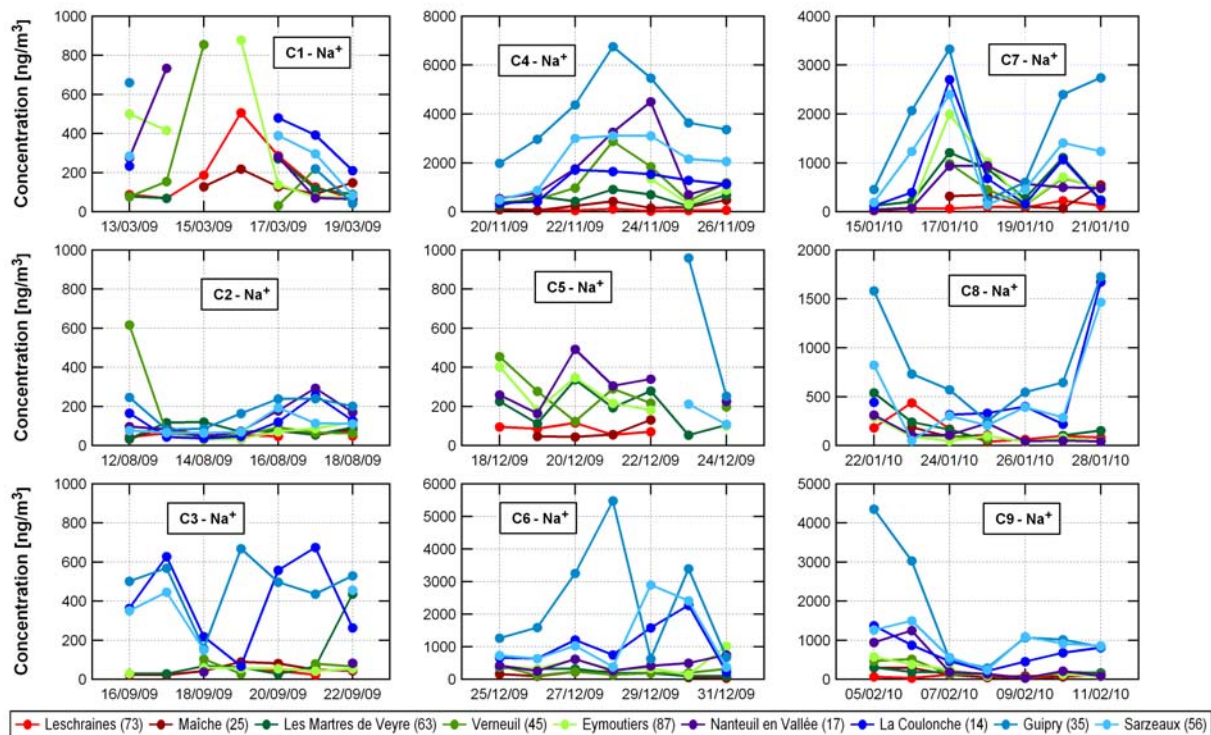


Figure 10: Evolution temporelle de Na<sup>+</sup> au cours des 9 campagnes de Particul'air pour les 9 sites

## **Annexe 12 : Corrélations et équilibres ioniques**

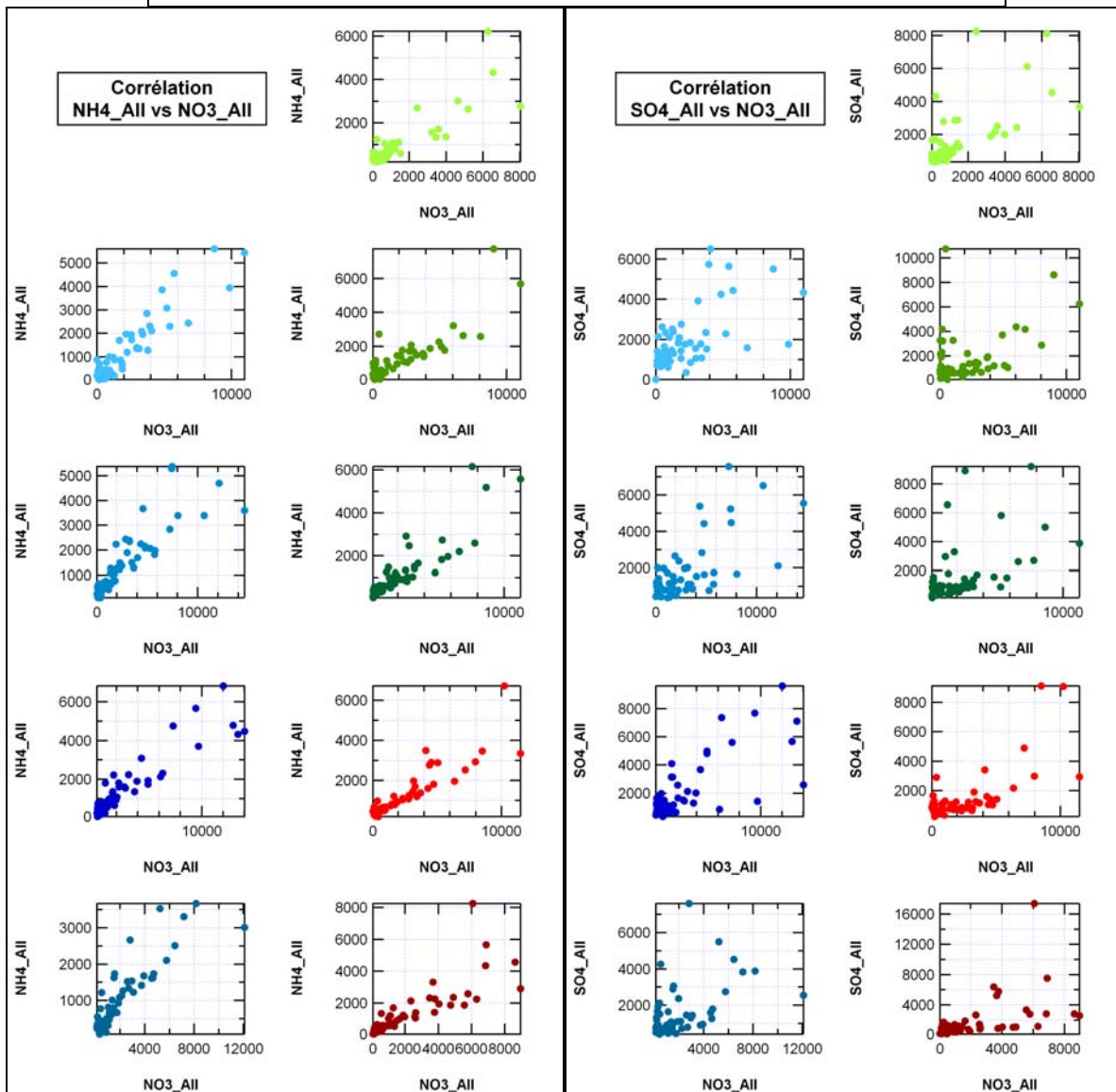
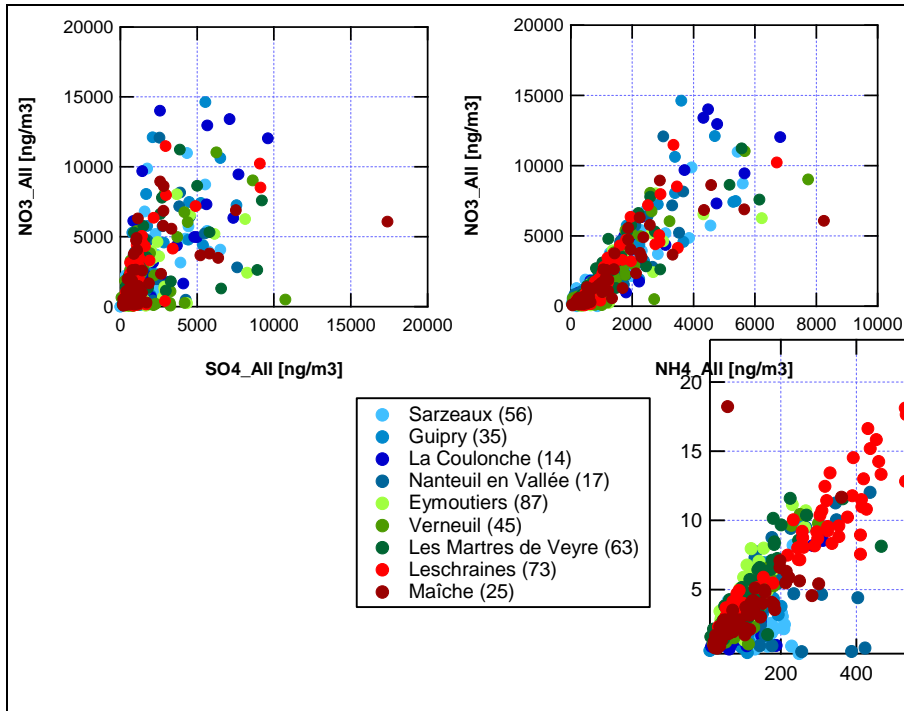
## Annexe 12

### Corrélations et équilibres ioniques

**correlation**

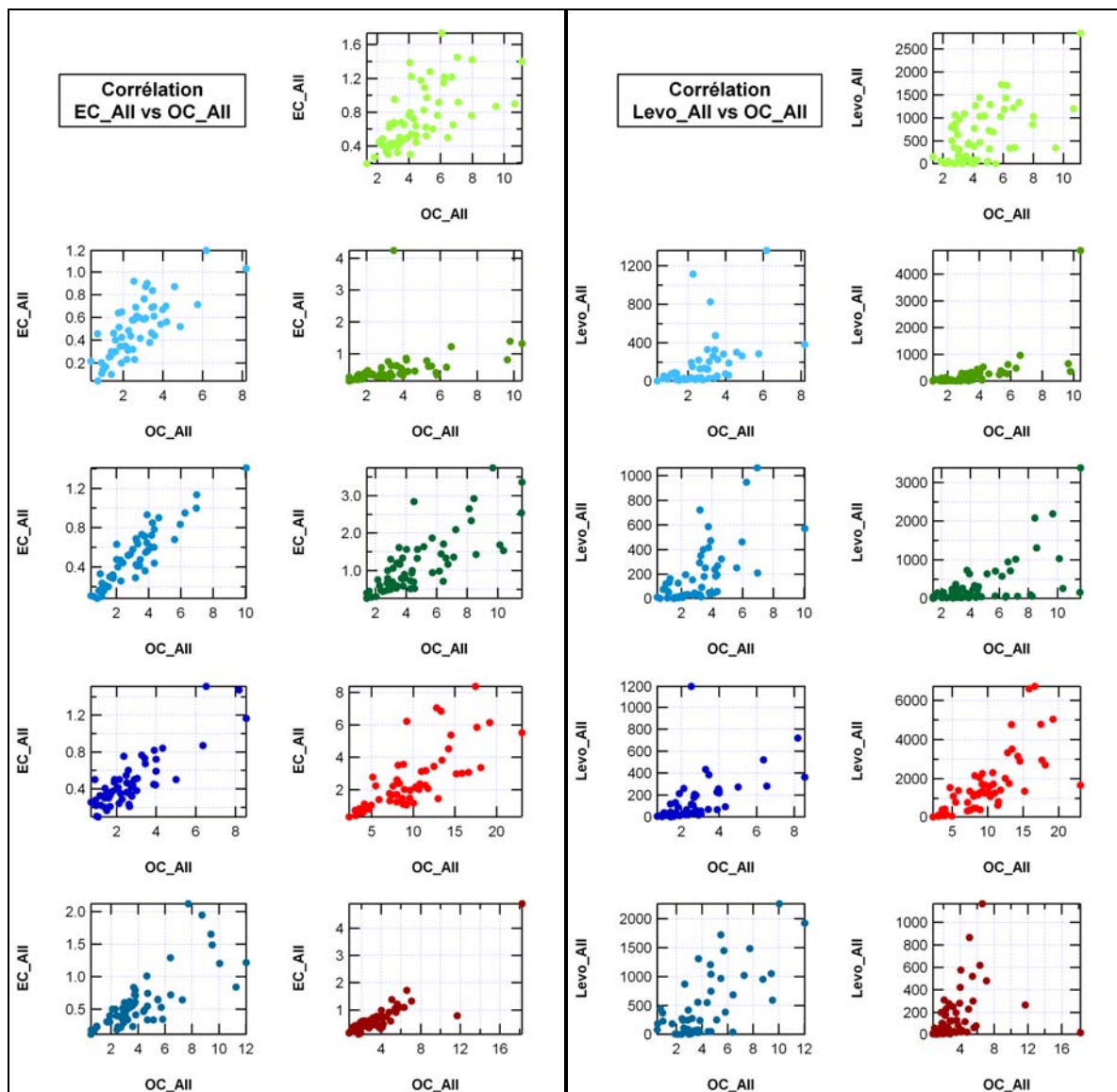
Hopanes	0.44	0.52	0.01	-0.13	0.6	0.65	0.55	-0.3	0.45	0.67	0.49	0.39	0.52	0.33	0.6	0.52	-0.27	0.27	0.79	1
Alcanes	0.44	0.62	-0.08	-0.24	0.67	0.69	0.58	-0.41	0.44	0.74	0.47	0.38	0.52	0.39	0.65	0.58	-0.37	0.3	1	0.79
sulfate	0.65	-0.19	0.14	-0.05	-0.13	0.03	0.09	-0.01	0.48	0.23	0.61	0.5	0.49	0.43	0.5	0.31	0	1	0.3	0.27
sodium	-0.18	-0.11	0.27	0.84	-0.1	-0.27	-0.12	0.95	0.09	-0.34	-0.15	0.11	-0.01	-0.04	-0.24	0.06	1	0	-0.37	-0.27
potassium	0.47	0.57	0.15	0.22	0.56	0.57	0.62	0.03	0.59	0.71	0.36	0.65	0.66	0.61	0.72	1	0.06	0.31	0.58	0.52
PM2_5NC	0.6	0.4	0.1	-0.14	0.4	0.6	0.52	-0.27	0.53	0.77	0.56	0.67	0.81	0.63	1	0.72	-0.24	0.5	0.65	0.6
PM2_5	0.61	0.42	-0.09	0.05	0.42	0.42	0.42	-0.1	0.57	0.57	0.47	0.9	0.54	1	0.63	0.61	-0.04	0.43	0.39	0.33
PM10NC	0.4	0.22	0.33	0.03	0.18	0.4	0.38	0.01	0.39	0.52	0.44	0.72	1	0.54	0.81	0.66	-0.01	0.49	0.52	0.52
PM10	0.56	0.3	0.15	0.17	0.29	0.38	0.42	0.1	0.54	0.53	0.49	1	0.72	0.9	0.67	0.65	0.11	0.5	0.38	0.39
oxalate	0.57	0.02	-0.01	-0.14	0.06	0.38	0.2	-0.17	0.38	0.52	1	0.49	0.44	0.47	0.56	0.36	-0.15	0.61	0.47	0.49
OC	0.56	0.67	-0.04	-0.18	0.67	0.83	0.7	-0.37	0.5	1	0.52	0.53	0.52	0.57	0.77	0.71	-0.34	0.23	0.74	0.67
nitrate	0.84	0.42	-0.02	0.25	0.49	0.34	0.47	0.08	1	0.5	0.38	0.54	0.39	0.57	0.53	0.59	0.09	0.48	0.44	0.45
magnesium	-0.17	-0.15	0.3	0.8	-0.16	-0.32	-0.12	1	0.08	-0.37	-0.17	0.1	0.01	-0.1	-0.27	0.03	0.95	-0.01	-0.41	-0.3
levoglucosan	0.4	0.67	0	0.1	0.64	0.57	1	-0.12	0.47	0.7	0.2	0.42	0.38	0.42	0.52	0.62	-0.12	0.09	0.58	0.55
EC	0.34	0.67	-0.08	-0.13	0.67	1	0.57	-0.32	0.34	0.83	0.38	0.38	0.4	0.42	0.6	0.57	-0.27	0.03	0.69	0.65
Chrysene	0.36	0.93	-0.21	0.1	1	0.67	0.64	-0.16	0.49	0.67	0.06	0.29	0.18	0.42	0.4	0.56	-0.1	-0.13	0.67	0.6
chlorure	-0.11	0.1	0.07	1	0.1	-0.13	0.1	0.8	0.25	-0.18	-0.14	0.17	0.03	0.05	-0.14	0.22	0.84	-0.05	-0.24	-0.13
calcium	-0.02	-0.19	1	0.07	-0.21	-0.08	0	0.3	-0.02	-0.04	-0.01	0.15	0.33	-0.09	0.1	0.15	0.27	0.14	-0.08	0.01
benzo_a_pyrene	0.27	1	-0.19	0.1	0.93	0.67	0.67	-0.15	0.42	0.67	0.02	0.3	0.22	0.42	0.4	0.57	-0.11	-0.19	0.62	0.52
ammonium	1	0.27	-0.02	-0.11	0.36	0.34	0.4	-0.17	0.84	0.56	0.57	0.56	0.4	0.61	0.6	0.47	-0.18	0.65	0.44	0.44
	ammonium	benzo_a_pyrene	calcium	chlorure	Chrysene	EC	levoglucosan	magnesium	nitrate	OC	oxalate	PM10	PM10NC	PM2_5	PM2_5NC	potassium	sodium	sulfate	Alcanes	Hopanes

**Matrice de corrélation tous sites et toutes campagnes confondus.**



La figure ci-dessus présente les corrélations par site (code couleur standard de Particul’Air), toutes campagnes confondues entre les concentrations de nitrate vs ammonium (à gauche) et concentrations de nitrate vs sulfate (à droite). On montre que les corrélations entre nitrate et ammonium sont généralement assez bonnes, alors que les liens entre nitrate et sulfate ne sont pas aussi étroits.

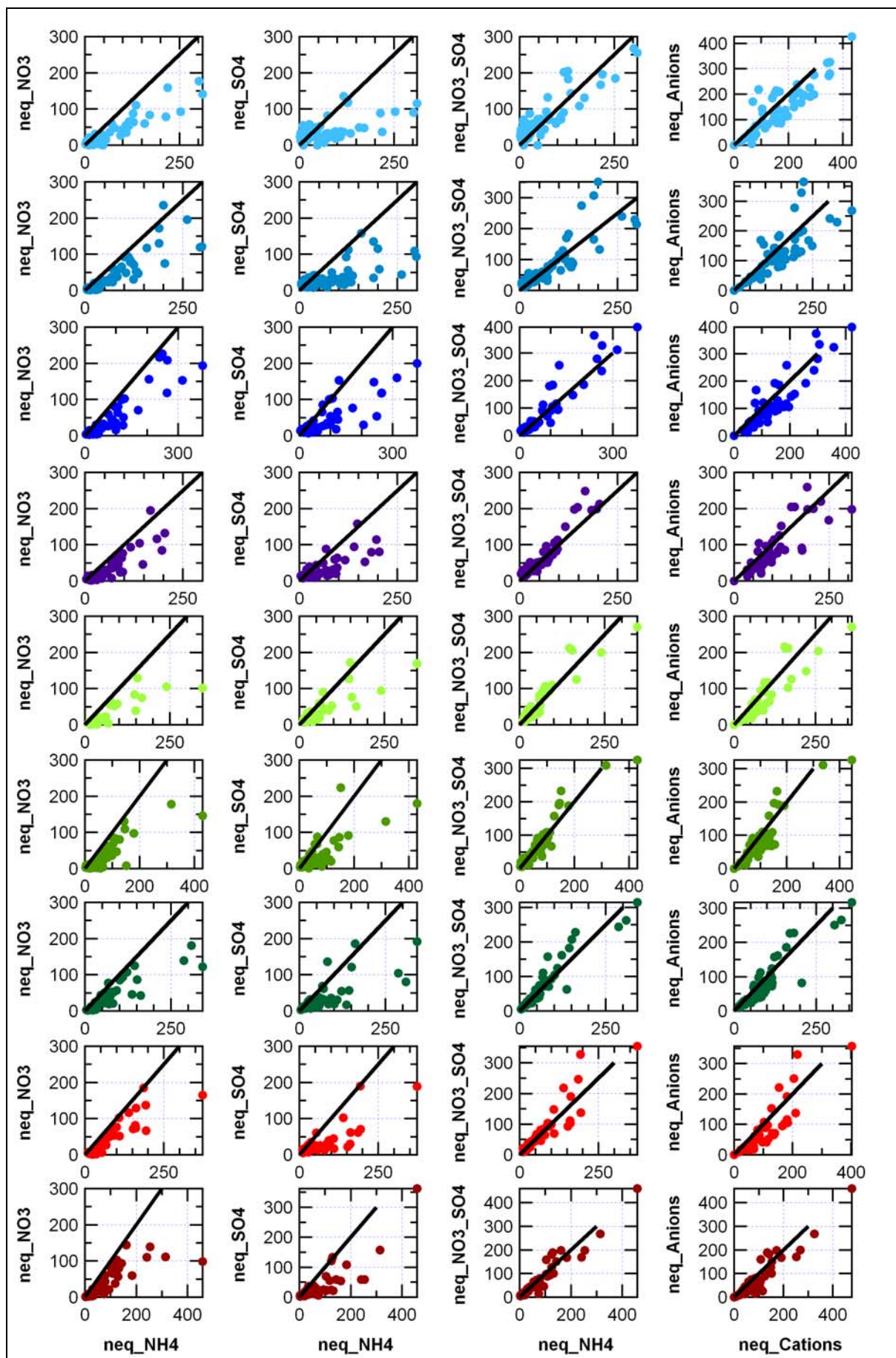
La figure ci-dessus présente avec le même formalisme les corrélations par site (code couleur standard de Particul’Air), toutes campagnes confondues entre les concentrations de EC vs OC (à gauche) et concentrations de Lévo-glucosan vs OC (à droite). On montre que les corrélations entre EC et OC sont généralement assez bonnes mais varient nettement d’un site à l’autre. Les liens entre lévoglucosan et OC ne sont pas aussi étroits, avec une grande dispersion des points. On montre que les sources de OC sont bien multiples et variables pour ces échantillons.



La figure suivante présente pour chaque site (code couleur normalisé Particul’Air) les valeurs (exprimées en nEquivalents) de différentes concentration. La première colonne (à gauche) présente les concentrations de nitrate vs ammonium ; la seconde les concentrations de sulfate vs ammonium ; la troisième les concentrations de nitrate + sulfate vs ammonium ; et la dernière les concentrations de l’ensemble des anions vs l’ensemble des cations. La diagonale indique l’électroneutralité.

On voit qu’il est généralement nécessaire de faire appel au sulfate et au nitrate pour neutraliser quasi correctement l’ammonium (et donc que ces 3 espèces sont étroitement liées entre elles dans les PM). La neutralité est très peu améliorée (voire détériorée dans certains cas) si on considère l’ensemble des ions.





## Annexe 13 : Evolution de l'absorbance de EC

## Annexe 13

### Evolution de l'absorbance de EC

Les analyses de EC OC par analyseur Sunset permettent d'obtenir (via la mesure d'absorption par laser permettant la correction optique) une mesure d'une « absorbance spécifique » de l'EC (absorbance à la longueur d'onde du laser par unité de masse de EC). Cette mesure n'est pas strictement équivalente à la vraie absorbance spécifique, dans la mesure où elle est réalisée sur le filtre et n'est pas corrigée des différents artefacts qui entachent ce type de mesure (par exemple celle liée à la pénétration des particules dans la matrice du filtre etc ...), mais elle en est très proche. L'absorbance est une qualité intrinsèque de l'EC et ses éventuelles évolutions indiquent des changements dans la nature chimique de l'EC (qui dépendent par exemple de la nature de la source d'émission ou de processus de vieillissement).

La compréhension des liens entre source, vieillissement et absorbance spécifique est de première importance pour la modélisation des effets climatiques des particules atmosphériques. Le EC est l'absorbant le plus important pour ces particules, et le niveau d'absorbance détermine en grande partie le signe (« réchauffant » ou « refroidissant ») de l'impact climatique direct des aérosols.

Les Figure 1 et 2 présentent les absorbances spécifiques mesurées pour l'ensemble des échantillons de Particul'Air, moyennées par site et par campagnes. On note des évolutions très marquées selon les sites de mesure, avec en moyenne des valeurs significativement plus élevées pour les sites de l'Ouest que pour les sites de l'Est. Cette seule observation ne permet pas de dire si cette très grande évolution est liée à des effets de sources ou à des effets de vieillissement, mais elle indique que l'absorbance de l'EC est très variable sur le territoire national, et c'est une donnée dont les modèles climatiques devraient tenir compte.

