

# CAMPAGNE

## DE MESURES TEMPORAIRES

---

*Du 4 mars au 3 juin 2003*

### EVALUATION DE LA QUALITE DE L'AIR AMBIANT DANS LE SECTEUR DE GARDANNE/SIMIANE

**EN LIAISON AVEC L'ACTIVITE D'ALUMINIUM  
PECHINEY**



Date de publication : novembre 2003



Référence dossier : 02-04-Péchiney gardanne-dr-lp09

Surveillance de la qualité de l'air de l'Est des Bouches-du-Rhône, du Var et du Vaucluse  
67-69, avenue du Prado ; 13 286 Marseille Cedex 6 – Tel : 04 91 32 38 00 – Fax : 04 91 32 38 29 – Internet : [www.airmaraix.com](http://www.airmaraix.com) – Serveur téléphonique : 04 91 32 6 327

# SOMMAIRE

## **Chapitre I : Présentation du domaine d'étude et des moyens mis en œuvre**

<b>I-</b>	<b>Objectifs de l'étude</b>	<b>3</b>
<b>II-</b>	<b>Principales retombées attendues de l'étude</b>	<b>3</b>
<b>III-</b>	<b>Nom et qualité des intervenants</b>	<b>3</b>
<b>IV-</b>	<b>Polluants pris en compte et moyens d'évaluation</b>	<b>4</b>
<b>V-</b>	<b>Moyens de mesures</b>	<b>5</b>
<b>VI-</b>	<b>Stratégie d'échantillonnage</b>	<b>7</b>

## **Chapitre II - Résultats**

<b>I-</b>	<b>Conditions météorologiques observées à Aix les Milles – site de Météo-France durant les périodes P2003, P1, P2 et P3</b>	<b>10</b>
<b>II-</b>	<b>Niveaux mesurés pendant la campagne et évaluation des teneurs annuelles</b>	<b>11</b>
	<b>II-1- Particules en suspension inférieures à 10 µm (PM10)</b>	<b>11</b>
	<b>II-2- Dioxyde de soufre – SO<sub>2</sub></b>	<b>19</b>
	<b>II-3- Dioxyde d'azote – NO<sub>2</sub></b>	<b>19</b>
	<b>II-4- Monoxyde de carbone – CO</b>	<b>20</b>
<b>III-</b>	<b>Particules sédimentables et analyse chimique des particules - CEREGE</b>	<b>21</b>
	<b>III-1- Flux de particules sédimentables (analyse massique)</b>	<b>23</b>
	<b>III-2- Granulométrie des particules sédimentables</b>	<b>25</b>
	<b>III-3- Composition minéralogique des particules sédimentables</b>	<b>27</b>
	<b>III-4- Microscopie électronique à balayage sur les particules sédimentables</b>	<b>30</b>
<b>IV-</b>	<b>Composition chimique des PM10 – métaux lourds - CEREGE</b>	<b>28</b>
<b>V-</b>	<b>Etude de quelques épisodes remarquables</b>	<b>30</b>

## **Synthèse et conclusion**

# **Chapitre I : Présentation du domaine d'étude et des moyens mis en œuvre**

## **I- Objectifs de l'étude**

La surveillance de la qualité de l'air dans la zone de Gardanne par Airmaraix est relativement ancienne (1982). Ces dernières années la baisse des niveaux de dioxyde de soufre dans ce secteur, a entraîné une baisse du nombre de stations permanentes de la zone. Cette baisse est à mettre en relation avec les aménagements réalisés par les principaux industriels du secteur pour limiter les émissions (augmentation de la hauteur des cheminées, unités de dépollution, utilisation de combustibles moins soufrés...).

L'objectif de cette étude est d'évaluer la qualité de l'air dans l'environnement du site d'Aluminium Péchiney, notamment les teneurs des particules en suspension et sédimentables. Les composés de nature sodique ne sont pas intégrés dans cette étude.

Elle est réalisée en partenariat avec Aluminium Péchiney, la mairie de Gardanne et le CEREGE.

## **II- Principales retombées attendues de l'étude**

- Evaluation des principaux paramètres atmosphériques normalisés dans l'air ambiant, notamment les risque de dépassement de norme.
- Evaluer les teneurs en particules sédimentables et en suspension, en essayant d'identifier celles issues de l'activité d'Aluminium Péchiney.

## **III- Nom et qualité des intervenants**

### **Personnel Airmaraix**

<b>Dominique Robin</b>	Adjoint au Directeur – coordination du projet
<b>Alexandre Armengaud</b>	Ingénieur – en charge des travaux de modélisation
<b>Grégory Gille</b>	Technicien supérieur – responsable de la gestion technique de la campagne

### **Partenaire scientifique**

<b>Yves Noack</b>	Directeur de recherche au CNRS – analyse des particules
<b>Monsieur Bourdon</b>	Stage de DESS

### **Sous traitant et achat de données**

<b>Fourniture des données météorologiques</b>	Météo-France /LMD
<b>Maintenance des analyseurs</b>	CETE APAVE Sud

## IV- Polluants pris en compte et moyens d'évaluation

### IV-1- Les oxydes d'azote (NO, NO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>)

C'est le monoxyde d'azote (NO) qui est émis à la sortie du pot d'échappement, il est ensuite oxydé en quelques dizaines de secondes pour former le dioxyde d'azote (NO<sub>2</sub>).

- Les principaux effets du NO<sub>2</sub> sur la santé sont une altération de la fonction respiratoire en particulier chez l'enfant, une hyper réactivité bronchique chez l'asthmatique et des troubles de l'immunité du système respiratoire.
- Il joue également un rôle dans les processus photochimiques et les pluies acides.

---

#### Valeurs de référence pour le NO<sub>2</sub> :

- Décret du 15 février 2002
  - La valeur limite européenne annuelle est de **40 µg/m<sup>3</sup> à l'échéance 2010** (Directive européenne du 22 avril 1999).
  - Norme horaire limite : **200 µg/m<sup>3</sup> à ne pas dépasser plus de 18 jours par an**
- OMS : La recommandation annuelle de l'OMS est de 40 µg/m<sup>3</sup> (Guideline for Air quality 1999).
- PRQA de la région PACA : Seuil de **135 µg/m<sup>3</sup>** sur 1 heure à ne pas dépasser plus de **17 jours par an**.

#### Valeur de référence pour les oxydes d'azote (NO<sub>x</sub>) :

- Décret du 15 février 2002 : Charge critique pour les écosystèmes : **30 µg/m<sup>3</sup>/an**.
- 

### IV-2- Le monoxyde de carbone (CO)

Ce composé est principalement émis par les véhicules dans les situations congestionnées (feux tricolores, rues embouteillées...). Il résulte d'une combustion incomplète du carburant.

---

#### Valeurs de référence pour le CO

- Décret du 15 février 2002
  - Valeur limite sur 1 heure : 30 mg/m<sup>3</sup>
  - Valeur limite sur 8 heures : 10 mg/m<sup>3</sup>.

### IV-3- Les PM<sub>10</sub> (concentration massique des particules < 10 µm)

Les particules en suspension inférieures à 10 µm constituent la fraction inhalable. Ces particules sont émises par de nombreuses activités : transport, industrie, érosion naturelle. Pour information, les particules rejetées par les véhicules diesels sont inférieures à 1 µm. En situation urbaine, les PM<sub>10</sub> sont majoritairement émises par le transport.

---

#### Valeurs de référence pour les PM<sub>10</sub>

- Décret du 15 février 2002
  - Valeur limite sur 24 heures : **50 µg/m<sup>3</sup>** à ne pas dépasser plus de 35 jours par an (applicable au 1<sup>er</sup> janvier 2005)

- Valeur limite annuelle : **40  $\mu\text{g}/\text{m}^3$**  (applicable au 1<sup>er</sup> janvier 2005).
  - Objectif de qualité annuel : **30  $\mu\text{g}/\text{m}^3$** .
- 

#### **IV-4- Le dioxyde de soufre**

Ce composé est un indicateur de la combustion des fiouls et du charbon. Il trace généralement les activités industrielles.

---

#### **Valeurs de référence pour le SO<sub>2</sub>**

➤ *Décret du 15 février 2002*

- Objectif de qualité annuel : **50  $\mu\text{g}/\text{m}^3$**
  - Valeur limite horaire à ne pas dépasser plus de 24h/an : **350  $\mu\text{g}/\text{m}^3$** .
- 

#### **IV-5- Métaux lourds**

Ces composés cumulatifs, généralement en phase particulaire dans l'air ambiant, sont surtout émis par les activités industrielles.

---

#### **Valeurs de référence pour le plomb (Pb), Cadmium (Cd), nickel (Ni)**

➤ *Décret du 15 février 2002*

- Valeur limite annuelle : **500  $\text{ng}/\text{m}^3$**

➤ *Projet de valeur cible européen*

- Nickel : **20  $\text{ng}/\text{m}^3/\text{an}$**
- Cadmium : **5  $\text{ng}/\text{m}^3/\text{an}$**

Concernant les autres composés mesurés pendant la campagne notamment l'**aluminium** aucune norme n'existe actuellement.

---

## V- Moyens de mesures

Tableau récapitulatif des moyens de mesures utilisés pendant la campagne de mesures

<i>Polluant</i>	<i>Type de mesure</i>	<i>Pas de temps</i>	<i>Matériel</i>
<i>NOx</i> <i>(NO et NO<sub>2</sub>)</i>	<i>Automatique</i>	<i>Quart horaire</i>	<i>AC31M Environnement SA</i> <i>Nox2000 SERES</i>
<i>SO<sub>2</sub></i>	<i>Automatique</i>	<i>Quart horaire</i>	<i>SF2000 SERES</i>
<i>CO</i>	<i>Automatique</i>	<i>Quart horaire</i>	<i>CO 11M Environnement SA</i>
<i>PM10</i>	<i>Automatique</i>	<i>Quart horaire</i>	<i>TEOM – R&amp;P</i>
	<i>Automatique</i>	<i>hebdomadaire</i>	<i>Partisol Pus R&amp;P</i>
<i>Particules sédimentables</i>	<i>Laboratoire</i> <i>CEREGE</i>	<i>hebdomadaire</i>	<i>Plaquette DIEM</i>
<i>Métaux lourds : Pb, Ni,</i> <i>Cd, Al, Sr, Ca, Fe</i>	<i>Laboratoire</i> <i>CEREGE</i>	<i>hebdomadaire</i>	<i>Préleveur : Partisol Pus</i> <i>R&amp;P</i> <i>Analyse en ICP AOS ou</i> <i>AAS four</i>
<i>Analyse</i> <i>minéralogique :</i> <i>gibbsite, corindon,</i> <i>boehmite, quartz,</i> <i>oxyde de silicium,</i> <i>calcite</i>	<i>Laboratoire</i> <i>CEREGE</i>	<i>hebdomadaire</i>	<i>Diffraction X</i>
<i>Granulométrie des</i> <i>particules</i> <i>sédimentables</i>	<i>Laboratoire</i> <i>CEREGE</i>	<i>Hebdomadaire</i>	<i>Granulométrie</i>

Les analyseurs sont installés dans des enceintes fermées et sécurisées : cabine, camion laboratoire. Airmaraix a assuré le transport, l'installation des cabines et du matériel (analyseurs, tubes, station d'acquisition), l'étalonnage et la maintenance du matériel.

Deux types de moyens de mesures ont été mis en œuvre pendant la campagne :

- des mesures continues, avec des analyseurs automatiques sur quatre sites (pas de temps **quart horaire**) – site proche, site panache, site témoin, Gardanne Biver
- des analyses *a posteriori* en laboratoire (pas de temps généralement hebdomadaire), effectuées par le CEREGE.

## Photographie des moyens de mesures engagés pendant la campagne

(image de gauche : camion laboratoire, image de droite : préleveur de particules PM10)



## VI- Stratégie d'échantillonnage

La stratégie d'échantillonnage vise à déterminer trois points représentatifs d'environnement différents.

- **Site proche** : ce site à proximité de l'usine, sous l'influence directe de l'activité de l'usine (émissions diffuses). Une situation urbaine dans Gardanne est privilégiée, afin d'évaluer l'exposition des population directement riveraines de l'activité.
- **Site panache** : ce site à pour objet d'évaluer la qualité de l'air dans un secteur *a priori* influencé par les retombées des émissions canalisées (cheminées) d'Aluminium Péchiney.
- **Site témoin** : ce site vise à fournir les niveaux de fond de la zone, en dehors de l'activité industrielle ciblée.
- **Site Biver** : ce site a fourni les niveau de SO<sub>2</sub>. Il est localisé au Sud de l'usine Aluminium Péchiney entre le site panache et le site témoin.

### Choix d'implantation des sites

#### Site proche

L'objectif était de trouver un site sous l'influence directe **de l'activité en zone habitée**. L'analyse du réseau de surveillance de plaquettes sédimentables réalisées par Aluminium Péchiney et celle de la rose des vents a conduit à proposer une zone adjacente à l'enceinte d'Aluminium Péchiney dans Gardanne à l'Ouest. Le **site proche (SP)**, situé à quelques dizaines de mètres à l'Est de l'usine, dans le jardin de la Maison du Droit ; ce site a été équipé d'un Partisol Plus, équipé d'une tête PM10, d'une plaquette Diem et d'un collecteur de prélèvements pour les particules sédimentables et d'analyseurs de polluants gazeux (camion laboratoire).

Le site d'implantation choisi est la **maison du droit (mairie de Gardanne)**.

#### Site panache ou éloigné

Il s'agit d'installer un site sous l'influence des retombées des sources canalisées d'Aluminium Péchiney. Le modèle déterministe ADMS3 a été utilisé pour aider au positionnement des stations de mesure temporaires (aide à l'échantillonnage). L'objectif était principalement

d'évaluer la **distance et l'orientation des retombées** des émissions canalisées de l'usine Aluminium Péchiney, soit les fours de calcination de l'alumine et la chaufferie Gaz/fioul. Les polluants et en particulier les particules issues d'autres activités sur le site, généralement émis de façon diffuse, ne sont pas intégrés dans les calculs.

La prémodélisation, c'est-à-dire avant le calage qui sera réalisé après la campagne de mesure, indique des retombées liées à l'activité d'Aluminium Péchiney principalement au Sud Est sous le mistral et à l'Ouest par vent d'Est. Les retombées maximums issues des fours de calcination sont relativement proches : dans les deux premiers kilomètres. Cette modélisation permet de montrer que le site proche est choisi précédemment est à la fois influencé par les émissions diffuses de l'usine et les émissions des cheminées.

Le **site éloigné ou panache** a été équipé d'un Partisol Plus, équipé d'une tête PM10, d'une plaquette Diem, d'un collecteur de prélèvements pour les particules sédimentables et d'analyseurs de polluants gazeux (camion laboratoire).

Le site d'implantation est situé Avenue Paul Cezanne dans l'enceinte du **Garage S.M.E.R.A, proche de la médiathèque municipale de Gardanne.**

### Site témoin

- Le site témoin est installé au Sud Ouest de la zone dans un secteur de vent peu fréquent, *a priori*. L'influence d'Aluminium Péchiney était considéré comme peu probable. Ce site a été équipé d'un Partisol Plus, équipé d'une tête PM10, d'une plaquette Diem pour les particules sédimentables et d'analyseurs de polluants gazeux (cabine climatisée). Ce site a été maintenu sur l'ensemble de la campagne.

