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 : décembre 2004

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 ; 13286 Marseille Cedex 6 – Tel : 04 91 32 38 00 – Fax : 04 91 32 38 29 - Internet : www.airmaraix.com - Serveur téléphonique : 04 91 326 327

SOMMAIRE

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

I- Objectifs de l'étude 3

II- Principales retombés attendues de l'étude 3

III- Nom et qualité des intervenants 3

IV- Polluants pris en compte et moyens d'évaluation 4

V- Moyens de mesures 5

VI- Stratégie d'échantillonnage 7

Chapitre II - Résultats

I- Conditions météorologiques observées à Aix les Milles – site de Météo-France durant les périodes P2003, P1, P2 et P3 10

II- Niveaux mesurés pendant la campagne et évaluation des teneurs annuelles 11

II-1- Particules en suspension inférieures à 10 µm (PM10) 11
II-2- Dioxyde de soufre – SO_2 19
II-3- Dioxyde d'azote – NO_2 19
II-4- Monoxyde de carbone – CO 20

III- Particules sédimentables et analyse chimique des particules - CEREGE 21

III-1- Flux de particules sédimentables (analyse massique) 23

III-2- Granulométrie des particules sédimentables 25

III-3- Composition minéralogique des particules sédimentables 27

III-4- Microscopie électronique à balayage sur les particules sédimentables 30

IV- Composition chimique des PM10 – métaux lourds - CEREGE 28

V- Etude de quelques épisodes remarquables 30

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 retombés 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

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

Partenaire scientifique

Yves Noack	Directeur de recherche au CNRS – analyse des particules
Monsieur Bourdon	Stage de DESS

Sous traitant et achat de données

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

IV- Polluants pris en compte et moyens d'évaluation

IV-1- Les oxydes d'azote (NO, NO_2, NO_X)

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_2).

- Les principaux effets du NO_2 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_2 :

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

Valeur de référence pour les oxydes d'azote (NO_x) :

- Décret du 15 février 2002 : Charge critique pour les écosystèmes : **30 µg/m^3/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^3
  - Valeur limite sur 8 heures : 10 mg/m^3.

IV-3- Les PM10 (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 PM10 sont majoritairement émises par le transport.

Valeurs de référence pour les PM10

- *Décret du 15 février 2002*
  - Valeur limite sur 24 heures : **50 µg/m^3** à ne pas dépasser plus de 35 jours par an (applicable au 1er janvier 2005)
  - Valeur limite annuelle : **40 µg/m^3** (applicable au 1er janvier 2005).
  - Objectif de qualité annuel : **30 µg/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_2

- *Décret du 15 février 2002*
  - Objectif de qualité annuel : **50 µg/m^3**
  - Valeur limite horaire à ne pas dépasser plus de 24h/an : **350 µg/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 ng/m^3**
- *Projet de valeur cible européen*
  - Nickel : **20 ng/m^3/an**
  - Cadmium **: 5 ng/m^3/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

Polluant	*Type de mesure*	*Pas de temps*	*Matériel*
NOx ***(NO et NO_2)***	*Automatique*	*Quart horaire*	*AC31M Environnement SA* *Nox2000 SERES*
SO_2	*Automatique*	*Quart horaire*	*SF2000 SERES*
CO	*Automatique*	*Quart horaire*	*CO 11M Environnement SA*
PM10	*Automatique*	*Quart horaire*	*TEOM – R&P*
	Automatique	*hebdomadaire*	*Partisol Pus R&P*
Particules sédimentables	*Laboratoire* *CEREGE*	*hebdomadaire*	*Plaquette DIEM*
Métaux lourds : Pb, Ni, Cd, Al, Sr, Ca, Fe	*Laboratoire* *CEREGE*	*hebdomadaire*	Préleveur : Partisol Pus R&P Analyse en ICP AOS ou AAS four
Analyse minéralogique : gibbsite, corindon, boehmite, quartz, oxyde de silicium, calcite	*Laboratoire* *CEREGE*	*hebdomadaire*	*Diffraction X*
Granulométrie des particules sédimentables	*Laboratoire* *CEREGE*	*Hebdomadaire*	*Granulométrie*

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_2. 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 Cézanne 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_2.

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

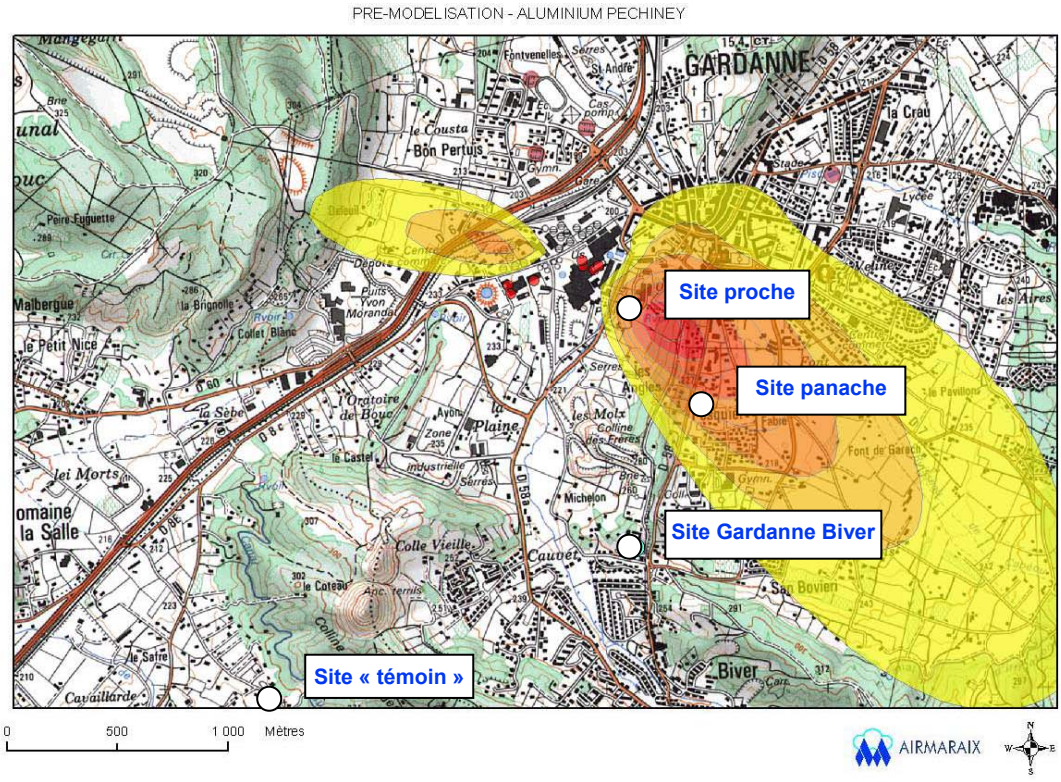


Tableau récapitulatif des sites d'échantillonnage et des périodes d'échantillonnage

site	Moyen	Description sommaire	Paramètres mesurés	Période de mesure
Site proche	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 **Adresse : Maison du droit** **Quartier Mistral - Gardanne**	Dioxyde de soufre Monoxyde de carbone Concentration massique des PM10 Oxydes d'azote Monoxyde de carbone Concentration des particules sédimentables Niveaux en métaux lourds (Al, Pb, Ni, Cd) dans les PM10 et les particules sédimentables	04/03 au 10/04/2003
Site panache	Camion laboratoire	Site sous le panache le plus probable en flux de Nord Ouest (pré-modélisation) Garage, proche de la médiathèque **Adresse :** **AD Garage S.M.E.R.A. : ld Font du Roy bd Paul Cézanne - Gardanne**		14/04 au 03/06/2003
Site témoin	Cabine climatisée - Test	Site a priori peu influencé par l'activité sous les flux de Nord Est peu fréquents **Adresse :** **STPR : Quartier Gadie Simiane-Collongues**		12/03 au 28/05/2003
Site Biver	Pièce climatisée	centre de formation HBCM Biver	SO_2	04/03 au 03/06/2003

Tableau récapitulatif des périodes d'échantillonnage (ANNEXE I)

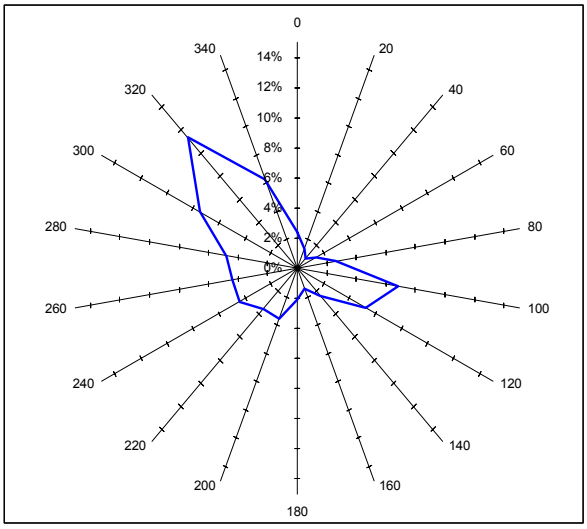
	Biver	Témoin	Proche	Panache
04/03-12/03				
12/03-10/04				
10/04-14/04				
14/04-28/05				
28/05-03/06				

Pour des raisons matérielles, tous les sites n'ont pu être instrumentés pendant la même période de mesure. Les sites Témoin et Biver ont néanmoins été couverts pendant la quasi-totalité des mesures pour constituer un élément de comparaison (par exemple, pendant la période P1, comparaison du site proche avec Biver et Témoin).

Chapitre II - Résultats

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

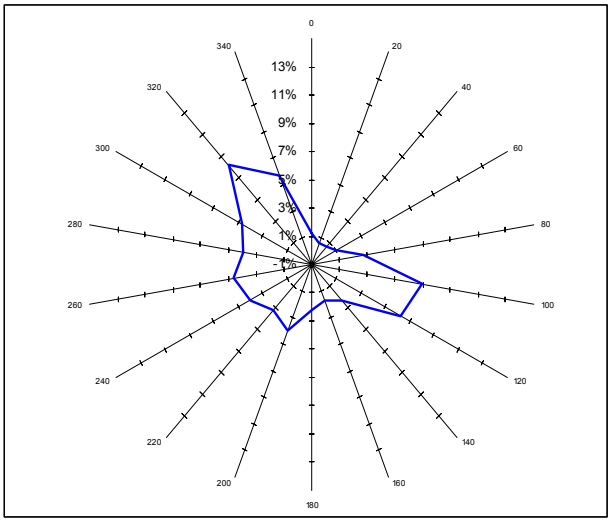
P2003 : Rose des vents du 1er janvier au 15 juillet 2003



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.