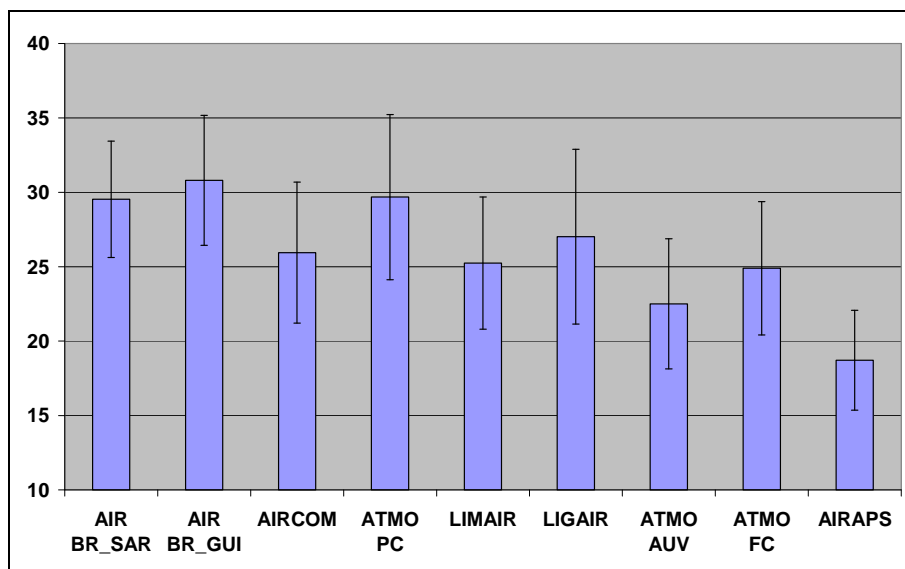
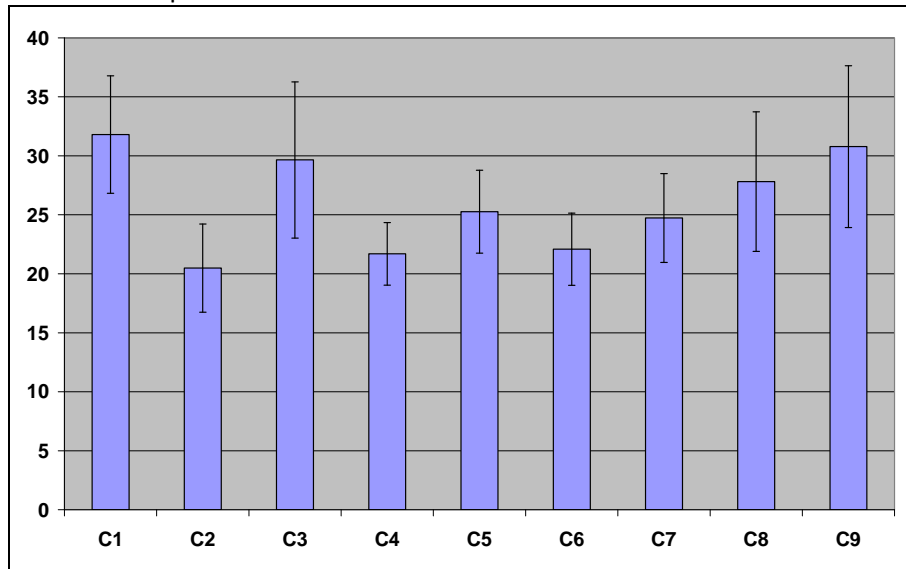


Figure 1 : Absorbances spécifiques moyennées par sites (Unités arbitraires)

La Figure 2 présente les variations moyennées par campagnes de mesure. Elle indique que les évolutions sont aussi très nettes selon ces campagnes, mais elle ne permet pas de dégager un effet de saisonnalité. On note qu'assez souvent (C4, C6) les écarts types sur les mesures sont très faibles

indiquant une homogénéité des masses d'air impactant tous les sites. Cette indication est antagoniste avec celle fournie par la figure 1, ce qui montre que la situation et les évolutions de cette propriété sont en fait complexe.



*Figure 2 : Absorbances spécifiques moyennées par campagne (Unités Arbitraires)*

## **ANNEXE 14 : BILAN DE MASSE, coefficients et sources utilisées**

## ANNEXE 14 : BILAN DE MASSE, coefficients et sources utilisées

Les tableaux suivants récapitulent les coefficients et source de données utilisées pour la construction du bilan de masse.

### Matière carbonée : EC et OM

Résultats d'analyse	Masse	Coefficient/expression	Source
EC	EC	1	
OC	OM	OM=1.6 x OC	

### Espèces inorganiques secondaires

Résultats d'analyse	Masse	Coefficient/expression	Source
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	1	
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	1	
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> , Na <sup>+</sup>	nssSO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	nssSO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> = SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> - Na <sup>+</sup> x (7.68/30.59)	Source : JRC, L. Marelli, 2007 <sup>1</sup> .

### Poussières minérales et sels marins

Le sodium n'a été analysé qu'à partir de la campagne C3, les poussières crustales et sels marins ne peuvent être estimés pour la C1, C2, C2b.

Résultats d'analyse	Masse	Coefficient/expression	Source
Na <sup>+</sup>	Sels marins	Sels marins = 2.54 x [Na <sup>+</sup> ]	Source : JRC, L. Marelli, 2007.
Na <sup>+</sup> , Ca <sup>2+</sup>	Poussières crustales	Poussières crustales = 5.6 x (Ca <sup>2+</sup> - Na <sup>+</sup> /26)	Putaud et al., 2004

### Autres espèces ioniques

Résultats d'analyse	Masse	Coefficient/expression	Source
K <sup>+</sup> , Na <sup>+</sup>	nssK	nssK = K <sup>+</sup> - Na <sup>+</sup> x (1.11/30.59)	Source : JRC, L. Marelli, 2007.
Mg <sup>2+</sup> , Na <sup>+</sup>	nssMg <sup>2+</sup>	nssMg <sup>2+</sup> = Mg <sup>2+</sup> - Na <sup>+</sup> x (3.68/30.59)	Source : JRC, L. Marelli, 2007.

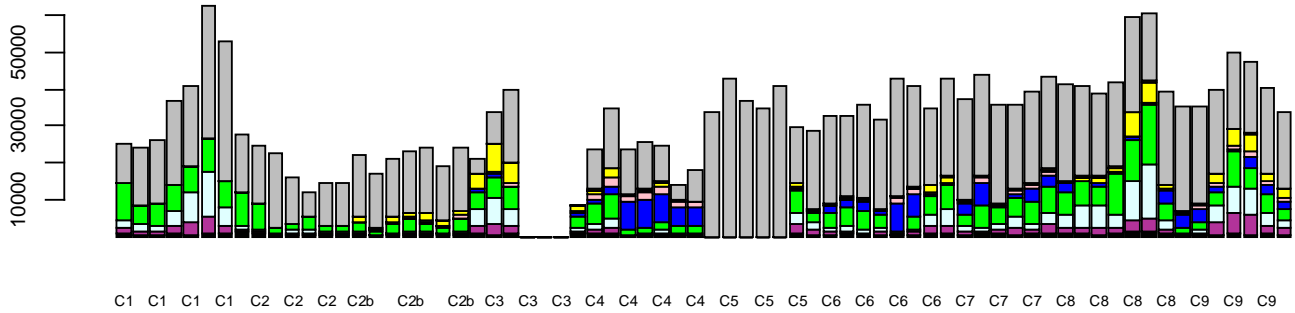
<sup>1</sup>: L. Marelli, 2007. Contribution of natural sources to air pollution levels in the EU - a technical basis for the development of guidance for the Member States. JRC, Rapport EUR 22779 EN.

**ANNEXE 15 : BILAN DE MASSE JOURNALIER**

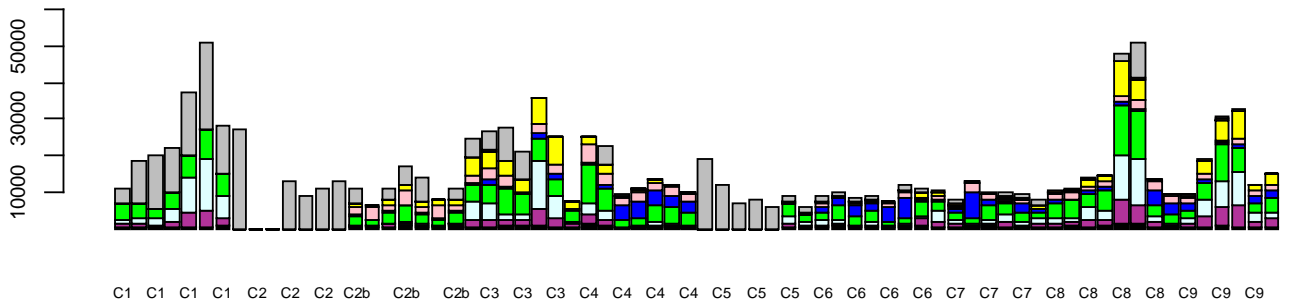
## ANNEXE 15 : BILAN DE MASSE JOURNALIER

Les figures suivantes représentent les bilans massiques à l'échelle journalière sur les trois sites de fond de l'étude.

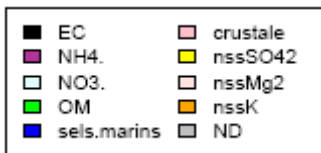
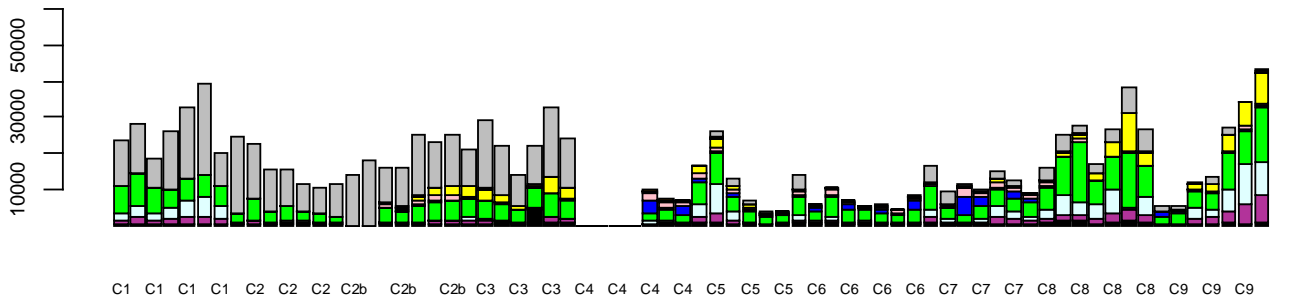
**gui pry**



**coulonche**

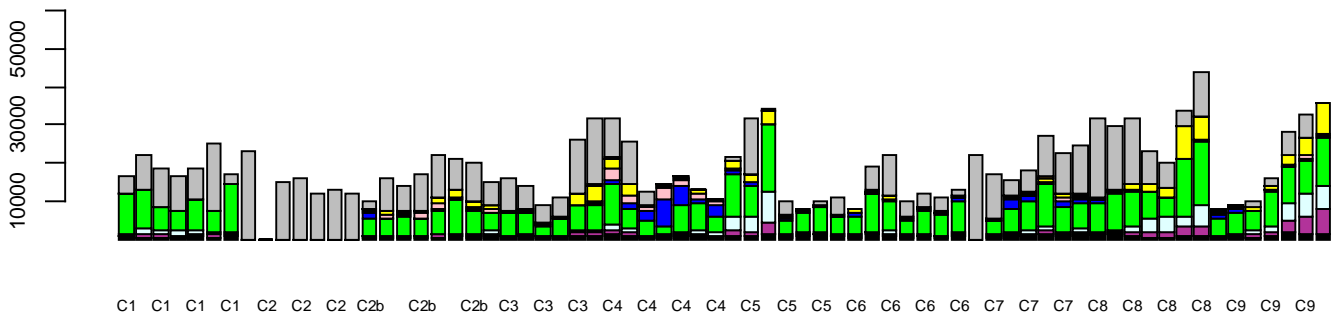


**verneuil**

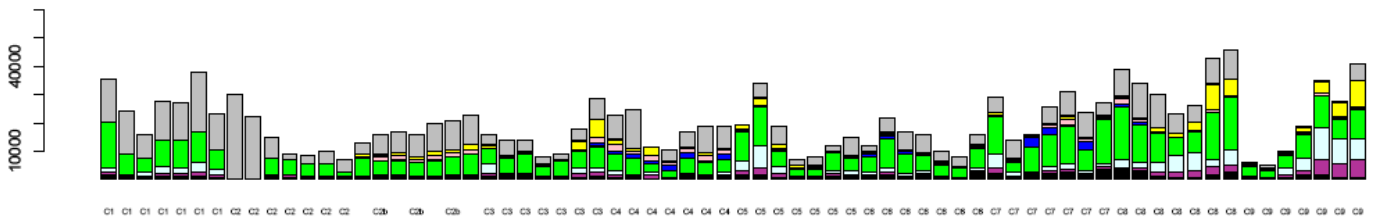




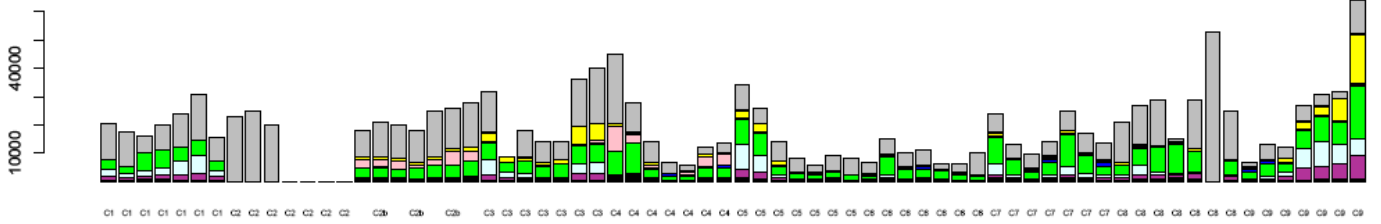
### eymoutiers



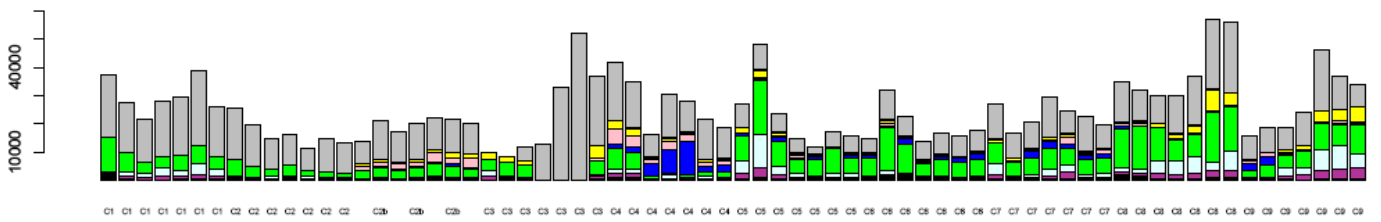
### martres



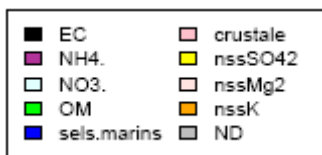
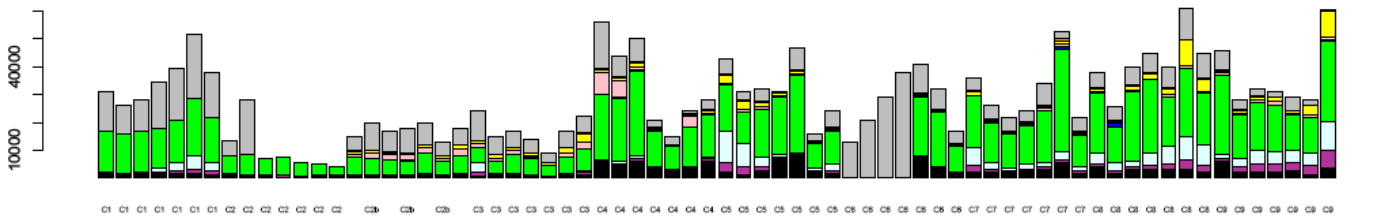
### maiche



### nanteuil



### lescheraines



## **Annexe 16 : Corrélations entre paramètres météorologiques et concentrations**

## Annexe 16 : Corrélations entre paramètres météorologiques et concentrations

Figure 1 : corrélations entre les concentrations des composés analysés et les températures mesurées à l'échelle

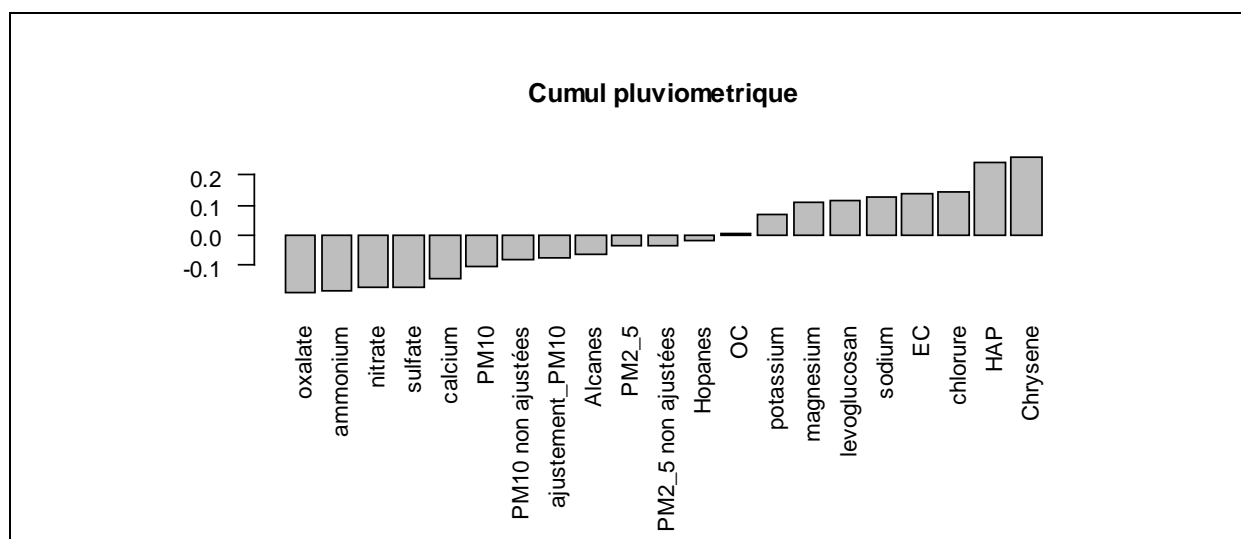
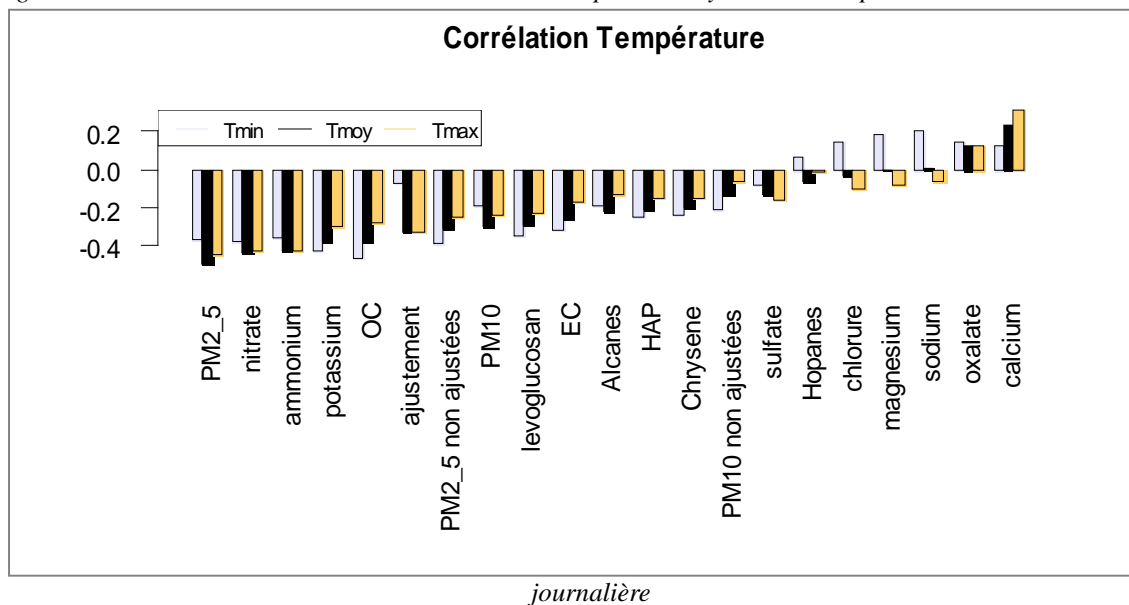
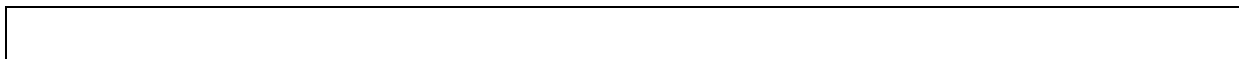


Figure 2 : corrélations entre les concentrations des composés analysés et les cumuls pluviométriques à l'échelle journalière



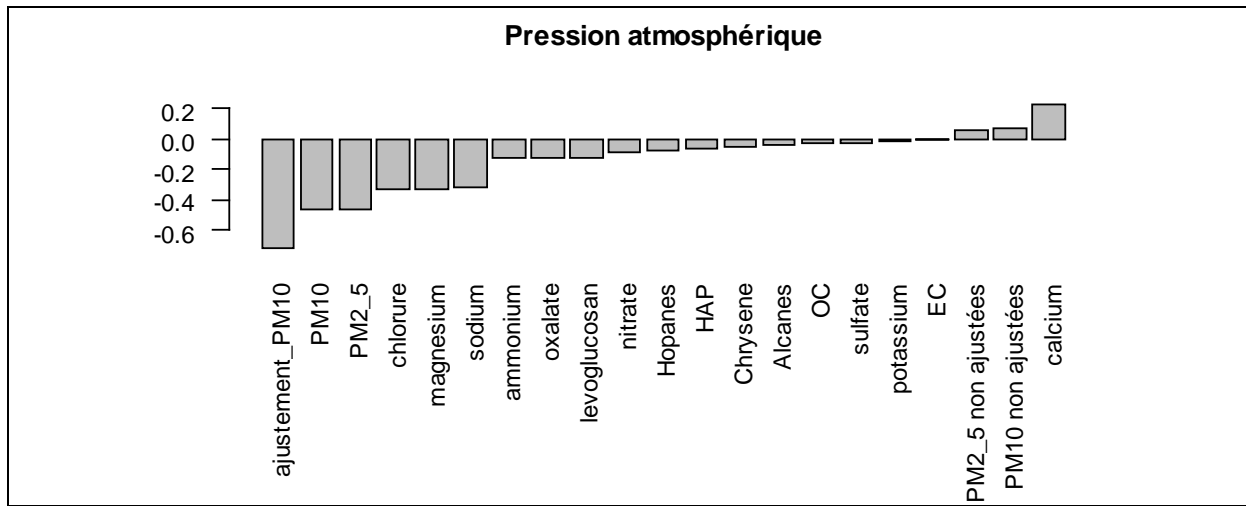


Figure 3 : corrélations entre les concentrations des composés analysés la pression atmosphérique mesurés à l'échelle journalière

