

CAMPAGNE

DE MESURES TEMPORAIRES

Juin 2003

PARTICULES ET METAUX LOURDS SUR LE SITE DEL'ESCALETTE (MARSEILLE)



Photographie du site 1 - Escalette



Date de publication : novembre 2003



Référence dossier :

02-06 - mesure-goudes métaux lourds-dr-LP08

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 – Serveur téléphonique : 04 91326 327

SOMMAIRE

I- Rappel du contexte	3
II- Résultat	
II-1- Conditions météorologiques	5
II-2- Particules inférieures à 10 µm (PM₁₀) – particules inhalables	6
II-2-1- Concentration massique de PM₁₀	6
II-2-2- Teneurs en métaux lourds dans les PM₁₀	9
II-3- Particules sédimentables	11
II-3-1- Flux de particules sédimentables	12
II-3-2- Flux de métaux lourds dans les particules sédimentables	12
III Conclusion	

ANNEXES

I- Rappel du contexte

L'origine des métaux lourds sur le site de l'Escalette est probablement liée pour l'essentiel aux envols de particules métalliques accumulées dans les sols. L'analyse préalable des sols a mis en évidence un marquage important en **plomb et arsenic**.

Ces travaux font suite à une première étude réalisée par Airmaraix en décembre – janvier 2001/2002 sur le site de l'Escalette concernant l'analyse des métaux lourds dans les PM₁₀. Cette première campagne n'avait pas mis en évidence nette d'apport local de plomb et d'arsenic lié au sol. Les mesures avaient été marquées par une période de gel intense, situation relativement atypique sur la zone d'étude (côtière). Ces conditions météorologiques particulières avaient sans doute favorisé la fixation au sol des particules.

Les objectifs de ce programme sont :

- de compléter la première évaluation des niveaux en métaux lourds ciblés par la directive européenne de septembre 1996 (Pb, Ni, Cd As) en réalisant une campagne estivale,
- d'évaluer les niveaux en particules sédimentables à l'aide de plaquettes de dépôt.

Deux fractions granulométriques ont été prises en compte dans le cadre de l'étude :

- **Fraction inhalable**, PM₁₀ : particules en suspension inférieures à 10 µm (fraction réglementé en France par le décret du 15 février 2002),
- **Fraction sédimentable**, non réglementée qui tracera les quantités de métaux lourds susceptibles d'être ingérés et déposée dans les habitations, les sols.

Les prélèvements, pour chaque placette de mesures, sont réalisés pendant une période de 1 mois, afin d'appréhender des conditions météorologiques différentes. Les prélèvements sont réalisés au pas de temps **journalier** pour le **Partisol Plus** et **hebdomadaire** pour les **plaquettes de dépôt**.

Stratégie d'échantillonnage

Les prélèvements d'échantillons sont réalisés sur 1 mois.

Pendant cette période de mesures sont prélevés :

- 30 échantillons de la fraction inhalable avec un Partisol Plus configuré en PM₁₀,
- 30 échantillons relatifs à la mise en place de 6 plaquettes de dépôt avec un relevé hebdomadaire (4 échantillons par placette et par mois). Une plaquette témoin *a priori* hors de l'influence des sols chargés en métaux servira de référence pour chacune des campagnes.

Les sites de prélèvement proposés sont principalement localisés sur le site de l'Escalette (cf. carte ci-après).

Intervenants :**Airmaraix : Pilotage et mise à disposition du Partisol Plus**

Dominique Robin – responsable des études

Grégory Gille – technique supérieur

CETE APAVE du Sud : maintenance des préleveurs

Armand Anfossi

CEREGE : analyse des échantillons

Yves Noack Directeur de recherche, Martine Lefloch et G Burato

CE Service : mise en place et dépose des plaquettes

Jean Amatore

Résumé technique :

		références
<i>Stratégie d'échantillonnage</i>	Airmaraix/CEREGE	
<i>Nombre de sites de mesures</i>	6 sites dont un en zone témoin	
<i>préleveurs</i>	plaquette de dépôts	NF 43007
	Partisol Plus PM ₁₀	Recommandation nationale
<i>Durée de la campagne de mesure</i>	1 mois	
<i>Période de prélèvement</i>	24 heures pour le Partisol Plus	
	1 semaine pour les plaquettes DIEM	
<i>Métaux analysés</i>	Pb, Ni, Cd, As	Directive septembre 1996
<i>Mise en place des plaquettes et dépose</i>	CE Services	
<i>analyses</i>	CEREGE	Protocole préconisé par l'Ecole des Mines de Douai
<i>Maintenance</i>	CETE APAVE du Sud	
<i>Rapport d'étude</i>	Airmaraix/CEREGE	

Planification :

Les prélèvements, pour chaque placette de mesures, sont réalisés pendant une période de 1 mois, afin d'appréhender des conditions météorologiques différentes. Les prélèvements seraient réalisés au pas de temps journalier pour le Partisol Plus et hebdomadaire pour les plaquettes de dépôt.