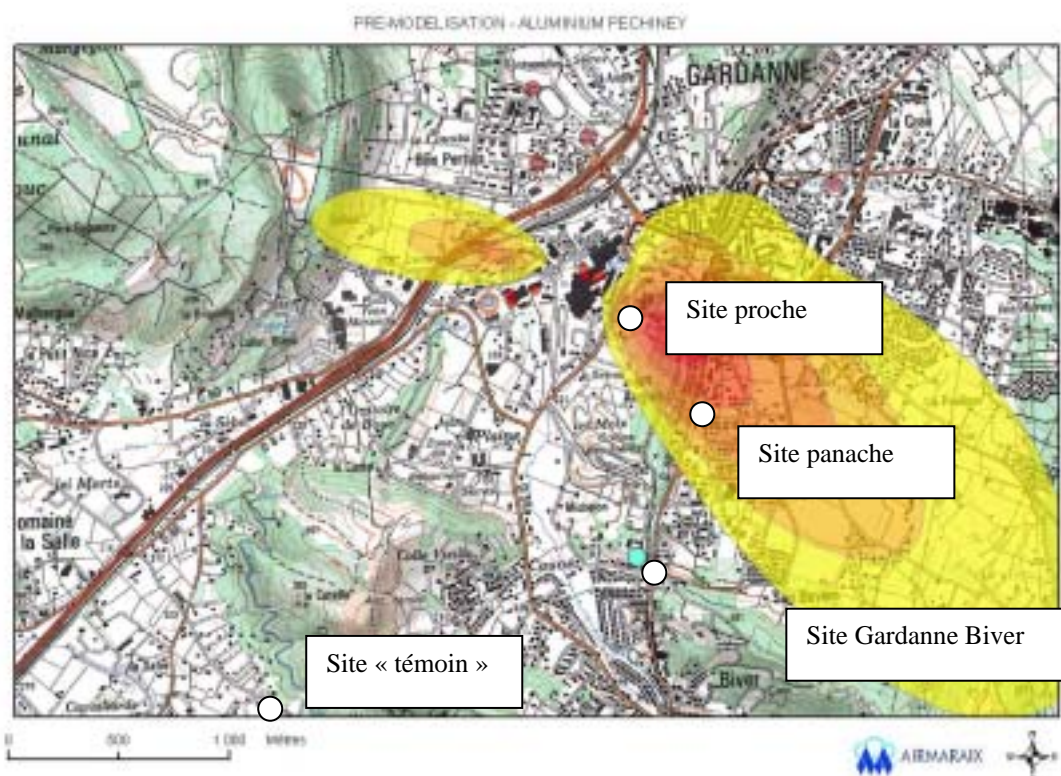
Le site choisi est : **STPR dans le quartier Gadie à Simiane-Collongues**

### Site Gardanne Biver

Il s'agit d'un site historique d'Airmaraix arrêté en fin d'année 2002. Il est réactivé pour la campagne de mesure pour le SO<sub>2</sub>.

Le site est implanté au **centre de formation HBCM à Gardanne**

**Résultat d'une pré-modélisation avec ADMS 3 du panache des fours de calcination sur l'année 2002 (paramètres d'émission fournis par Aluminium Péchiney) et sites d'échantillonnage**





**Tableau récapitulatif des sites d'échantillonnage et des périodes d'échantillonnage**

site	Moyen	Description sommaire	Paramètres mesurés	Période de mesure
<b>Site proche</b>	Camion laboratoire	Site proche de l'usine sous les retombées des particules caractéristiques de l'activité d'Aluminium Péchiney (roulage, stockage, manutention...) sous les vents d'Ouest, Nord Ouest <b>Adresse : Maison du droit Quartier Mistral - Gardanne</b>	Dioxyde de soufre Monoxyde de carbone Concentration massique des PM10	04/03 au 10/04
<b>Site panache</b>	Camion laboratoire	Site sous le panache le plus probable en flux de Nord Ouest (pré-modélisation) Garage, proche de la médiathèque <b>Adresse : AD Garage S.M.E.R.A. : Id Font du Roy bd Paul Cézanne - Gardanne</b>	Oxydes d'azote Monoxyde de carbone Concentration des particules sédimentables	14/04 au 03/06
<b>Site témoin</b>	Cabine climatisée - Test	Site a priori peu influencé par l'activité sous les flux de Nord Est peu fréquents <b>Adresse : STPR : Quartier Gadie Simiane-Collongues</b>	Niveaux en métaux lourds (Al, Pb, Ni, Cd) dans les PM10 et les particules sédimentables	12/03 au 28/5/2003
<b>Site Biver</b>	Pièce climatisée	centre de formation HBCM Biver	SO <sub>2</sub>	12/03 au 3/06

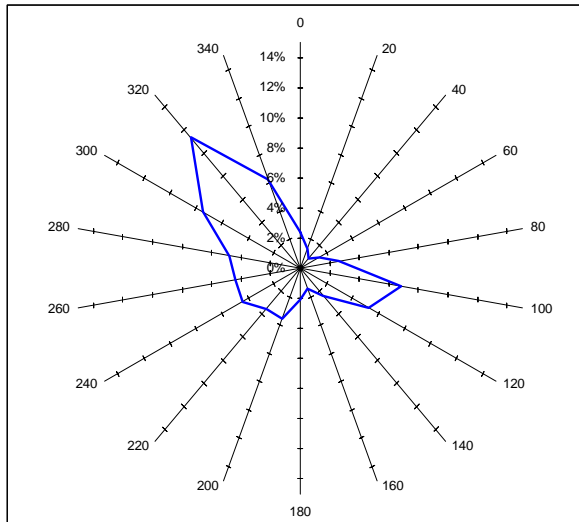
**Tableau récapitulatif des périodes d'échantillonnage (ANNEXE I)**

Période	Sites échantillonnés	Dates
<b>P1</b>	<b>Proche Biver</b>	04/03 au 10/04
<b>P2</b>	<b>Panache Biver</b>	14/04 au 03/06
<b>P3</b>	<b>Témoin</b>	12/03 au 28/5/2003
<b>P4</b>	<b>Biver</b>	12/03 au 3/06

# Chapitre II - Résultats

## I- Conditions météorologiques observées à Aix les Milles – site de Météo-France durant les périodes P2003, P1, P2 et P3

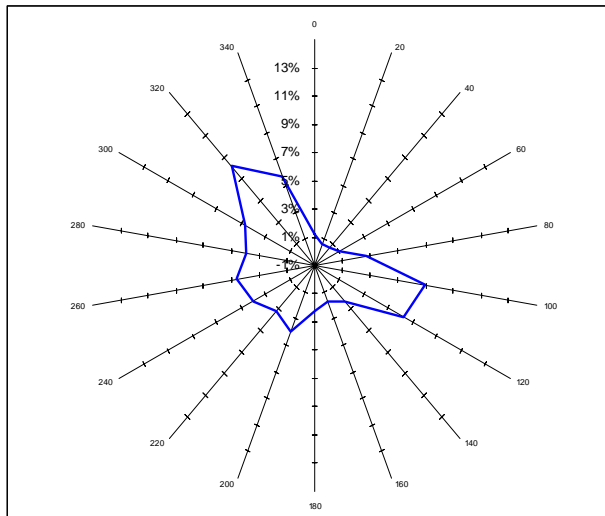
### P2003 : Rose des vents du 1<sup>er</sup> janvier au 15 juillet 2003



direction du vent en m/s	fréquence
< 1	50.1 %
Entre 1 et 4	32.1%
Entre 4 et 8	15.0%
> 8	2.9%

Nous considérerons dans ce rapport que P2003 est représentative de l'année aussi bien au niveau météorologique, que des concentrations mesurées ou évaluées.

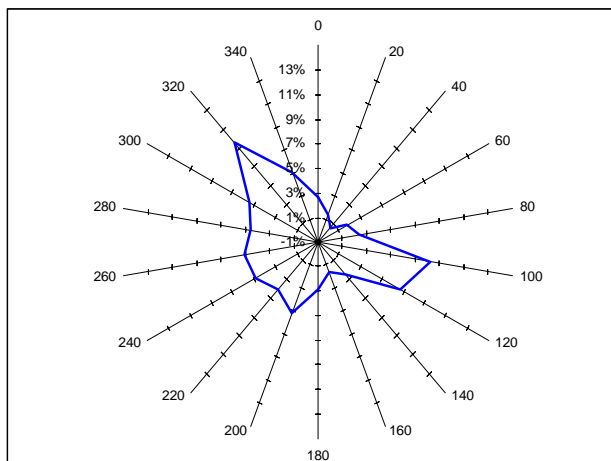
### P1 : Rose des vents du 4 mars au 10 avril 2003



direction du vent en m/s	fréquence
< 1	54.6 %
Entre 1 et 4	32.6%
Entre 4 et 8	11.3%
> 8	1.5%

Cette période est légèrement moins dispersive que P2003 (fréquence de vents faibles proche de 55 % du temps).

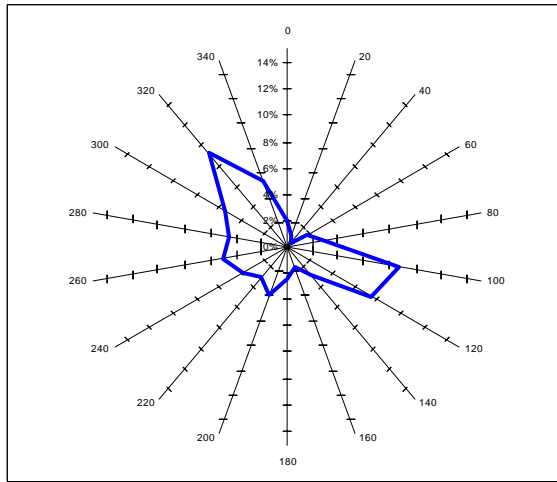
### P2 : du 14 avril au 6 juin 2003



direction du vent en m/s	fréquence
< 1	46.8 %
Entre 1 et 4	32.7%
Entre 4 et 8	17.1%
> 8	3.4%

La période P2 se caractérise par une fréquence de vents faibles inférieure à celles de P2003 et P1.

**P3 : du 12 mars au 28 mai 2003**



direction du vent en m/s	Fréquence
< 1	47.8 %
Entre 1 et 4	33 %
Entre 4 et 8	16.2 %
> 8	3 %

La période P3 est très voisine de P2003.

## II-Niveaux mesurés pendant la campagne et évaluation des teneurs annuelles

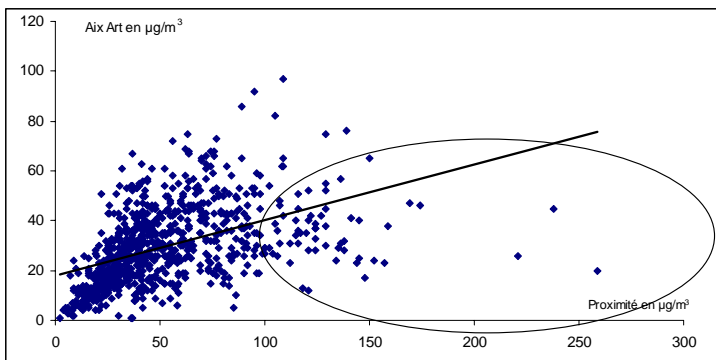
Les mesures temporaires réalisées sur les sites de proximité, panache, témoin et Gardanne Biver, nécessitent d'être relativisée pour intégrer à la fois les variations des conditions météorologiques et celles liées au fonctionnement de l'usine. L'objectif est de fournir une évaluation des niveaux annuels et des risques de dépassement des seuils de références européens.

### II-1- Particules en suspension inférieures à 10 µm (PM10)

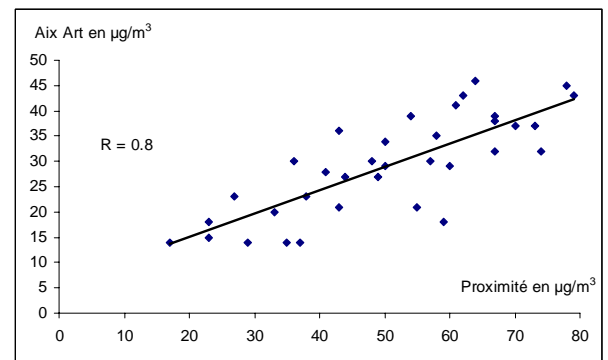
#### II-1-1- Estimation de la moyenne annuelle des PM10 (en masse)

##### II-1-1-1- Site proche

Nuage de point des données horaires (a) et journalières (b)



(a)



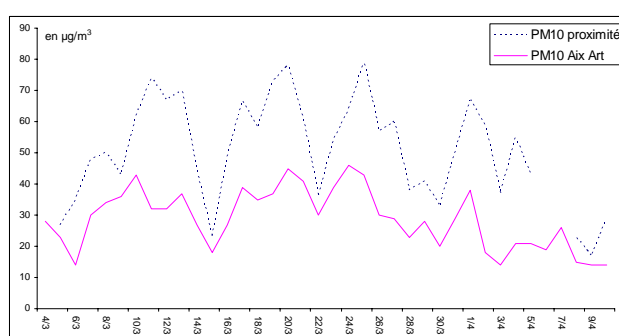
(b)

La corrélation entre les **niveaux horaires** de PM10 mesurés sur le site panache et le site Aix Art est de **0.48** (cf **graphe a**). Cette mauvaise corrélation est notamment due aux pointes horaires induites par la proximité du site Aluminium Péchiney (zonage sur le graphe ci-dessus).

En revanche, si l'on considère les **données journalières**, ces pointes horaires ont un poids moindre, et la corrélation entre les **sites devient bonne** ( $R=0.80$ ), traduisant des variations comparables dans le temps. Cette relation permet de réaliser par le calcul, pour des données agrégées, une extrapolation à l'année des niveaux de la campagne mesurés sur le site de proximité, en intégrant les variations météorologique. Le site de référence temporelle sont les sites **d'Aix Art et Aix Ouest**.

L'objectif est d'estimer les niveaux annuels de PM10 à partir des données de la campagne.

Nous estimerons que les sept premiers mois de l'année sont représentatifs de l'année 2003 :  
**P2003 du 1<sup>er</sup> janvier au 15 juillet 2003.**



**Evolution des niveaux journaliers de PM10 sur les sites de proximité et d'Aix Art pendant la période P1 (du 4 mars au 10 avril 2003)**

L'estimation de P2003 sur le site de Proximité est réalisée en deux étapes, une fois que le lien avec les sites de référence a été établi (Aix) :

- 1- calcul du rapport P1/P2003 sur les sites aixois. La moyenne est de 1.04, ce qui signifie que P1 est 4 % supérieur environ à P2003. Ce point traduit la période légèrement moins dispersive constaté dans le point I relatif aux conditions météorologiques.
- 2- Les niveaux mesurés sur le site de proximité sont minorés d'autant pour intégrer l'influence des conditions météorologiques.

$$P2003 \text{ estimé proximité} = P1 \text{ proximité} / R \text{ P1/P2003 Aix moyen}$$

$$\text{Soit } P2003 = 51/1.04 = 49 \mu\text{g/m}^3$$

**Tableau récapitulatif des niveaux mesurés et estimés de PM10 pendant P1 et P2003**

	Site témoin	Site proximité	Aix Art	Aix Ouest	
<b>P1 : Moyenne période</b>	<b>35</b>	<b>51</b>	<b>32</b>	<b>29</b>	
<b>moyenne 2002</b>	/	/	26	23	
<b>P2003 : 1/01 au 15/07/2003</b>	/	/	30	29	
<b>R P1/P2003</b>	/	/	1.07	1.00	<b>R<sub>moyen</sub> = 1.04</b>
<b>Moyenne estimée sur P2003</b>	<b>34</b>	<b>49</b>	<b>31</b>	<b>28</b>	

La teneur moyenne évaluée sur le site de proximité en ne tenant compte que de la variation des conditions météorologiques (pas les variations d'activité du site), **49 µg/m<sup>3</sup>** est proche de celle mesurée pendant la campagne P1 (**51 µg/m<sup>3</sup>**).