## **Annexe 17 : Evolution de la couche limite à Lescheraines**

## Annexe 17

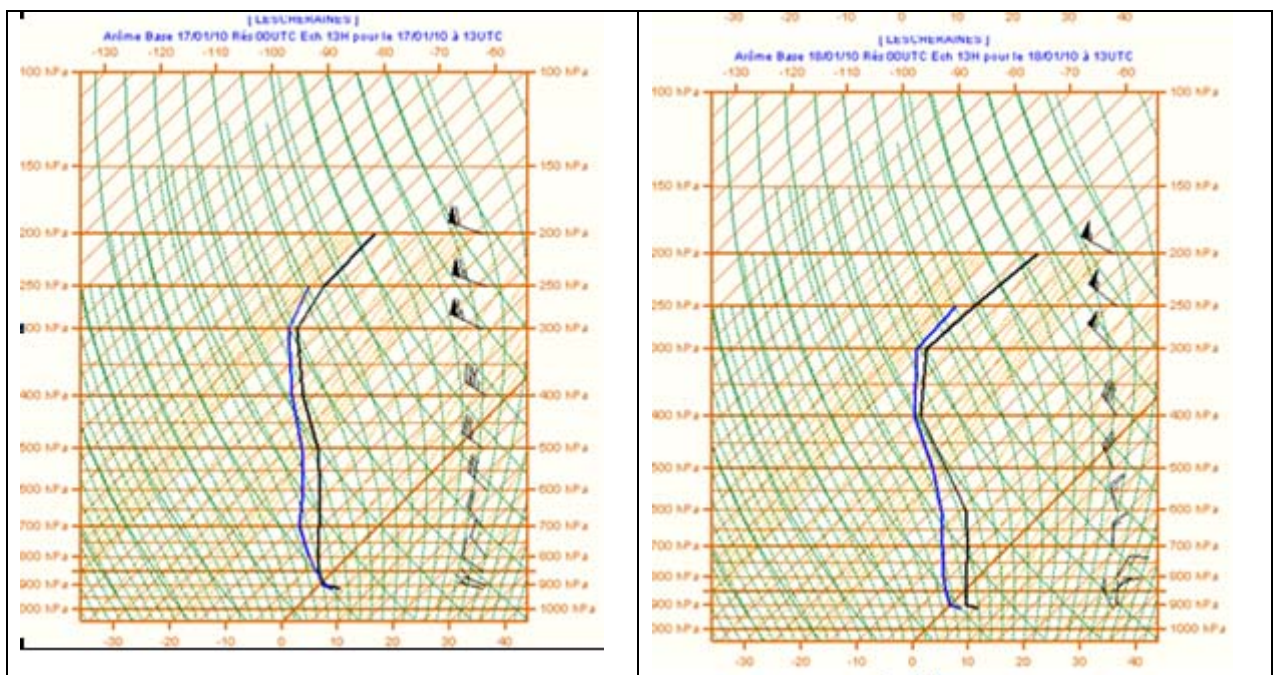
### Evolution de la couche limite à Lescheraines

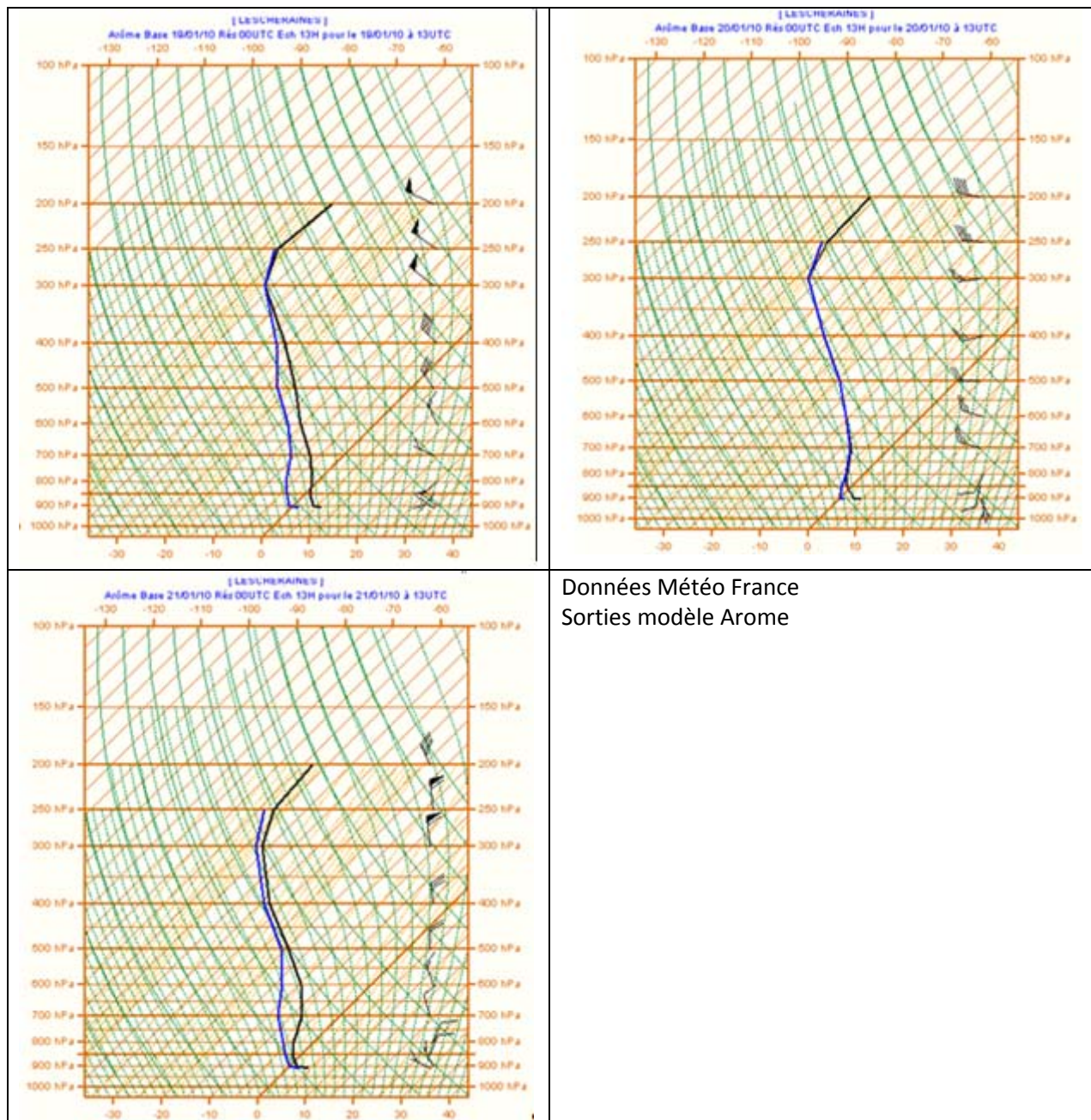
En coopération avec Météo France, nous avons enregistré les profils verticaux sur Lescheraines lors de la plupart des périodes de mesure. Ces profils, qui sont des prévisions du modèle Météo France Arome, permettent de connaître le gradient thermique à l'endroit du site de mesure.

Dans des conditions de stabilité normale ou neutre, le gradient thermique diminue de  $0.65^{\circ}\text{C}$  quand l'altitude augmente de 100m. La connaissance de ce gradient permet donc de connaître pour chaque jour et à différentes heures de la journée si nous étions dans une phase d'instabilité de l'atmosphère (gradient inférieur à  $-0.65^{\circ}\text{C}$ ), de stabilité (gradient compris entre  $-0.65$  et  $0^{\circ}\text{C}$ ) ou même de stabilité absolue, donc d'inversion thermique (gradient supérieur à  $0^{\circ}\text{C}$ ). Dans cette dernière situation, il fait plus chaud quand on s'élève en altitude. Ce phénomène impacte fortement la qualité de l'air puisque :

- l'instabilité est favorable à la dispersion verticale des polluants, et donc à une bonne qualité de l'air
- la stabilité et plus encore l'inversion de température, induisent au contraire une mauvaise dispersion, voire un blocage des polluants dans les basses couches de l'atmosphère : il en résulte inévitablement une dégradation de la qualité de l'air.

Les graphiques ci-dessous, appelés émagramme, représentent les profils verticaux du 17 au 21 janvier 2010 qui ont permis de faire les interprétations du chapitre 5.1.2 :





### Lecture d'un éogramme :

Un éogramme permet de représenter l'état de l'atmosphère en un lieu donné et pour différentes altitudes. C'est une grille qui est le résultat de l'assemblage des échelles de températures (abscisses) et pression (ordonnées), sachant que l'altitude est cotées en niveau de pression.

On distingue 3 grilles principales :

- Des axes oranges penchés à 45° sur la droite représentant l'évolution de la température
- Des courbes vertes, pleines et incurvées, permettant de déterminer la variation de température d'une particule non saturée (donc sèche) subissant une détente ou une compression adiabatique<sup>1</sup>.
- Des courbes vertes, pointillées et incurvées, permettant de déterminer la variation de

<sup>1</sup> La **compression** et la **détente adiabatiques** sont des transformations thermodynamiques décrivant le comportement de fluides, notamment de gaz, soumis à des variations de pression. Adiabatique signifiant qu'il n'y a pas d'échange de chaleur entre le système et le milieu extérieur.



température d'une particule saturée subissant une détente ou une compression pseudo-adiabatique (*pseudo* car on élimine l'eau à mesure qu'elle se condense)

Le report des données dans l'épigramme (que ce soit issu d'un radiosondage ou de prévisions comme dans notre cas) permet de tracer deux courbes :

- la **courbe d'état** donnant la variation réelle (ou prévue) de la température en fonction de l'altitude (ou de la pression), c'est la courbe noire dans notre cas,
- la **courbe des points de rosée** donnant la répartition verticale de la température du point de rosée, c'est la courbe bleue.

Ces deux courbes, leurs positions l'une par rapport à l'autre, et leurs situations selon l'**adiabatique sèche** et la **pseudo-adiabatique saturée**, permettent de déterminer l'état d'équilibre (stabilité, instabilité) de la masse d'air, son taux d'humidité, le niveau de condensation, etc. Enfin pour ce qui est des vents, le symbole utilisé est la barbule. La tête de la barbule pointe dans la direction où va le vent. Sur l'image ci-dessous, le vent souffle donc de l'ouest vers l'est.

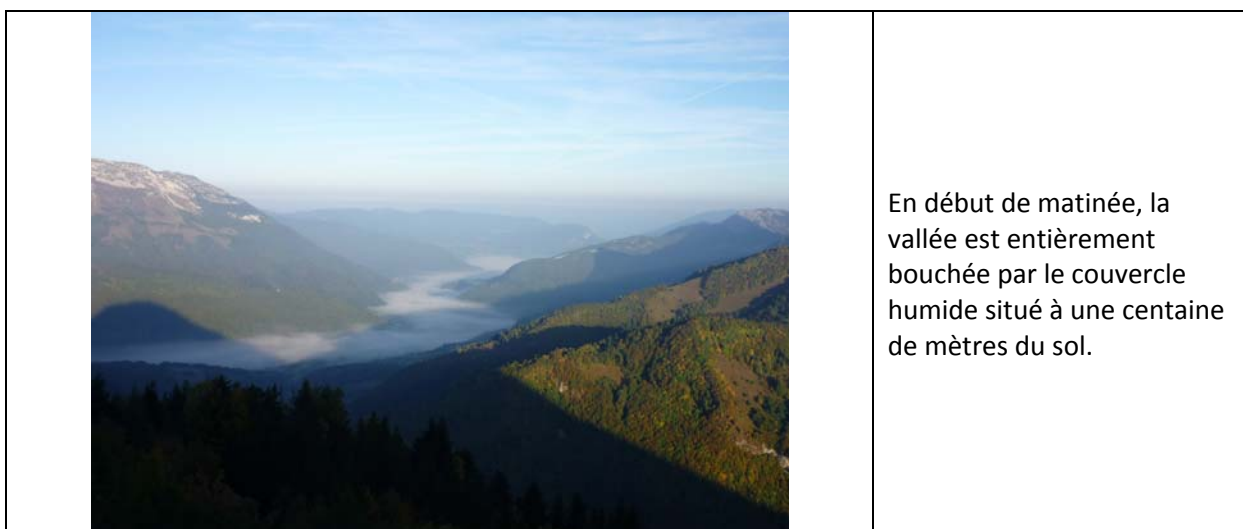


La vitesse est donnée par le nombre de barres et/ou de drapeaux attachés à la barbule. Pour trouver la vitesse du vent, il suffit donc d'additionner la valeur de toutes les barres et des drapeaux attachés à la barbule.

	vent calme
	1 à 2 nœuds
	chaque barbule équivaut à 10 nœuds
	une demi barbule équivaut à 5 nœuds
	un triangle noir (drapeau) équivaut à 50 nœuds

### Illustration

Les photos ci-dessous illustrent ce phénomène d'inversion dans la principale vallée qui alimente Lescheraines :







Avec l'arrivée du soleil, le brassage s'opère et casse progressivement l'inversion dans la vallée

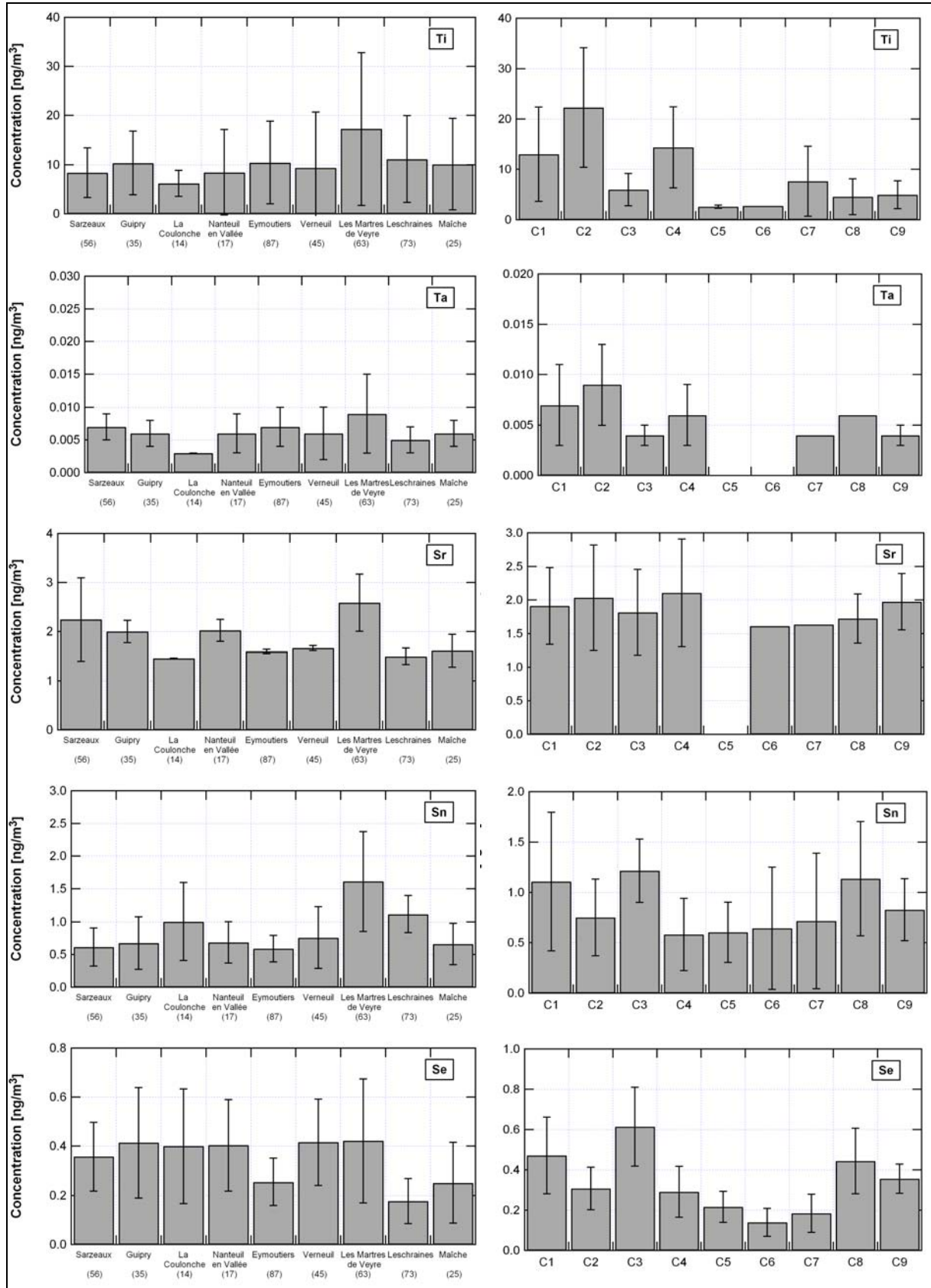


Lescheraines, situé au fond sur la photo, est souvent le dernier bastion où l'inversion se casse compte tenu de sa position de cuvette.

## **Annexe 18 : Moyennes des concentrations par site et campagne de métaux en trace**

## Annexe 18

### Moyennes des concentrations par site et campagne de métaux en trace



## **Annexe 19 : Concentrations de phtalates**

## Annexe 19

### Concentrations de phtalates

Parmi les composés organiques quantifiés sur les échantillons des campagnes C5 à C9, une série de quatre esters de phtalates a été analysée dans la phase particulaire de l'aérosol : le diethyl phtalate (DEP), le dibutyl phtalate (DBP), le benzylbutyl phtalate (BBP) et le bis(2-ethylhexyl)phtalate (BEHP). Ce sont des composés d'origine anthropique étudiés notamment pour leur effet néfaste sur la santé. Ils sont bioaccumulables et biodégradables. Leur caractère hydrophobe les conduit à persister dans les compartiments dans lesquels ils sont rejetés. Ils sont utilisés depuis 50 ans comme plastifiants dans de nombreux matériaux plastiques tels que le PVC ou le PET (tuyaux, colles, emballages y compris alimentaires, vêtements, ...) et comme agents fixateurs en cosmétiques (fragrances, déodorants, vernis, savons, ...). Du fait de leur utilisation universelle, ces composés sont ubiquistes dans l'environnement. Leur absorption chez l'homme par les systèmes digestifs et pulmonaires a été démontrée mais l'absorption par voie cutanée est limitée et plus lente (d'après le rapport INRS sur les phtalates, avril 2004). La réglementation européenne a interdit provisoirement de 1999 à 2004 (directive européenne 2005/84/EC) leurs usages pour les jouets que peuvent porter à la bouche les enfants de moins de trois ans et certains articles de puériculture. Des projets de lois sont en cours à l'Assemblée nationale et au Parlement européen pour interdire leur utilisation dans certains produits.

A ce jour, ils ont été peu étudiés dans l'aérosol atmosphérique. Xie et al. (2005) ont mesuré une somme moyenne des concentrations atmosphériques de ces quatre phtalates de  $1,6 \text{ ng.m}^{-3}$  en baie allemande de la mer du Nord. Une étude de Teil et al. (2006) ont mesuré une somme de concentrations en DBP, BBP et BEHP (les trois phtalates les plus présents dans l'atmosphère) de  $6,1 \text{ ng.m}^{-3}$  dans la phase particulaire d'aérosols prélevés de mai 2002 à avril 2003 en plein centre de Paris. Cette dernière étude donne également les répartitions entre la phase gazeuse et la phase particulaire du DEP, du DBP, du BBP et du BEHP et sont pour la phase gazeuse respectivement les suivantes : 93,8%, 86,7%, 91,0% et 64,9% (pourcentage de composé présent dans la phase gazeuse par rapport à la somme phase gazeuse plus phase particulaire). Concernant la persistance des phtalates dans l'atmosphère, Palm et al. (1998) a calculé un temps de demi-vie de un jour pour le BEHP dans la troposphère. De plus, dans le cadre du programme Primequal-FORMES, ces mêmes quatre esters de phtalates (DEP, DBP, BBP et BEHP) ont été quantifiés dans la phase particulaire de l'aérosol à Marseille en juillet 2008 et à Grenoble en janvier 2009. Les sommes moyennes des concentrations en DBP, BBP et BEHP observés étaient de :  $22 \text{ ng.m}^{-3}$  à Marseille (contribuant à 0,3% de la masse de matière organique) et  $13 \text{ ng.m}^{-3}$  à Grenoble (0,08% de l'OM). Les maximas des sommes des concentrations en phtalates mesurés sont de  $57 \text{ ng.m}^{-3}$  à Marseille et  $35 \text{ ng.m}^{-3}$  à Grenoble.

Sur les différents sites de Particul'Air, la somme moyenne des concentrations en phtalates dans la phase particulaire varie de  $4 \text{ ng.m}^{-3}$  (C9 Nanteuil) à  $98 \text{ ng.m}^{-3}$  (C7 Maïche) (figure PH1). Ces sommes de concentrations mesurées en milieu rural sont souvent supérieures à celles observées sur les deux sites urbains français (Marseille et Grenoble). Une augmentation des concentrations est observée entre l'Ouest et l'Est. La somme des concentrations en phtalates des sites situés les plus à l'Ouest (de Sarzeau à Eymoutiers) est relativement stable sur les cinq campagnes de prélèvements avec une légère augmentation de la C5 à la C6 puis une diminution progressive de la C6 à la C9 (excepté sur le site d'Eymoutiers pour lequel une plus forte somme des concentrations en phtalates est observée lors de la C5). Pour les sites les plus à l'Est (de Verneuil à Maïche), les sommes des concentrations en phtalates sont plus importantes lors de la C5, la C7 et la C9, les maximas de concentrations étant observés lors de la C7 à la fois pour les sites de Verneuil, Les Martres de Veyres et Lescheraines.

Cependant, une grande variabilité de la somme des concentrations est observée pour ces trois sites. Il est cependant nécessaire de se rappeler que ces composés sont très volatils et fortement présents

en phase gazeuse (non échantillonnée dans ce programme). Ils peuvent donc subir de nombreux phénomènes de volatilisation ou condensation depuis la phase gazeuse selon les conditions météorologiques (notamment des périodes froides peuvent favoriser la condensation). Ces phénomènes pourraient être à l'origine des fortes concentrations observées sur les différents sites.

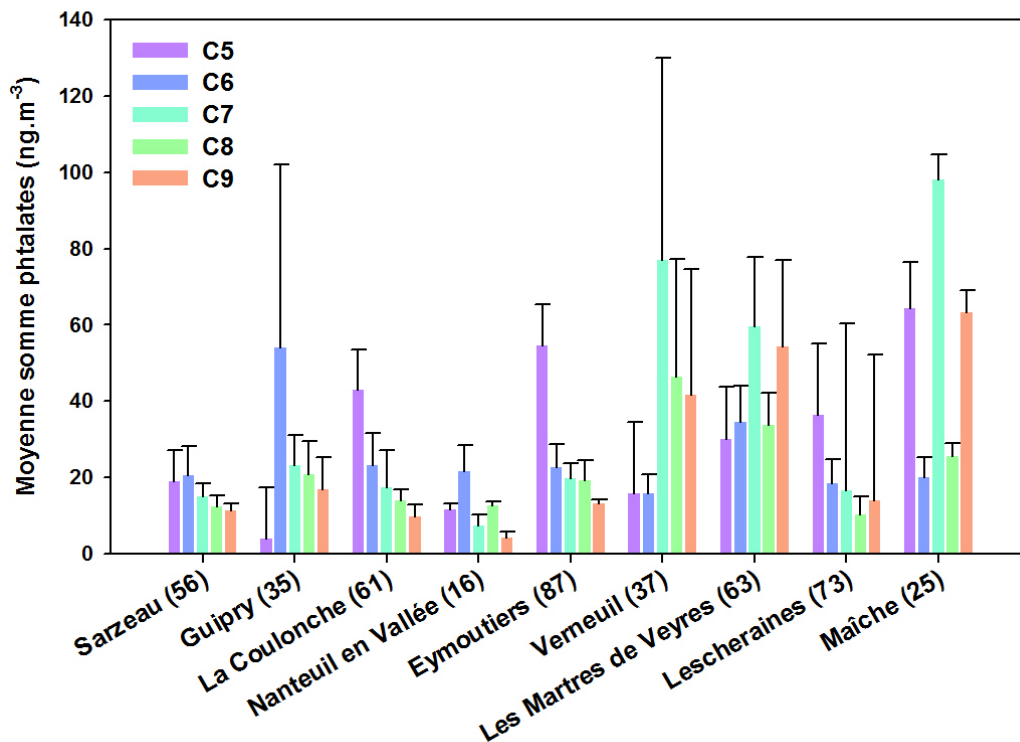


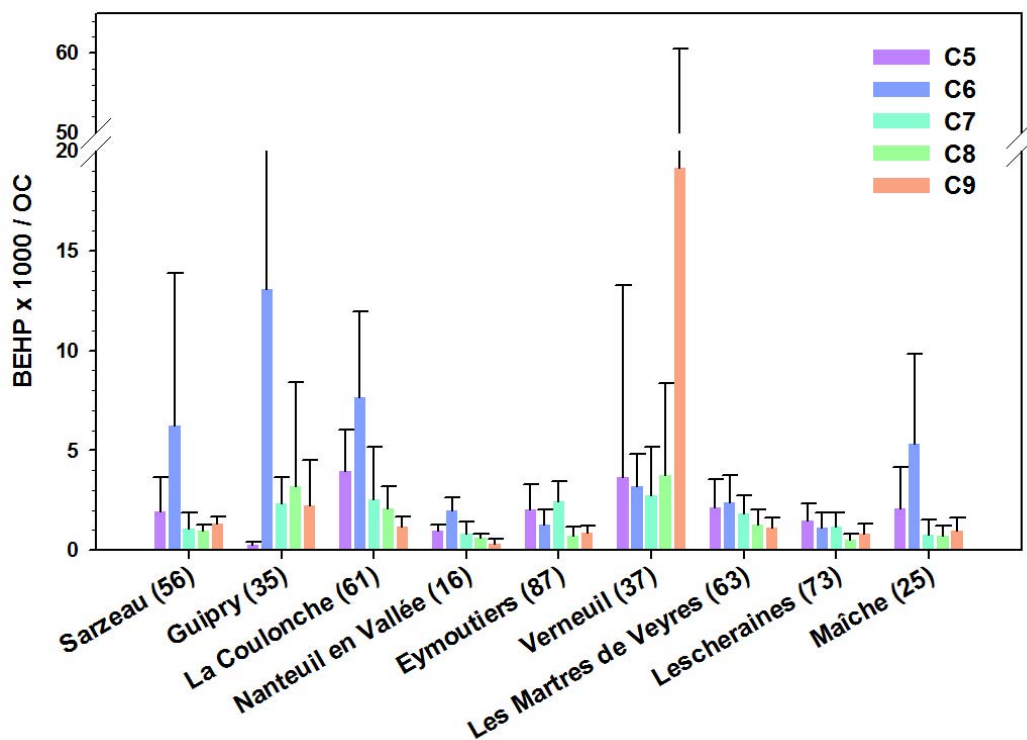
Figure PH1 : Moyennes des sommes en phtalates pour les campagnes C5 à C9 et les 9 sites.