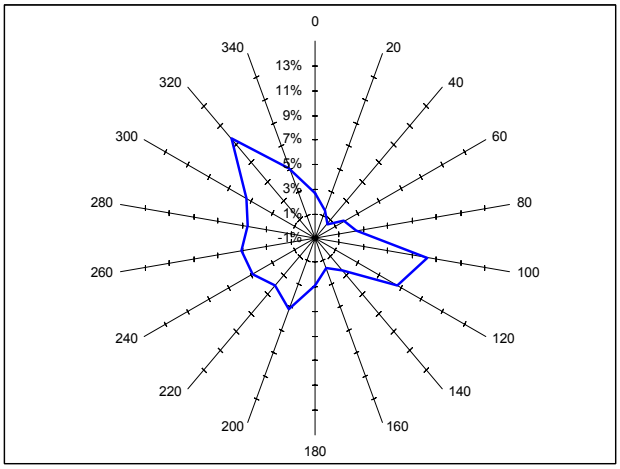
P1 : Rose des vents du 4 mars au 10 avril 2003



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).

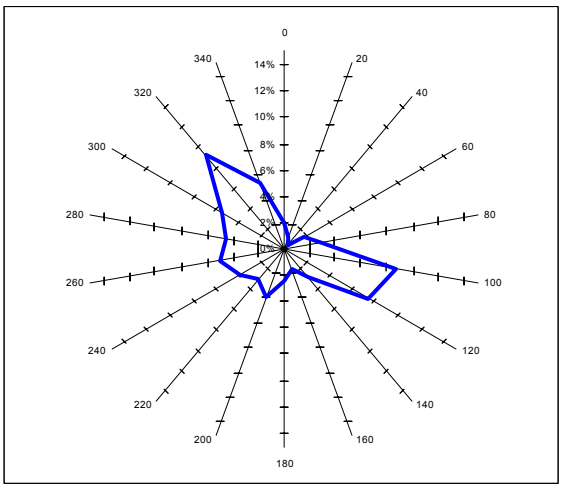
P2 : du 14 avril au 6 juin 2003



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

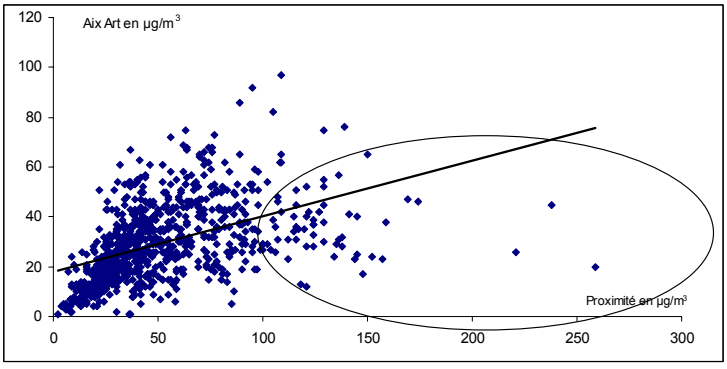
Les mesures temporaires réalisées sur les sites de proximité, panache, témoin et Gardanne Biver, nécessitent d'être relativisée pour intégrer à la fois les variations des conditions météorologiques et celles liées au fonctionnement de l'usine. L'objectif est de fournir une évaluation des niveaux annuels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

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

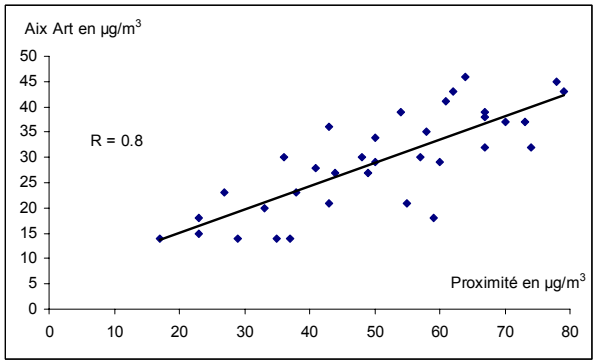
II-1-1- Estimation de la moyenne annuelle des PM10 (en masse)

II-1-1-1- Site proche

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



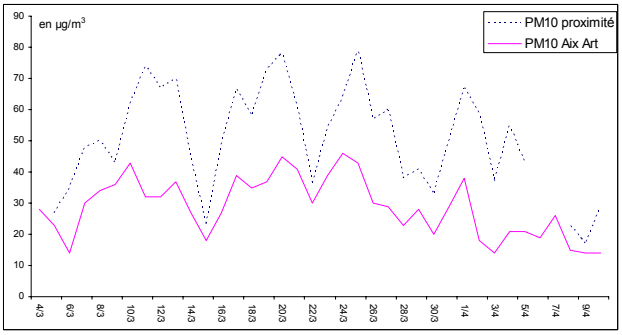
(a)



(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 donnés 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 1er 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 estimé proximité = P1 proximité / R P1/P2003 Aix moyen

Soit P2003 = 51/1.04 **= 49 µg/m^3**

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

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

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^3** est proche de celle mesurée pendant la campagne P1 (**51 µg/m^3**).

La valeur limite européenne (40 µg/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 µg/m^3/24 h)

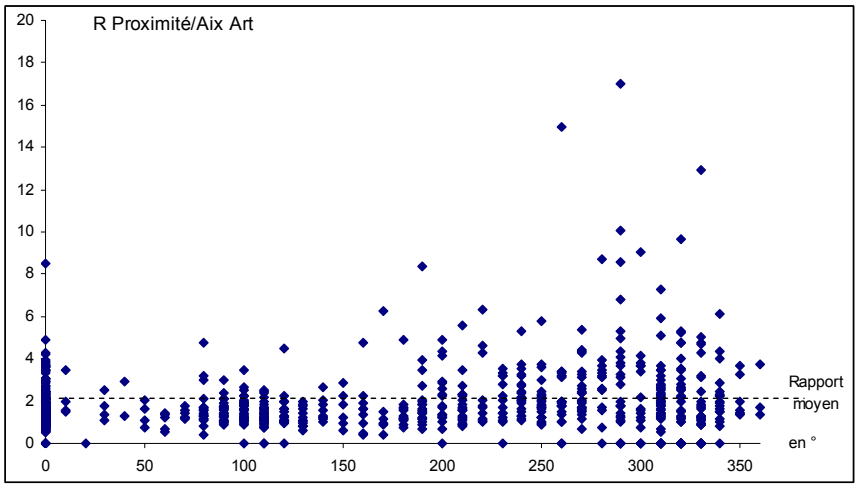
Tableau récapitulatif des niveaux de PM10 enregistrés sur le site de proximité et « témoin » par rapport aux sites aixois

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

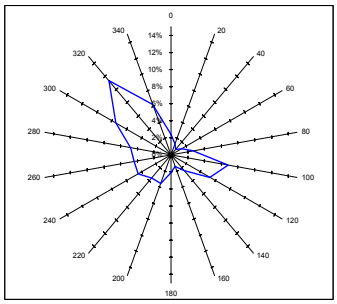
** P2002 = année 2002*

La tolérance européenne de 35 jours de dépassement du seuil de 50 µg/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.**

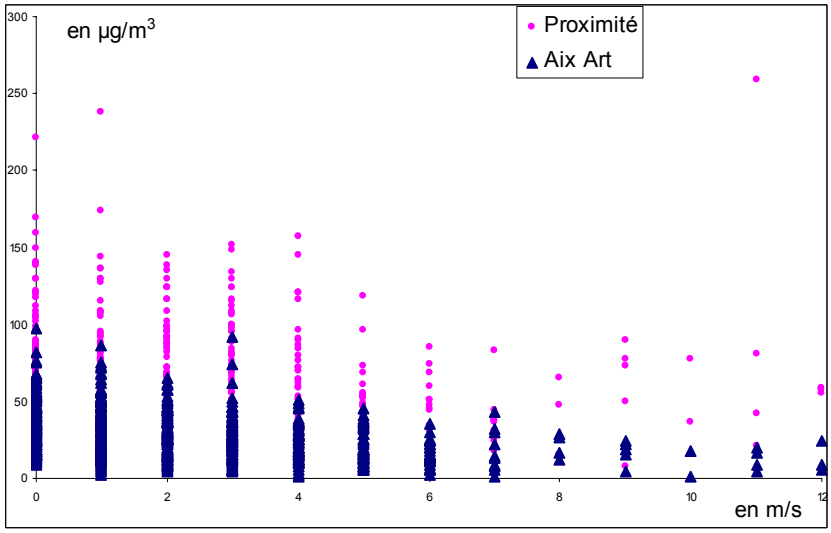
Influence de la direction et de la vitesse du vent du vent sur les niveaux de PM10



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 le teneurs, même si elle reste significativement plus élevées qu'à Aix en Provence.

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

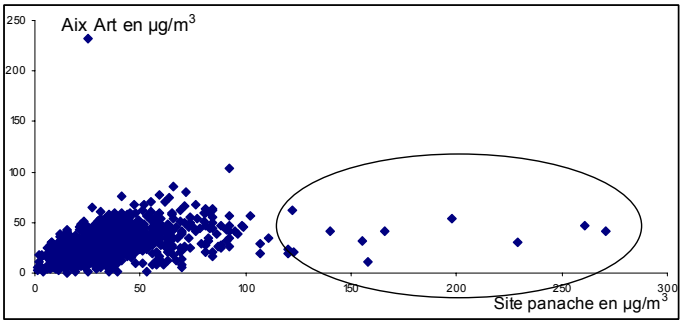
		Direction du vent	
	Moyenne P1	**DV>200**	**DV < 200°**
R proximité/Aix Art	1.9	2.8	1.58

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 Péchiney, 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 (Ratio = 2.8).