La campagne de mesure s'est déroulée **du 3 Juin au 30 Juin 2003.**

Carte générale de la zone d'étude Escalette



II - Résultats

II-1- Conditions météorologiques

Ne disposant pas de station météo sur le site, les données utilisées sont celles de la station Météo-France de Marseille – Hippodrome, située 4 km au N-NE. Les informations fournies par la station météorologique sont à relativiser localement, en relation avec la complexité du relief de l'Escalette. Les situations de mistral sont sans doute atténuées par le relief au Nord Ouest de la zone d'étude et les situations de vents forts entraînent sans doute des flux tourbillonnants dans le « cirque » de l'Escalette.

Il n'y a eu aucune précipitation durant la durée de la campagne.

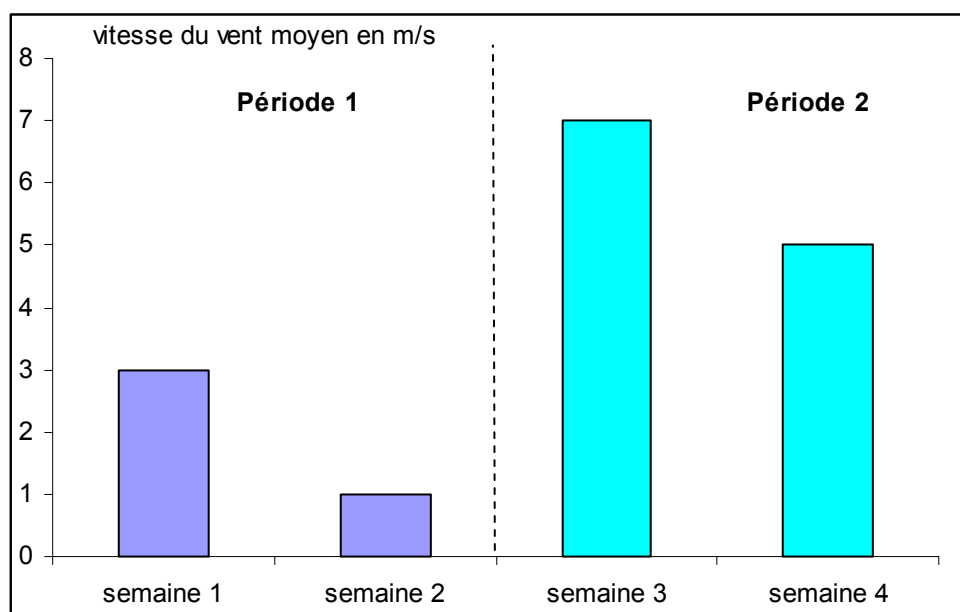
L'étude des directions et vitesses du vent en fonction des semaines de prélèvement montre les caractéristiques suivantes (Fig. 1):

- les semaines 1 et 2 montrent des vents de secteurs Est ou Sud-Est avec des vitesses **moyennes égales ou inférieures à 3 m/s** ;
- les semaines 3 et 4 montrent des vents de secteur Sud-Est plus fréquents et plus forts (**vitesses moyennes de 5 et 7 m/s et pointes à 11 m/s**),
- durant la totalité de la campagne, il y a eu des vents de secteur Ouest (venant de la mer) avec une vitesse moyenne de 3 m/s.

Ces deux périodes caractérisées par des régimes météorologiques différents sont nommées dans la suite du rapport :

- **P1** regroupant les semaines 1 et 2 (vents faible à modéré)
- **P2** regroupant les semaines 2 et 3 (vent modéré à fort).