Deux types de processus d'émission des phtalates dans l'environnement sont proposés dans la littérature :

- la migration au sein de la matrice polymérique suivie de leur exsudation et leur volatilisation ; dans ce cas, leur taux d'émission augmente avec la température (Staples et al., 1997) ;
- les émissions suite à l'incinération de matières plastiques (Simoneit et al., 2005).

Les ratios entre le BEHP (phtalate le plus émis par les plastiques d'après Simoneit et al. (2005) et le plus présent dans la phase particulaire d'après Teil et al. (2006)) et l'OC ont été étudiés (figure PH2) afin d'identifier le type de sources d'émissions des phtalates sur les différents sites et lors des différentes campagnes. En effet, si le ratio BEHP/OC était raisonnablement constant, on pourrait considérer que la source en phtalates est diffuse, correspondant à un fond atmosphérique plutôt qu'une source ponctuelle (émissions par des processus industriels, par exemple).

Pour les neuf sites étudiés, les ratios BEHP/OC ne sont pas constants (figure PH2), ni entre sites, ni entre campagnes pour un même site. Les concentrations en phtalates ne semblent donc pas provenir uniquement d'un fond atmosphérique à grande échelle. Pour Sarzeau, Guipry, La Coulonche, Nanteuil, et Maïche, un enrichissement en BEHP par rapport à l'OC est observé lors de la C6. Une forte concentration en BEHP vis-à-vis de l'OC est également observée lors de la C9 pour le site de Verneuil. Les sources de phtalates ne peuvent donc pas être précisées à partir de cette première approche. Une étude plus poussée serait donc nécessaire pour pouvoir identifier les sources d'émissions en phtalates spécifiques à chaque site, entre autres en considérant des regroupements qui pourraient ressortir d'une étude en ACP.



**Figure PH2 : Ratios BEHP×1000/OC pour les 5 campagnes et les 9 sites.**

### **Références bibliographiques**

Rapport INRS sur les phtalates, avril 2004.

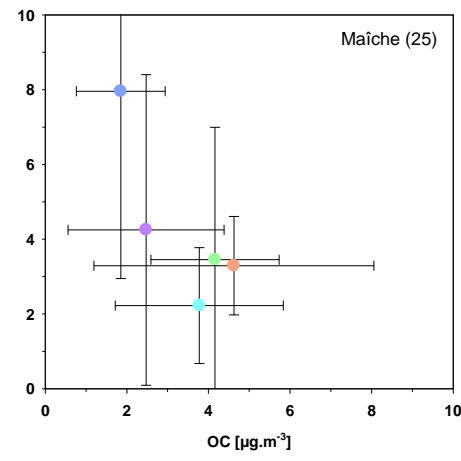
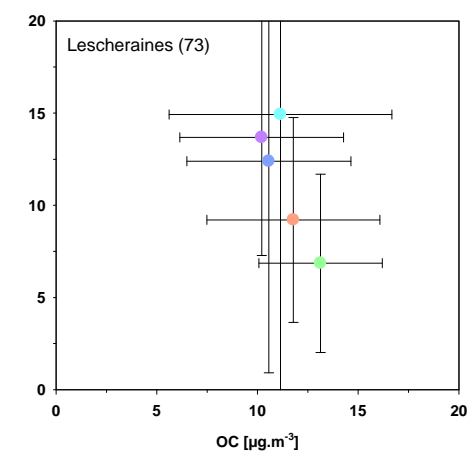
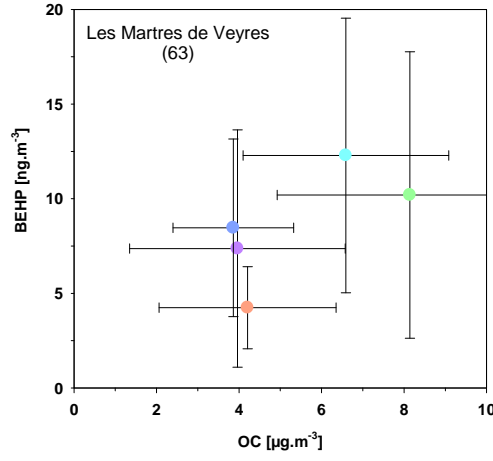
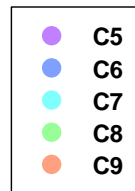
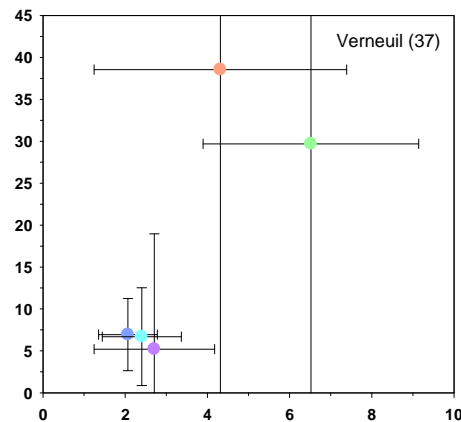
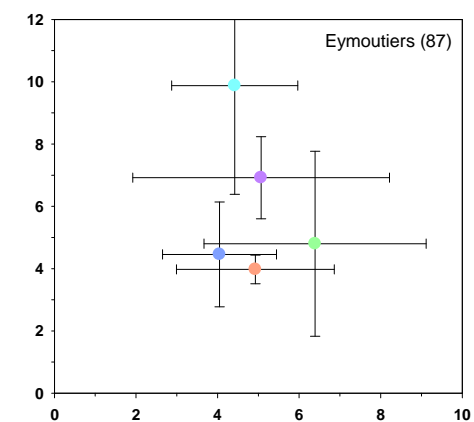
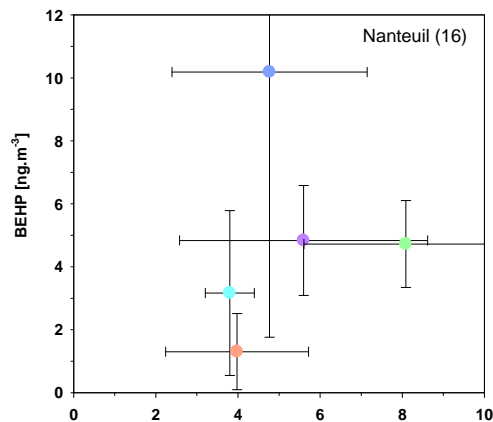
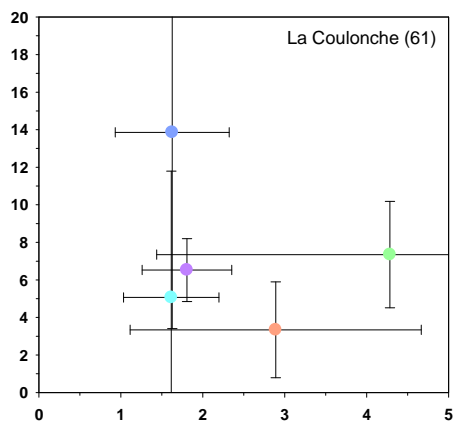
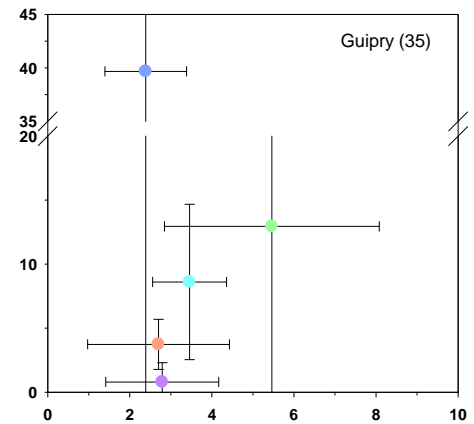
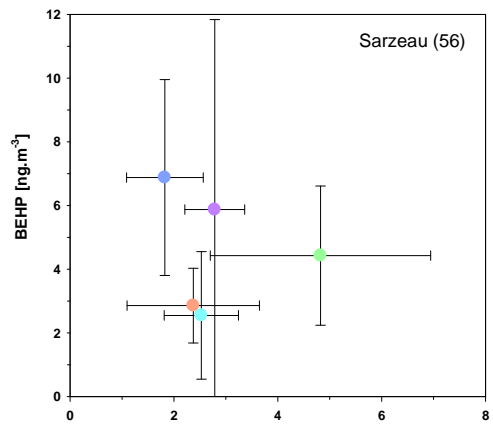
Xie, Z., Ebinghaus, R., Temme, C., Caba, A. and Ruck, W., 2005. Atmospheric concentrations and air-sea exchanges of phthalates in the North Sea (German bight). *Atmospheric Environment* 39, 3209-3219.

Teil, M.J, Blanchard, M. and Chevreuil, M., 2006. Atmospheric fate of phthalate esters in an urban area (Paris-France). *Science of the Total Environment* 354, 212-223.

Staples, C. A., Peterson, D. R., Parkerton, T. F. and Adams, W. J., 1997. The environmental fate of phthalate esters: a literature review. *Chemosphere* 4, 667-749.

Simoneit, B.R.T, Medeiros, P.M. and Didyk, B.M., 2005. Combustion products of plastics as indicators for refuse burning in the atmosphere. *Environmental Science and Technology* 39, 6961-6970.

**Figure PH2bis : Concentrations atmosphériques en OC et BEHP pour les 5 campagnes et les 9 sites.  
(page suivante)**



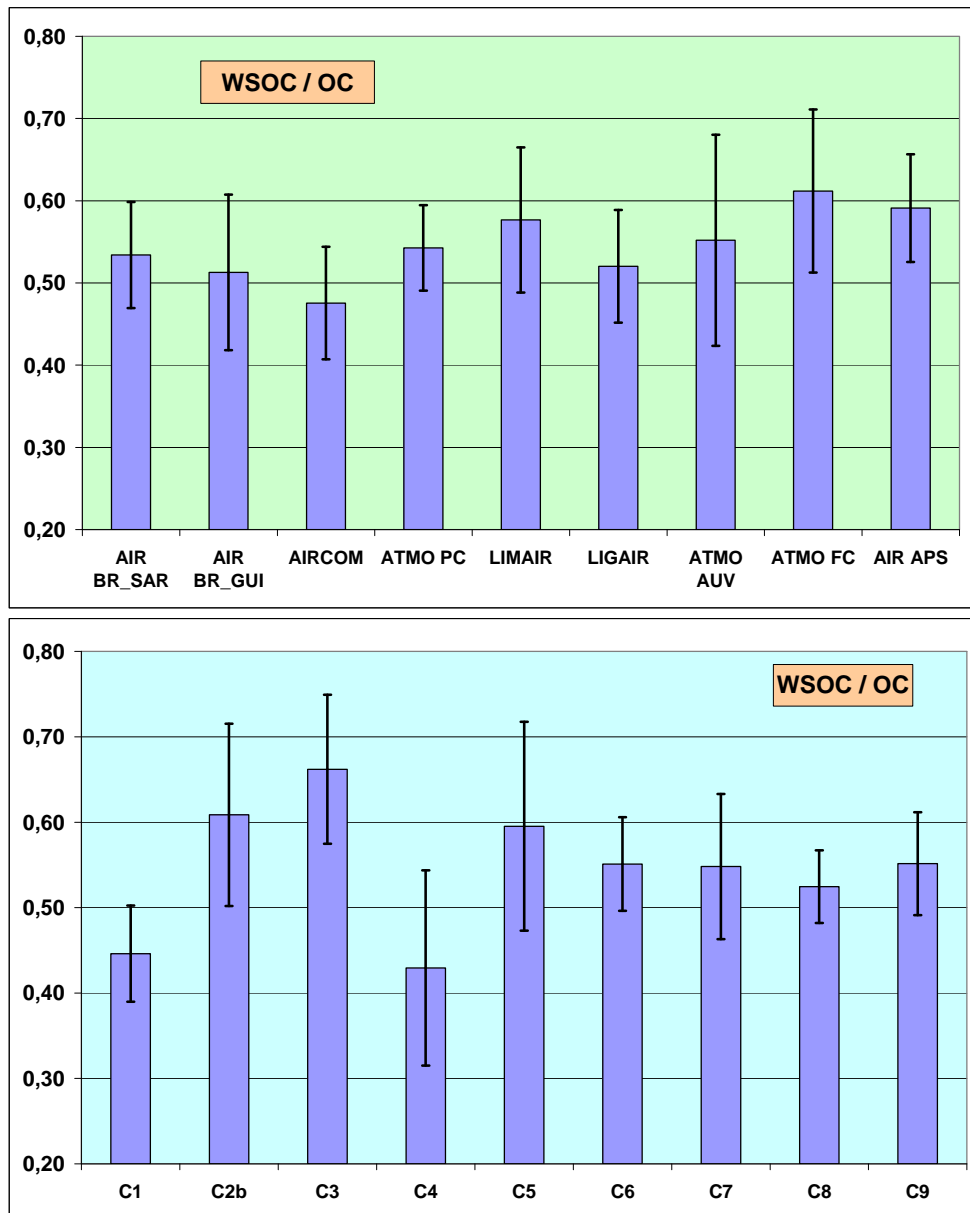


## **Annexe 20 : Fraction soluble de OC et concentrations des HULIS**

## Annexe 20

### Fraction soluble de OC et concentrations des HULIS

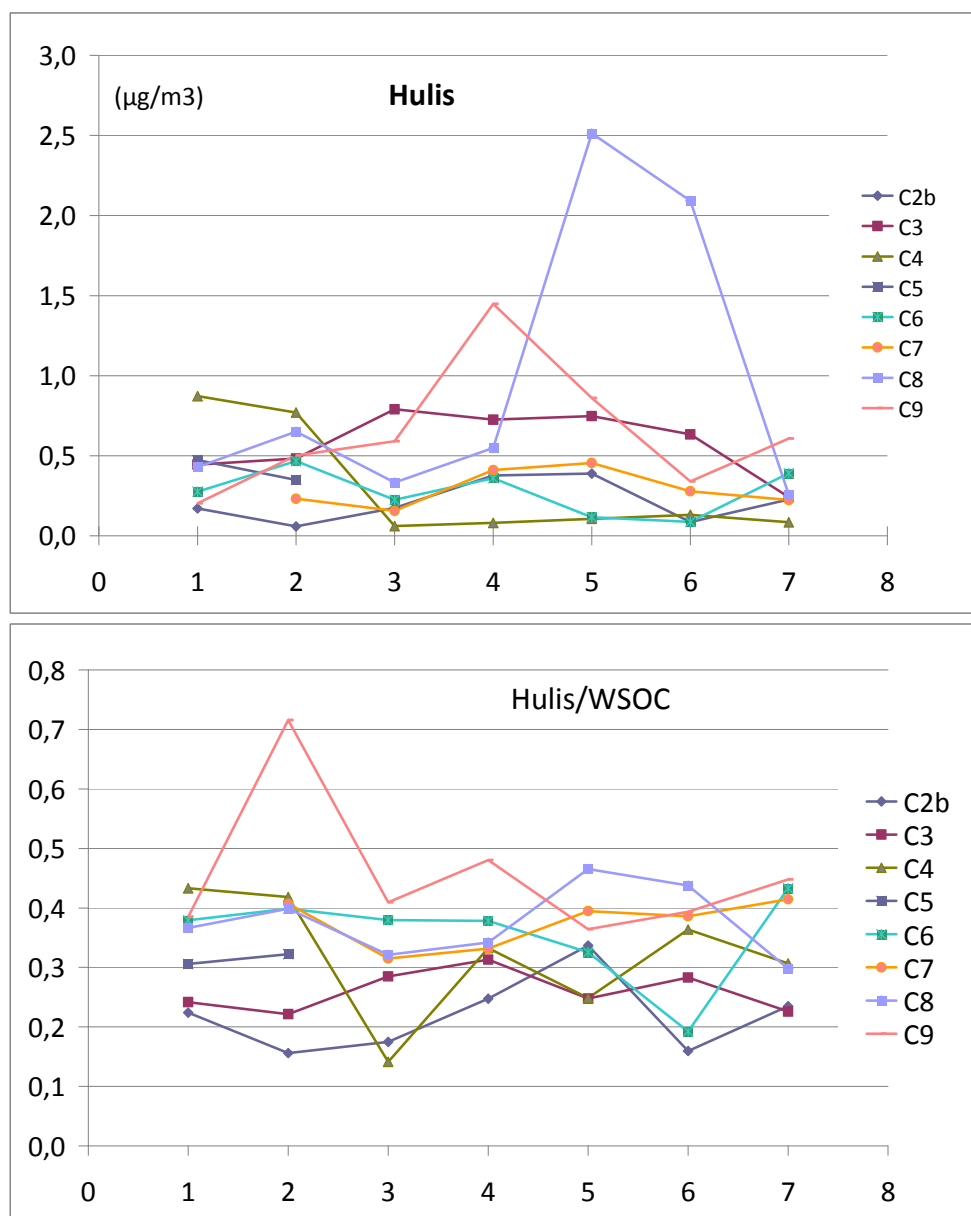
La part soluble de la matière organique (Water Soluble Organic Carbon : WSOC) a été systématiquement mesurée sur l'ensemble des échantillons. Cette mesure est intéressante, car elle est un indicateur du caractère plus ou moins oxygéné de l'aérosol. Les figures suivantes présentent les moyennes par site et les moyennes par campagnes de l'ensemble des rapport entre WSOC et OC.



On ne rentrera pas ici dans le détail des interprétations de ces figures. On notera juste deux choses : c'est pour le site de La Coulonche (Air Com) que l'on trouve les moyennes les plus basses. Cette observation est intéressante car elle va à l'encontre courant d'une idée largement répandue (et en partie vraie, masi en partie seulement) que les fractions organiques les plus secondaires (ie pour les aérosols les plus loins des sources) sont les plus oxygénées (ie les plus solubles). Par ailleurs, on note une différence très nette en moyenne pour la campagne C4, avec des valeurs significativement plus faibles, en désaccord avec les résultats présentés figure 109 qui montrent une fraction « biomass

burning » (par principe très soluble) élevée. Il s'agira de travailler plus sur ces résultats pour comprendre les raisons de cette divergence.

Les figures ci dessous présentent les concentrations des HULIS et les ratios HULIS /WSOC mesurés pour le site de La Coulonche. Ces mesures ont été entreprise pour mieux comprendre les évolutions de cette partie importante (en proportion et en propriétés) de la MO (Baduel et al., 2010). On note des évolutions très nettes entre campagne, qu'il faudra chercher à interpréter en termes d'évolution des masses d'air à grande échelle.



Concentrations des HULIS et ratio HULIS / WSOC en fonction du jour de chaque campagne

Baduel C, Voisin D, and Jaffrezo JL (2010) Seasonal variations of concentrations and optical properties of water soluble HULIS collected in urban environments. *Atmos. Chem. Phys.*, 10, 4085-4095.

## **Annexe 21 : Recherche de pesticides**

## Annexe 21

### Recherche de pesticides

En 2009, la France était le premier pays consommateur de pesticides en Europe et le 4<sup>ème</sup> au niveau mondial (Source : Union des Industries de la Protection des Plantes). 95% des pesticides sont utilisés dans la filière agricole et 5% dans les jardins privés et pour l'entretien des voiries ou des espaces publics. Plusieurs catégories de pesticides existent selon leur utilisation : les herbicides, les insecticides, les fongicides, les rongicides, etc. En France, ce sont les herbicides qui sont les plus utilisés (42% de la consommation), puis les herbicides (35%) et les insecticides (15%) (Source : Ministère de l'Ecologie, du Développement durable, du Transport et des Logements). Les pesticides utilisés dépendent du type de végétaux sur lesquels ils seront appliqués et de l'action voulue. Il existe donc une multitude de pesticides, en évolution permanente (notamment à cause de la résistance développée par les espèces visées), chaque pesticide étant formé de molécules chimiques différentes. Leur étude est donc complexe et vaste (environ 350 substances actives sont présentes actuellement sur le marché européen).

Les pesticides sont utilisés depuis plusieurs millénaires avec notamment des traitements à base de métaux (Plomb, Arsenic) ou à base de végétaux. Citons comme exemple parmi les pesticides les plus connus, la « bouillie bordelaise » (solution de cuivre constituée d'un mélange de chaux et de sulfate de cuivre) qui est utilisée sur les sols de vignes depuis le XIX<sup>ème</sup> siècle comme antifongique pour traiter le mildiou (*Plasmopara viticola*, parasite des végétaux). Cette pratique agricole est considérée comme traditionnelle mais présente pourtant des impacts non négligeables sur les sols. D'autres pesticides sont également très connus de part le monde comme l'atrazine (interdite en Europe depuis 2004, encore largement utilisée aux Etats-Unis notamment), le diuron ou encore les organochlorés.

Les pesticides ont un fort impact sur l'environnement dans lequel ils sont appliqués. Il est estimé que 90% des quantités appliquées lors d'un traitement n'atteignent pas leur cible, d'où des applications à fortes concentrations et en grande quantité. Les pesticides sont transférés de par leur application vers tous les compartiments, en grande partie vers les sols où ils pourront être accumulés, transférés, volatilisés, ou encore dégradés. Le transfert des pesticides vers le compartiment atmosphérique dépend des propriétés physico-chimiques des composés (qui vont déterminer la répartition entre la phase gazeuse et la phase particulaire des pesticides dans l'aérosol atmosphérique) et de leur forme d'application sur le végétal à traiter (en solution, en pulvérisation,...). Les pesticides observés dans l'air peuvent provenir d'une application directement sous forme d'aérosols et/ou d'une volatilisation depuis les végétaux traités ou les sols.

Selon la littérature, l'analyse des pesticides dans l'air est réalisée en grande partie en GC-MS (chromatographie gazeuse couplée à un spectromètre de masse) et en LC-MS/MS (chromatographie liquide couplée à un spectromètre de masse en tandem) après prélèvements sur filtre pour la phase particulaire et sur résine pour la phase gazeuse. En France, il existe deux normes AFNOR quant aux prélèvements et à l'analyse des pesticides dans l'air : la norme XP X43-058 pour les prélèvements (prélèvements sur filtres en quartz de la phase particulaire et sur cartouche XAD-2 placée entre deux mousses en polyuréthane (PUF) de la phase gazeuse à l'aide de préleveurs de type Partisol 2000 ou de type Digital DA80 à des débits particuliers) et la norme XP X43-059 pour l'analyse (en GC-MS ou en LC-MS/MS selon les composés après extraction au dichlorométhane par la technique de l'ASE).

Bien que les techniques de prélèvements et d'analyses employées dans le cadre du programme Particul'Air (pas de prélèvement de la phase gazeuse, extraction des filtres à l'aide de solvants différents, méthode d'analyse par GC-MS non spécifique aux pesticides), 10 pesticides (Trifluraline, Pendiméthaline, Endosulfan, Alachlore, Lindane, Chlorothalonil, Oxadiazon, Chlorpyrifos éthyl,

Isoproturon, Chlortoluron ; correspondant aux pesticides déjà mesurés en hiver dans les mêmes régions au cours des études réalisées par le LCSQA) ont été recherchés de manière systématique sur l'ensemble des chromatogrammes obtenus par GC-MS pour les différents sites étudiés et les campagnes C5 à C9. Les pesticides ont été recherchés sur les chromatogrammes en extrayant l'ion caractéristique (m/z) de chacun des composés.