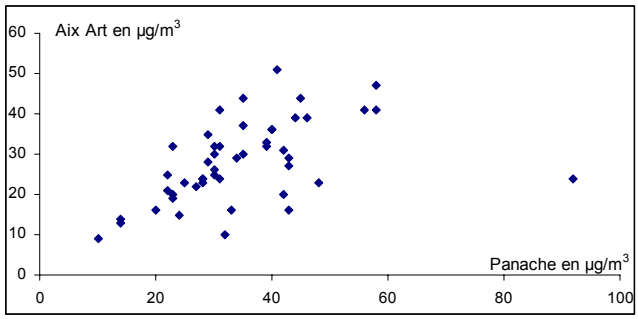
II-1-1-2- Site Panache

La corrélation linéaire entre le site panache et les sites aixois est faible pour les données horaires (< 0.5). Les écarts zonées 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	
P2 : Moyenne période	**29**	**35**	**28**	**28**	
moyenne 2002	**/**	**/**	26	23	
P2003 : 1/01 au 15/07/2003	**/**	**/**	30	29	
R P2/P2003	**/**	**/**	0.93	0.97	**R_{moyen} = 0.95**
Moyenne estimée sur P2003	**30**	**36**	**29**	**30**	

L'extrapolation mathématique des niveaux de PM10 relevés sur le site panache entraîne une légère majoration de la moyenne de 35 à 36 µg/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

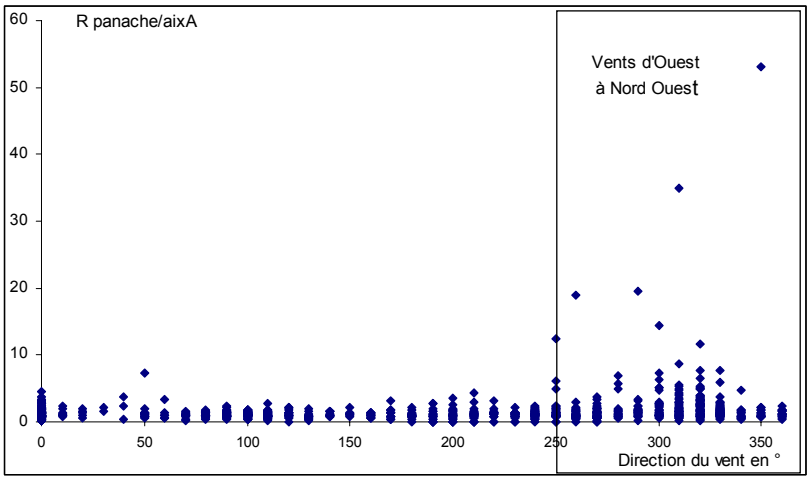
	P2		P2003		P2002*	
	Nb j > 50 µg/m^3/j	**Max j**	**Nb j > 50 µg/m^3/j**	**Max horaire**	**Nb j > 50 µg/m^3/j**	**Max horaire**
Site panache	**4**	92 µg/m^3 le 14/05	Risque probable > 35 jours	/	/	/
Site témoin	**4**	53 µg/m^3 le 6/05	/	/	/	/
Aix Art	**1**	51 µg/m^3 le 7/05	3	232 µg/m^3 le 27/05	8	173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

** P2002 = année 2002*

Le risque de dépasser le seuil de 35 jours supérieurs à 50 µg/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.

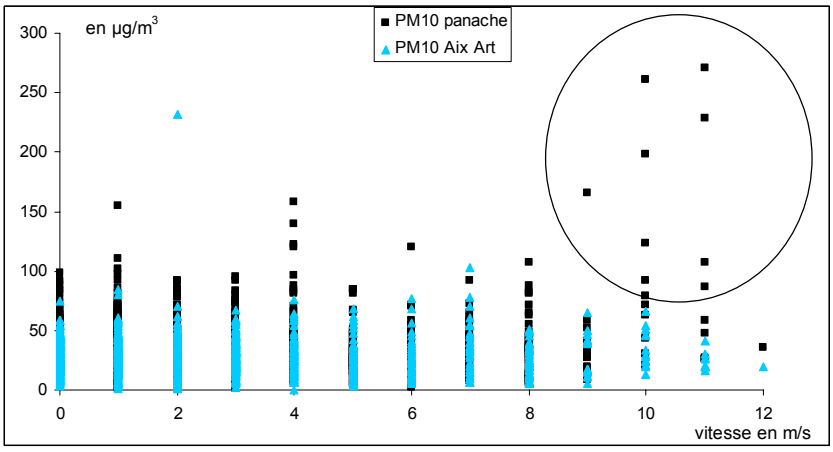
Tableau récapitulatif des niveaux moyens observés par direction de vent (en °)

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

Ce tableau montre que les teneurs du site panache sont plus de 50 % supérieurs 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 nivaux horaires de PM10 sur les sites panache et d'Aix Art pendant la période P2

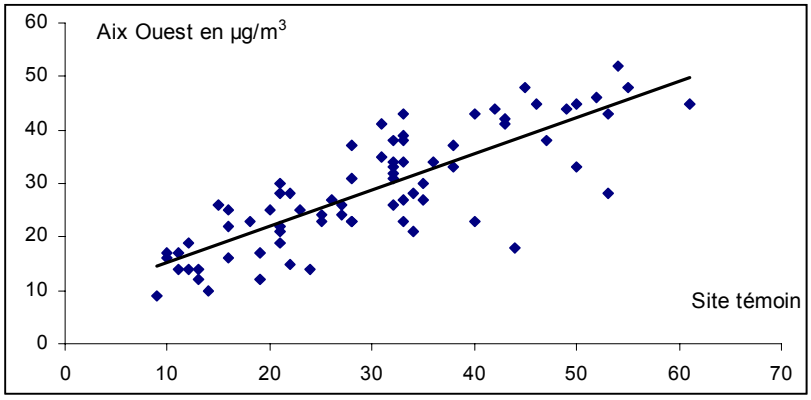


L'enrichissement relatif est surtout relevé pour des vents forts (> 8 m/s). Les conditions pénalisantes sur le site panache sont donc des conditions de mistral établi.

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 Péchiney 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	
P3 : Moyenne période	**31**	**28**	**29**	
moyenne 2002	/	26	23	
P2003 : 1/01 au 15/07/2003	/	30	29	
R P2/P2003	/	*0.93*	*1.01*	**R_{moyen} = 0.97**
Moyenne estimée sur P2003	**32**	/	/	/

Les teneurs évaluées sur le site Témoin (32 µg/m^3) sont inférieures à celles du site panache (36 µg/m^3). Ces niveaux dépasse l'objectif de qualité français (30 µg/m^3), mais respectent la valeur limite européenne (40 µg/m^3 – échéance 2005). Ce constat est, notamment à relier au fait que le site témoin est également influencé par Aluminium Péchiney 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

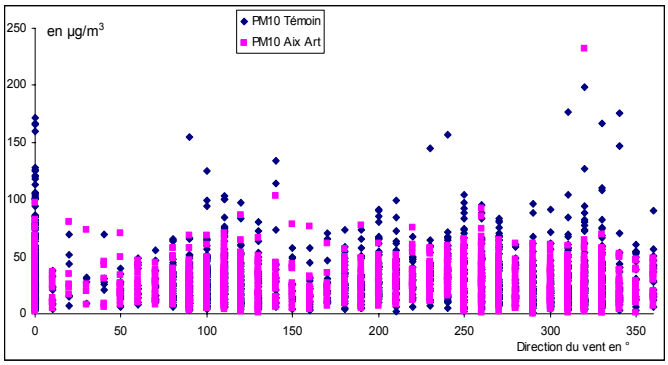
	P3		P2003		P2002*	
	Nb j > 50 µg/m^3/j	Max j	Nb j > 50 µg/m^3/j	Max horaire	Nb j > 50 µg/m^3/j	Max horaire
Site témoin	**9**	61 µg/m^3 le 19/03	Risque probable	/	/	/
Aix Art	**1**	51 µg/m^3 le 7/05	3	232 µg/m^3 le 27/05	8	173 µg/m^3
Aix Ouest	**1**	52 µg/m^3 le 29/03	6	163 µg/m^3 le 14/01	12	177 µg/m^3

** P2002 = année 2002*

Le tableau ci-dessus indique que 9 dépassements du seuil 50 µg/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 Péchiney 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 nivaux 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 Péchiney. 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 µg/m^3 et le nombre de pointes journalières est significatif.

II-2- Dioxyde de soufre – SO_2

Normes :

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

Tableau récapitulatif des niveaux de SO_2

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

II-3- Dioxyde d'azote – NO_2

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

Site proximité

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

Site panache

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

Site témoin

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

Tableau de synthèse des niveaux de NO_2

	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_2 observés sur les sites temporaires de Gardanne **sont modérés de 13 à 25 µg/m^3.** Ces concentrations correspondent à des situations périurbaines et des villes moyennes. La valeur limite à l'échéance 2010 (40 µg/m^3/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^3).
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^3) est faible.**

II-4- Monoxyde de carbone – CO

Tableau récapitulatif des Niveaux observés pendant les campagnes de mesures

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

En mg/m^3

Les niveaux moyens (0.4-0.5 mg/m^3) et maximums (3.5 mg/m^3) de CO mesurés pendant la campagne sont modérés. Ces seuils respectent nettement la valeur limite horaire européenne de 30 mg/m^3. 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