La valeur limite européenne ( $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$  à l'échéance 2005) en moyenne annuelle pour les PM10 est certainement dépassée dans cette zone proche de l'usine.

### Niveaux de pointe (évaluation du nombre de dépassement du seuil $50 \mu\text{g}/\text{m}^3/24 \text{ h}$ )

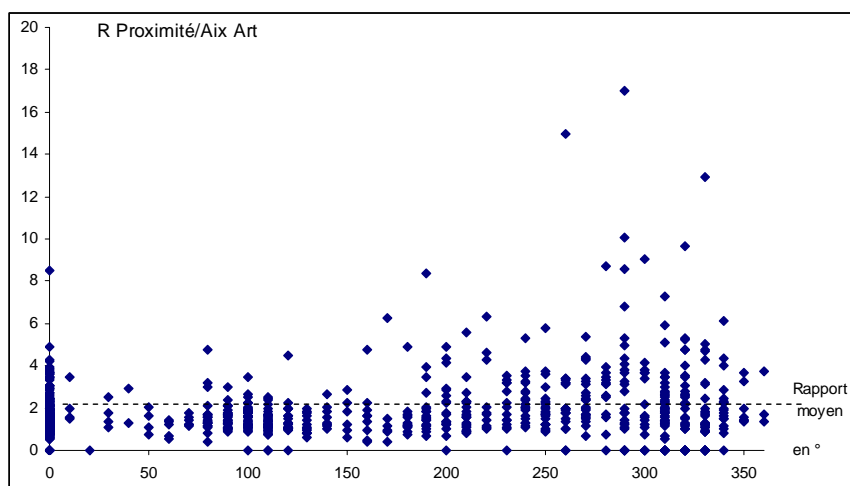
Tableau récapitulatif des niveaux de PM10 enregistrés sur le site de proximité et « témoin » par rapport aux sites aixois

	P1		P2003		P2002*	
	Nb j > $50 \mu\text{g}/\text{m}^3/\text{j}$	Max J	Nb j > $50 \mu\text{g}/\text{m}^3/\text{j}$	Max horaire	Nb j > $50 \mu\text{g}/\text{m}^3/\text{j}$	Max horaire
Site proche	19	$79 \mu\text{g}/\text{m}^3$ le 25/03	Très Probablement > 35 jours	/	/	/
Site témoin	9	$61 \mu\text{g}/\text{m}^3$ le 19/03	/	/	/	/
Aix Art	0	$46 \mu\text{g}/\text{m}^3$ le 24/03	3	$232 \mu\text{g}/\text{m}^3$ le 27/05	8	$173 \mu\text{g}/\text{m}^3$
Aix Ouest	1	$52 \mu\text{g}/\text{m}^3$ le 20/03	6	$163 \mu\text{g}/\text{m}^3$ le 14/01	12	$177 \mu\text{g}/\text{m}^3$

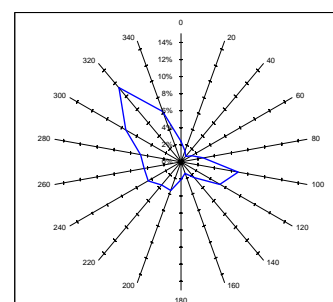
\* P2002 = année 2002

La tolérance européenne de 35 jours de dépassement du seuil de  $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$  sur 24 heures est certainement atteinte dans cette zone proche de l'usine. En effet, il a été atteint à 19 reprises sur 37 jours, soit près de 1 jour sur deux.

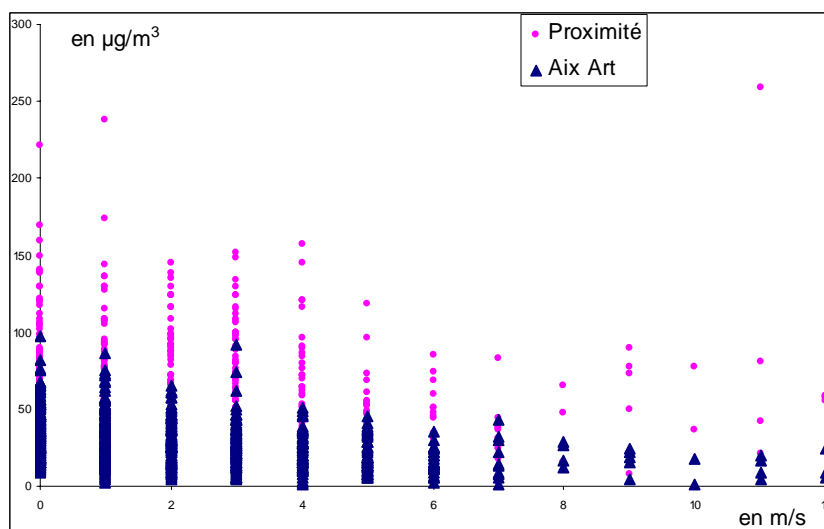
### Influence de la direction et de la vitesse du vent du vent sur les niveaux de PM10



Evolution du rapport R proximité/Aix Art en fonction de la direction du vent



Rappel : Rose des vents P1



La concentration en fonction de la vitesse du vent sur le site proche (proximité) indique que les teneurs sont maximales jusqu'à 8 m/s. Ensuite les processus de dispersion limitent les teneurs, même si elle reste significativement plus élevées qu'à Aix en Provence.

**Tableau récapitulatif des niveaux moyens observés par direction de vent (en °)**

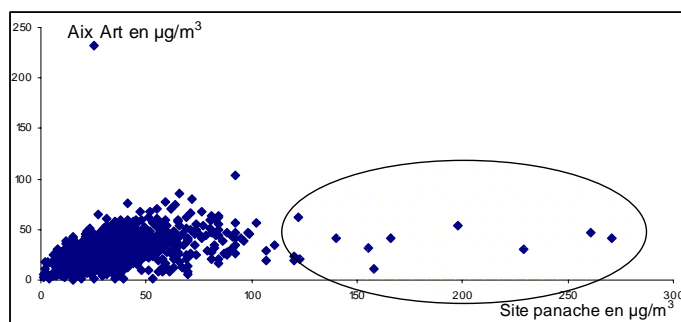
		<b>Direction du vent</b>	
	<b>Moyenne P1</b>	<b>DV&gt;200</b>	<b>DV &lt; 200°</b>
<b>R proximité/Aix Art</b>	1.9	2.8	1.58

Le rapport moyen entre les sites de proximité et le site d'Aix Art est de 1.9. Le site permanent d'Aix Art est choisi comme référence, car le site témoin comme nous le verrons est sans doute influencé par l'activité d'Aluminium Pechiney, notamment en flux de Nord Nord Est. Le site aixois est majoritairement représentatif des niveaux de particules liés au trafic et de leur évolution dans le temps. Le ratio permet d'évaluer l'apport d'autres sources que celle du trafic, si l'on fait l'hypothèse que les variations de trafic dans la zone de Gardanne sont comparables à celles d'Aix en Provence. L'enrichissement maximal est relevé en régime d'Ouest à Nord Ouest sous les vents de l'usine (Ration = 2.8).

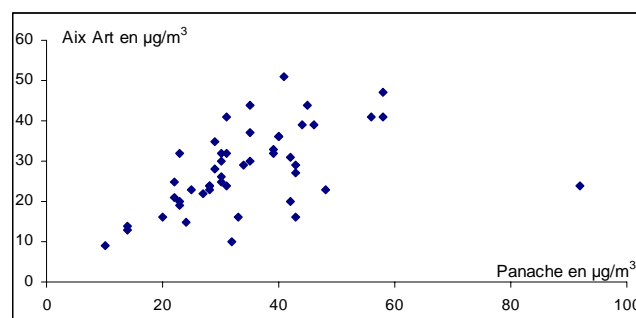
## II-1-1-2- Site Panache

La corrélation linéaire entre le site panache et les sites aixois est faible pour les données horaires ( $< 0.5$ ). Les écarts zonés dans le graphe (a) ci-dessous illustrent les fortes fluctuations sur le site panache liées à l'apport de particules en suspension. Concernant la corrélation journalière, qui est de 0.66, la relation est quasi linéaire avec un point extrême qui abaisse ce lien.

Nuage de point des données horaires (a) et journalières (b)



(a)



(b)

La relation journalière permet néanmoins de traiter les données comme précédemment afin d'estimer la moyenne annuelle du site proche en prenant les sites aixois en référence.

Tableau récapitulatif des niveaux mesurés et estimés de PM10 pendant P2 et P2003

	Site témoin	Site panache	Aix Art	Aix Ouest	
<b>P2 : Moyenne période</b>	<b>29</b>	<b>35</b>	<b>28</b>	<b>28</b>	
<b>moyenne 2002</b>	/	/	26	23	
<b>P2003 : 1/01 au 15/07/2003</b>	/	/	30	29	
<b>R P2/P2003</b>	/	/	0.93	0.97	<b>R<sub>moyen</sub> = 0.95</b>
<b>Moyenne estimée sur P2003</b>	<b>30</b>	<b>36</b>	<b>29</b>	<b>30</b>	

L'extrapolation mathématique des niveaux de PM10 relevés sur le site panache entraîne une légère majoration de la moyenne de 35 à 36  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Rappelons que P2 était légèrement plus ventée que P2003.

Tableau récapitulatif des niveaux de PM10 enregistrés sur le site panache par rapport aux sites aixois

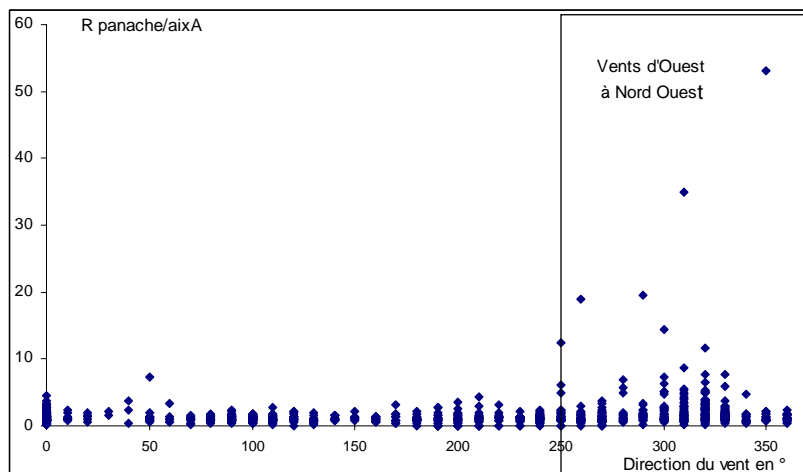
	P2		P2003		P2002*	
	Nb j > 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3/\text{j}$	Max j	Nb j > 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3/\text{j}$	Max horaire	Nb j > 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3/\text{j}$	Max horaire
<b>Site panache</b>	<b>4</b>	92 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ le 14/05	Risque probable > 35 jours	/	/	/
<b>Site témoin</b>	<b>4</b>	53 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ le 6/05	/	/	/	/
<b>Aix Art</b>	<b>1</b>	51 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ le 7/05	3	232 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ le 27/05	8	173 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
<b>Aix Ouest</b>	<b>0</b>	48 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ le 16/04	6	163 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ le 14/01	12	177 $\mu\text{g}/\text{m}^3$

\* P2002 = année 2002

Le risque de dépasser le seuil de 35 jours supérieurs à  $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$  est modéré, si l'on ne tient compte que des fluctuations météorologiques.

### *Influence de la force et direction du vent sur les niveaux de PM10*

#### Evolution du rapport R panache/Aix Art en fonction de la direction du vent



Ce graphe montre que l'enrichissement relatif du site panache par rapport au site aixois est principalement relevé par mistral (direction Nord Ouest). Ce point met nettement en évidence l'influence du site d'Aluminium Péchiney dans ces conditions.

**Tableau récapitulatif des niveaux moyens observés par direction de vent (en °)**

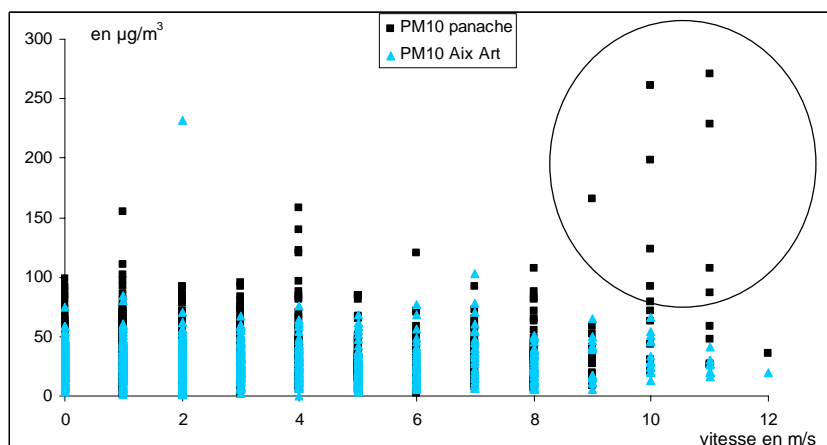
	Direction du vent		
	Moyenne P2	DV > 200	DV < 270 °
<b>R panache/Aix Art</b>	1.52	2.53	1.13

Ce tableau montre que les teneurs du site panache sont plus de 50 % supérieures à ceux d'Aix Art en moyenne.

Ce rapport est fonction de la direction du vent :

- Pour des secteurs de vents Ouest à Nord Ouest les niveaux sont deux fois et demi supérieurs à ceux d'Aix en moyenne
- Pour les autres secteurs de vent, ce ratio est de 13 %.

#### Evolution des niveaux horaires de PM10 sur les sites panache et d'Aix Art pendant la période P2



L'enrichissement relatif est surtout relevé pour des vents forts (> 8 m/s). Les conditions pénalisantes sur le site panache sont donc des conditions de mistral établi.



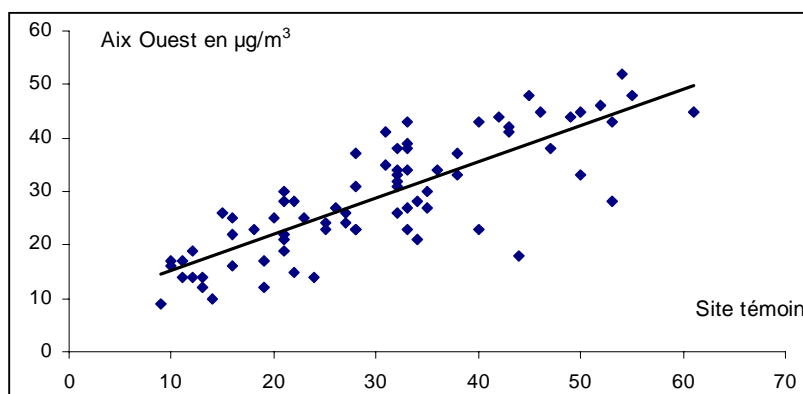
### II-1-1-3- Site témoin

L'analyse des niveaux de particules observés sur le site initialement considéré comme témoin sur la commune de Simiane Collongue indique un impact clair de l'activité d'Aluminium Pechiney en situation anticyclonique (régime de brise de Nord Est).

Ce site n'est donc pas utilisé pour relativiser l'apport de particule lié à l'usine, mais fait l'objet comme les deux précédents d'une estimation des risques de dépassement des seuils de référence.

La corrélation linéaire des données horaires entre le site témoin et les sites aixois est faible (inférieure à 0.5). En revanche, elle est supérieure à 0.8 pour des données journalières. Cette relation permet d'estimer la moyenne annuelle de PM10.

#### Nuage de point des données journalières entre les sites aix Ouest et témoin



La corrélation linéaire des données journalières entre ces deux sites est de 0.81.