En amont de ce travail, les performances des techniques d'extraction des filtres et d'analyse par GC-MS appliquées aux prélèvements du programme ont été évaluées pour l'analyse de 35 pesticides (noms des pesticides présentés dans le tableau PES1 ci-après) par dépôts sur filtres en quartz de solutions de mélanges d'étalons liquides (Pesticidesmix, Herbicidesmix, AppendixIX, de chez Sigma-Aldrich, certifiées par l'US-EPA, préparées dans des solvants organiques). Cette liste est loin d'être exhaustive mais elle permet un premier tour d'horizon de grandes familles de molécules rejetées par l'utilisation de pesticides. 500 µL de chaque solution ont été déposés sur des filtres à deux concentrations différentes (50 et 5 µg.mL<sup>-1</sup>). Après une phase d'évaporation du solvant, ces filtres dopés ont ensuite subis les mêmes procédures de traitements et d'analyses que celles employées dans le cadre du programme Particul'Air. La quantification a été réalisée à l'aide d'un étalonnage externe obtenu à partir des solutions étalons et en intégrant sur le courant correspondant à l'ion caractéristique de chaque composé. Les rendements d'extraction obtenus sont présentés dans le tableau PES1.

Nom pesticide	Rendement extraction (%)	
	[50 µg.mL <sup>-1</sup> ]	[5 µg.mL <sup>-1</sup> ]
Permethrin2	65.8	51.1
Permethrin1	76.6	57.5
Chlorobenzilate	91.6	58.2
Chlordane2	79.0	72.5
Chlordane1	82.1	76.4
Dacthal	66.2	62.2
Chlorothalonil	86.2	34.0
Hexachlorobenzene	36.4	14.7
Trifluraline	40.3	20.4
Propachlor	40.1	33.7
Chloroneb	20.4	16.7
Etridiazole	1.6	0.0
Butachlor	57.1	21.3
Metolachlor	80.6	35.6
Alachlor	67.4	26.9
Atrazine	61.0	26.1
Simazine	80.4	7.3
Hexachlorocyclopent	0.0	0.0
Methoxychlor	4.2	2.2
4-4' DDT	6.6	3.2
Endosulfan sulfate	51.5	25.9
Endrin Aldéhyde	53.2	44.7
4-4' DDD	56.4	55.3
EndosulfanII	56.8	41.7
Endrin	71.9	60.1
Dieldrin	58.1	42.1
4-4' DDE	60.4	55.4
EndosulfanI	73.0	43.7
Heptachlore epoxide	71.2	57.0
Aldrin	47.6	8.9
Heptachlore	47.7	21.4
Delta lindane	65.3	60.7
Lindane	51.4	35.6
Gamma lindane	62.3	58.0
Alpha lindane	47.6	27.4

**Tableau PES1 : Rendements d'extraction des pesticides analysés.**

Les rendements d'extraction obtenus sont très différents selon les composés et selon la concentration du dépôt (tableau PES1), avec notamment des bons rendements d'extraction (> 80%) pour le Chlorobenzilate, le Chlorothalonil ou encore la Simazine lorsque le dépôt est réalisé à 50 µg.mL<sup>-1</sup> et des très mauvais rendements d'extraction (~ 0%) pour l'Etridiazole et l'Heptachlorocyclopent.



Nom pesticide	LQ	Conc. Atmo. LCSQA
	[ng.m <sup>-3</sup> ]	[ng.m <sup>-3</sup> ]
Permethrin2	0.14	ND
Permethrin1	0.12	ND
Chlorobenzilate	0.10	NA
Chlordane2	0.35	ND
Chlordane1	0.34	ND
Dacthal	0.07	NA
Chlorothalonil	0.11	0.02-305.50
Hexachlorobenzene	0.08	NA
Trifluraline	0.23	0.01-40.74
Propachlor	0.09	0.10-2.50
Chloroneb	0.14	NA
Etridiazole		NA
Butachlor	0.08	NA
Metolachlor	0.03	0.01-4.05
Alachlor	0.07	0.01-17.82
Atrazine	0.08	0.01-1.70
Simazine	0.17	0.02-0.23
Hexachlorocyclopent		NA
Methoxychlor		NA
4-4' DDT	0.14	NA
Endosulfan sulfate	0.54	0.02-81.30
Endrin Aldéhyde	0.09	NA
4-4' DDD	0.05	NA
EndosulfanII	0.40	0.02-81.30
Endrin	1.92	NA
Dieldrin	0.05	ND
4-4' DDE	0.04	NA
EndosulfanI	0.38	0.02-81.30
Heptachlore epoxide	0.13	0.05-2.75
Aldrin	0.09	ND
Heptachlore	0.39	0.05-2.75
Delta lindane	0.28	0.01-2.39
Lindane	0.18	0.01-2.39
Gamma lindane	0.15	0.01-2.39
Alpha lindane	0.19	0.01-2.39

ND : Not Detected

NA : No Analyzed

**Tableau PES2 : Limites de quantification atmosphériques des pesticides analysés et concentrations atmosphériques mesurées en air ambiant en France (données LCSQA).**

En tenant compte des rendements d'extraction obtenus, les limites de quantification (LQ) des concentrations atmosphériques en pesticides ont été calculées pour des prélèvements de 700 m<sup>3</sup> d'air (même volume que les volumes prélevés dans Particul'Air) et l'extraction d'une fraction de filtre identique à celle extraite pour les échantillons du programme (62% de l'aire du filtre) (tableau PES2). Les limites de quantification sont comprises entre 0,03 et 1,92 ng.m<sup>-3</sup>. Lorsque le rendement d'extraction est inférieur à 5%, la LQ n'a pas été calculée. Ces LQ sont comparées aux concentrations atmosphériques mesurées en France (concentrations totales : phases gazeuse et particulaire) et

rapportées par le LCSQA (rapport « Observation des niveaux de concentration en pesticides dans l'air ambiant (2/2) », décembre 2009, rassemblant des mesures collectées dans 12 AASQA). Pour la majorité des pesticides analysés à la fois dans ce programme et par le LCSQA, les LQ sont proches des concentrations minimales mesurées par les études du LCSQA. Malgré les méthodes d'extraction et d'analyses non spécifiques aux pesticides dans ce programme, ces méthodes semblent correctes pour analyser les concentrations atmosphériques des types de pesticides rencontrés en France.

Cependant le dépouillement des spectres obtenus pour les échantillons du programme a conduit à obtenir des concentrations atmosphériques en pesticides inférieures aux LQ.

Plusieurs hypothèses peuvent expliquer ces résultats :

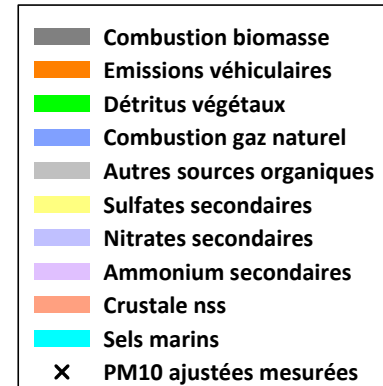
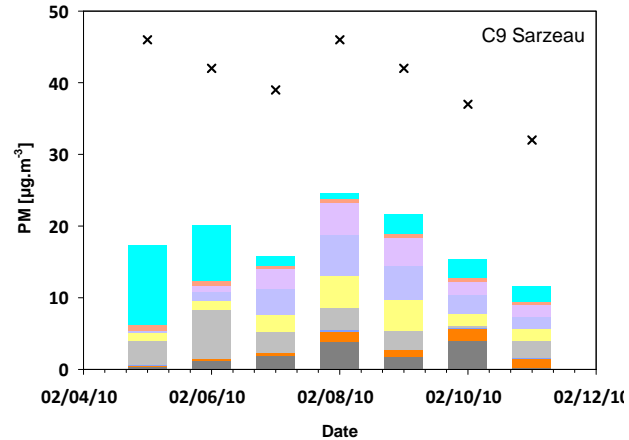
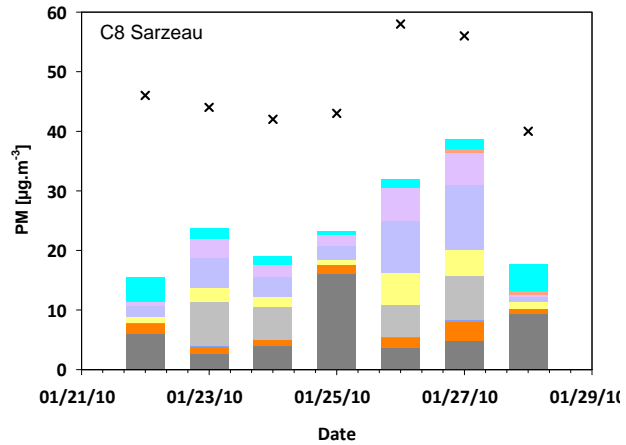
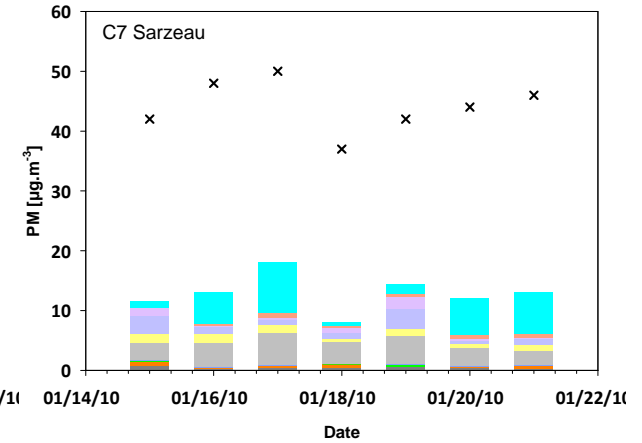
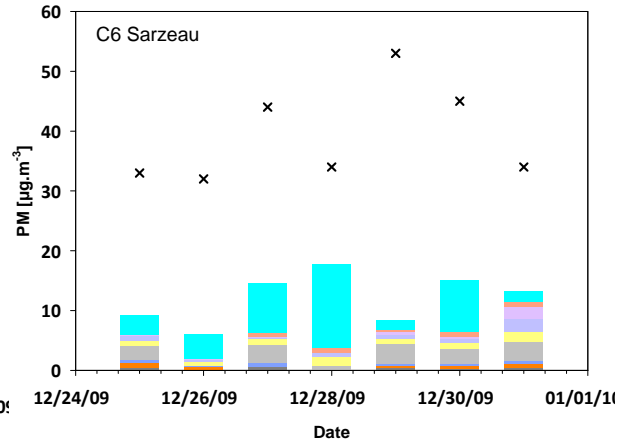
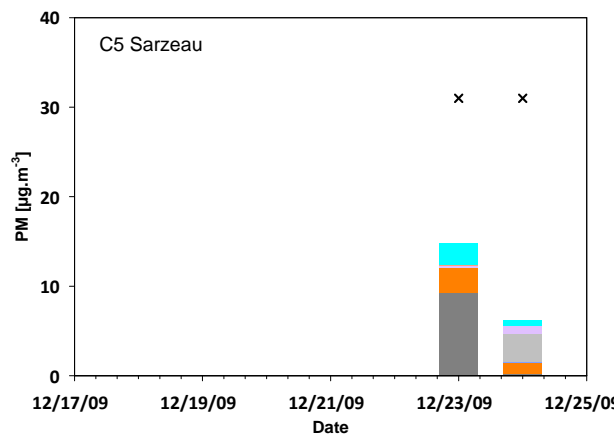
- les périodes de prélèvements (la spéciation a été réalisée uniquement sur les prélèvements effectués pendant les campagnes hivernales) ne correspondaient pas aux périodes d'applications des pesticides sur la végétation ni à des conditions météorologiques favorisant la volatilisation depuis les végétaux ou les sols ;
- les techniques de prélèvements n'étaient pas optimales pour le prélèvement des pesticides, avec notamment la phase gazeuse qui n'a pas été prélevée alors que les pesticides sont des composés très volatils et très présents dans cette phase gazeuse ;
- la particularité de cultures développées dans certaines régions peut conduire à l'utilisation de produits plus spécifiques non représentés dans la liste de molécules ayant servi à réaliser ces tests préliminaires.

Ce type de recherche pourra être reconduit sur les prélèvements réalisés pour les sites ruraux de Revin et Peyrusse-Vieille dans le cadre de l'étude CAMERA.

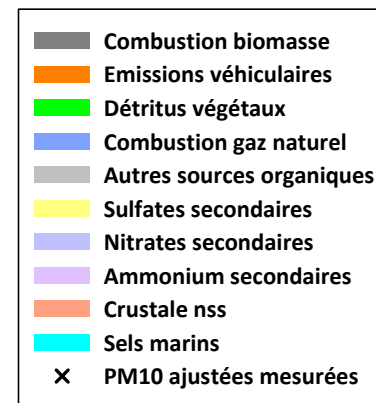
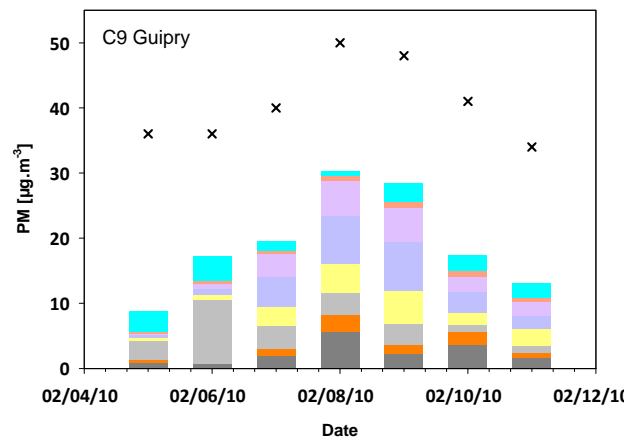
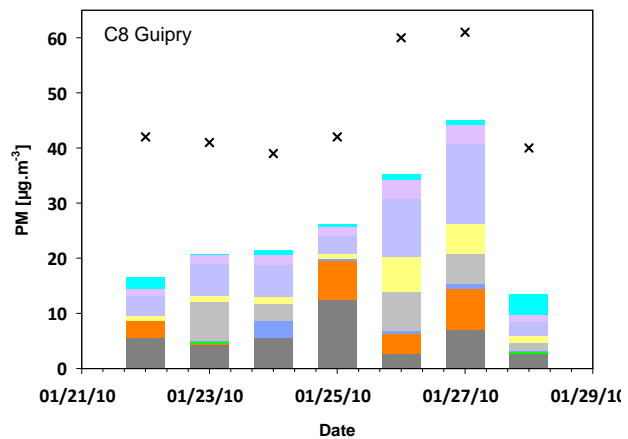
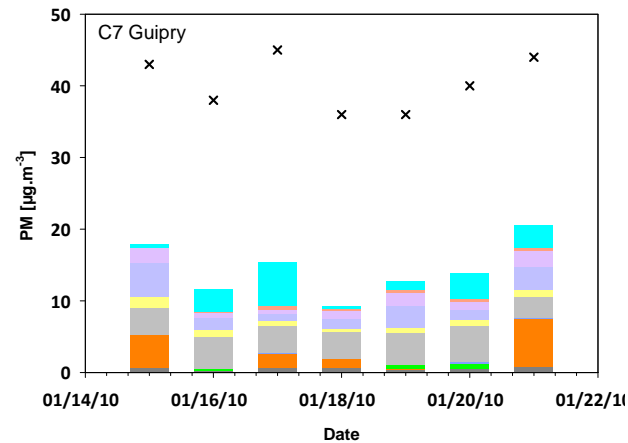
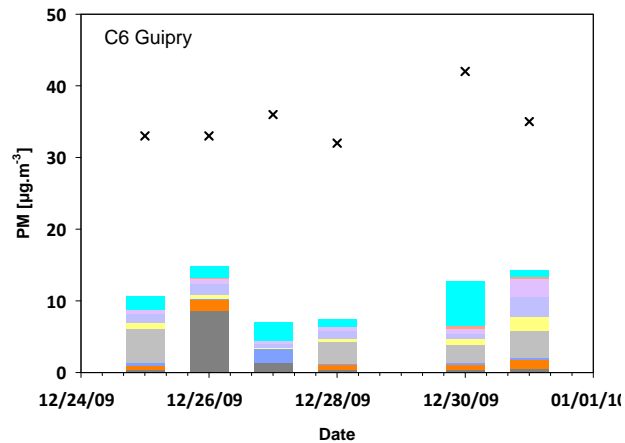
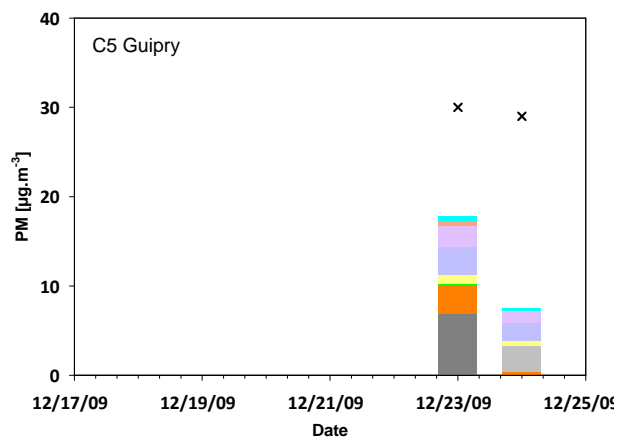
## **Annexe 22 : Reconstitution des sources de l'aérosol par méthodologie CMB**

## Annexe 22

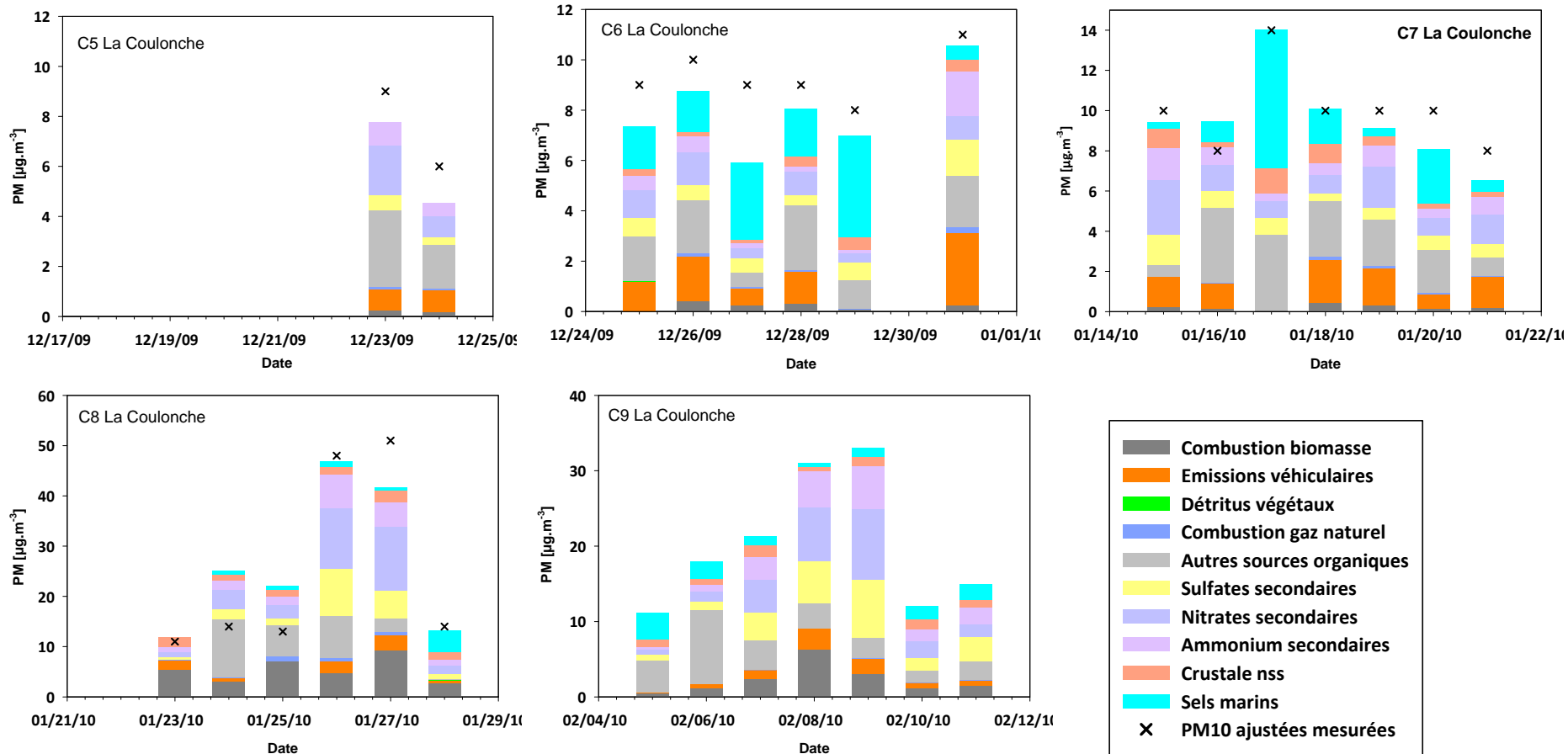
### Reconstitution des sources de l'aérosol par méthodologie CMB



***Tableau CMB1 : Estimations des contributions de sources aux PM par la méthode CMB pour le site de Sarzeau.***

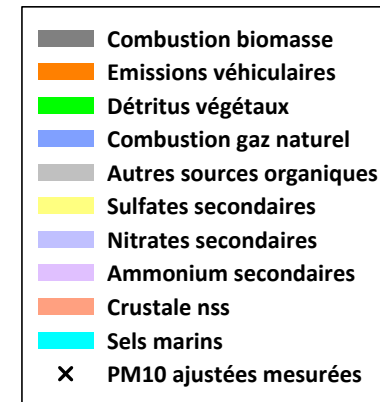
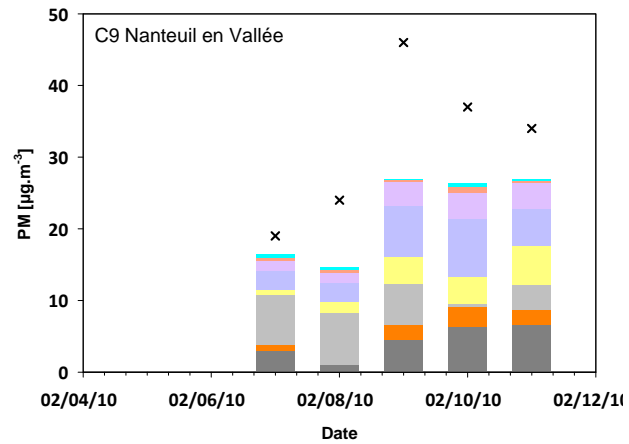
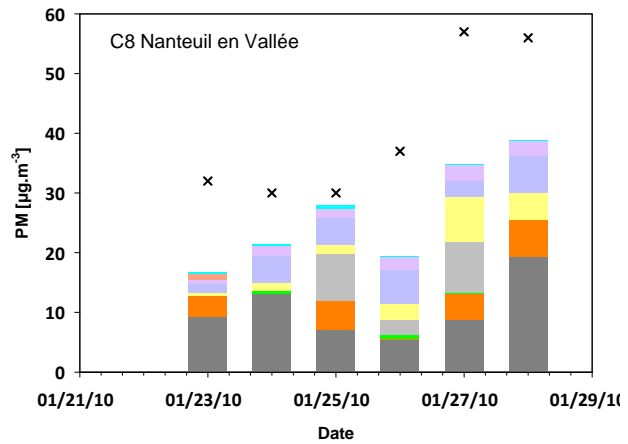
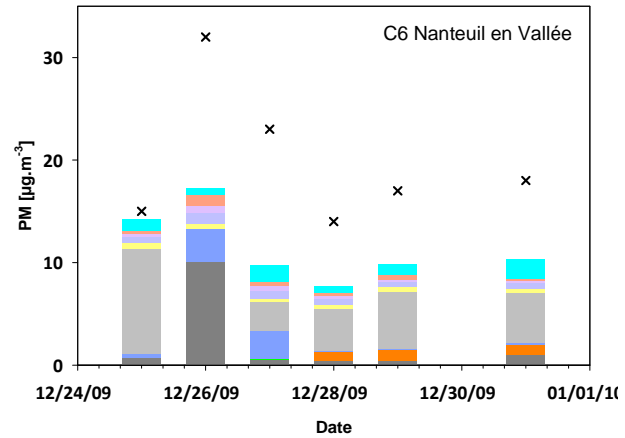
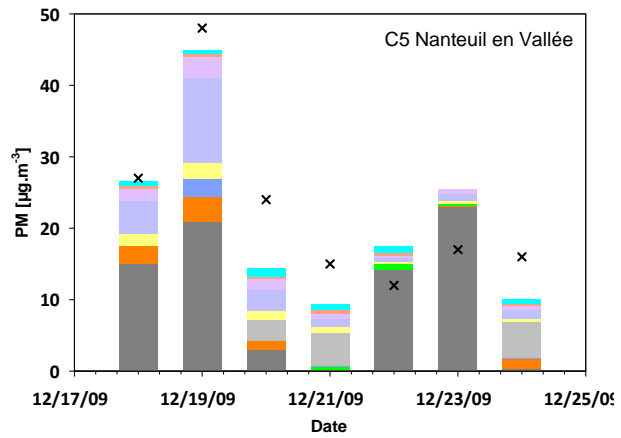