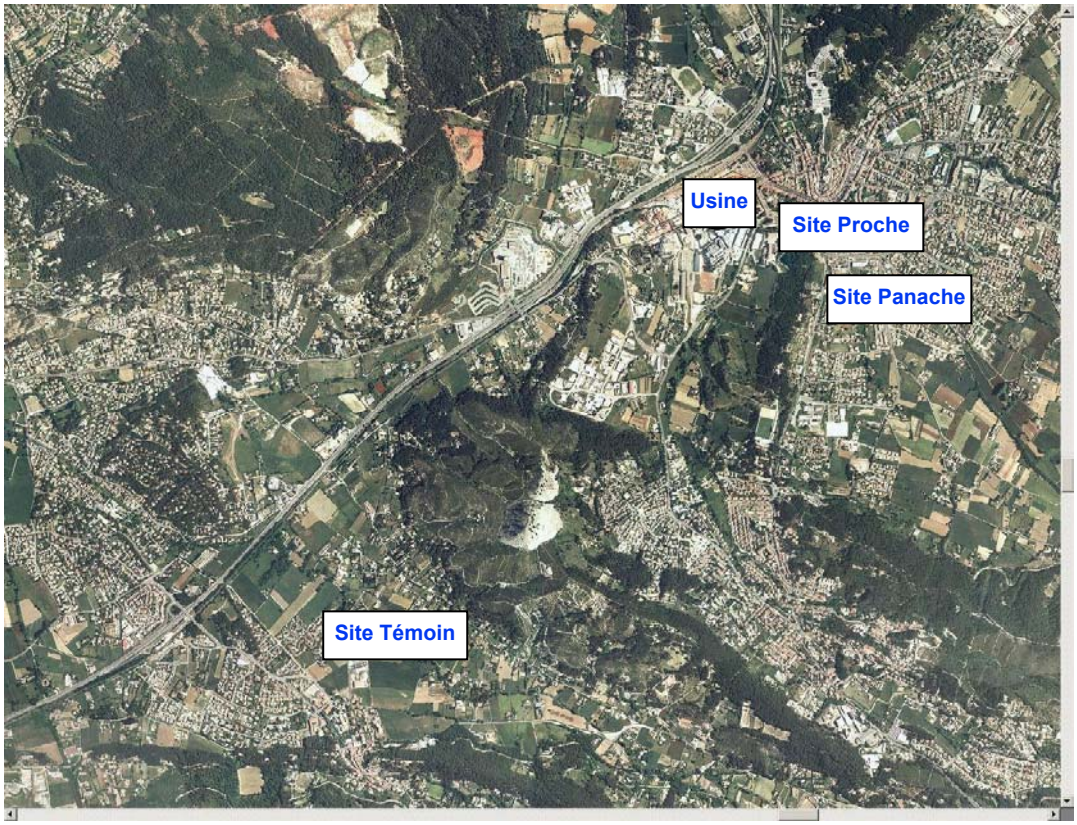
Le but de cette étude est de compléter la précédente approche afin d'évaluer la composition des particules inhalables (PM10) en matière de métaux lourds et les flux de particules sédimentables associés à leur composition minéralogique et chimique.
L'usine d'Aluminium Péchiney Gardanne est productrice de particules, de granulométrie variable, composées essentiellement de gibbsite ($Al(OH)_3$, hydroxyde d'aluminium) et de corindon ($Al2O_3$, 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.



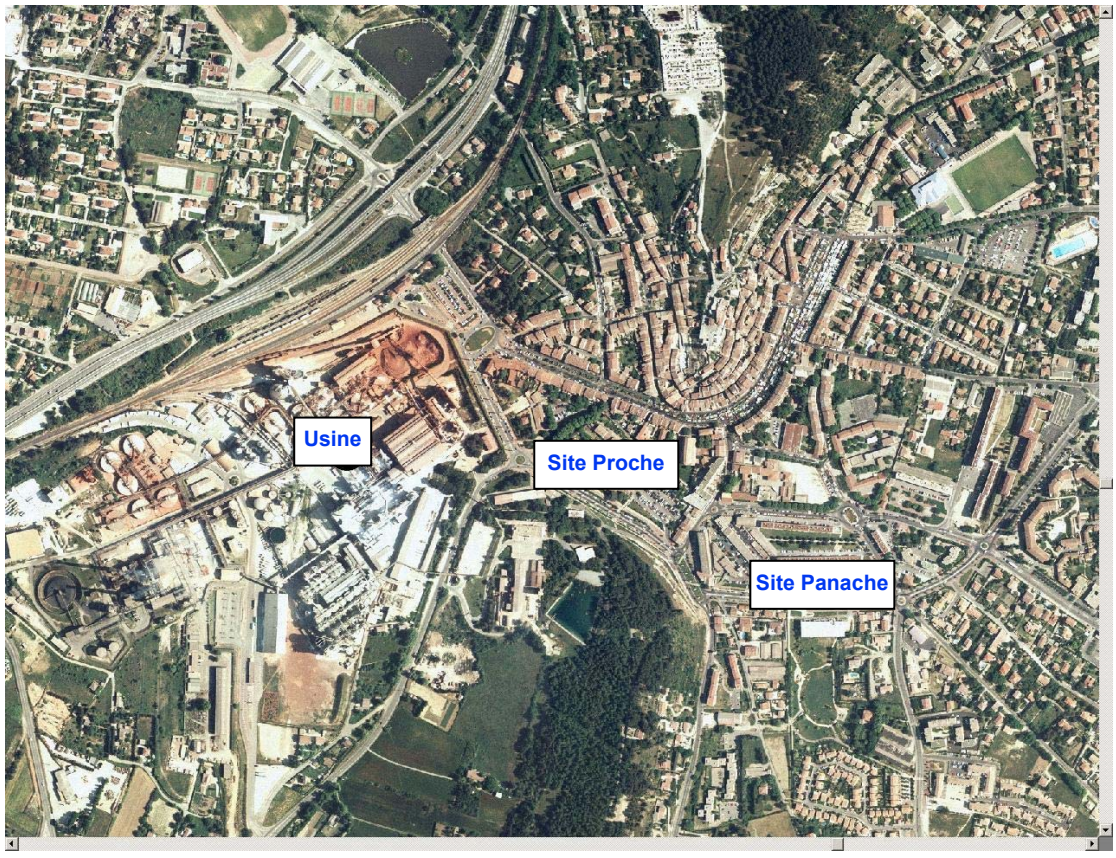


Figure 1 : Situation des sites de prélèvement

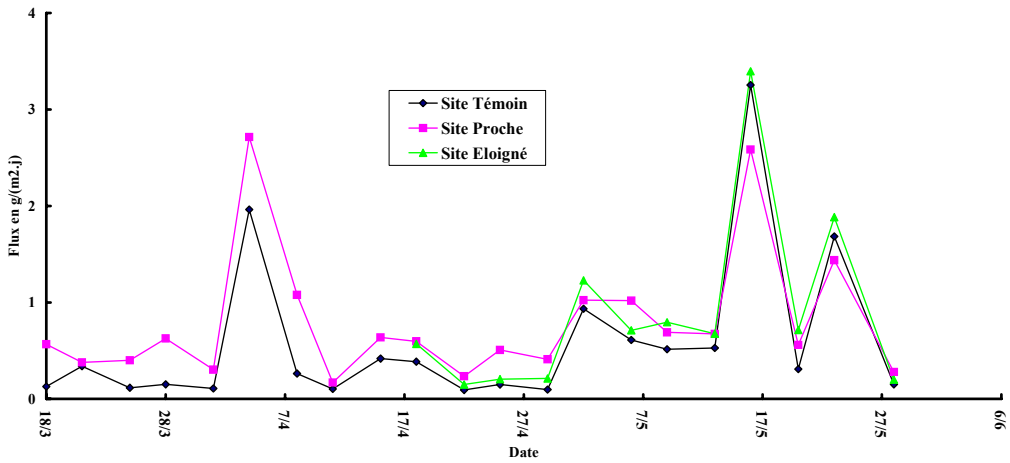
III-1- Flux de particules sédimentables (analyse massique)

Le flux moyen de particules sédimentables varie de 0.6 g/(m^2.j) sur le site témoin à 0.90 g/(m^2.j) sur le site panache. 50 à 80 % des prélèvements de particules sédimentables sont en dessous de 0.67 g/(m^2.mois). Les évolutions durant la campagne sont semblables sur les trois sites, avec trois pics sur les périodes du 1er 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.

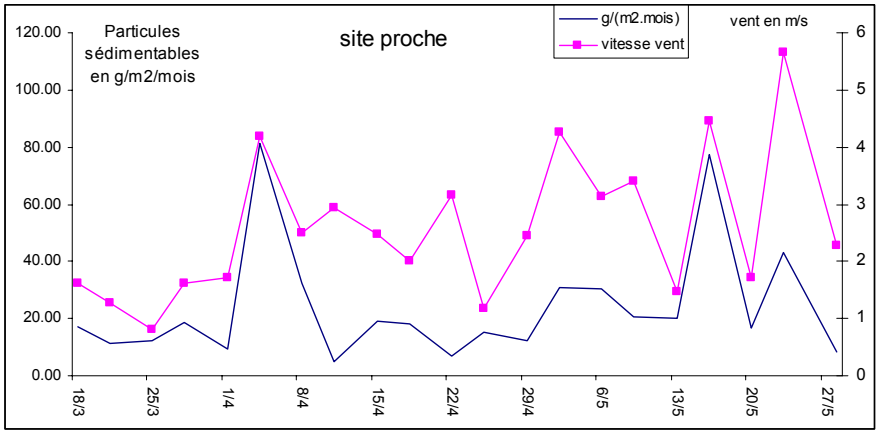
Tableau II récapitulatif des flux de particules sédimentables mesurés pendant la campagne

En g/(m^2.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
	Flux moyen	**0.59**	**0.80**	**0.90**

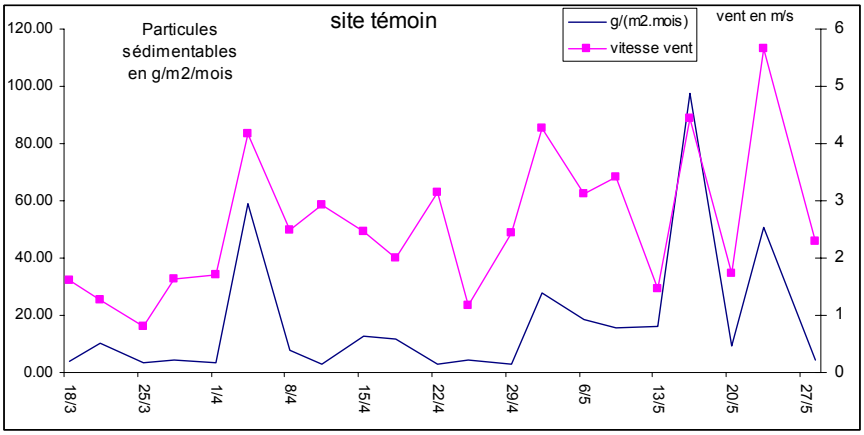
Figure 2 : Particules sédimentables Plaquettes DIEM