#### Tableau récapitulatif des niveaux mesurés et estimés de PM10 pendant P3 et P2003

	Site témoin	Aix Art	Aix Ouest	
<b>P3 : Moyenne période</b>	<b>31</b>	<b>28</b>	<b>29</b>	
<b>moyenne 2002</b>	/	26	23	
<b>P2003 : 1/01 au 15/07/2003</b>	/	30	29	
<b>R P2/P2003</b>	/	0.93	1.01	<b>R<sub>moyen</sub> = 0.97</b>
<b>Moyenne estimée sur P2003</b>	<b>32</b>	/	/	/

Les teneurs évaluées sur le site Témoin ( $32 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) sont inférieures à celles du site panache ( $36 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ). Ces niveaux dépassent l'objectif de qualité français ( $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ), mais respectent la valeur limite européenne ( $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$  – échéance 2005). Ce constat est, notamment à relier au fait que le site témoin est également influencé par Aluminium Pechiney par vent calme et flux de Nord Est.

**Tableau récapitulatif des niveaux de PM10 enregistrés sur le site de proximité et « témoin » par rapport aux sites aixois**

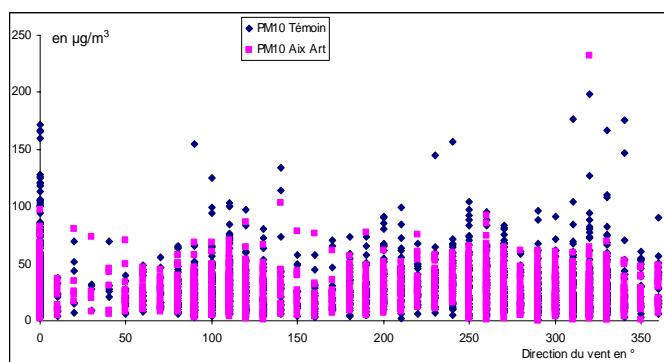
	P3		P2003		P2002*	
	Nb j > 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3/\text{j}$	Max j	Nb j > 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3/\text{j}$	Max horaire	Nb j > 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3/\text{j}$	Max horaire
Site témoin	<b>9</b>	61 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ le 19/03	Risque probable	/	/	/
Aix Art	<b>1</b>	51 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ le 7/05	3	232 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ le 27/05	8	173 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Aix Ouest	<b>1</b>	52 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ le 29/03	6	163 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ le 14/01	12	177 $\mu\text{g}/\text{m}^3$

\* P2002 = année 2002

Le tableau ci-dessus indique que 9 dépassements du seuil  $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$  ont été enregistrés pendant la campagne de mesure. Si l'on se réfère aux sites aixois qui en ont enregistré 1 seul dans le même temps et une dizaine sur toute l'année 2002, le risque d'atteindre les 35 jours sur le site témoin est probable. L'influence du site Aluminium Pechiney n'est sans doute pas systématique dans ces dépassements, même si il est avéré pour les situations de vent faible (cf cas des 19 et 20 mars 2003).

### ***Influence de la force et direction du vent sur les niveaux de PM10***

Evolution des niveaux horaires de PM10 sur les sites Témoin et d'Aix Art pendant la période P3



Ce graphe indique que les teneurs de particules en suspension sont généralement supérieures à celles d'Aix Art. Les flux de Nord Ouest et les vents calmes entraînent les teneurs les plus élevées, traduisant sans doute l'influence d'Aluminium Pechiney. D'autres secteurs de vents ressortent (flux d'Ouest de Sud) indiquant des sources autres. Il peut en particulier, s'agir de particules issues du site d'accueil (combustion des camions, roulage...).

### **Conclusion partielle**

Les niveaux de particules en suspension (PM10) sont significatifs.

- Les niveaux enregistrés sur le **site proche** ont vraisemblablement dépassé les valeurs limites européennes (moyenne annuelle et journalières).
- Sur le **site panache** ces normes risquent également d'être dépassées, même si les teneurs sont plus faibles que dans le secteur proche de l'usine.
- Sur le **site initialement considéré comme témoin**, le niveau moyen de la période est supérieur au seuil  $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$  et le nombre de pointes journalières est significatif.

## II-2- Dioxyde de soufre – SO<sub>2</sub>

### Normes :

- Objectif de qualité : 50 µg/m<sup>3</sup> en moyenne annuelle
- Valeur limite horaire : 350 µg/m<sup>3</sup>
- Valeur limite journalière : 125 µg/m<sup>3</sup>

### Tableau récapitulatif des niveaux de SO<sub>2</sub>

	Moyenne période	Maximum horaire
Site proche	7	158 le 14/03
Site panache	5	145 le 19/05
Site témoin	4	64 le 26/03
Site Aix Jas de Bouffan année 2002	5	109 le 29/05
Gardanne Biver	10	146 le 25/03

Les niveaux de dioxyde de soufre mesurés sur l'ensemble des points sont faibles, respectant très nettement l'objectif de qualité français de 50 µg/m<sup>3</sup>/an.

Les pointes horaires sont également modérées, près de deux fois plus faibles que la valeur limite européenne (350 µg/m<sup>3</sup>). Le risque d'atteindre ce seuil au cours de l'année est faible.

## II-3- Dioxyde d'azote – NO<sub>2</sub>

### Tableaux Récapitulatifs des niveaux observés pendant la campagne de mesures et estimation de P2003

#### Site proximité

	Site témoin	Site proximité	Aix Ouest	Aix Art	
<b>moyenne période</b>	15	30	40	42	
<b>P2003</b>			34	34	
<b>2002</b>			33	32	
<b>RP1/2003</b>			<b>1.17</b>	<b>1.22</b>	<b>1.19</b>
<b>Moyenne 2003 estimée</b>	<b>13</b>	<b>25</b>	/	/	

#### Site panache

	Site témoin	Site panache	Aix Ouest	Aix Art	
<b>moyenne période</b>	<b>11</b>	<b>15</b>	<b>27</b>	<b>27</b>	
<b>P2003</b>			34	34	
<b>2002</b>			33	32	
<b>RP2/2003</b>			<b>0.79</b>	<b>0.81</b>	<b>0.80</b>
<b>Moyenne 2003 estimée</b>	<b>14</b>	<b>19</b>	/	/	

## Site témoin

	Site témoin	Aix Ouest	Aix Art	
<b>moyenne période</b>	<b>12</b>	<b>32</b>	<b>32</b>	
<b>P2003</b>		34	34	
<b>2002</b>		33	32	
<b>RP3/2003</b>		<b>0.93</b>	<b>0.93</b>	<b>0.93</b>
<b>Moyenne 2003 estimée</b>	<b>13</b>	/	/	

## Tableau de synthèse des niveaux de NO<sub>2</sub>

	Moyenne période	Moyenne P2003 estimée	Maximum horaire
Site proche	30	25	108 le 19/03
Site panache	16	19	80 le 10/04
Site témoin	17	13	82 le 25/03
Aix Jas de Bouffan	/	34	114 le 28/05
Aix Art	/	34	

Les niveaux de NO<sub>2</sub> observés sur les sites temporaires de Gardanne **sont modérés de 13 à 25 µg/m<sup>3</sup>**. Ces concentrations correspondent à des situations périurbaines et des villes moyennes. La valeur limite à l'échéance 2010 (40 µg/m<sup>3</sup>/an) est respectée sur la totalité des sites. Ce seuil est atteint dans les centres villes de Marseille et de Toulon, ainsi que proche des grands axes. Les teneurs observées en 2002 à Bouc Bel Air sont comparables (25 µg/m<sup>3</sup>). Les niveaux de pointes sont également restés modérés, y compris sur le site panache, et le **risque d'atteindre la valeur limite horaire (200 µg/m<sup>3</sup>) est faible**.

## II-4- Monoxyde de carbone – CO

Tableau récapitulatif des Niveaux observés pendant les campagnes de mesures

	Moyenne campagne	Maximum Période
<b>Site proximité</b>	0.5	2.5 le 14/03 à 10h00
<b>Site panache</b>	0.4	3.5 le 17/05 à 10H00

**En mg/m<sup>3</sup>**

Les niveaux moyens (0.4-0.5 mg/m<sup>3</sup>) et maximums (3.5 mg/m<sup>3</sup>) de CO mesurés pendant la campagne sont modérés. Ces seuils respectent nettement la valeur limite horaire européenne de 30 mg/m<sup>3</sup>. Ce composé est un traceur de l'activité automobile. Il se rencontre principalement dans les centres villes près des grands axes où la circulation est saturée.

### III- Particules sédimentables, flux et composition minéralogique - CEREGE

Le but de cette étude est de compléter la précédente approche afin d'évaluer la composition des particules inhalables (PM10) en matière de métaux lourds et les flux de particules sédimentables associés à leur composition minéralogique et chimique.

L'usine d'Aluminium Pécchiney Gardanne est productrice de particules, de granulométrie variable, composées essentiellement de gibbsite ( $\text{Al}(\text{OH})_3$ , hydroxyde d'aluminium) et de corindon ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ , oxyde d'aluminium). L'ensemble de ces particules présente un impact environnemental, notamment par leur couleur (rouge ou blanche) et éventuellement sanitaire (particules fines, métaux lourds).

Un certain nombre de prélèvements atmosphériques de particules a été réalisé à différentes distances de l'usine afin d'évaluer les flux et les compositions de ces particules.

Des équipements ont été installés entre **le 11 mars et le 28 mai 2003**, sur trois sites de prélèvement (Fig. 1 et Tab. I en ANNEXE II).

Le pas de prélèvement était en principe **d'une semaine**, modulé par certains problèmes techniques.

Les techniques d'étude utilisées ont été :

- la diffraction des rayons X ;
- la granulométrie laser ;
- la microscopie électronique à balayage, avec système d'analyse EDS ;
- l'ICP AOS pour l'analyse chimique.



**Figure 1 : Situation des sites de prélèvement**

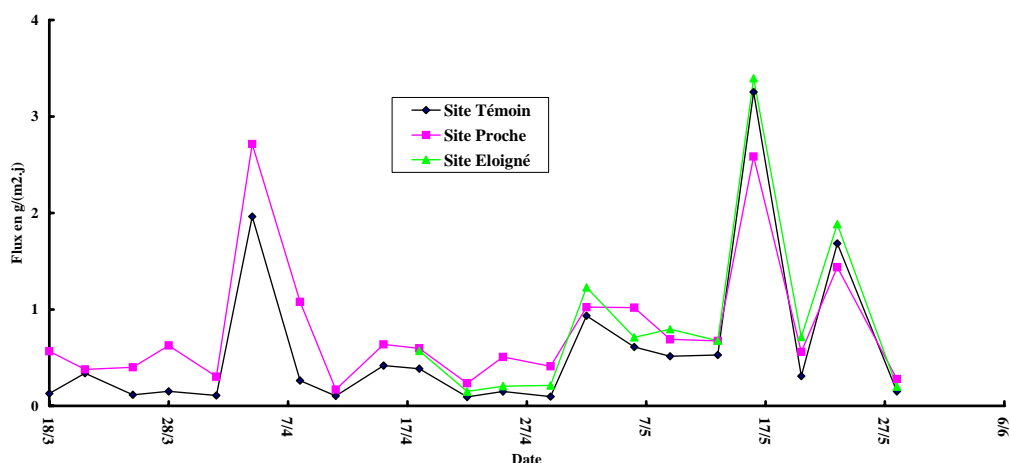
### III-1- Flux de particules sédimentables (analyse massique)

Le flux moyen de particules sédimentables varie de 0.6 g/(m<sup>2</sup>.j) sur le site témoin à 0.90 g/(m<sup>2</sup>.j) sur le site panache. 50 à 80 % des prélèvements de particules sédimentables sont en dessous de 0.67 g/(m<sup>2</sup>.mois). Les évolutions durant la campagne sont semblables sur les trois sites, avec trois pics sur les périodes du 1<sup>er</sup> au 4 Avril, du 13 au 16 Mai et du 20 au 23 Mai 2003 (Tab II et Fig. 2), correspondant à des situations de vent fort.

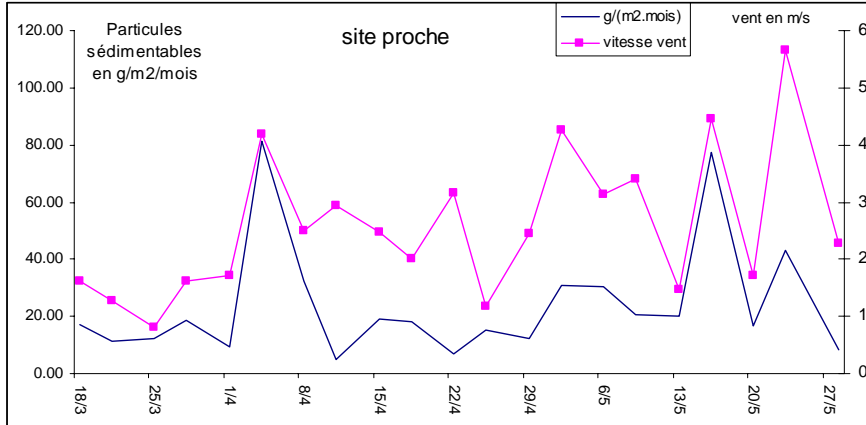
**Tableau II récapitulatif des flux de particules sédimentables mesurés pendant la campagne**

En g/(m <sup>2</sup> .j)		Site Témoin	Site Proche	Site Panache
11/03/2003	18/03/2003	0.13	0.57	
18/03/2003	21/03/2003	0.34	0.38	
21/03/2003	25/03/2003	0.12	0.40	
25/03/2003	28/03/2003	0.15	0.63	
28/03/2003	01/04/2003	0.11	0.30	
01/04/2003	04/04/2003	1.96	2.71	
04/04/2003	08/04/2003	0.26	1.08	
08/04/2003	11/04/2003	0.10	0.17	
11/04/2003	15/04/2003	0.42	0.64	
15/04/2003	18/04/2003	0.39	0.60	0.57
18/04/2003	22/04/2003	0.09	0.23	0.15
22/04/2003	25/04/2003	0.15	0.51	0.21
25/04/2003	29/04/2003	0.10	0.41	0.21
29/04/2003	02/05/2003	0.93	1.02	1.23
02/05/2003	06/05/2003	0.61	1.02	0.71
06/05/2003	09/05/2003	0.52	0.69	0.79
09/05/2003	13/05/2003	0.53	0.68	0.68
13/05/2003	16/05/2003	3.25	2.58	3.40
16/05/2003	20/05/2003	0.31	0.56	0.72
20/05/2003	23/05/2003	1.68	1.44	1.88
23/05/2003	28/05/2003	0.15	0.28	0.20
<b>Flux moyen</b>		<b>0.59</b>	<b>0.80</b>	<b>0.90</b>

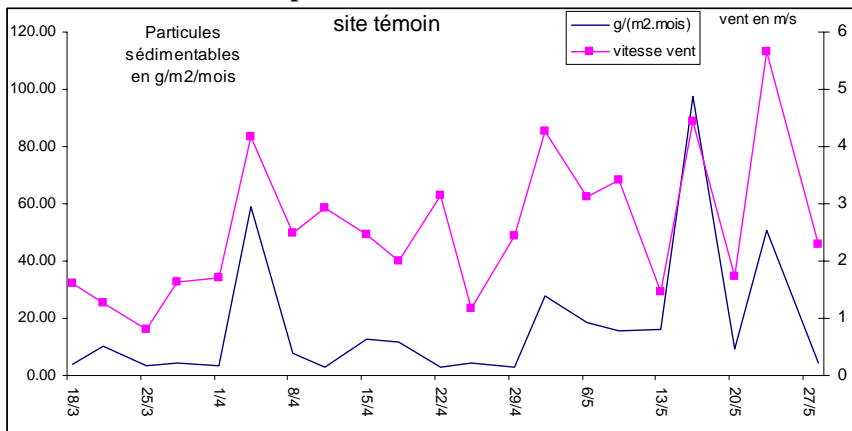
Figure 2 : Particules sédimentables Plaquettes DIEM