**Tableau CMB2 : Estimations des contributions de sources aux PM par la méthode CMB pour le site de Guipry.**

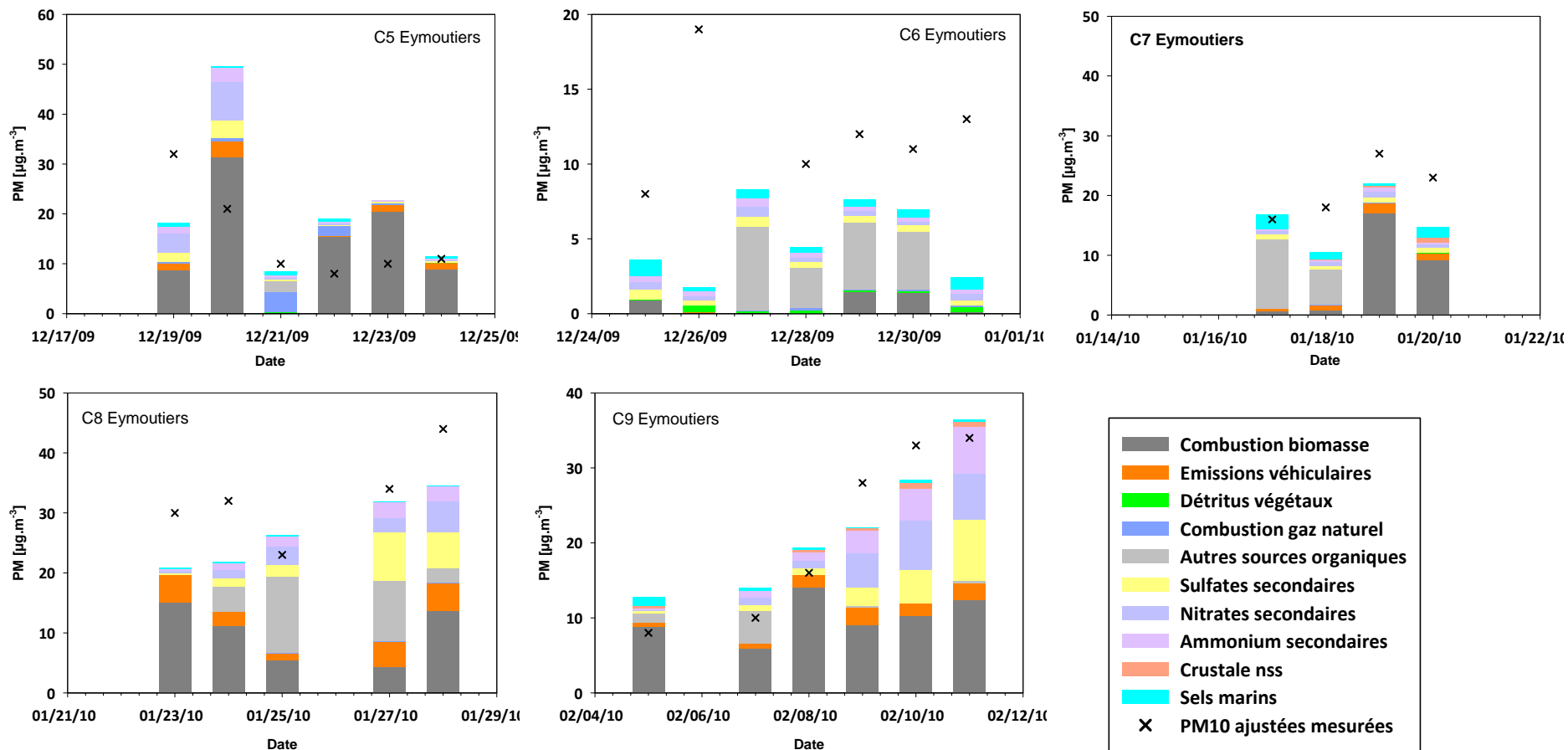


**Tableau CMB3 : Estimations des contributions de sources aux PM par la méthode CMB pour le site de La Coulonche.**

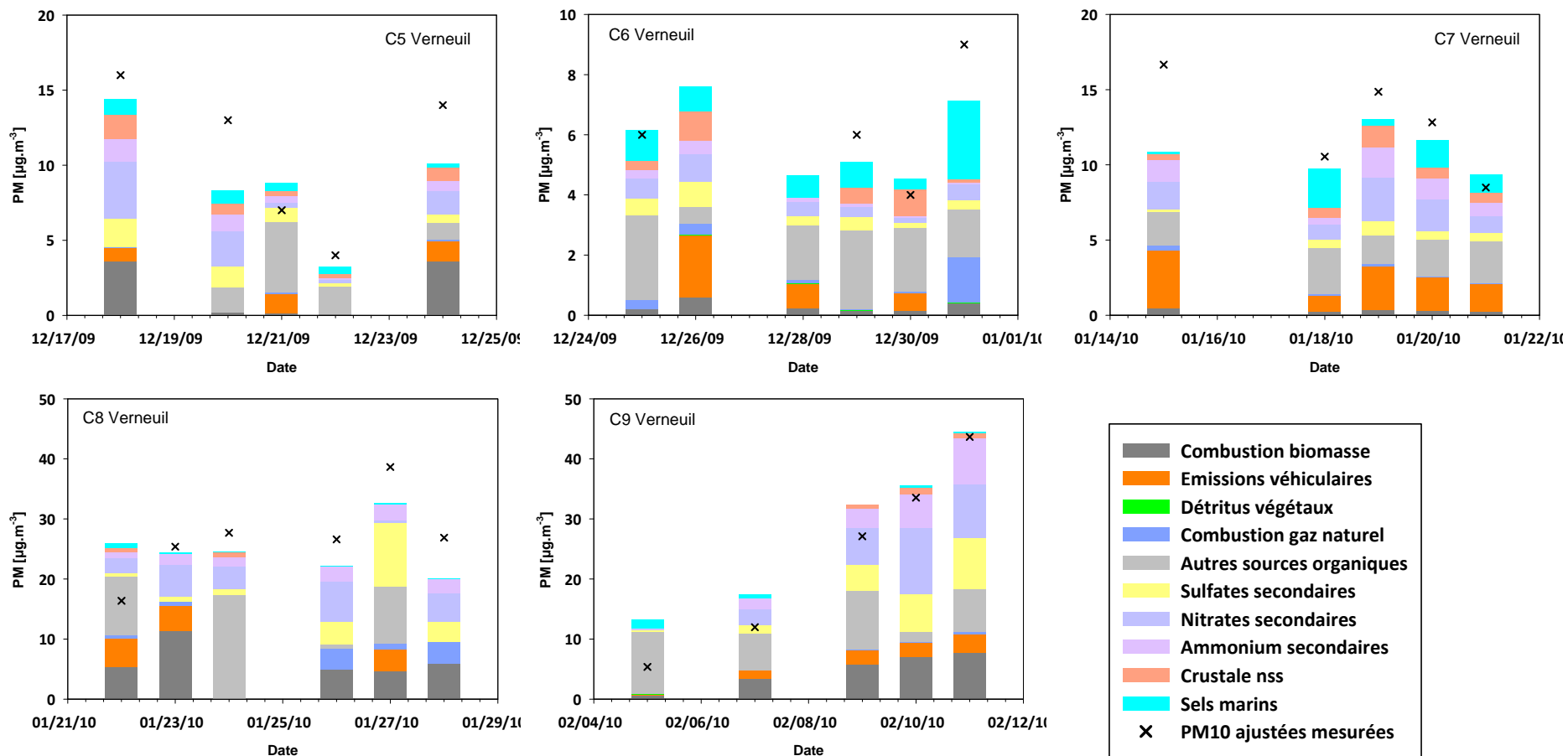




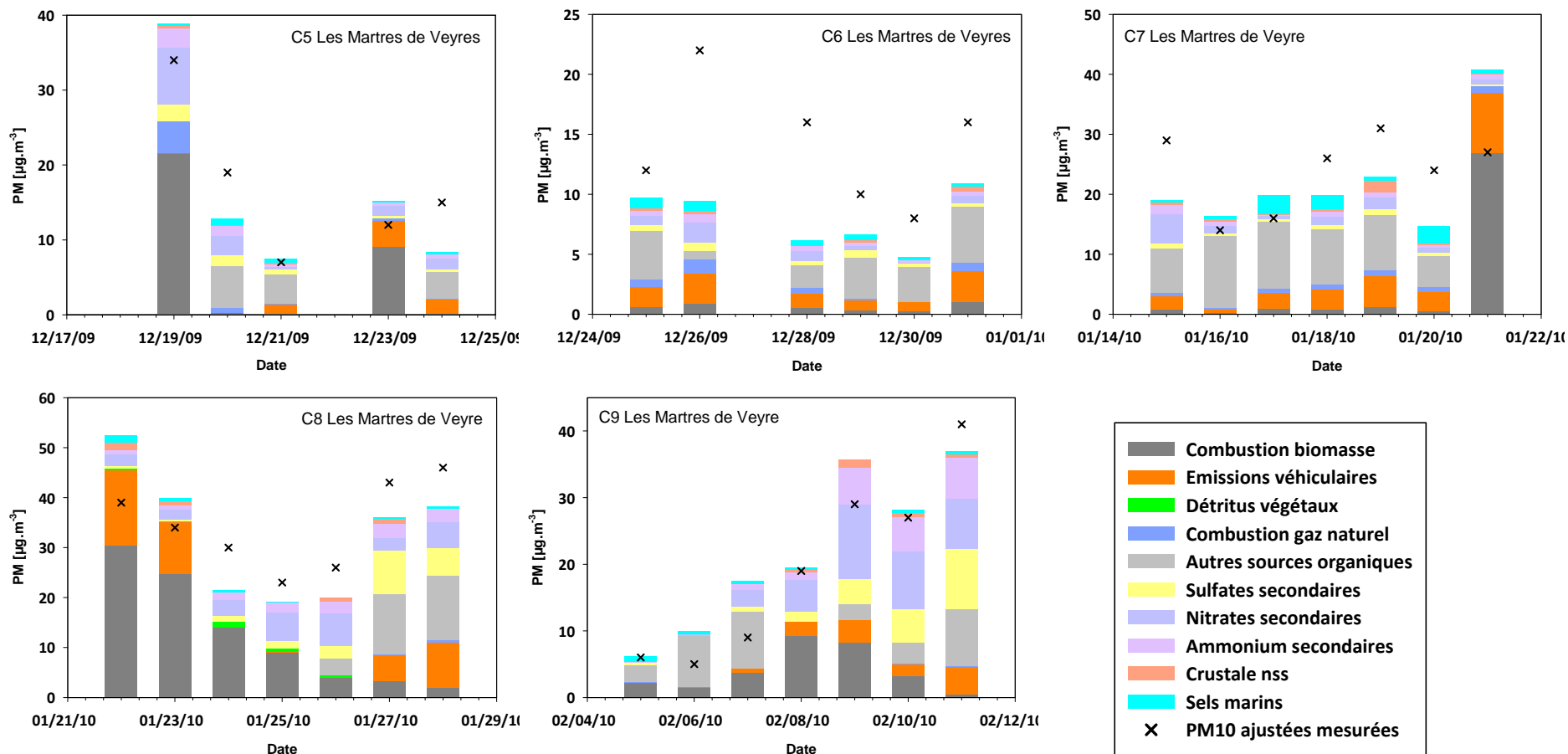
**Tableau CMB4 : Estimations des contributions de sources aux PM par la méthode CMB pour le site de Nanteuil-en-Vallée.**



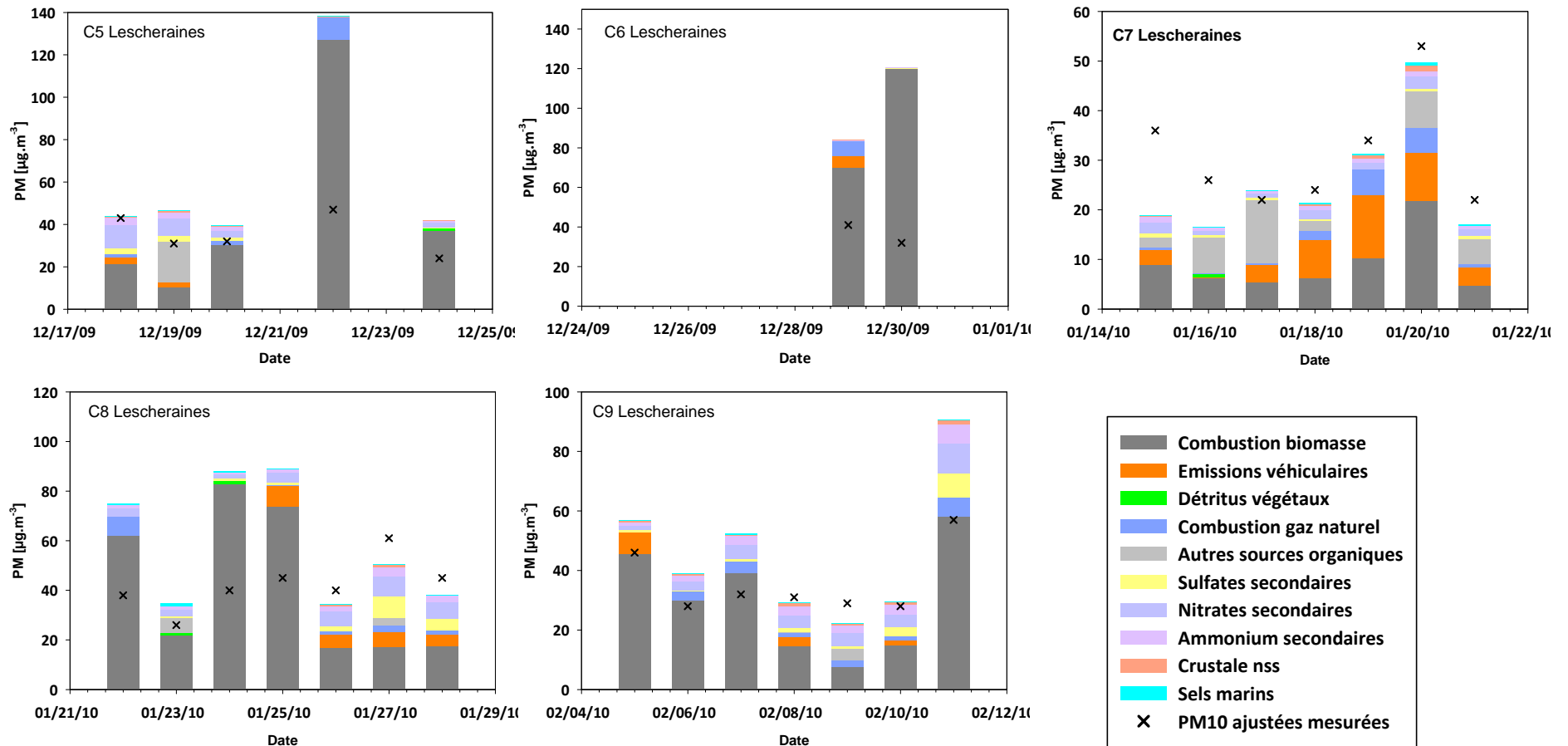
**Tableau CMB5 : Estimations des contributions de sources aux PM par la méthode CMB pour le site de Eymoutiers.**



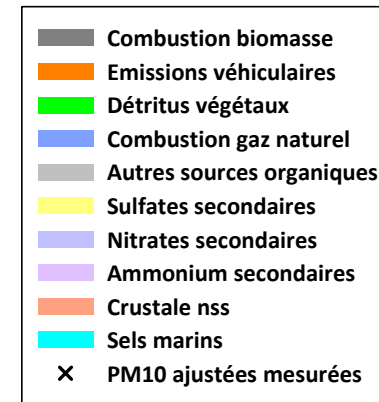
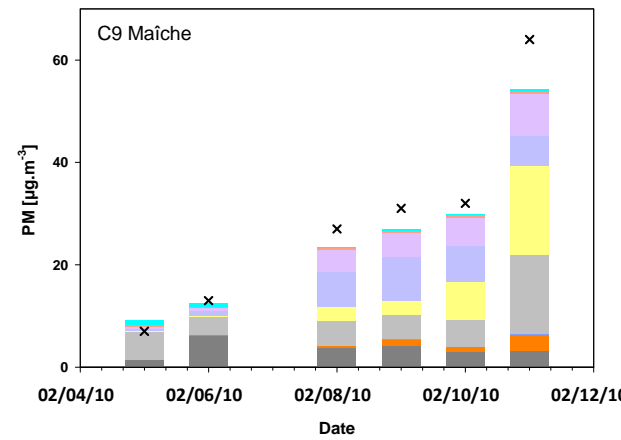
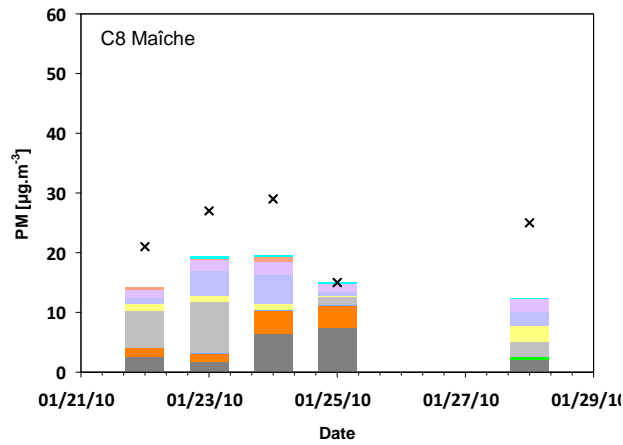
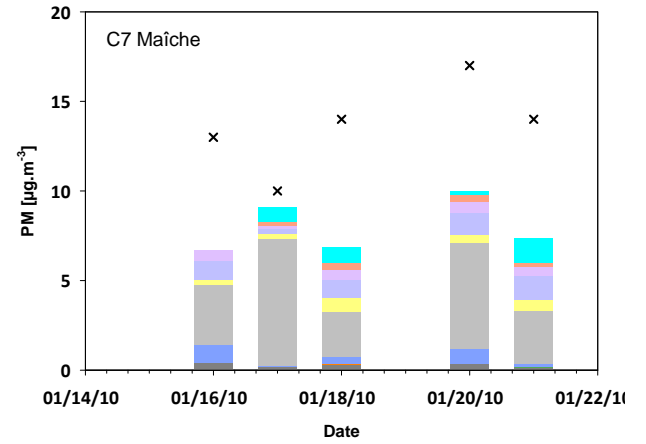
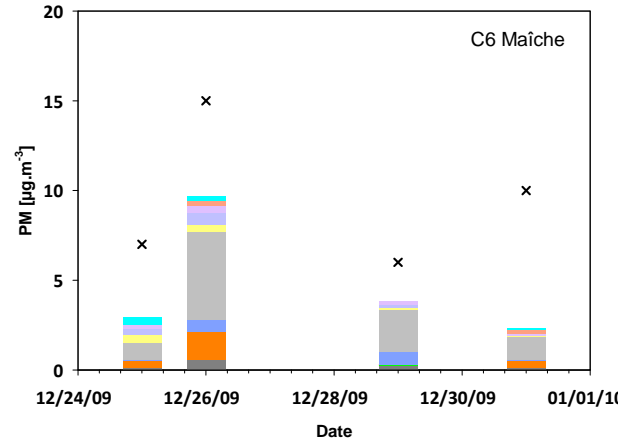
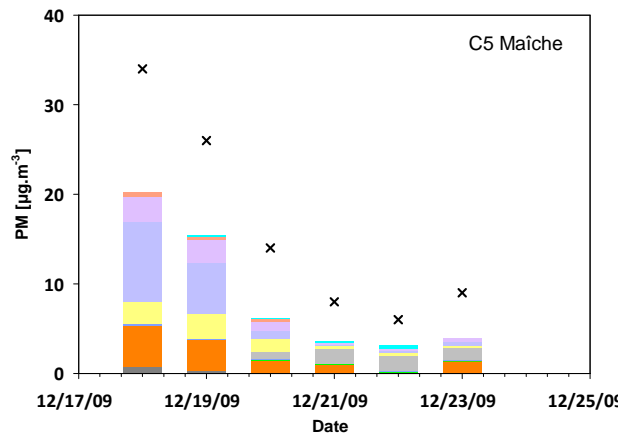
**Tableau CMB6 : Estimations des contributions de sources aux PM par la méthode CMB pour le site de Verneuil.**



**Tableau CMB7 : Estimations des contributions de sources aux PM par la méthode CMB pour le site des Martres de Veyres.**



**Tableau CMB8 : Estimations des contributions de sources aux PM par la méthode CMB pour le site de Lescheraines.**



**Tableau CMB9 : Estimations des contributions de sources aux PM par la méthode CMB pour le site de Maïche.**

**ANNEXE 23 : Description des conditions météorologiques campagne  
par campagne**



## **ANNEXE 23 : Description des conditions météorologiques** **campagne par campagne**

Les données météorologiques utilisées sont issues de la station Météo France la plus proche de chaque site de mesure, hormis pour La Coulonche (site MERA).

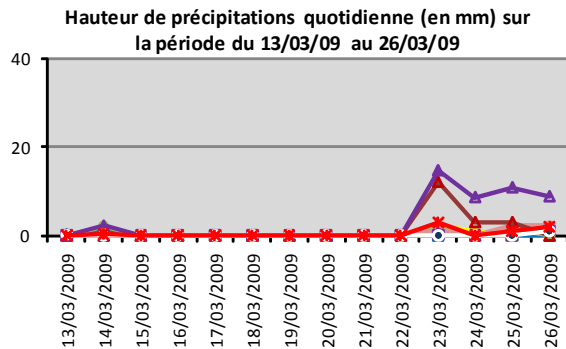
**Cinq paramètres ont été choisis pour définir les conditions météorologiques :**

- Les hauteurs de précipitations,
- Les températures moyennes quotidiennes,
- Les degrés jour unifiés (DJU) ; ils permettent de réaliser des estimations de consommations d'énergie thermique en proportion de la rigueur de l'hiver. Le nombre de degrés jours unifiés (DJU) est déterminé en faisant la différence entre la température de référence, 18°C, et la moyenne de la température minimale et la température maximale de ce jour.
- Pression,
- Humidité relative.

Les données de pression et d'humidité relative ne sont pas disponibles pour l'ensemble des sites de mesures. Néanmoins, les données recueillies sont suffisantes pour percevoir la tendance générale.

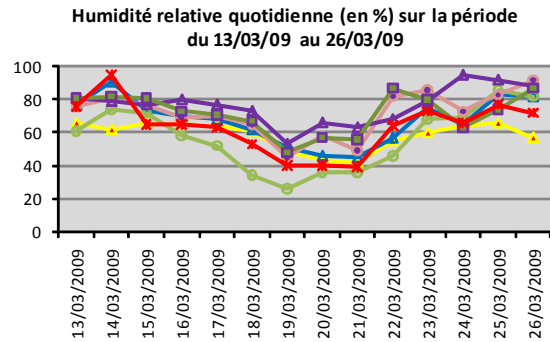
## Conditions météorologiques de la campagne C1 :

### Précipitations



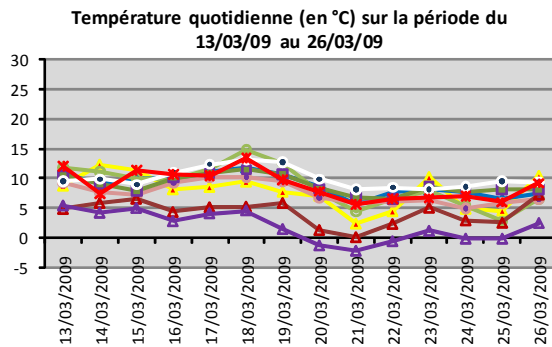
Les précipitations sont très faibles jusqu'au 22/03 puis une perturbation vient toucher l'est de la France: Maiche relève un cumul total de 42,8mm réparti sur les 4 derniers jours (du 23/03 au 26/03) et le site de Lescheraine enregistre 12mm le 23/03.