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

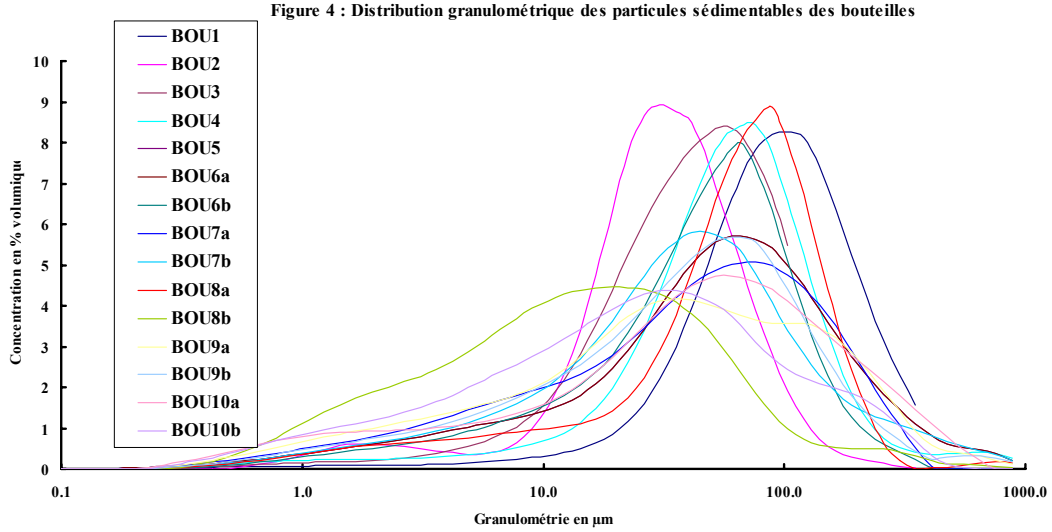


La corrélation entre les niveaux de particules sédimentables et la force du vent s'étale de 0.65 à 0.71 pour les trois sites de mesures. Ce lien indique que la force du vent qui entraîne une mise en suspension et le transport des grosses particules est prépondérante dans le processus.
Le lien entre les 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 Péchiney 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 µm. 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 µm. C'est notamment le cas des prélèvements 2 et 10.

Figure 4 : Distribution granulométrique des particules sédimentables des bouteilles

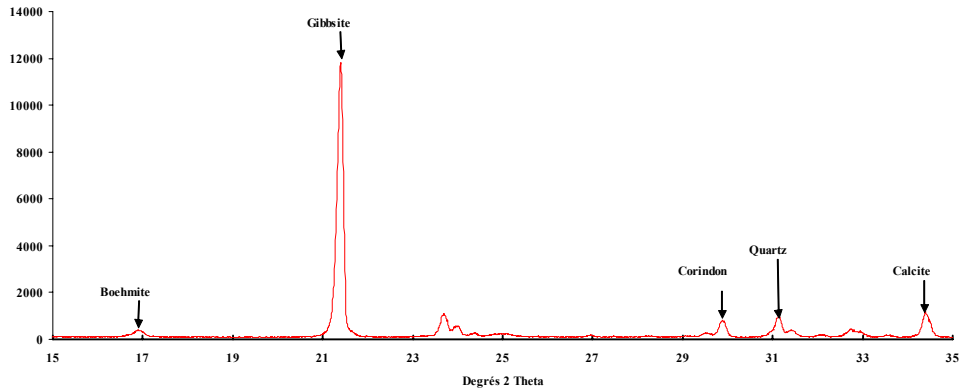


III-3- Composition minéralogique des particules sédimentables

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 ($Al_2(OOH)_2$), 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 :

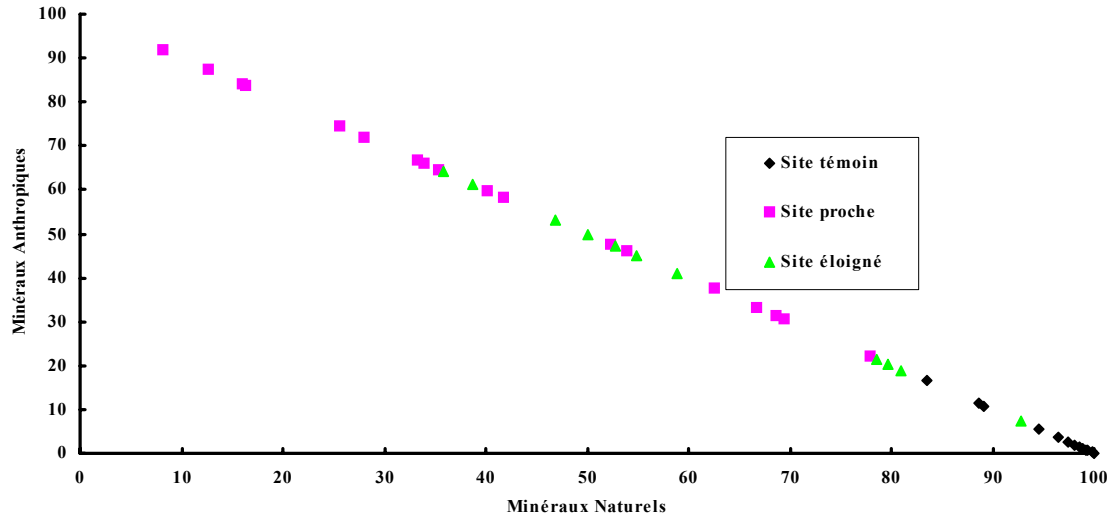
- milieu naturel (quartz + calcite) ;
- minerai (boehmite et gibbsite) ;
- process industriel (gibbsite et corindon).

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 l'absence d'influence du minerai 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 (minerai + 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

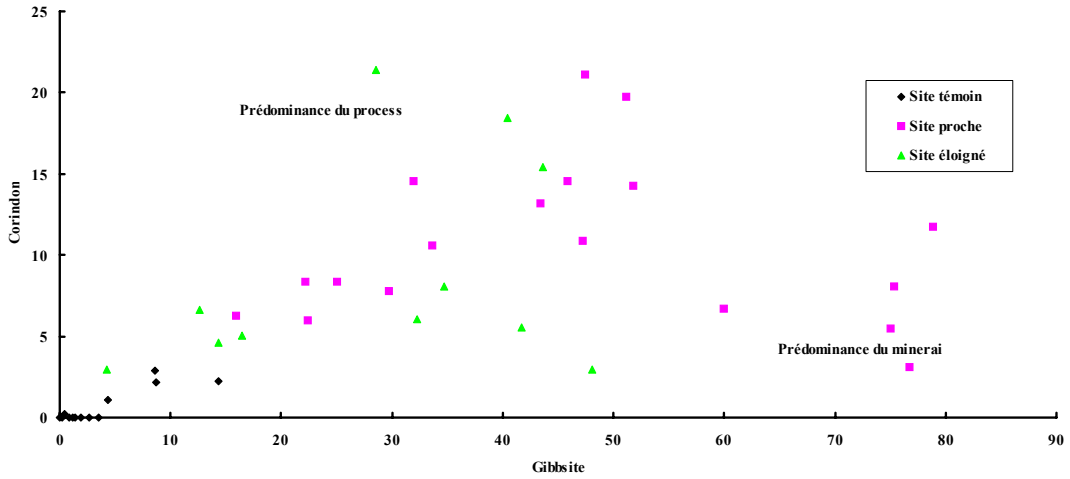


Il est plus difficile de faire la part de l'impact minerai par rapport à celui du process industriel. Un graphe Gibbsite-Corindon montre trois groupes de point (Fig. 7):

- le groupe les 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 minerai ;
- 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 µm, 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.

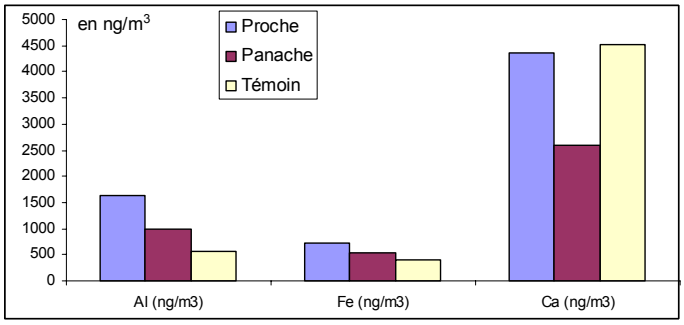
IV- Composition chimique des PM10 – métaux lourds - CEREGE

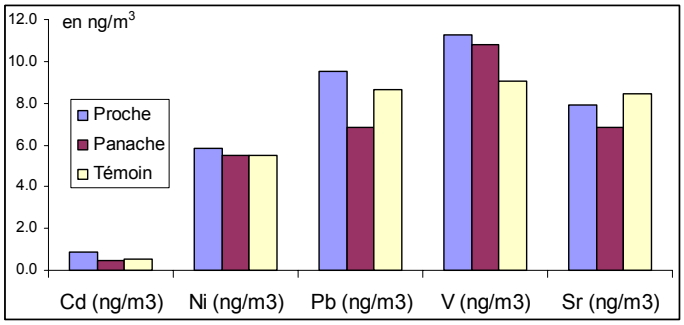
Les prélèvements hebdomadaires PM10 ont été analysés pour 8 éléments (Al, Ca, Cd, Fe, Ni, Pb, Sr, V) d'une part dans une perspective d'évaluer une participation relative des différents milieux et d'autre par dans le cadre de la réglementation sur les métaux lourds.