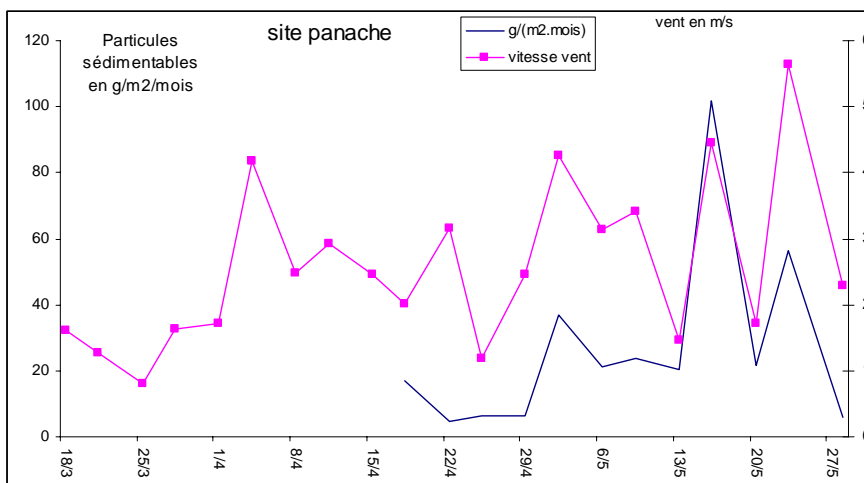
### Evolution des niveaux de particules sédimentables en fonction de la force du vent sur le site proche



### Evolution des niveaux de particules sédimentables en fonction de la force du vent sur le site témoin



### Evolution des niveaux de particules sédimentables en fonction de la force du vent sur le site panache



La corrélation entre les niveaux de particules sédimentables et la force du vent s'étale de 0.65 à 0.71 pour les trois sites de mesures. Ce lien indique que la force du vent qui entraîne une mise en suspension et le transport des grosses particules est prépondérante dans le processus. Le lien entre les PM10 et les particules sédimentables n'est pas très marqué. En revanche, le lien entre Al dans les PM10 et les particules sédimentables est plus net, traduisant l'influence de l'activité d'Aluminium Pechiney dans les niveaux de particules sédimentables (issue du site ou remise en suspension locale) sur les sites proche et panache (figure 9).

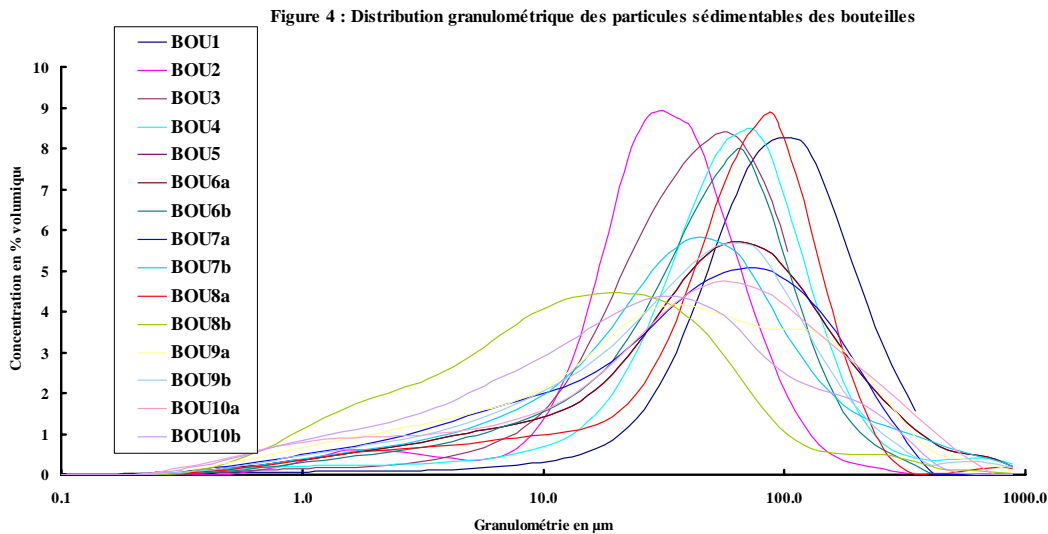


### III-2- Granulométrie des particules sédimentables

La granulométrie a été déterminée à partir des prélèvements faits avec les collecteurs sur les deux sites proche et éloigné (panache). Les résultats sont exprimés en % de distribution volumique (Fig. 4).

Les courbes granulométriques montrent un maximum de la distribution volumique variant entre 30 et 100  $\mu\text{m}$ . Il n'y a pas de variations nettes entre les deux sites pour la même période de prélèvement.

Certains prélèvements présentent également un maximum de distribution vers les petites tailles aux environs de 1  $\mu\text{m}$ . C'est notamment le cas des prélèvements 2 et 10.



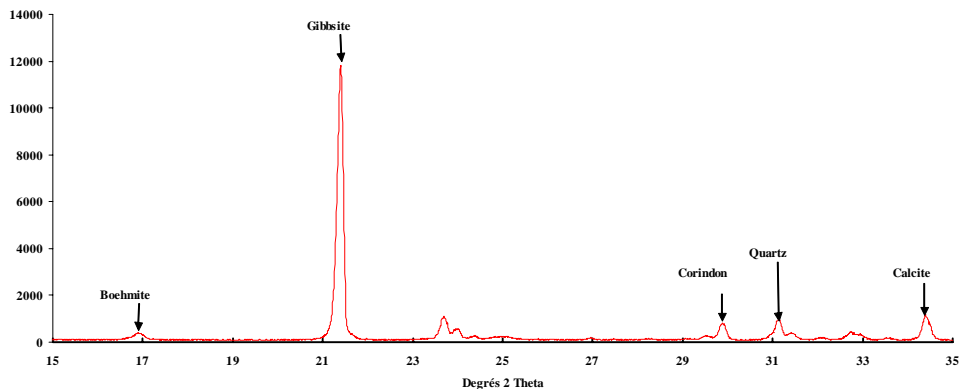
### III-3- Composition minéralogique des particules sédimentables

La composition minéralogique a été étudiée par diffraction des rayons X sur les échantillons des plaquettes Diem ainsi que sur certains collecteurs.

Cinq phases minéralogiques ont été prises en compte (Fig. 5):

- la boehmite, hydroxyde d'aluminium ( $\text{Al}_2(\text{OOH})_2$ ), caractéristique du minerai utilisé ;
- la gibbsite, hydroxyde d'aluminium, caractéristique du minerai mais également du process industriel ;
- le corindon, oxyde d'aluminium, caractéristique du process industriel ;
- le quartz, oxyde de silicium, caractéristique de l'environnement naturel ;
- la calcite, carbonate de calcium, caractéristique de l'environnement naturel.

Figure 5 : Exemple de spectre DRX d'un prélèvement sur plaquette (Prélèvement PSP 18)



La démarche a donc constitué à caractériser la présence ou l'absence de chacune de ces phases dans chaque prélèvement, puis, à partir des aires d'un pic marqueur de chaque phase, d'essayer de quantifier l'impact relatif dans chaque prélèvement des différents milieux :

- milieu naturel (quartz + calcite) ;
- minéral (boehmite et gibbsite) ;
- process industriel (gibbsite et corindon).

Le milieu naturel est présent dans tous les prélèvements, quelque soit le site.

La boehmite est mise en évidence dans 17 prélèvements sur 42. Elle n'est jamais vue dans les prélèvements du site témoin. Cependant, son absence n'indique pas obligatoirement la non-influence du minéral car elle reste une phase mineure de celui-ci.

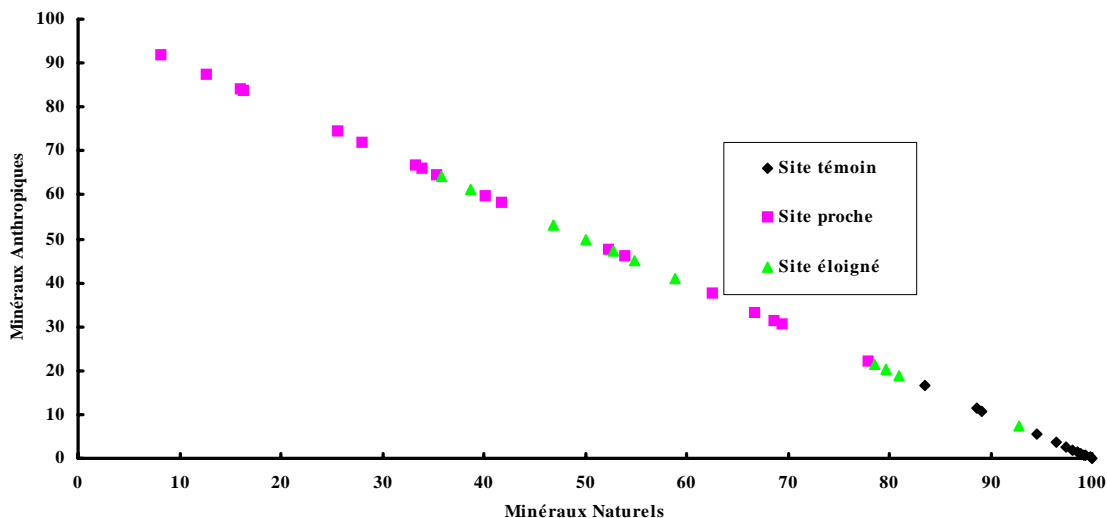
La gibbsite est décelée dans tous les prélèvements sauf un, site témoin compris. Elle ne dépasse les 50% que sur le site proche.

Le corindon est présent dans 34 des 42 prélèvements et même sur le site témoin. C'est essentiellement sur le site proche qu'il est le plus abondant.

Cette étude permet de confirmer l'influence de l'activité industrielle sur le site témoin.

La proportion de l'activité anthropique (minéral + process) peut atteindre 16 % sur le site témoin, 65 % sur le site éloigné et 92 % sur le site proche (Fig. 6).

Figure 6 : Proportions relatives Minéraux naturels - Minéraux anthropiques



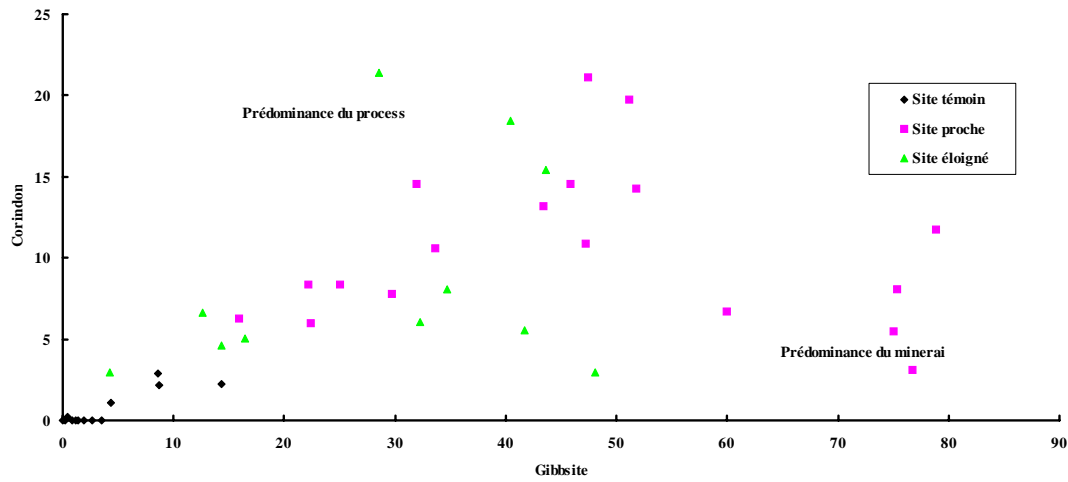
Il est plus difficile de faire la part de l'impact minéral par rapport à celui du process industriel.

Un graphe Gibbsite-Corindon montre trois groupes de point (Fig. 7):

- le groupe le plus important s'aligne sur une ligne 75% Gibbsite – 25 % Corindon ;
- un groupe de 5 points du site proche, avec plus de 60% de gibbsite et présentant tous de la boehmite, marquent ainsi une influence forte du minéral ;
- à l'inverse, un point du site éloigné (panache) montre un rapport gibbsite/corindon plus faible, sans doute marqueur d'une influence plus forte du process industriel.

Une séparation granulométrique a été faite sur certains prélèvements par bouteille. L'étude minéralogique montre un certain enrichissement en corindon ou boehmite de la fraction fine par rapport à la fraction totale.

Figure 7 : Relation Gibbsite - Corindon



### III-4- Microscopie électronique à balayage sur les particules sédimentables

Une étude en microscopie électronique à balayage, couplée à un système d'analyse, a été menée sur des particules du site proche et du site éloigné, ainsi que sur des particules de minerai et des produits industriels (gibbsite et corindon).

La gibbsite industrielle apparaît sous forme de grosses particules, généralement de plus de 50  $\mu\text{m}$ , formées par un empilement régulier de plaquettes hexagonales, composées exclusivement d'aluminium.

La gibbsite naturelle (minerai), également hexagonale, est plus petite et contient un peu de fer. Le corindon forme des petites particules, plus ou moins sphériques.

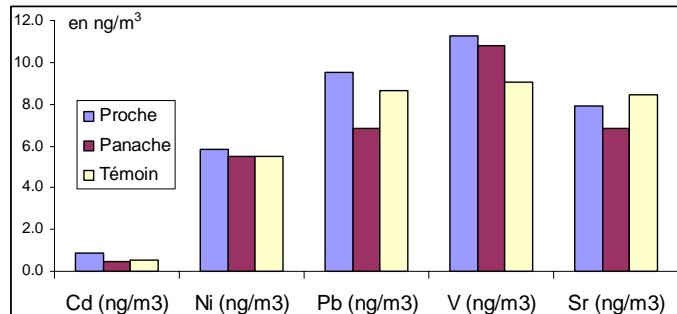
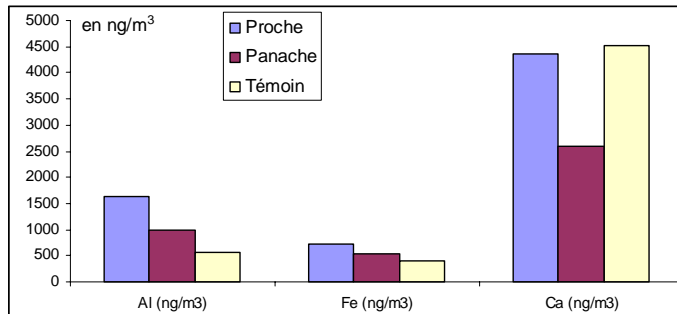
## IV- Composition chimique des PM10 – métaux lourds - CEREGE

Les prélèvements hebdomadaires PM10 ont été analysés pour 8 éléments (Al, Ca, Cd, Fe, Ni, Pb, Sr, V) d'une part dans une perspective d'évaluer une participation relative des différents milieux et d'autre par dans le cadre de la réglementation sur les métaux lourds.