### Humidité relative



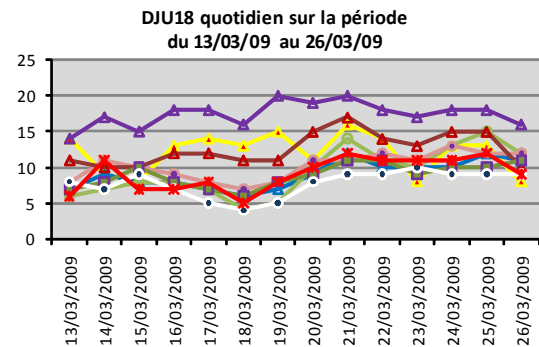
L'humidité relative est faible, de l'ordre de 45% entre le 19/03 et le 21/03 et relativement élevée, de l'ordre de 60 à 80%, le reste du temps.

### Température



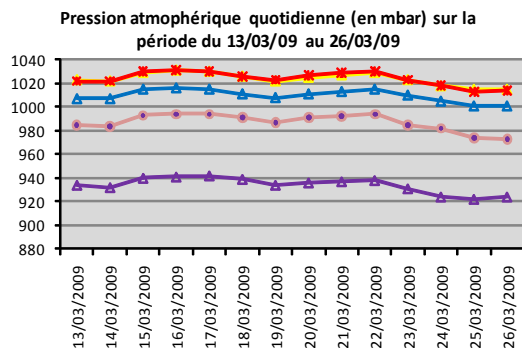
Les températures moyennes varient entre -2 et 15°C. Les plus élevées sont relevées le 18/03 et les plus faibles le 21/03. Sur le début de la campagne, les températures sont stables et varient autour d'une moyenne de 9°C. Après le 19/03, elles diminuent pour atteindre une température moyenne de l'ordre de 6°C.

### DJU18



Les degrés jours unifiés sont plus faibles sur la première semaine de mesure (entre 5 et 15 DJU) que sur la deuxième semaine (entre 10 et 20 DJU). Les plus élevés sont relevés le 21/03 et les plus faibles le 18/03.

### Pression atmosphérique



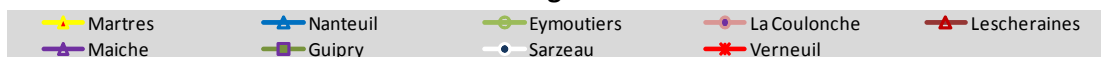
La pression atmosphérique reste relativement stable jusqu'au 23/03 puis connaît une baisse notable sur les 3 derniers jours.

### Bilan des conditions météorologiques

Ainsi, la première semaine de la campagne relève des conditions de température assez élevées pour la saison et des précipitations quasi-absentes. Tandis que la seconde semaine présente des températures plus basses et des précipitations assez élevées sur les 4 derniers jours, notamment à Maiche et à Lescheraines.

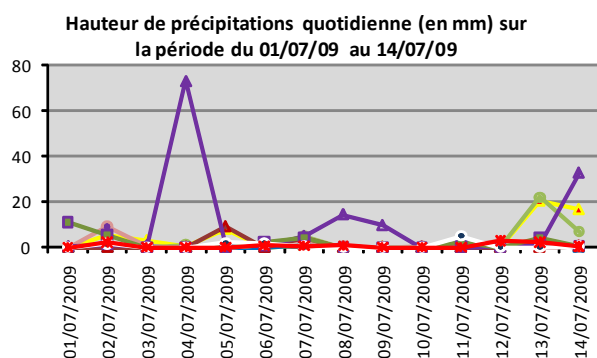
Les conditions météorologiques de cette campagne sont moyennement propices à l'accumulation de polluants liés à la combustion du bois.

#### Légende :



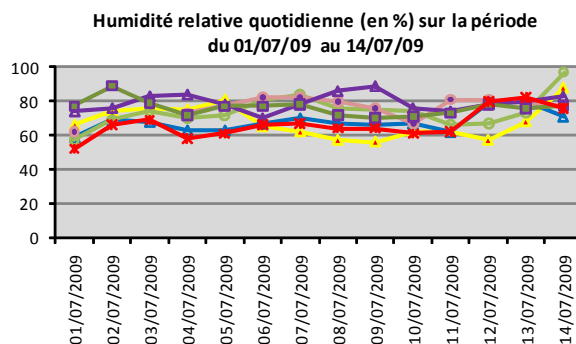
## Conditions météorologiques de la campagne C2 :

## Précipitations



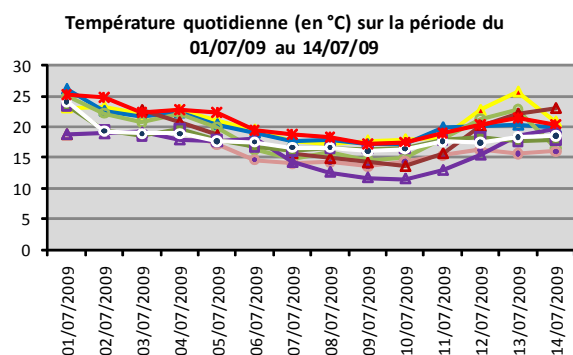
Les sites de Maiche et de Martres relèvent les plus importants cumuls, avec respectivement 140,3 mm sur 4 jours (04/07, 08/07, 09/07 et 14/07) et 55,2mm sur les 2 derniers jours. On constate la présence d'un épisode orageux le 04/07 à Maiche (73,3mm). Les sites de Guipry et Eymoutiers enregistrent des cumuls plus faibles, entre 30 et 40mm (avec 22mm le 13/07 à Eymoutiers et 11mm le 01/07 à Guipry). Les autres sites présentent des cumuls < 20mm.

## Humidité relative



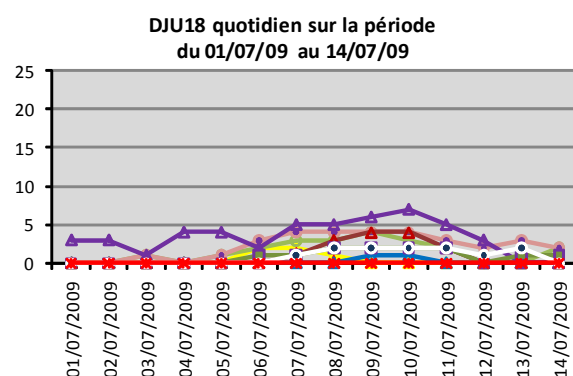
L'humidité relative est restée relativement stable et élevée tout au long de la campagne, avec des niveaux moyens journaliers de l'ordre de 60% à 80%.

## Température



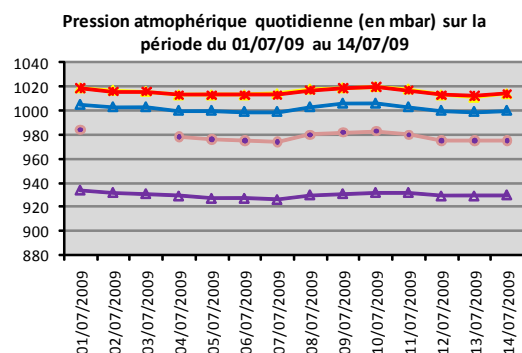
Les températures moyennes varient entre 11 et 26°C. Les plus élevées (autour de 23°C) sont relevées le 01/07. On observe une chute des températures moyennes entre le 06/07 et le 11/07. Les plus faibles (proches de 15°C) sont relevées sur les journées du 09/07 et 10/07.

## DJU18



Les degrés jours unifiés sont très faibles sur cette campagne. Les plus élevés ont été enregistrés entre le 06/07 et le 11/07 et atteignent au maximum 7.

## Pression atmosphérique



Les pressions atmosphériques sont restées stables.

## Bilan des conditions météorologiques

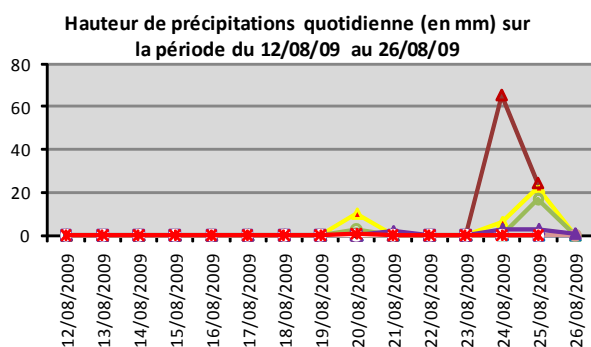
La période du 06/07 au 11/07 de cette campagne présente les conditions les plus propices à l'accumulation des poussières fines. En effet, elle a des températures très basses pour la saison et des conditions de précipitations très faibles sur l'ensemble des sites hormis Maiche. Les conditions de pression et d'humidité relative sont restées stables tout au long de la campagne.

### Légende :



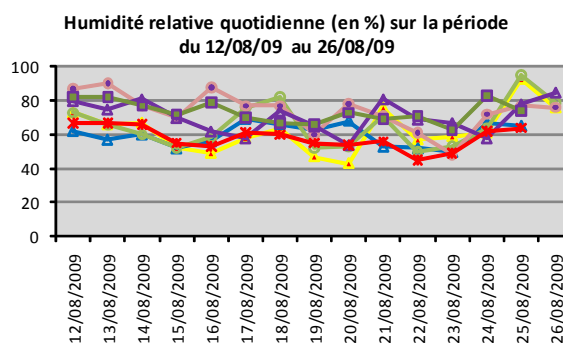
## Conditions météorologiques de la campagne C2B :

### Précipitations



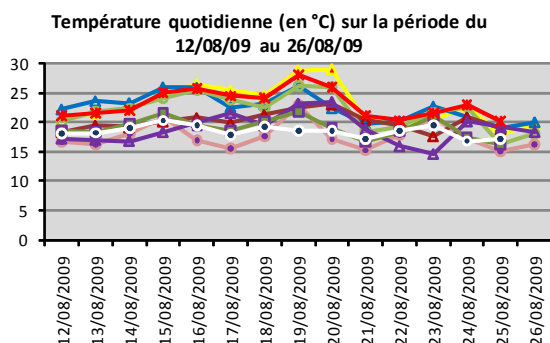
Les précipitations ont été très faibles, quasi-nulles jusqu'au 24/08 sauf à Martres le 20/08 (10,2mm). Une activité orageuse se manifeste à partir du 24 du Périgord au nord des Alpes. Ainsi, on note 65,2mm de pluie le 24/08 à Lescheraines puis environ 20mm le 25/08 sur Martres, Eymoutiers et Lescheraines.

### Humidité relative



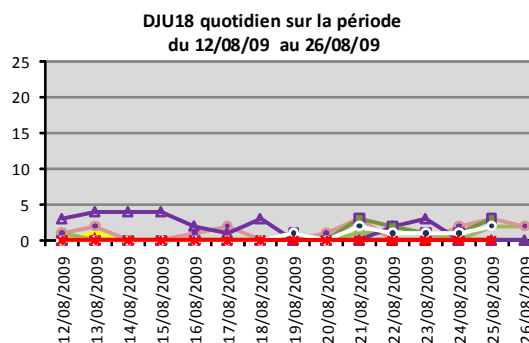
L'humidité relative est très variable (comprise entre 43% et 95%). Elle tend légèrement à la baisse entre le 12/08 et le 23/08, pour augmenter rapidement sur les trois derniers jours.

### Température



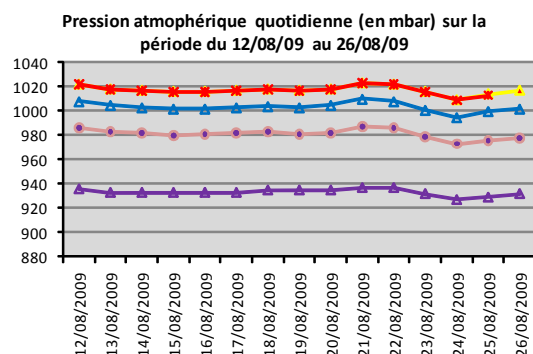
Les températures moyennes varient entre 15 et 25°C sur le début de la campagne et tendent à la hausse jusqu'au 20/08. Les températures les plus élevées sont enregistrées sur les journées du 19/08 et du 20/08 (entre 20 et 30°C). A partir du 21/08, les températures diminuent pour retourner dans un intervalle similaire à celui de début de campagne.

### DJU18



En accord avec des conditions de températures estivales, proches de 20°C, les degrés jours unifiés enregistrés sont très faibles. Ils atteignent au maximum 4.

### Pression atmosphérique

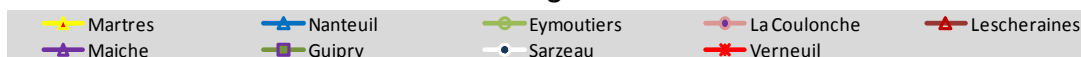


Les pressions atmosphériques restent stables jusqu'au 23/08, puis chutent d'environ 15 mbar le 24/08 avec l'entrée d'un thalweg par l'Ouest du pays.

### Bilan des conditions météorologiques

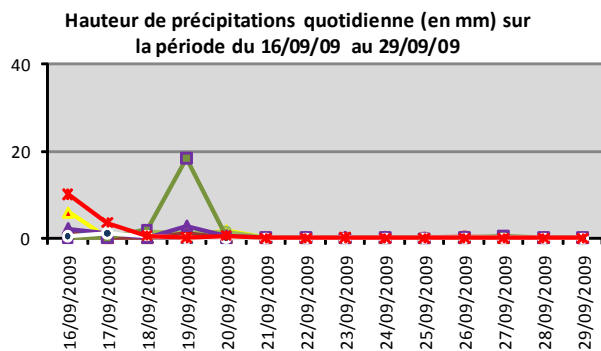
Les conditions météorologiques sont restées chaudes et sèches du 12/08 au 23/08 puis une situation très instable se met en place entre le 24/08 et le 26/08. On observe une activité orageuse sur le centre de la France mais également une baisse des pressions et une augmentation de l'humidité relative sur l'ensemble des sites.

#### Légende :



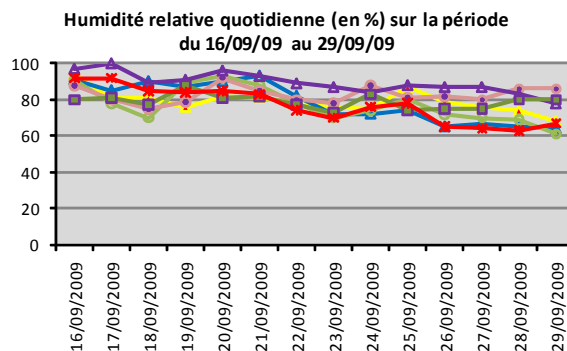
## Conditions météorologiques de la campagne C3 :

### Précipitations



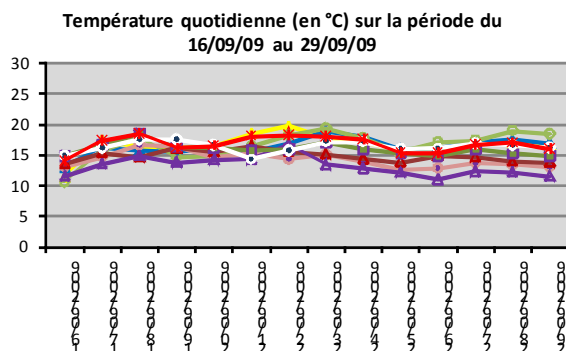
On relève au maximum 3 jours de précipitations supérieures à 1 mm. Les précipitations les plus élevées ont été enregistrées à Verneuil et à Les-Martres-de-Veyres en début de la semaine, notamment le 16/09 (respectivement 10 mm et 6mm), et à Guipry en milieu de semaine le 19/09 (18,5 mm). Sinon, les précipitations restent faibles (au maximum 4mm sur une journée).

### Humidité relative



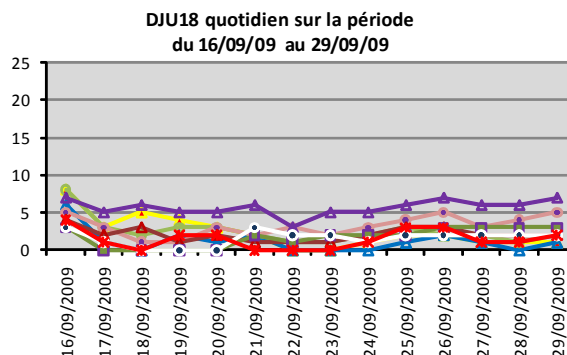
On remarque que l'humidité relative est plus élevée, proche de 90%, sur les journées du 16/09 et du 20/09 (environ 90%), et plus faible, proche de 80%, sur les journées du 18/09 et du 22/09. Sur les autres journées, elle approche 85%.

### Température



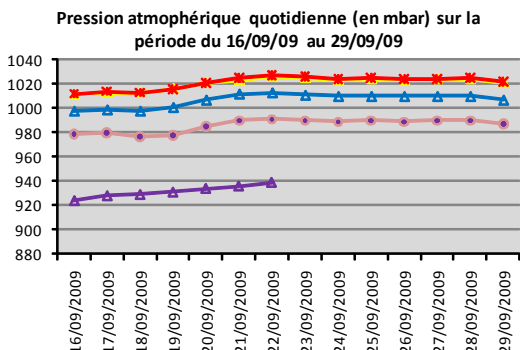
Les températures sont restées relativement stables avec une légère hausse en début de semaine. En effet, la première journée a été la plus froide de la semaine avec une moyenne autour de 13°C, tandis que cette moyenne avoisine les 16°C sur le reste de la semaine.

### DJU18



Les degrés jours unifiés les plus élevés ont été relevés sur la journée du 16/09. Sur le reste de la semaine, les DJU restent globalement stables, avec un maximum de 6 à Maiche le 21/09. Le dernier jour relève les DJU les plus faibles.

### Pression atmosphérique

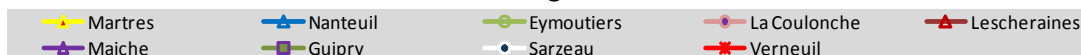


La pression atmosphérique est plus ou moins élevée selon l'altitude des sites mais elle présente, pour tous les sites, une légère hausse sur l'ensemble de la semaine.

### Bilan des conditions météorologiques

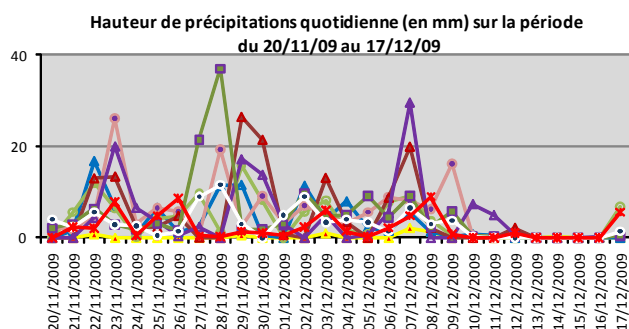
Sur l'ensemble de la campagne, les températures sont relativement stables, avec une moyenne autour de 16°C et les précipitations restent très localisées, comme c'est le cas pour Guipry le 19/09 (18,5mm), et faibles le reste du temps. Ces conditions météorologiques sont moyennement propices à l'accumulation des poussières fines dans l'atmosphère.

### Légende :



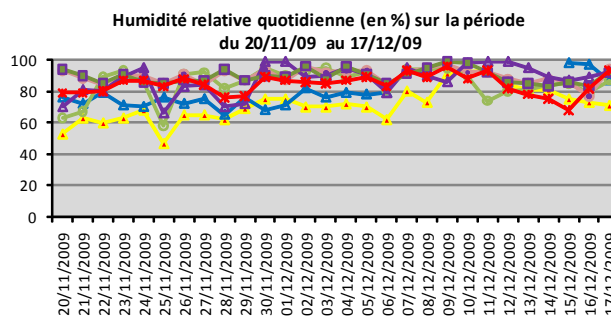
## Conditions météorologiques de la campagne C4:

### Précipitations



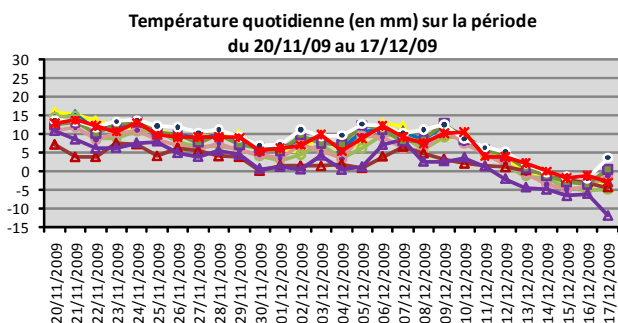
Martres et Verneuil relève des précipitations très faibles. Sur les autres sites, on distingue 3 gros épisodes :  
 - Du 22/11 au 23/11 (12,1 mm à 26,2mm): sur Nanteuil Eymoutiers, Lescheraines le 22/11 puis La Coulonche, Lescheraines et Maiche le 23/11.  
 - Du 27/11 au 30/11 avec des précipitations se déplaçant de l'ouest vers l'est du pays. La hauteur maximale relevée est de 37mm à Guipry le 28/11.  
 - Le 7/12 uniquement sur l'est de la France : Lescheraines (29,6mm) et Maiche (19,9mm).

### Humidité relative



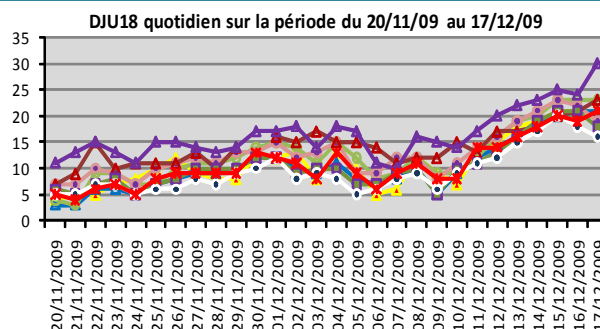
L'humidité relative est assez élevée, supérieurs à 60% sur la majeure partie de la campagne. Les valeurs les plus faibles ont été relevées sur les journées du 10/11 et du 25/11, avec des valeurs proches 45% sur le site de Martres.

### Température



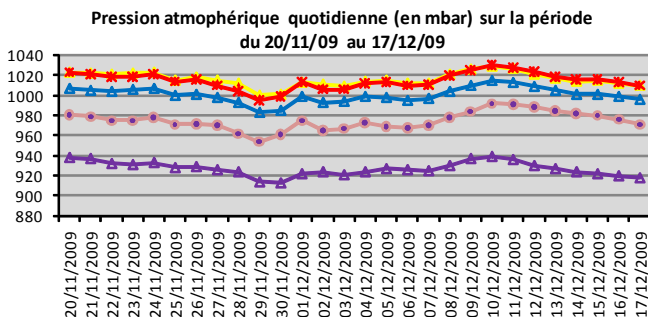
Avant le 10/12, les températures moyennes sont comprises entre 0 et 15°C et montrent une légère tendance à la baisse. Cette baisse s'accroît après le 10/12, jusqu'à la fin de la campagne. Les températures moyennes deviennent négatives sur les 4 à 5 derniers jours de la campagne, selon les sites.

### DJU18



Les degrés jours unifiés sont anti-corrélés avec les températures et montrent donc une légère tendance à la hausse avant le 10/11. Sur cette période, la valeur maximale relevée est de 18 DJU. Cette tendance à la hausse s'accroît après le 10/12 avec des DJU proches de 25 voire même 30 sur la fin de la campagne.

### Pression atmosphérique



Les pressions atmosphériques présentent une baisse de 25 mbar autour du 29/11 et une hausse de 10 mbar autour du 10/12 mais elles restent stables le reste du temps.

### Bilan des conditions météorologiques

Les conditions de précipitations ont été très variables suivant les sites. On relève 3 gros épisodes de précipitations dont un, entre le 27/11 et le 30/11, qui concerne la quasi-totalité des sites.

La période du 10/12 au 17/12 présente les conditions météorologiques les plus propices à l'accumulation des polluants liés à la combustion du bois, puisque les températures sont très basses, les DJU très élevés et les précipitations quasi-absentes.