Tableau récapitulatif des niveaux moyens observés pendant la campagne de mesure

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

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





Matrice de corrélation linéaire avec l'Aluminium

	Site Panache	Site Proximité
PM10	0.9	0.1
Al	1	1
Fe	0.8	0.98
Ca	0.9	-0.3

De façon générale, les concentrations moyennes en ng/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

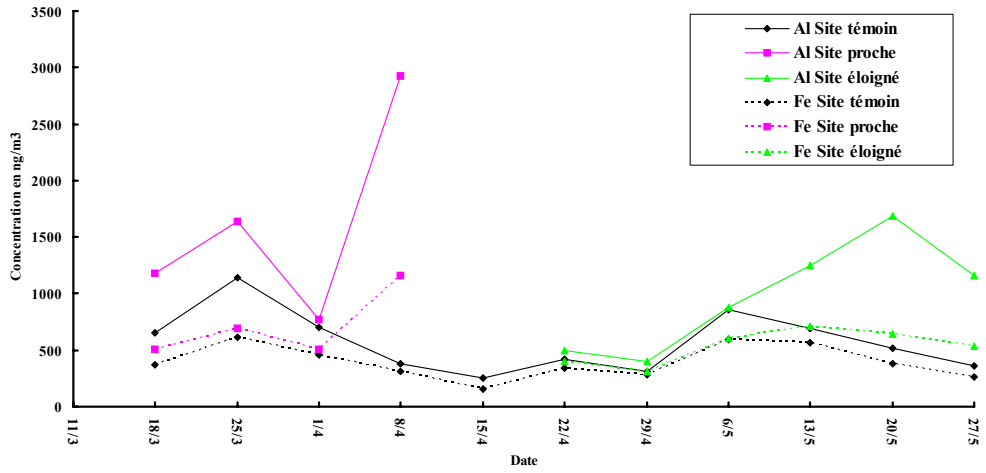
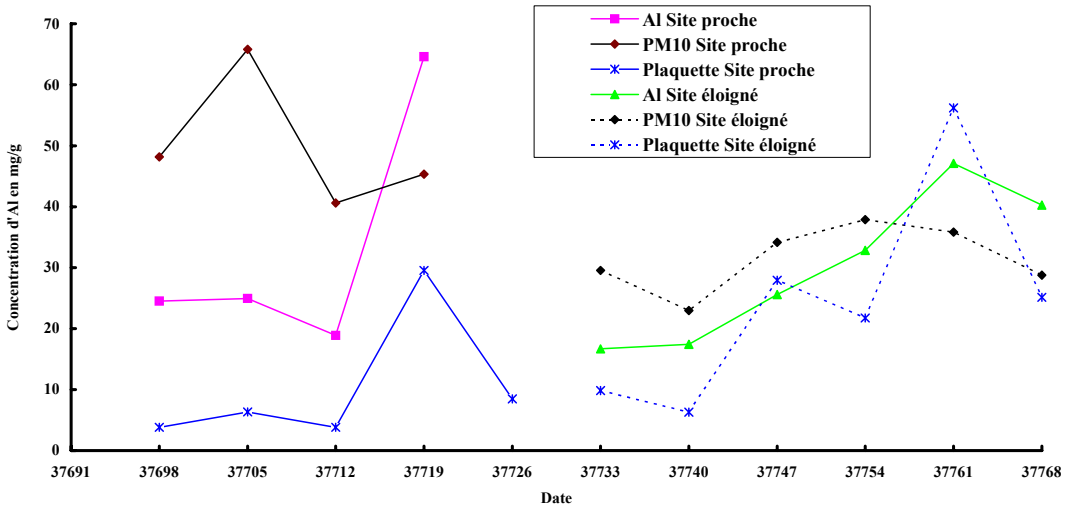


Figure 9 : Relation Concentration en Aluminium - Concentration en Particules inhalables (PM10) et sédimentable (plaquette)

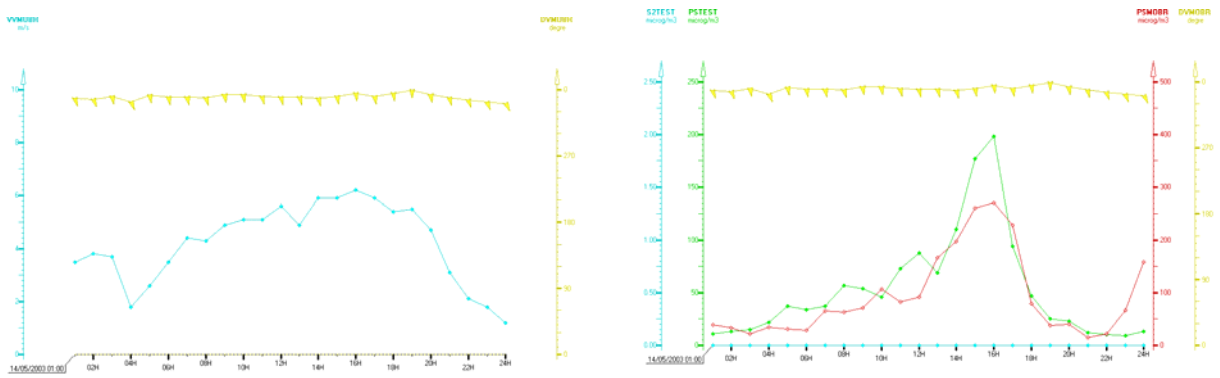


V- Etude de quelques épisodes remarquables

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 µg/m^3 sur le site témoin et 92 µg/m^3 sur le site panache.

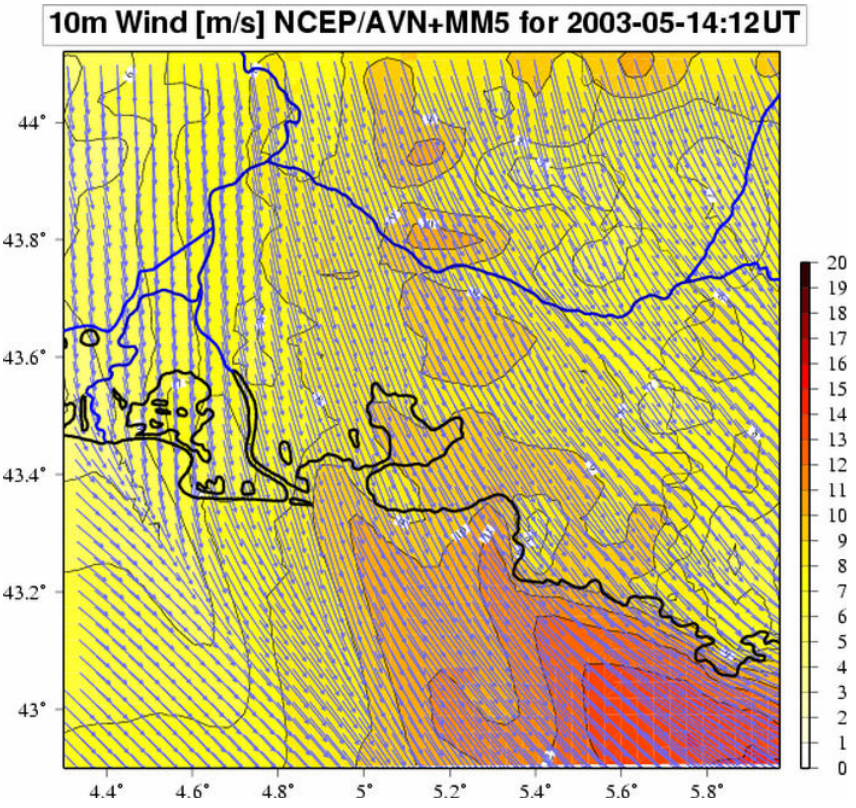
Evolution du vent (a) et PM10 et SO_2 sur les sites témoin, panache (b) le 14 mai 2003



(a) **(b)**

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 Péchiney. A noter, l'absence totale de dioxyde de soufre durant cet épisode.

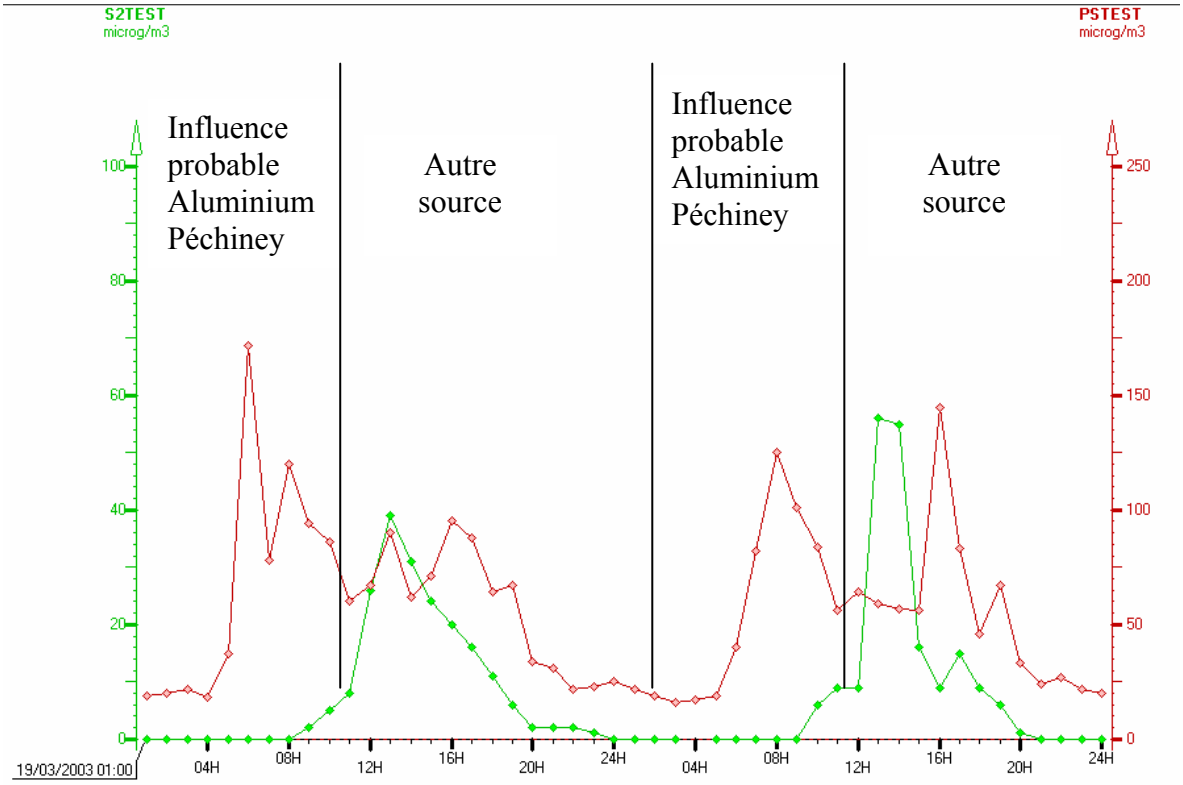
Carte de la vitesse et force du vent calculé par MM5 le 14 mai 2003 à 12 H 00 TU