**Tableau récapitulatif des niveaux moyens observés pendant la campagne de mesure**

	Panache	Témoin	Proche	Aix 2000	Marseille 2000	Normes annuelles
<b>PM10 (<math>\mu\text{g}/\text{m}^3</math>)</b>	31.5	35.7	50.0	/	/	<b>40</b>
<b>Al (<math>\text{ng}/\text{m}^3</math>)</b>	976.2	571.0	1629.0	/	107-241	/
<b>Fe (<math>\text{ng}/\text{m}^3</math>)</b>	534.5	395.1	716.1	/	418-637	/
<b>Ca (<math>\text{ng}/\text{m}^3</math>)</b>	2583.6	4508.7	4364.3	/	/	/
<b>Cd (<math>\text{ng}/\text{m}^3</math>)</b>	0.5	0.5	0.9	0.2-0.9	0.4-2.1	5
<b>Ni (<math>\text{ng}/\text{m}^3</math>)</b>	5.5	5.5	5.8	8-11	6-13	<b>20</b>
<b>Pb (<math>\text{ng}/\text{m}^3</math>)</b>	6.9	8.6	9.5	5-7	7-14	<b>500</b>
<b>V (<math>\text{ng}/\text{m}^3</math>)</b>	10.8	9.1	11.3	15	11	/
<b>Sr (<math>\text{ng}/\text{m}^3</math>)</b>	6.9	8.4	7.9	/	/	/

**Graphes des teneurs moyennes de métaux lourds relevées sur les trois sites de mesure**



**Matrice de corrélation linéaire avec l'Aluminium**

	Site Panache	Site Proximité
<b>PM10</b>	0.9	0.1
<b>Al</b>	1	1
<b>Fe</b>	0.8	0.98
<b>Ca</b>	0.9	-0.3

De façon générale, les concentrations moyennes en  $\text{ng}/\text{m}^3$  sont plus élevées sur le site proche que sur les autres, sauf pour le calcium et le strontium, marqueurs du milieu naturel et plus abondant sur le site témoin (Tab. III – ANNEXE III en ANNEXE).

La concentration en aluminium (Fig. 8) présente un pic important sur le site proche (2 au 8 Avril) et sur le site éloigné (14 au 20 Mai). Le même pic sur le site proche se retrouve pour le fer. Il apparaît clairement que ces pics ne sont pas liés à une augmentation des PM10, mais à

une augmentation des concentrations en particules sédimentables (Fig. 9), situation de vent fort. Pour les autres métaux, il y a peu de variations d'un site à l'autre.

Le même type de comportement se retrouve si l'on considère les fractions massiques (quantité de métal par gramme de particules).

**Les normes sur les métaux lourds sont respectées sur l'ensemble des sites et des prélèvements.**

Sur le site panache la concentration d'aluminium est bien liée aux PM10 ( $r = 0.9$ ), au fer (0.8) et au calcium (0.9). Concernant le site proche, la seule corrélation marquée avec l'aluminium est celle avec le fer (0.98).

Figure 8 : Evolution des concentrations en Al et Fe dans les PM10

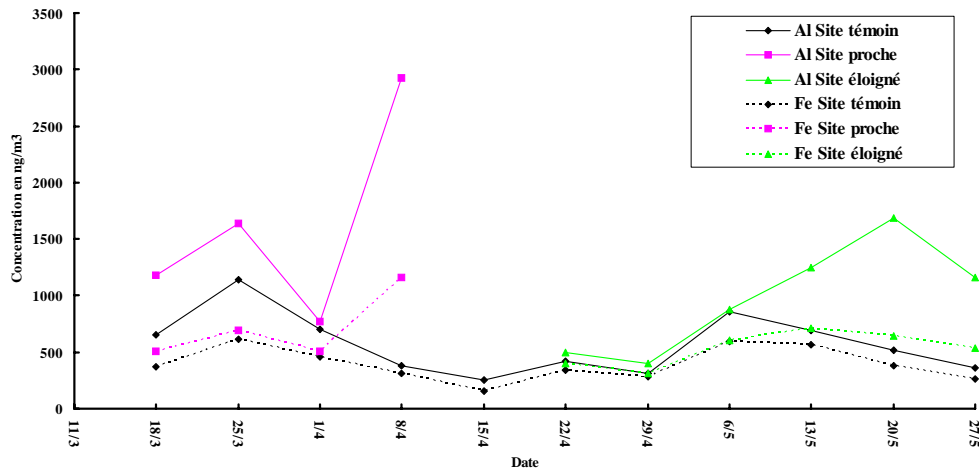
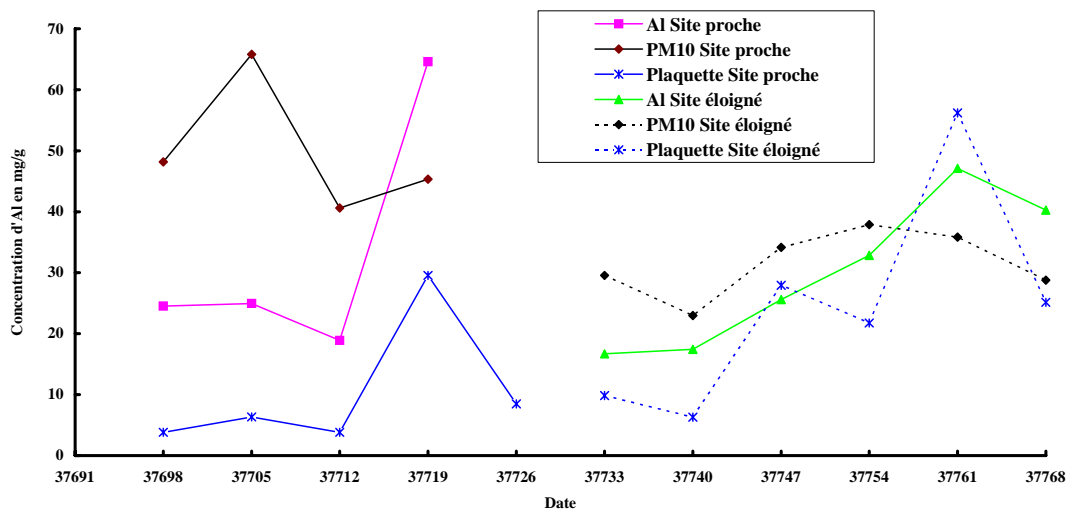


Figure 9 : Relation Concentration en Aluminium - Concentration en Particules inhalables (PM10) et sédimentable (plaquette)

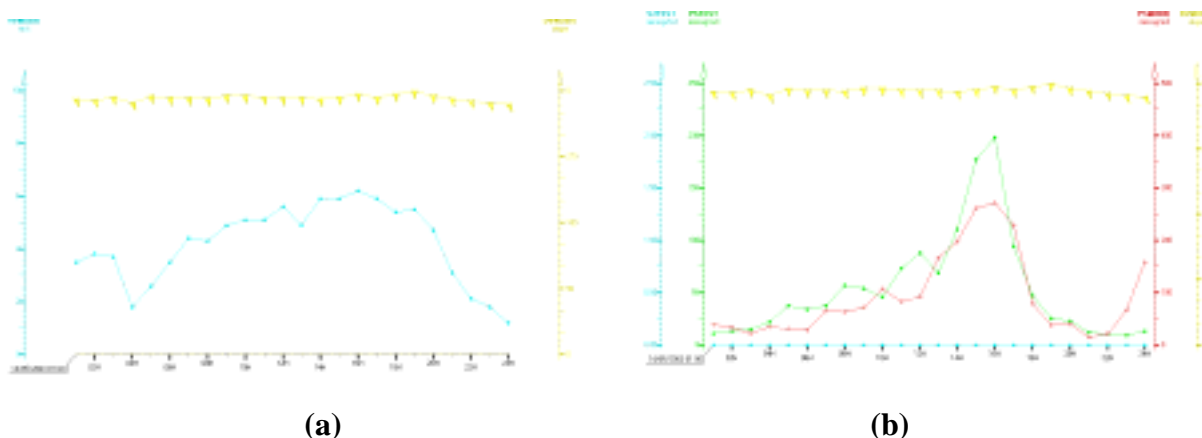


## V- Etude de quelques épisodes remarquables

### Cas du 14 mai 2003

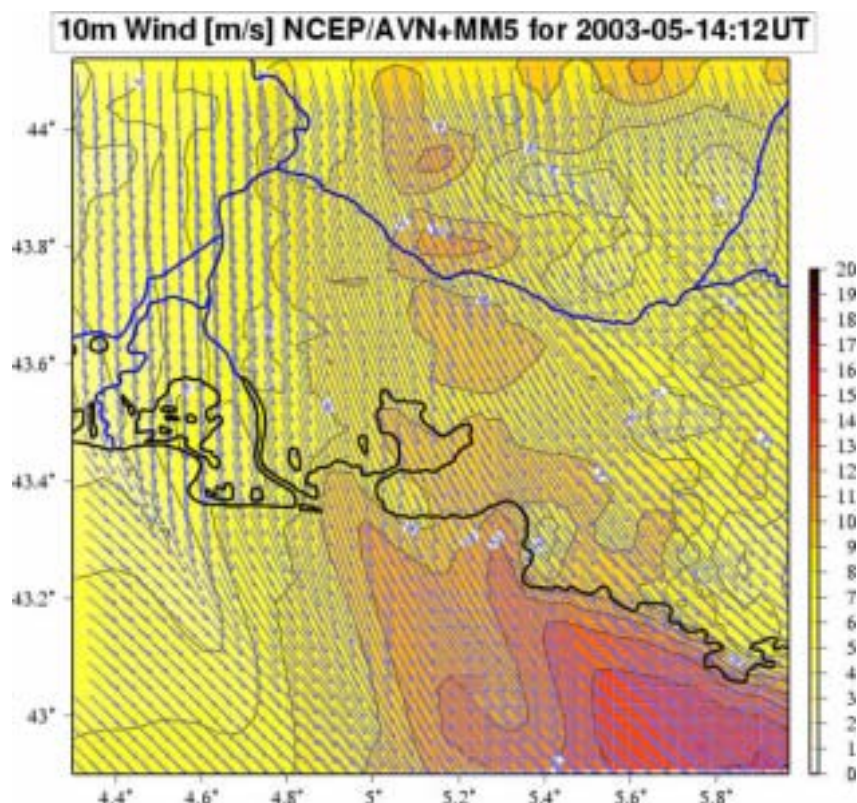
La pointe observée simultanément sur le site témoin et le site panache est enregistrée par vent fort. Ce jour là, la valeur limite européenne sur 24 heures a été dépassée sur les deux sites avec  $53 \mu\text{g}/\text{m}^3$  sur le site témoin et  $92 \mu\text{g}/\text{m}^3$  sur le site panache.

#### Evolution du vent (a) et PM10 et SO<sub>2</sub> sur les sites témoin, panache (b) le 14 mai 2003



La situation météorologique relevée par le camion sur le site panache le 14 mai correspond à un mistral établi (Nord Nord Ouest). Le mistral est présent sur toute la zone d'étude (cf carte ci-dessous). La pointe de particules relevée sur les deux sites est pourrait être attribuée à l'influence d'Aluminium Pechiney. A noter, l'absence totale de dioxyde de soufre durant cet épisode.

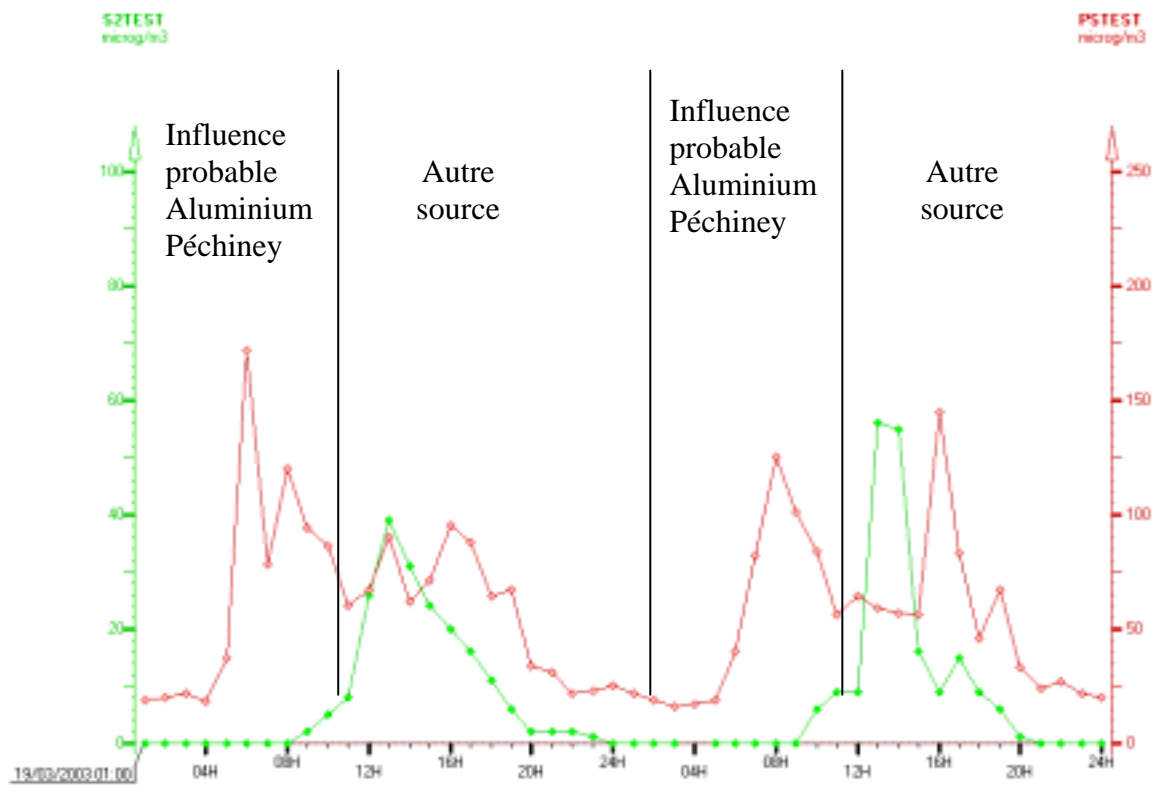
#### Carte de la vitesse et force du vent calculé par MM5 le 14 mai 2003 à 12 H 00 TU



*Source* : Laboratoire de  
Météorologie Dynamique –  
Institut Pierre Simon  
Laplace - CNRS

## Cas des 19 et 20 mars 2003

Evolution des niveaux de PM10 et de SO<sub>2</sub> sur le site témoin (TEST) les 19 et 20 mars 2003



Les conditions météorologiques observées les 19 et 20 mars sont caractéristiques de situations anticycloniques.

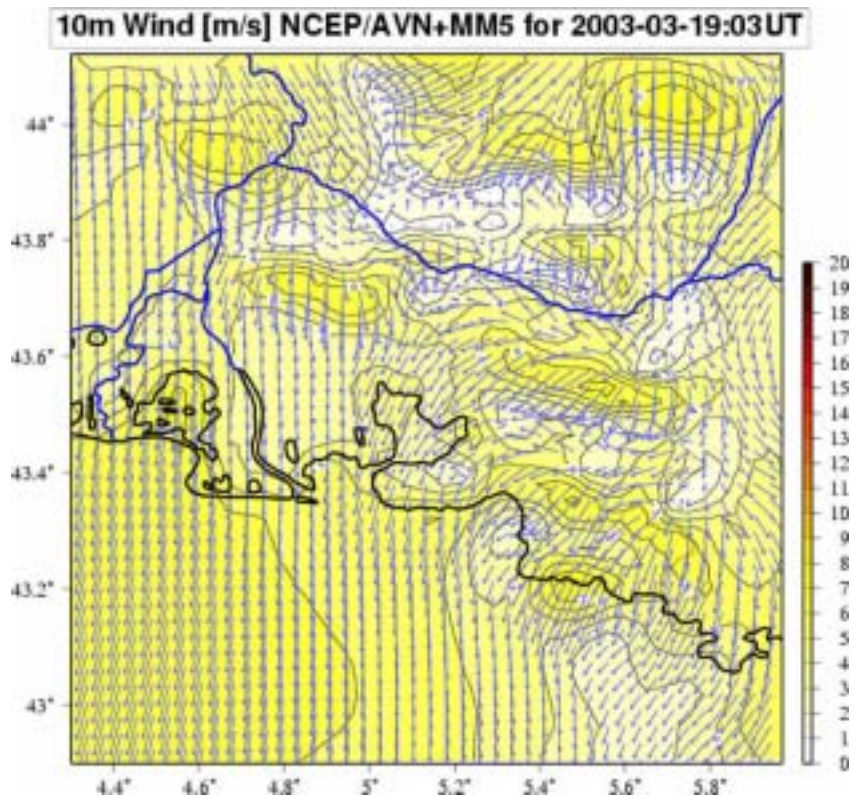
Dans ces conditions on assiste à une inversion des brises entre le jour et la nuit :

- Brise de terre pendant la nuit (écoulement de pente lent durant la nuit) – orientation globalement Nord Est sur le secteur de Gardanne
- Brise de pente ascendante pendant la journée relayée par des brises de mer.