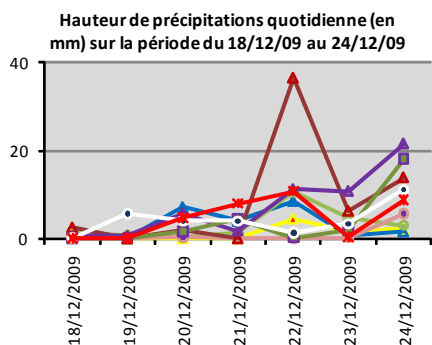
#### Légende :



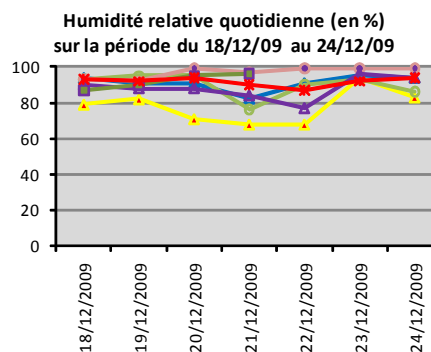
## Conditions météorologiques de la campagne C5:

### Précipitations

### Humidité relative

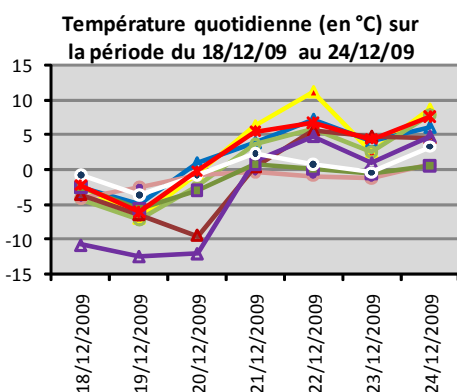


Les précipitations ont été très faibles sur le début de campagne et augmentent à partir du 22/12, pour atteindre environ 20mm sur le dernier jour. On note un épisode particulier de précipitations sur le site de Lescheraines le 22/12 (36,6mm).



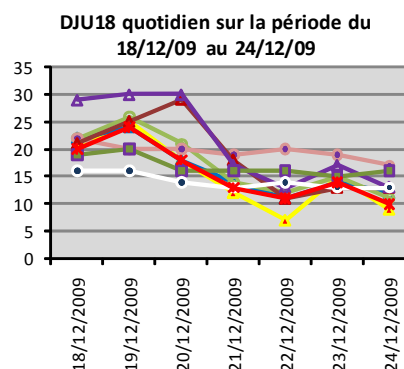
L'humidité relative est élevée sur l'ensemble de la campagne avec des valeurs supérieures à 70% sur l'ensemble des sites.

### Température



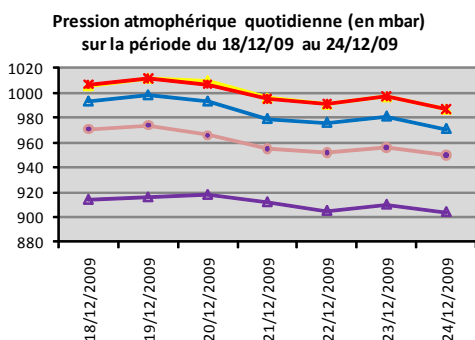
Les températures moyennes sont froides (pour la plupart inférieures à 0°C) sur le début de campagne et deviennent plus clémentes à partir du 21/12.

### DJU18



Les degrés jours unifiés sont plus élevés sur les trois premiers jours avec des valeurs proches de 25 voire 30 sur l'est de la France, puis diminuent à partir du 21/12.

### Pression atmosphérique

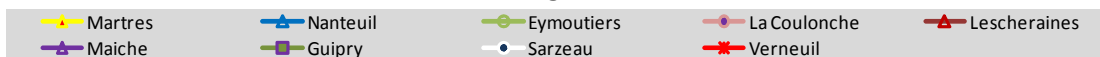


La période du 18/12 au 20/12 présente les conditions météorologiques les plus propices à l'accumulation des polluants liés à la combustion du bois. En effet, elle relève de basses températures (inférieure à la normale du mois de décembre), des DJU élevés (proche de 25) et de très faibles précipitations.

Après le 21/12, les conditions météorologiques changent : des perturbations pluvieuses se mettent en place sur de nombreux sites et les températures moyennes deviennent plus clémentes.

Les pressions montrent une tendance générale à la baisse sur l'ensemble de la campagne.

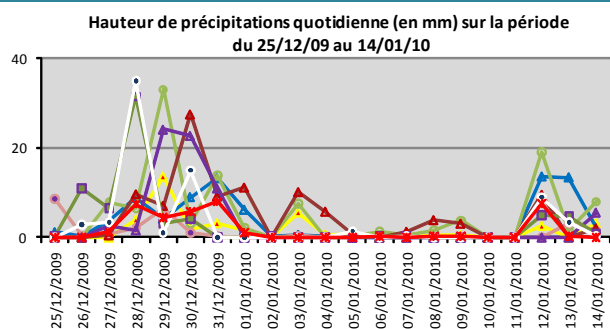
### Légende :





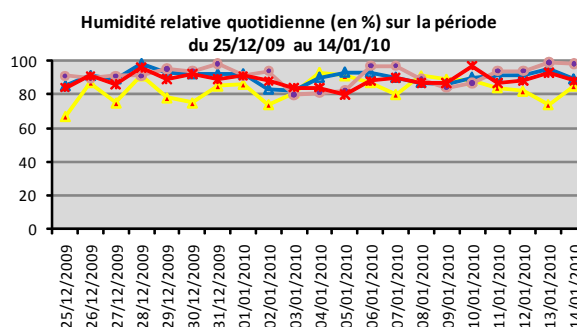
## Conditions météorologiques de la campagne C6:

### Précipitations



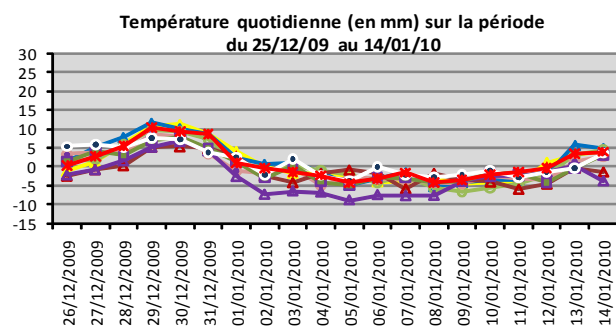
On relève 2 principaux épisodes de précipitations :  
 - Du 28/12 au 31/12 : de l'ouest vers l'est de la France. Les valeurs les plus élevées sont 31,5mm à Guipry le 28/12, 35mm à Sarzeau le 28/12 et 33,1mm à Eymoutiers le 29/12.  
 - du 12/01 au 13/01 : à Nanteuil (environ 13mm sur les 2 jours) et Eymoutiers (19mm le 12/01)

### Humidité relative



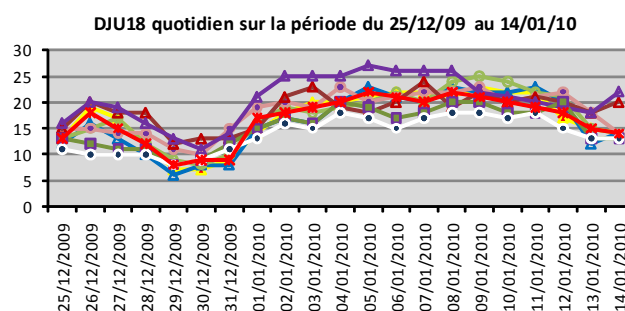
L'humidité relative est élevée sur l'ensemble de la campagne avec des valeurs comprises entre 70% et 100% sur l'ensemble des sites.

### Température



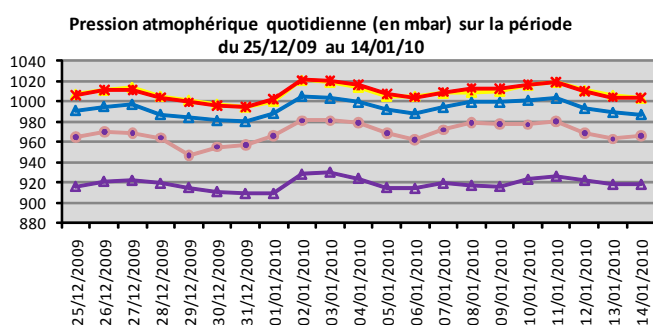
Sur le début de la campagne, les températures sont fraîches (entre 0 et 10°C) puis chutent à partir du 01/01. A partir de cette date commence alors une longue période de froid qui s'achève le 12/01. Les températures remontent légèrement sur les deux derniers jours.

### DJU18



Les degrés jours unifiés diminuent la première semaine. Les valeurs passent de 15 vers des valeurs de l'ordre de 10. Puis après le 01/01, commence une longue période de valeurs très élevées, proches de 20 qui s'achève le 12/01.

### Pression atmosphérique



Sur la première semaine de la campagne, les conditions météorologiques sont fraîches et très arrosées, notamment entre le 28/12 et le 31/12. Entre le 01/01 et le 12/01, les conditions deviennent froides et peu arrosées. Cette longue période de froid, qui perdure sur 12 jours, est très propice à l'accumulation des polluants liés à la combustion du bois.

On note trois périodes de dépressions atmosphériques d'environ 15mbar : entre le 28/12 et le 01/01, entre le 05/01 et le 06/01 et sur les deux derniers jours de la campagne.

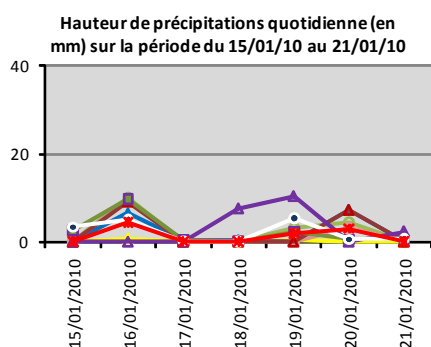
### Légende :



## Conditions météorologiques de la campagne C7:

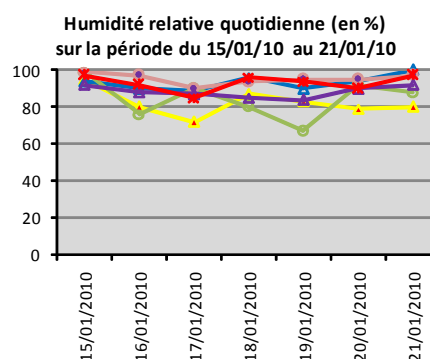


## Précipitations



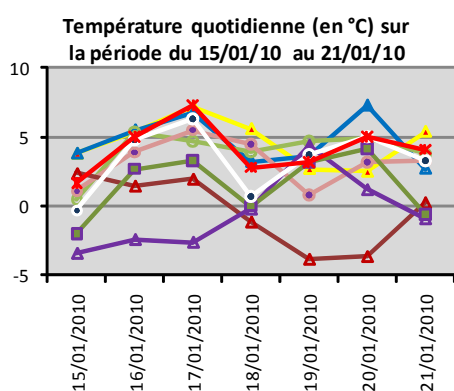
Les précipitations sont très faibles, avec un cumul total inférieur à 20mm sur l'ensemble des sites. Les valeurs quotidiennes les plus élevées sont de l'ordre de 10mm, comme à Eymoutiers, Guipry, La coulouche et Lesecheraine le 16/01 et à Maiche le 19/01.

## Humidité relative



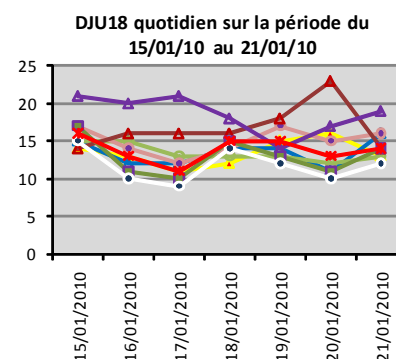
L'humidité relative est élevée sur l'ensemble de la campagne avec des valeurs comprises entre 70 et 100%.

## Température



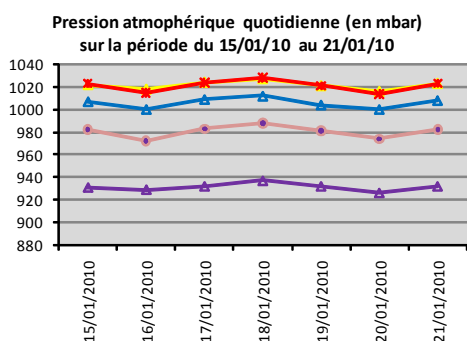
Les températures moyennes restent fraîches (entre -5 et 10°C) tout au long de la campagne. On relève des températures négatives sur l'est de la France : A Maiche du 15/01 au 18/01 et à Lescheraines du 19/01 au 20/01.

## DJU18



Les degrés jours unifiés restent globalement stables et assez élevés sur la campagne. On note des DJU plus élevés, proches de 20, sur le site de Maiche les 3 premiers jours puis, sur le site de Lescheraines le 20/09.

## Pression atmosphérique

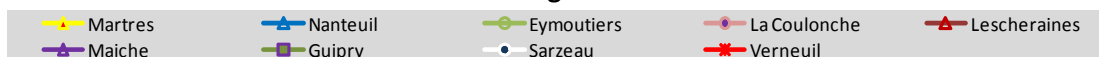


Les pressions atmosphériques restent stables sur l'ensemble de la campagne.

## Bilan des conditions météorologiques

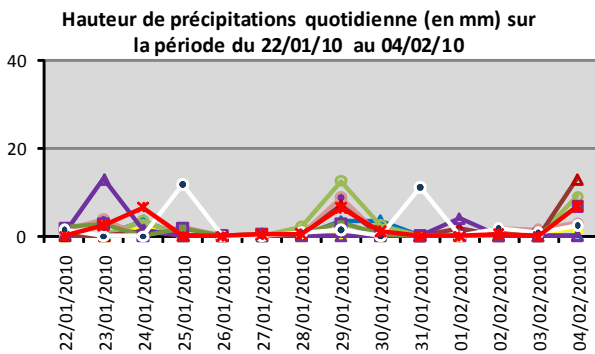
Les conditions météorologiques restent fraîches et peu arrosées sur l'ensemble de la campagne, donc moyennement propices à l'accumulation des polluants liés à la combustion du bois.

### Légende :



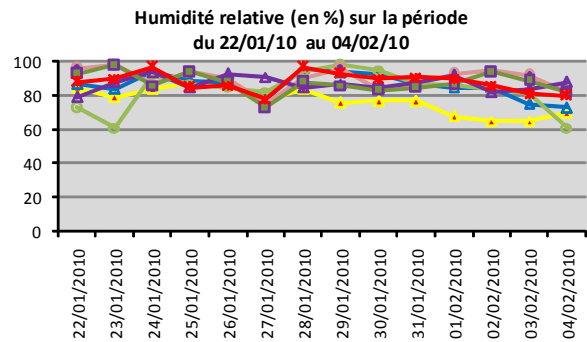
## Conditions météorologiques de la campagne C8:

### Précipitations



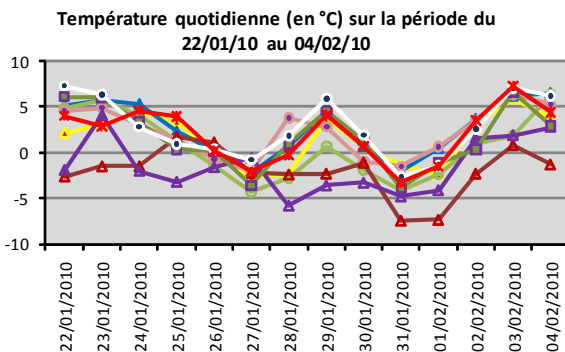
Les précipitations sont relativement faibles sur l'ensemble de la campagne avec des cumuls atteignant au maximum 31,6 mm. Les précipitations les plus élevées (autour de 12 mm) ont été enregistrées : le 23/01 à Maiche, le 25/01 et 31/01 à Sarzeau, le 29/01 à Eymoutiers et le 04/02 à Lescheraines.

### Humidité relative



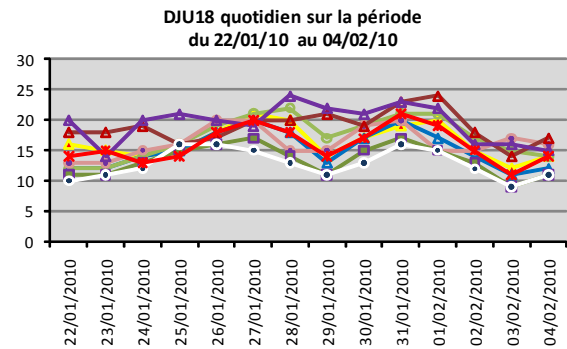
L'humidité relative est élevée sur l'ensemble de la campagne avec des valeurs comprises entre 65% et 100%.

### Température



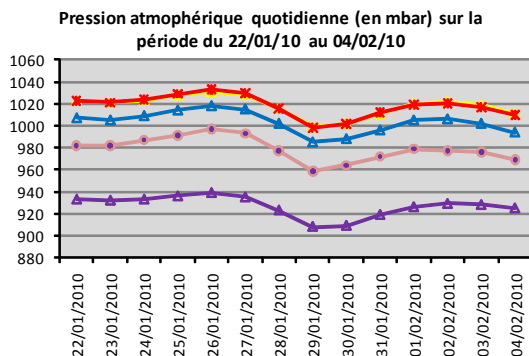
Les températures moyennes varient entre -7°C et 7°C sur l'ensemble de la campagne. Les températures les plus basses ont été relevées le 21/01, le 26/01 et le 31/01 avec des températures moyennes négatives sur l'ensemble des sites.

### DJU18



Les valeurs de DJU restent assez élevées tout au long de la campagne mais on relève deux périodes avec des valeurs un peu plus élevées, proche de 25 : du 26/01 au 27/01 et du 31/01 au 01/02.

### Pression atmosphérique



Les pressions atmosphériques restent stables jusqu'au 26/01, puis chutent d'environ 35 mbar le 29/02 et le 30/02 pour remonter doucement sur la fin de la campagne

### Bilan des conditions météorologiques

Les conditions météorologiques sont relativement instables notamment à partir du 25/01 où l'on note une succession de périodes fraîches et un peu arrosées et de périodes froides et sèches.

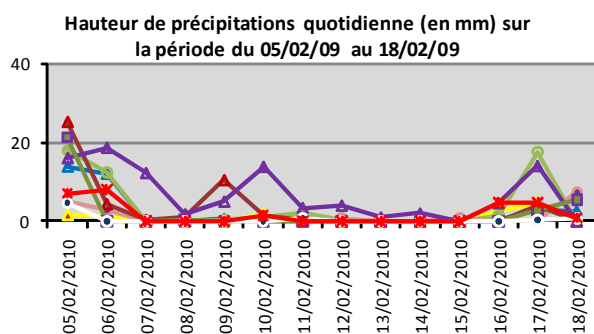
Ces dernières, plus propices à l'accumulation des polluants, surviennent entre le 26/01 et le 27/01 et entre le 31/01 et le 01/02.

### Légende :



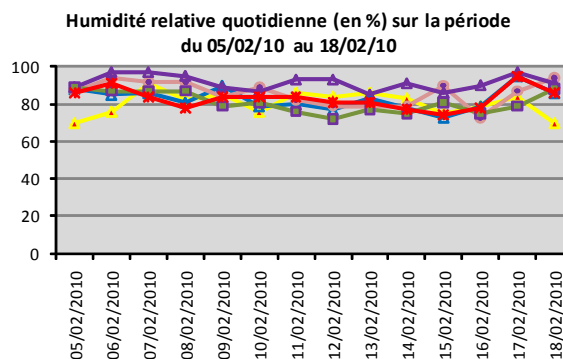
## Conditions météorologiques de la campagne C9:

### Précipitations



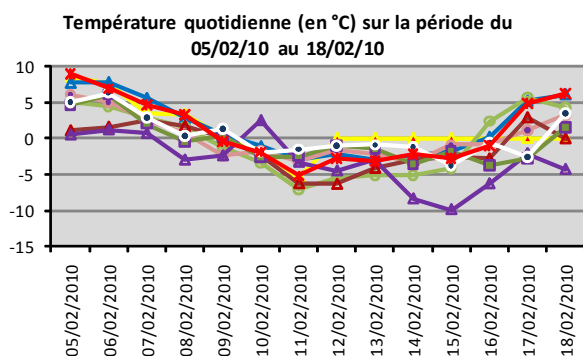
Les précipitations sont assez abondantes du 05/02 au 06/02. Les valeurs maximales relevées sont : 25,3mm à Lescheraines le 05/02 et 18,5mm à Maiche le 06/02. On relève également d'autres valeurs plutôt élevées (environ 17mm) : le 09/02 à Lescheraines, 10/02 Maiche et le 17/02 à Maiche et Eymoutiers.

### Humidité relative



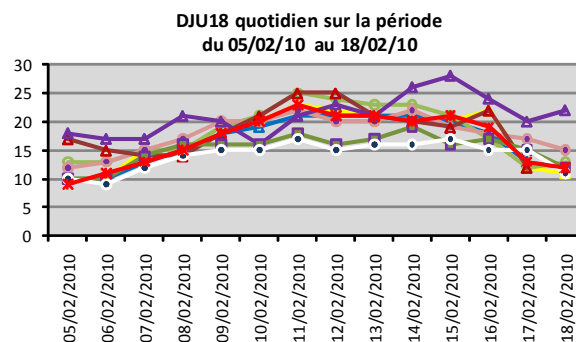
L'humidité relative est élevée sur l'ensemble de la campagne avec des valeurs supérieures à 70%.

### Température



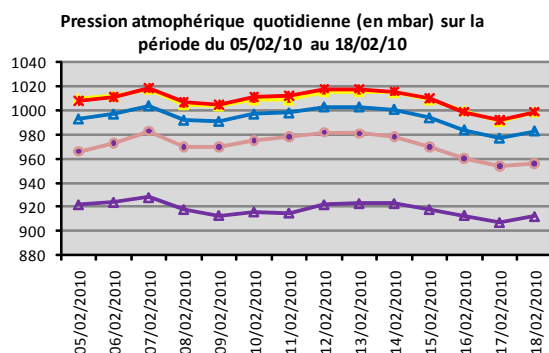
Les températures ont été fraîches (entre 0 et 10°C) en début et fin de campagne avec une période intermédiaire froide (entre 0 et -10°C) du 10/02 au 15/02. La plus basse température est de -9,9°C à Maiche le 15/02.

### DJU18



Les degrés jours unifiés augmentent jusqu'au 10/02, pour atteindre des valeurs proches de 25°C notamment sur l'est de la France, puis tend vers la baisse après le 15/02.

### Pression atmosphérique



Les pressions atmosphériques restent quasi-stables jusqu'au 07/02, puis chutent d'environ 15mbar. Elles reviennent doucement au même niveau initial de début de campagne vers le 13/02 avant de connaître une dépression de 30 mbar le 17/02.

Les conditions météorologiques sont fraîches et assez bien arrosées en début et fin de la campagne. La période du 10/02 au 15/02 est quant à elle favorable à l'accumulation des polluants liés à la combustion du bois. Elle relève en effet des conditions météorologiques plutôt froides et sèches sur la plupart des sites.

### Légende :



## Synthèse sur les conditions météorologiques :

	<b>Période propice à l'accumulation des polluants</b>	<b>Période moyennement propice à l'accumulation des polluants</b>	<b>Période favorable à la dispersion des polluants</b>
<b>En période hivernale (C1 et C4 à C9)</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>- 10/12/09 au 20/12/09 (C4&amp;5)</li><li>- 01/01/10 au 11/01/10 (C6)</li><li>- 26/01/10 au 27/01/10 (C8)</li><li>- 31/01/10 au 01/02/10 (C8)</li><li>- 10/02/10 au 15/02/10 (C9)</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>- 13/02/09 au 26/03/09 (C1)</li><li>- 15/01/10 au 25/01/10 (C7&amp;8)</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>- 20/11/09 au 09/12/09 (C4)</li><li>- 21/12/09 au 31/12/09 (C5&amp;6)</li><li>- 12/01/10 au 14/01/10 (C6)</li><li>- 28/01/10 au 30/01/10 (C8)</li><li>- 02/02/10 au 09/02/10 (C8&amp;9)</li><li>- 16/02/10 au 18/02/10 (C9)</li></ul>
<b>Période estivale (C2, C2B et C3)</b>		<ul style="list-style-type: none"><li>- 16/09/09 au 29/09/09 (C3)</li><li>- 06/07/09 au 11/07/09 (C2)</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>- 01/07/09 au 05/07/09 (C2)</li><li>- 13/07/09 au 14/07/09 (C2)</li><li>- 12/08/09 au 26/08/09 (C2B), notamment du 24 au 26</li></ul>