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_2 sur le site témoin (TEST) les 19 et 20 mars 2003

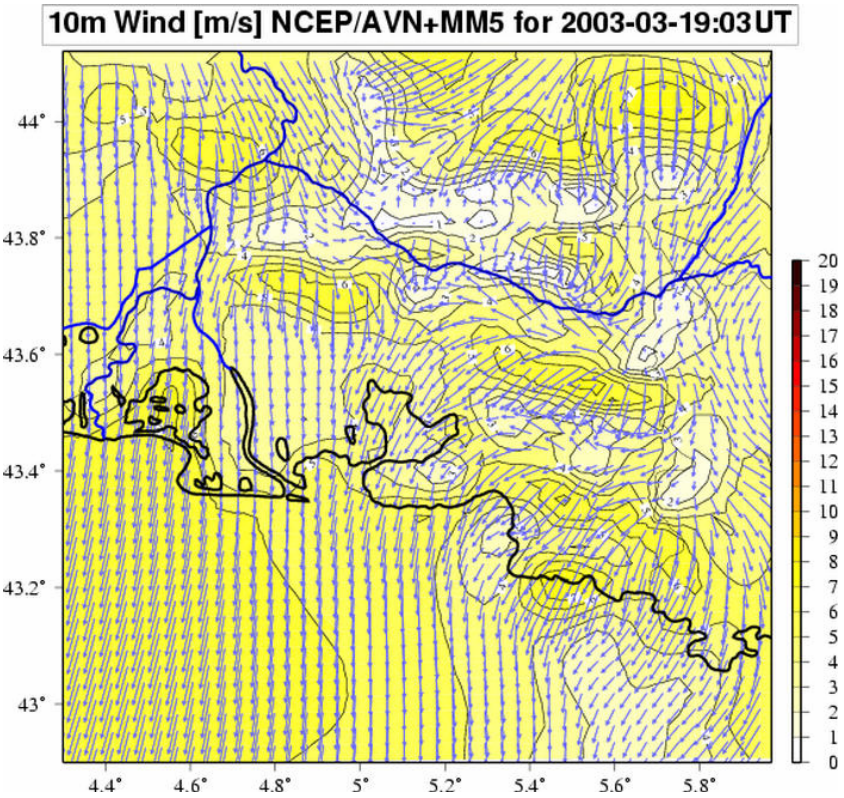


Les conditions météorologiques observées les 19 et 20 mars sont caractéristiques de situations anticycloniques.
Dans ces conditions on assiste à une inversion des brises entre le jour et la nuit :

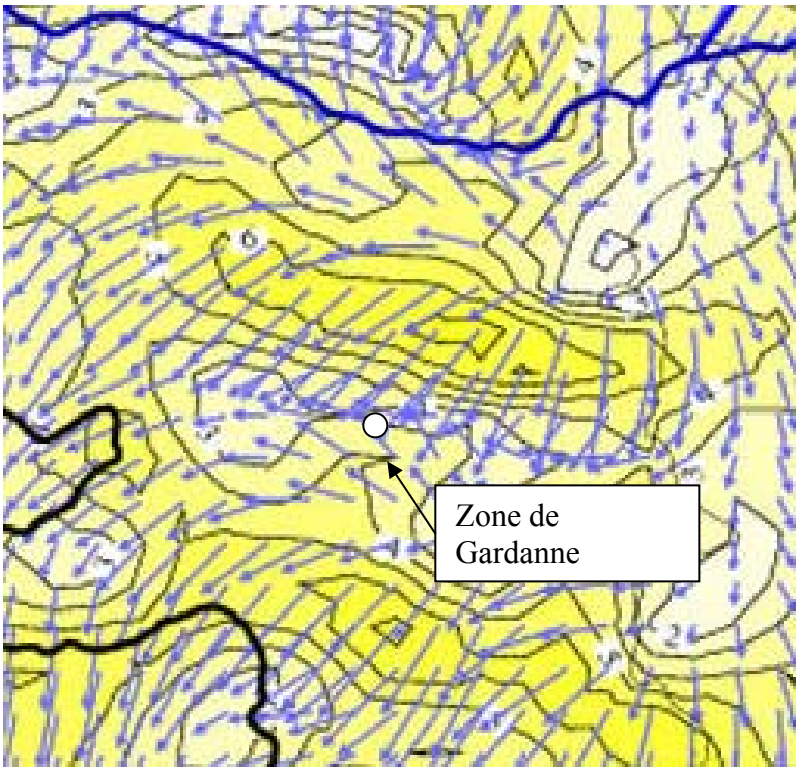
- Brise de terre pendant la nuit (écoulement de pente lent durant la nuit) – orientation globalement Nord Est sur le secteur de Gardanne
- Brise de pente ascendante pendant la journée relayée par des brises de mer.

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 brises c'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_2. Les teneurs de SO_2 observées restent néanmoins modestes.

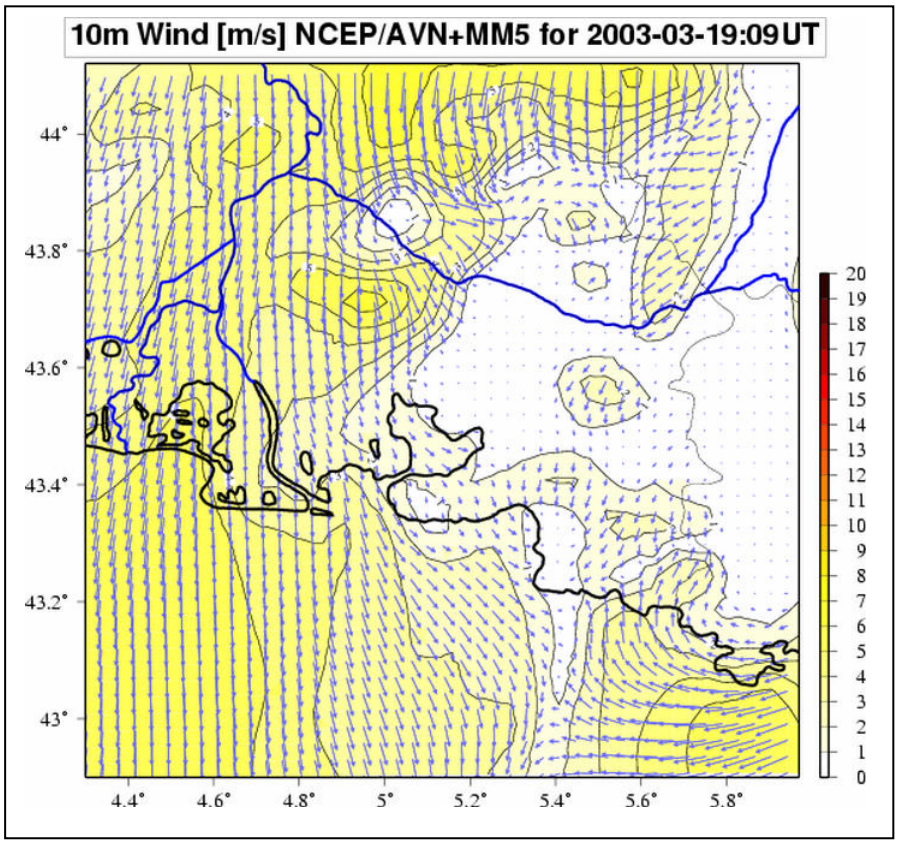
Cartes de la vitesse et force du vent calculées par MM5 le 19 mars 2003 à 3H00, 9H00 et 15H00 TU



Zoom sur le domaine d'étude

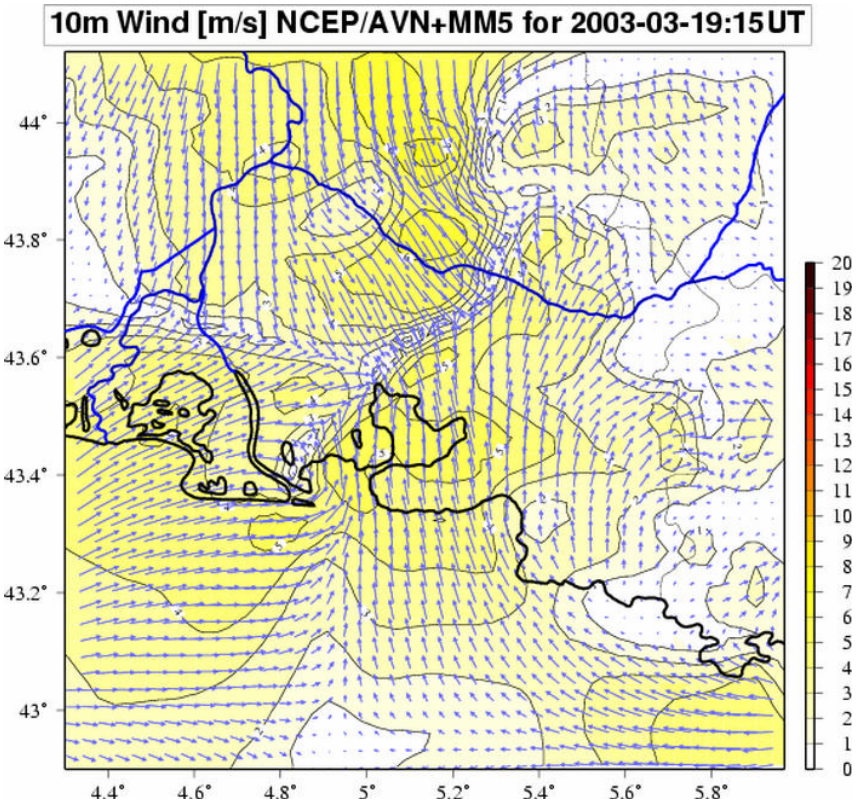


Source : Laboratoire de Météorologie Dynamique – Institut Pierre Simon Laplace - CNRS