Les pics de particules observés sur le site témoin correspondent à la brise de terre de Nord Est illustrée page suivante (3 heures TU). Ces situations sont particulièrement pénalisantes, car elles s'accompagnent d'une stratification verticale de l'atmosphère (liée au phénomène d'inversion thermique). Dans ces conditions les polluants restent confinés dans les premières centaines de mètres près du sol.

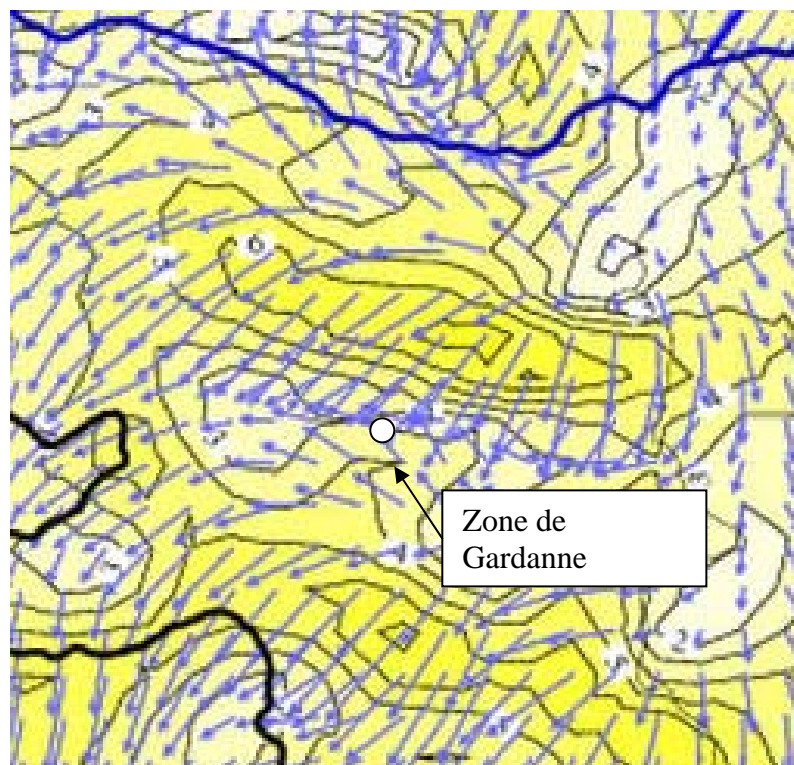
Les niveaux de particules enregistrées, après 11-12 heures TU pour ces journées sont liés à d'autres sources, car la brise s'est complètement inversée (Sud à Sud Ouest). Le marquage d'une des autres sources est assez net avec l'apparition d'un pic de SO<sub>2</sub>. Les teneurs de SO<sub>2</sub> observées restent néanmoins modestes.

**Cartes de la vitesse et force du vent calculées par MM5 le 19 mars 2003 à 3H00, 9H00 et 15H00 TU**

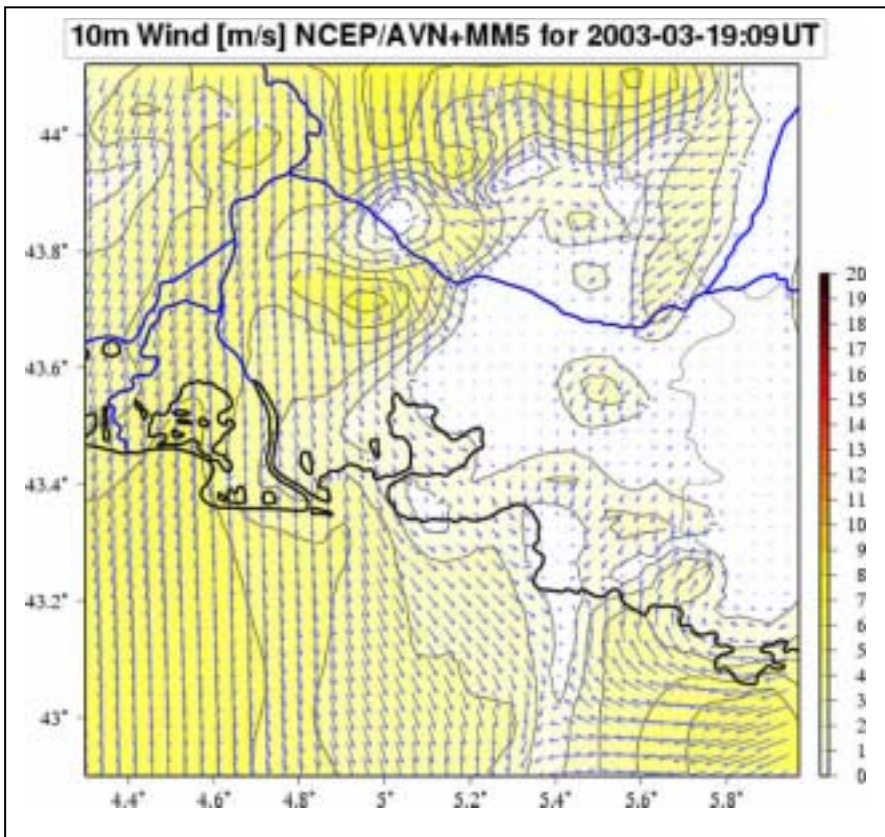


**Zoom sur le domaine d'étude**

**Source :** Laboratoire de  
Météorologie Dynamique –  
Institut Pierre Simon  
Laplace - CNRS

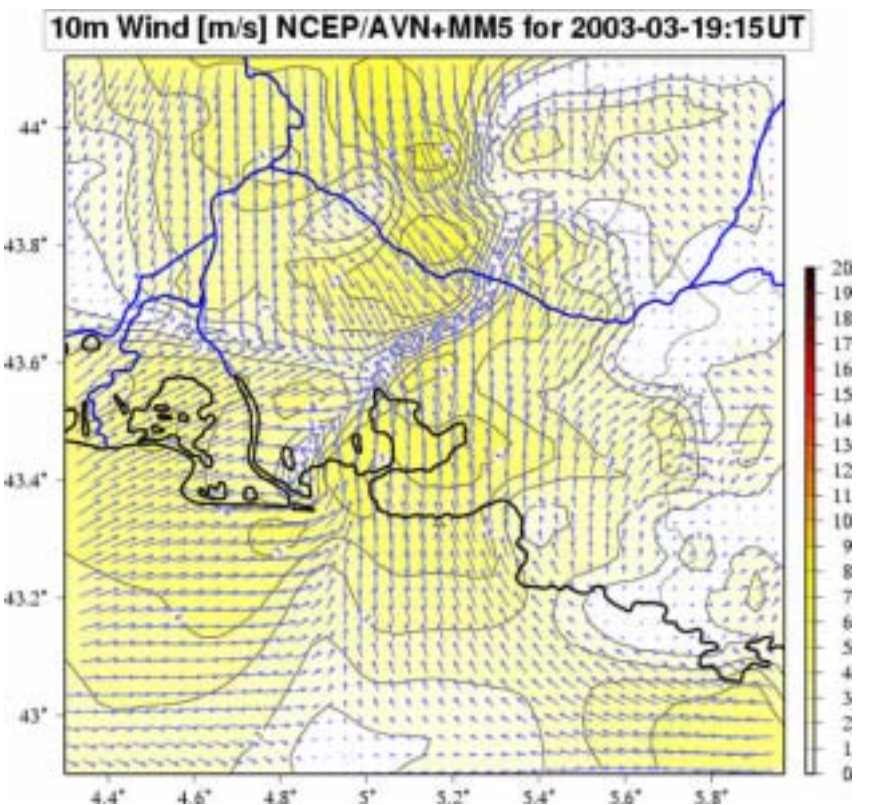






*Source* : Laboratoire de  
Météorologie Dynamique –  
Institut Pierre Simon  
Laplace - CNRS

Cette carte correspondant à la vitesse et la direction du vent à 9 H TU indique une situation de vent calme sur la zone d'étude (léger flux résiduel de Nord Est). Cette période correspondant à l'alternance des brises.



La direction du vent à 15 H TU illustre une situation de brise diurne établie (Sud à Sud Ouest sur la zone d'étude).

## Synthèse et conclusion

L'étude vise à évaluer la qualité de l'air dans le secteur de Gardanne autour de l'usine Aluminium Péchiney. Quatre sites ont été échantillonnés (site proche, panache ou éloigné, témoin et Biver) pendant une période allant du 3 mars au 6 juin 2003.

Les moyens mis en œuvre visaient à évaluer les teneurs en polluants gazeux et particulaires normalisés dans l'air ambiant, ainsi que les particules sédimentables (analyse massique et minéralogique). Les analyses de laboratoire ont été réalisées par le CEREGE.

L'influence de l'activité d'Aluminium Péchiney sur les différents indicateurs évalués dans cette étude a été mise en évidence sur les particules en suspension (PM10), particules sédimentables et les analyses chimiques de particules. Concernant les autres indicateurs (NO<sub>x</sub>, CO, SO<sub>2</sub>), l'influence d'autres activités, notamment le trafic routier, semble dominante.

### Niveaux de particules en suspension PM10

Les niveaux de particules inhalables relevées sur les trois sites de mesures échantillonnés sont significatifs, y compris sur le site initialement considéré comme « témoin ».

Les normes limites annuelle (40 µg/m<sup>3</sup> échéance 2005) pour les PM10 est sans doute dépassée à proximité de l'usine dans la ville de Gardanne (moyenne annuelle estimée sur **le site proche : 50 µg/m<sup>3</sup>**).

Sur le **site panache** au Sud Est de l'usine, la moyenne annuelle estimée est de **36 µg/m<sup>3</sup>** et sur **le site témoin (32 µg/m<sup>3</sup>)**. La valeur limite peut potentiellement être dépassée sur le premier site, notamment en liaison avec les variations d'émission de l'usine. Elle est sans doute respectée sur le site témoin. L'objectif de qualité français (**30 µg/m<sup>3</sup>/an**) est dépassé sur ces trois sites.

Concernant les **situations de pointes** (nombre de jours de dépassement du seuil 50 µg/m<sup>3</sup>), le **site proche** dépasse certainement la tolérance européenne de 35 jours avec des dépassements près de 1 jour sur deux pendant la campagne. Sur les deux autres sites moins marqués, ce seuil de 35 jours est potentiellement atteint.

### Niveaux de dioxyde de soufre

Les niveaux en **dioxyde de soufre** mesurés sur les quatre points sont faibles en moyenne de **4 à 10 µg/m<sup>3</sup>** (objectif de qualité français : 50 µg/m<sup>3</sup>/an.). Quelques pointes ont été observées pendant la campagne de mesure, qui reste très inférieures à la valeur limite européenne (près de deux fois).

### Niveaux en oxydes d'azote

Les niveaux en **dioxyde d'azote** sont modérés de 13 à 25 µg/m<sup>3</sup> conformes aux teneurs enregistrées dans le bassin de Gardanne (25 µg/m<sup>3</sup> en 2002 à Bouc Bel Air). Aucune norme n'est atteinte.

### Particules sédimentables

Les niveaux de particules sédimentables relevés sur les sites proche, panache et témoin sont relativement importants, en particulier dans l'environnement proche de l'usine, respectivement 0.8; 0.9 ; 0.59 g/(m<sup>2</sup>.j). Les variations sont étroitement liées à la force du vent. La direction du vent semble moins déterminante. Il s'agit majoritairement de processus de mises en suspension de grosses particules.

La corrélation particules en suspension (environ > 80 µm) et les particules en suspension est relativement bonne pour des situations peu ventées. En revanche, dès que la force du vent

excède 6 m/s les teneurs de particules sédimentables augmentent, alors que les particules fines diminuent.

Il s'agit de processus mis en causes assez distinctes :

- Les particules en suspension se comportent généralement comme des gaz. Elles sont principalement issues des combustions et procédés industriels, le vent soutenu entraîne une plus forte dispersion atmosphérique (phénomène de dilution), donc une diminution des teneurs.
- Les particules sédimentables sont mises en suspension par le roulage des véhicules, la manipulation des matériaux, le vent... Le vent fort contribue à leur accroissement dans l'air.

### Analyse chimique des particules inhalables (PM10)

Les niveaux d'aluminium relevés dans les particules en suspension signent clairement **l'influence plus ou moins prononcée d'Aluminium Pechiney sur les trois sites échantillonnés**. Les concentrations relevées sur les trois sites sont :

- **571 ng/m<sup>3</sup> sur le site témoin,**
- **976 ng/m<sup>3</sup> sur le site panache**
- **1629 ng/m<sup>3</sup> sur le site proche.**

A noter que les teneurs évaluées en 2000 dans Marseille s'évaluaient de 107 à 241 ng/m<sup>3</sup>.

Des teneurs d'Aluminium significativement ont été relevées par flux d'Est (pas sous les vents de l'usine) indiquant la remise en suspension de particules sédimentées sur le sol.

Les teneurs en métaux lourds réglementés par l'Europe sont faibles :

- **Plomb de 6.9 à 9.5 ng/m<sup>3</sup>** (valeur limite : 500 ng/m<sup>3</sup>),
- **Nickel de 5.5 à 5.8 ng/m<sup>3</sup>** (projet de valeur cible européenne : 20 ng/m<sup>3</sup>)
- **Cadmium de 0.5 à 0.9 ng/m<sup>3</sup>** (projet de valeur cible européenne : 5 ng/m<sup>3</sup>).

### Analyse minéralogique des particules sédimentables

L'analyse minéralogique par diffraction X des particules sédimentables a permis de montrer que le minerai (bohemite, gibbsite) était majoritairement à l'origine des particules proche du site, inversement l'alumine raffinée (corindon) est principalement présente sur les sites éloignés (panaches et « témoins »).

## Perspectives

### Surveillance de la zone par Airmaraix

Cette étude met en évidence la nécessité d'effectuer une surveillance permanente des PM10 dans la zone. Cette mesure devrait être effectuée en priorité dans l'environnement proche de l'usine. Les autres composés ne nécessitent pas de mesures permanentes, si l'on se réfère aux exigences européennes. Les teneurs peuvent être évaluées par des mesures temporaires ou des modèles mathématiques.

### Compréhension des teneurs de particules

Les paramètres utilisés pour qualifier les particules en suspension sont le PM10 (particules inférieures à 10 µm). Cette fraction dite inhalables peut être scindée en deux catégories :

- La fraction 3-10 µm qui est majoritairement retenue par les barrières naso-pharyngiennes
- La fraction inférieure à 2-3 µm qui pénètre profondément dans le poumon, jusque dans les alvéoles pulmonaires.