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 conclusions

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 (NOx, CO, SO_2), 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 ».
La norme limite annuelle (40 µg/m^3/an, échéance 2005) pour les PM10 est dépassée à proximité de l'usine dans la ville de Gardanne (moyenne annuelle estimée sur **le site proche : 50 µg/m^3).**
Sur le **site panache** au Sud Est de l'usine, la moyenne annuelle estimée est **de 36 µg/m^3**. Sur **le site témoin**, elle est **de 32 µg/m^3.** La valeur limite peut potentiellement être dépassée sur le premier site, notamment en liaison avec les variations d'émissions de l'usine. Elle est respectée sur le site témoin. L'objectif de qualité français (**30 µg/m^3/an**) est dépassé sur ces trois sites.
Concernant les **situations de pointes** (nombre de dépassement du seuil 50 µg/m^3/jour), le **site proche** dépasse la tolérance européenne de 35 jours de dépassements, avec une moyenne supérieure au seuil près de 1 jour sur deux pendant la campagne. Sur les deux autres sites moins marqués, la tolérance de 35 jours est approchée et peut être dépassée.

Niveaux de dioxyde de soufre

Les niveaux en **dioxyde de soufre** mesurés sur les quatre points sont faibles, de **4 à 10 µg/m^3** en moyenne (objectif de qualité français : 50 µg/m^3/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^3, conformes aux teneurs enregistrées dans le bassin de Gardanne (25 µg/m^3 en 2002 à Bouc Bel Air). Aucune norme n'est franchie.

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 et 0.59 g/(m^2.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 entre les particules sédimentables (environ > 80 µm^3) 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 combustion 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 inhalable (PM10)

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

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

A noter que les teneurs évaluées en 2000 dans Marseille s'étalaient de 107 à 241 ng/m^3.
Des teneurs d'Aluminium significativement élevées 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^3** (valeur limite : 500 ng/m^3),
- **Nickel de 5.5 à 5.8 ng/m^3** (projet de valeur cible européenne : 20 ng/m^3)
- **Cadmium de 0.5 à 0.9 ng/m^3** (projet de valeur cible européenne : 5 ng/m^3).

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 proches 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 inhalable peut être scindée en deux catégories :

- La fraction 3-10 µm qui est majoritairement retenu par les barrières naso-pharygienne
- 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		Bou5		T5	rien
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
	Flux moyen	**15.58**	**22.73**	**24.57**

ANNEXE III

Site Témoin

	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11
PM10 (µg/m3)	41.13	68.13	44.44	32.06	16.41	31.02	23.35	39.41	38.09	34.75	24.19
Al (ng/m3)	655.31	1138.05	698.44	380.54	255.68	414.56	316.46	855.26	694.62	515.22	357.37
Al (mg/g)	15.93	16.70	15.72	11.87	15.58	13.36	13.55	21.70	18.24	14.83	14.78
Fe (ng/m3)	371.39	616.12	454.69	315.03	156.25	345.21	284.81	595.31	566.58	382.05	258.46
Fe (mg/g)	9.03	9.04	10.23	9.82	9.52	11.13	12.20	15.11	14.87	10.99	10.69
Ca (ng/m3)	4318.60	8647.31	6267.19	4764.50	1387.31	3318.10	2860.76	4740.05	4659.09	5413.76	3219.53
Ca (mg/g)	105.00	126.93	141.03	148.59	84.52	106.96	122.49	120.28	122.31	155.79	133.11
Cd (ng/m3)	0.65	0.90	0.54	0.49	0.47	0.73	0.45	0.43	0.47	0.40	0.28
Cd (µg/g)	15.86	13.28	12.24	15.32	28.65	23.63	19.31	10.95	12.44	11.54	11.61
Ni (ng/m3)	10.19	7.59	3.60	2.15	2.75	6.70	5.91	4.99	8.02	5.71	2.53
Ni (µg/g)	247.80	111.40	81.05	67.02	167.60	216.11	253.18	126.51	210.46	164.19	104.49
Pb (ng/m3)	12.44	16.80	9.63	5.38	5.06	9.86	5.90	12.06	8.21	5.39	4.30
Pb (µg/g)	302.57	246.62	216.63	167.70	308.08	317.78	252.57	305.90	215.46	155.02	177.97
V (ng/m3)	11.31	14.61	6.45	3.45	4.11	11.10	11.28	10.34	14.68	8.12	4.26
V (µg/g)	274.96	214.44	145.04	107.64	250.10	357.98	482.86	262.26	385.29	233.80	176.19
Sr (ng/m3)	7.31	13.66	11.25	7.90	2.93	6.23	5.52	11.90	10.19	9.88	5.84
Sr (µg/g)	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
PM10 (µg/m3)	48.15	65.81	40.60	45.32
Al (ng/m3)	1180.56	1642.69	766.42	2926.50
Al (mg/g)	24.52	24.96	18.88	64.58
Fe (ng/m3)	508.33	690.95	505.74	1159.56
Fe (mg/g)	10.56	10.50	12.46	25.59
Ca (ng/m3)	3688.89	6326.44	4225.76	3215.92
Ca (mg/g)	76.62	96.14	104.09	70.97
Cd (ng/m3)	1.01	0.85	1.06	0.57
Cd (µg/g)	21.06	12.98	26.07	12.52
Ni (ng/m3)	8.34	7.19	4.62	3.16
Ni (µg/g)	173.31	109.28	113.91	69.83
Pb (ng/m3)	9.39	13.81	9.01	5.80
Pb (µg/g)	195.12	209.81	221.85	128.03
V (ng/m3)	13.97	15.18	7.45	8.40
V (µg/g)	290.19	230.65	183.39	185.46
Sr (ng/m3)	6.50	10.80	7.98	6.30
Sr (µg/g)	135.06	164.17	196.62	139.08

Site Eloigné

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

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

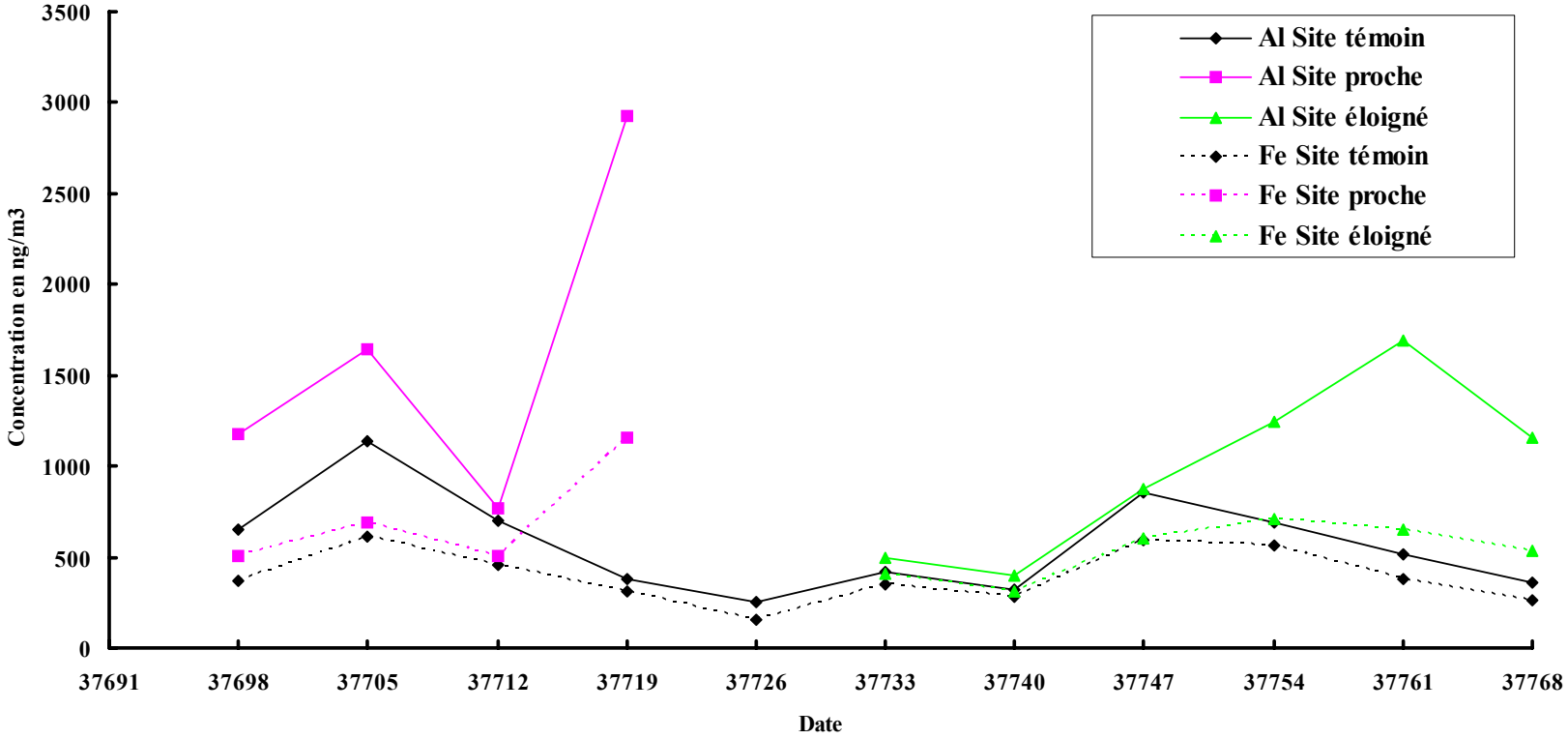


Tableau de synthèse des niveaux de particules inhalables, sédimentables et de la force du vent

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