Cette deuxième fraction est appréhendée par la mesure des PM2.5. Il pourrait être pertinent d'évaluer le ratio PM2.5/PM10 lors d'épisodes de pollution particulaire liés au complexe industriel, les PM2.5 étant considérées comme plus nocives que les PM10.

# ANNEXES

**ANNEXE I : tableau récapitulatif des périodes de mesure**

SITES	MARS	AVRIL	MAI	JUIN
	1-mars-2003	1-avr.-2003	1-mai-2003	1-juin-2003
PROXIMITE	04/03/2003	10/04/2003		
PANACHE		10/04/2003		03/06/2003
TEMOIN	12/03/2003		28/05/2003	
BIVER	12/03/2003			03/06/2003

# ANNEXE II

## Tableau I - CEREGE

Début	Fin	Plaquettes			Bout eilles		Part isol										
		Témoin	Proche	Eloigné	Proche	Eloigné	Témoin	Pro/Eloi									
11/03/2003	18/03/2003	PST1	PSP1		Bou1		T1	SP1									
18/03/2003	21/03/2003	PST2	PSP2														
21/03/2003	25/03/2003	PST3	PSP3							Bou2	T2	SP2					
25/03/2003	28/03/2003	PST4	PSP4														
28/03/2003	01/04/2003	PST5	PSP5											Bou3	T3	SP3	
01/04/2003	04/04/2003	PST6	PSP6														
04/04/2003	08/04/2003	PST7	PSP7							Bou4	T4	SP4					
08/04/2003	11/04/2003	PST8	PSP8														
11/04/2003	15/04/2003	PST9	PSP9														
15/04/2003	18/04/2003	PST10	PSP10							PSE1							
18/04/2003	22/04/2003	PST11	PSP11	PSE2	Bou6a	Bou6b	T6	SE1									
22/04/2003	25/04/2003	PST12	PSP12	PSE3													
25/04/2003	29/04/2003	PST13	PSP13	PSE4					Bou7a	Bou7b	T7	SE2					
29/04/2003	02/05/2003	PST14	PSP14	PSE5													
02/05/2003	06/05/2003	PST15	PSP15	PSE6					Bou8a	Bou8b	T8	SE3					
06/05/2003	09/05/2003	PST16	PSP16	PSE7													
09/05/2003	13/05/2003	PST17	PSP17	PSE8	Bou9a	Bou9b	T9	SE4									
13/05/2003	16/05/2003	PST18	PSP18	PSE9													
16/05/2003	20/05/2003	PST19	PSP19	PSE10					Bou10a	Bou10b	T10	SE5					
20/05/2003	23/05/2003	PST20	PSP20	PSE11													
23/05/2003	28/05/2003	PST21	PSP21	PSE12	Bou11a	Bou11b	T11	SE6									

## Tableau II

	Date	Site Témoin g/(m2.mois)	Site Proche g/(m2.mois)	Site Eloigné g/(m2.mois)
11/03/2003	18/03/2003	3.82	17.04	
18/03/2003	21/03/2003	10.17	11.40	
21/03/2003	25/03/2003	3.47	12.02	
25/03/2003	28/03/2003	4.54	18.78	
28/03/2003	01/04/2003	3.27	9.09	
01/04/2003	04/04/2003	58.88	81.44	
04/04/2003	08/04/2003	7.88	32.37	
08/04/2003	11/04/2003	3.09	5.13	
11/04/2003	15/04/2003	12.52	19.10	
15/04/2003	18/04/2003	11.60	17.90	17.14
18/04/2003	22/04/2003	2.81	7.04	4.47
22/04/2003	25/04/2003	4.49	15.24	6.18
25/04/2003	29/04/2003	2.90	12.34	6.38
29/04/2003	02/05/2003	28.03	30.69	36.85
02/05/2003	06/05/2003	18.31	30.54	21.36
06/05/2003	09/05/2003	15.46	20.72	23.84
09/05/2003	13/05/2003	15.87	20.25	20.3
13/05/2003	16/05/2003	97.63	77.53	101.86
16/05/2003	20/05/2003	9.25	16.82	21.45
20/05/2003	23/05/2003	50.53	43.15	56.51
23/05/2003	28/05/2003	4.54	8.37	5.98
	<b>Flux moyen</b>	<b>15.58</b>	<b>22.73</b>	<b>24.57</b>

## ANNEXE III

### Site Témoin

	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11
<b>PM10 (µg/m3)</b>	41.13	68.13	44.44	32.06	16.41	31.02	23.35	39.41	38.09	34.75	24.19
<b>Al (ng/m3)</b>	655.31	1138.05	698.44	380.54	255.68	414.56	316.46	855.26	694.62	515.22	357.37
<b>Al (mg/g)</b>	15.93	16.70	15.72	11.87	15.58	13.36	13.55	21.70	18.24	14.83	14.78
<b>Fe (ng/m3)</b>	371.39	616.12	454.69	315.03	156.25	345.21	284.81	595.31	566.58	382.05	258.46
<b>Fe (mg/g)</b>	9.03	9.04	10.23	9.82	9.52	11.13	12.20	15.11	14.87	10.99	10.69
<b>Ca (ng/m3)</b>	4318.60	8647.31	6267.19	4764.50	1387.31	3318.10	2860.76	4740.05	4659.09	5413.76	3219.53
<b>Ca (mg/g)</b>	105.00	126.93	141.03	148.59	84.52	106.96	122.49	120.28	122.31	155.79	133.11
<b>Cd (ng/m3)</b>	0.65	0.90	0.54	0.49	0.47	0.73	0.45	0.43	0.47	0.40	0.28
<b>Cd (µg/g)</b>	15.86	13.28	12.24	15.32	28.65	23.63	19.31	10.95	12.44	11.54	11.61
<b>Ni (ng/m3)</b>	10.19	7.59	3.60	2.15	2.75	6.70	5.91	4.99	8.02	5.71	2.53
<b>Ni (µg/g)</b>	247.80	111.40	81.05	67.02	167.60	216.11	253.18	126.51	210.46	164.19	104.49
<b>Pb (ng/m3)</b>	12.44	16.80	9.63	5.38	5.06	9.86	5.90	12.06	8.21	5.39	4.30
<b>Pb (µg/g)</b>	302.57	246.62	216.63	167.70	308.08	317.78	252.57	305.90	215.46	155.02	177.97
<b>V (ng/m3)</b>	11.31	14.61	6.45	3.45	4.11	11.10	11.28	10.34	14.68	8.12	4.26
<b>V (µg/g)</b>	274.96	214.44	145.04	107.64	250.10	357.98	482.86	262.26	385.29	233.80	176.19
<b>Sr (ng/m3)</b>	7.31	13.66	11.25	7.90	2.93	6.23	5.52	11.90	10.19	9.88	5.84
<b>Sr (µg/g)</b>	177.65	200.43	253.06	246.50	178.65	200.86	236.45	302.00	267.61	284.35	241.49



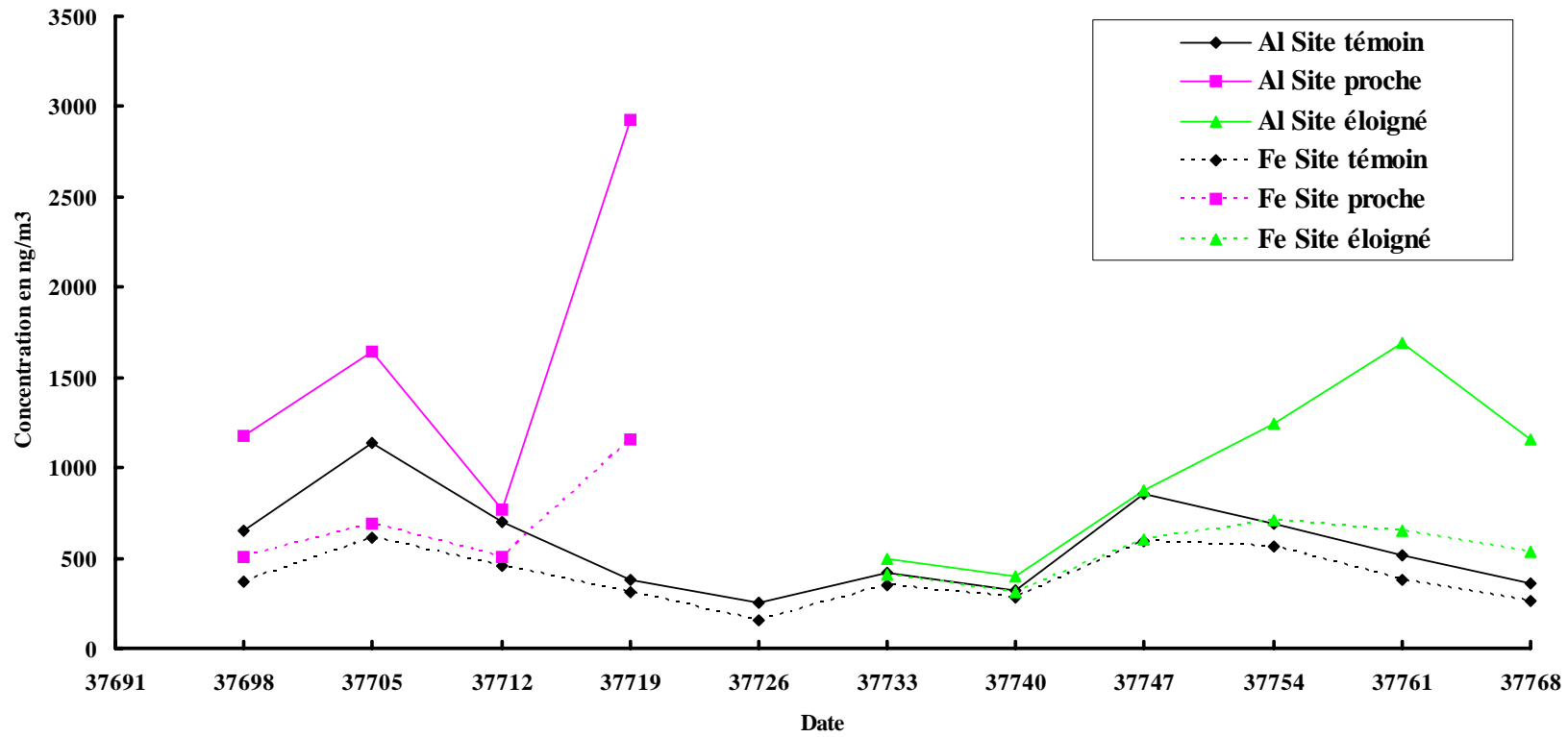
## Site proche

	SP1	SP2	SP3	SP4
<b>PM10</b> <b>(µg/m3)</b>	48.15	65.81	40.60	45.32
<b>Al (ng/m3)</b>	1180.56	1642.69	766.42	2926.50
<b>Al (mg/g)</b>	24.52	24.96	18.88	64.58
<b>Fe (ng/m3)</b>	508.33	690.95	505.74	1159.56
<b>Fe (mg/g)</b>	10.56	10.50	12.46	25.59
<b>Ca (ng/m3)</b>	3688.89	6326.44	4225.76	3215.92
<b>Ca (mg/g)</b>	76.62	96.14	104.09	70.97
<b>Cd (ng/m3)</b>	1.01	0.85	1.06	0.57
<b>Cd (µg/g)</b>	21.06	12.98	26.07	12.52
<b>Ni (ng/m3)</b>	8.34	7.19	4.62	3.16
<b>Ni (µg/g)</b>	173.31	109.28	113.91	69.83
<b>Pb (ng/m3)</b>	9.39	13.81	9.01	5.80
<b>Pb (µg/g)</b>	195.12	209.81	221.85	128.03
<b>V (ng/m3)</b>	13.97	15.18	7.45	8.40
<b>V (µg/g)</b>	290.19	230.65	183.39	185.46
<b>Sr (ng/m3)</b>	6.50	10.80	7.98	6.30
<b>Sr (µg/g)</b>	135.06	164.17	196.62	139.08

## Site Eloigné

	SE1	SE2	SE3	SE4	SE5	SE6
<b>PM10</b> <b>(µg/m3)</b>	29.54	22.96	34.15	37.87	35.83	28.76
<b>Al (ng/m3)</b>	492.81	400.18	874.78	1243.26	1688.14	1157.88
<b>Al (mg/g)</b>	16.68	17.43	25.61	32.83	47.12	40.26
<b>Fe (ng/m3)</b>	404.43	307.25	606.65	710.01	647.09	531.76
<b>Fe (mg/g)</b>	13.69	13.38	17.76	18.75	18.06	18.49
<b>Ca (ng/m3)</b>	1936.79	1827.04	2306.77	2901.44	3187.54	3341.82
<b>Ca (mg/g)</b>	65.57	79.57	67.54	76.62	88.96	116.20
<b>Cd (ng/m3)</b>	0.77	0.46	0.49	0.51	0.36	0.39
<b>Cd (µg/g)</b>	26.22	20.23	14.43	13.49	9.99	13.65
<b>Ni (ng/m3)</b>	6.75	6.60	5.30	7.40	4.02	3.07
<b>Ni (µg/g)</b>	228.50	287.47	155.31	195.45	112.21	106.61
<b>Pb (ng/m3)</b>	11.30	6.65	6.89	6.78	4.82	4.73
<b>Pb (µg/g)</b>	382.66	289.62	201.67	178.92	134.41	164.32
<b>V (ng/m3)</b>	12.99	12.47	10.79	15.24	9.38	3.79
<b>V (µg/g)</b>	439.86	543.21	315.96	402.45	261.91	131.87
<b>Sr (ng/m3)</b>	4.88	4.21	7.43	8.12	7.55	8.93
<b>Sr (µg/g)</b>	165.31	183.55	217.41	214.48	210.66	310.36

Figure 8 : Evolution des concentrations en Al et Fe dans les PM10



**Tableau de synthèse des niveaux de particules inhalable, sédimentable et de la force du vent**

Date	Particules sédimentables g/(m <sup>2</sup> .mois)	Particules sédimentables g/(m <sup>2</sup> .mois)	PM10 En µg/m <sup>3</sup>	Particules sédimentables g/(m <sup>2</sup> .mois)	PM10 En µg/m <sup>3</sup>	en m/s
	Site Témoin	Site Proche	site proche	Site panache	site panache	force du vent– Aix en Provence
<b>18/03/2003</b>	0.13	0.57	56			1.38
<b>21/03/2003</b>	0.34	0.38	70			1.11
<b>25/03/2003</b>	0.12	0.40	50			1.64
<b>28/03/2003</b>	0.15	0.63	64			0.90
<b>01/04/2003</b>	0.11	0.30	37			2.19
<b>04/04/2003</b>	1.96	2.71				4.13
<b>08/04/2003</b>	0.26	1.08				3.15
<b>11/04/2003</b>	0.10	0.17				3.08
<b>15/04/2003</b>	0.42	0.64			52	2.46
<b>18/04/2003</b>	0.39	0.60		0.57	28	2.03
<b>22/04/2003</b>	0.09	0.23		0.15	35	3.15
<b>25/04/2003</b>	0.15	0.51		0.21	24	1.19
<b>29/04/2003</b>	0.10	0.41		0.21	32	2.33
<b>02/05/2003</b>	0.93	1.02		1.23	30	3.38
<b>06/05/2003</b>	0.61	1.02		0.71	35	3.14
<b>09/05/2003</b>	0.52	0.69		0.79	58	3.43
<b>13/05/2003</b>	0.53	0.68		0.68	44	1.34
<b>16/05/2003</b>	3.25	2.58		3.39	32	4.43
<b>20/05/2003</b>	0.31	0.56		0.72	36	1.54
<b>23/05/2003</b>	1.68	1.44		1.88	30	5.72
<b>28/05/2003</b>	0.15	0.28		0.2		2.58