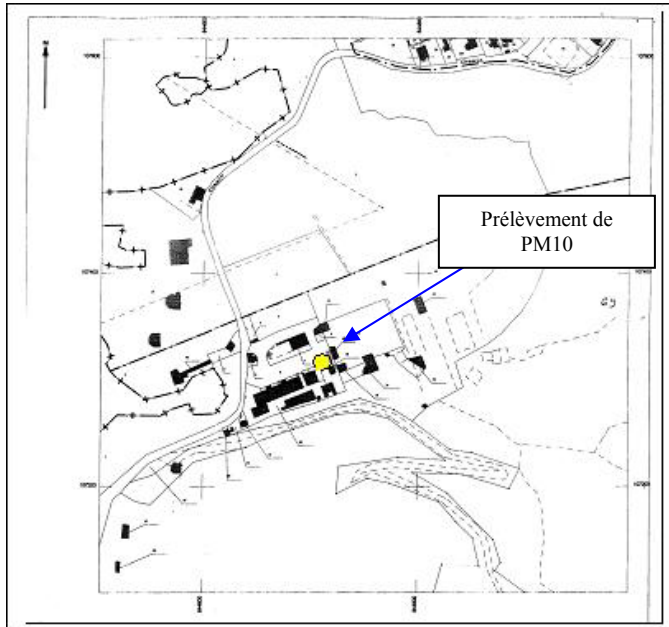
Graphe de la vitesse moyenne du vent mesuré à Marseille Hippodrome en fonction des semaines échantillonnées



II-2- Particules inférieures à 10 µm (PM₁₀) – particules inhalables

II-2-1- Concentration massique de PM₁₀

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.

Les analyses de PM₁₀ ont été réalisées sur le site échantillonné pendant l'hiver 2001/2002.

Carte d'implantation du site d'analyse des PM₁₀

Des prélèvements de particules sédimentables (cf chapitre III) ont également été réalisés sur ce site (site 1).

Valeurs de référence pour les PM₁₀

➤ Décret du 15 février 2002

- Valeur limite sur 24 heures : **50 µg/m³** à ne pas dépasser plus de 35 jours par an (applicable au 1^{er} janvier 2005)
 - Valeur limite annuelle : **40 µg/m³** (applicable au 1^{er} janvier 2005).
 - Objectif de qualité annuel : **30 µg/m³**.
-

Les PM₁₀ ont été échantillonnées avec un préleveur Partisol Plus, à pas de temps journalier, **du 3 au 30 Juin 2003.**

Le niveau moyen de PM₁₀ mesuré pendant la période sur le site de l'Escalette est de **47 µg/m³**. La **valeur limite annuelle de 40 µg/m³** (échéance 2005) est sans doute approchée ou dépassée sur ce site.

Le nombre de dépassements **du seuil européen journalier (50 µg/m³)** est également conséquent avec **10 jours sur 28 échantillonnés**. La tolérance européenne de **35 jours de dépassement du seuil 50 µg/m³/24h** est sans doute dépassée.

L'étude des concentrations en masse des PM₁₀ fait apparaître 2 périodes (Tableau I et Fig. 1 en ANNEXE) fortement liées aux variations de conditions météorologiques :

- **P1 du 3 au 11 Juin 2003**, avec des concentrations de **30 à 40 µg/m³** ;
- **P2 du 12 au 30 Juin 2003**, avec des valeurs pouvant aller **jusqu'à 90 µg/m³**.

Ce résultat est très différent du comportement en zone urbaine. En effet, la période P2 caractérisée par une fréquence de vent fort plus élevée entraîne généralement une dilution accrue des gaz et des particules fines et par conséquent des concentrations plus faibles.

La comparaison avec le site de Cinq Avenues où les PM₁₀ sont principalement issues de processus de combustion (véhicules diesel notamment) montre l'écart de comportement entre les deux sites. Pendant la période P1, les teneurs (figure 2) sont assez proches sur les sites de l'Escalette et de Cinq Avenues. En revanche le décrochage est remarquable sur la deuxième période, avec des teneurs plus élevées sur le site de l'Escalette qu'au centre ville, traduisant sans doute une influence locale.

Dans la mesure où cette différence est observée par vent fort, la hausse de concentration observée à l'Escalette est sans doute largement liée à la remise en suspension de particules inférieures à 10 µm.

Sur l'ensemble de la campagne, la moyenne des PM₁₀ est de 47 µg/m³, elle est supérieure à celle de la campagne de décembre 2001 (33 µg/m³).

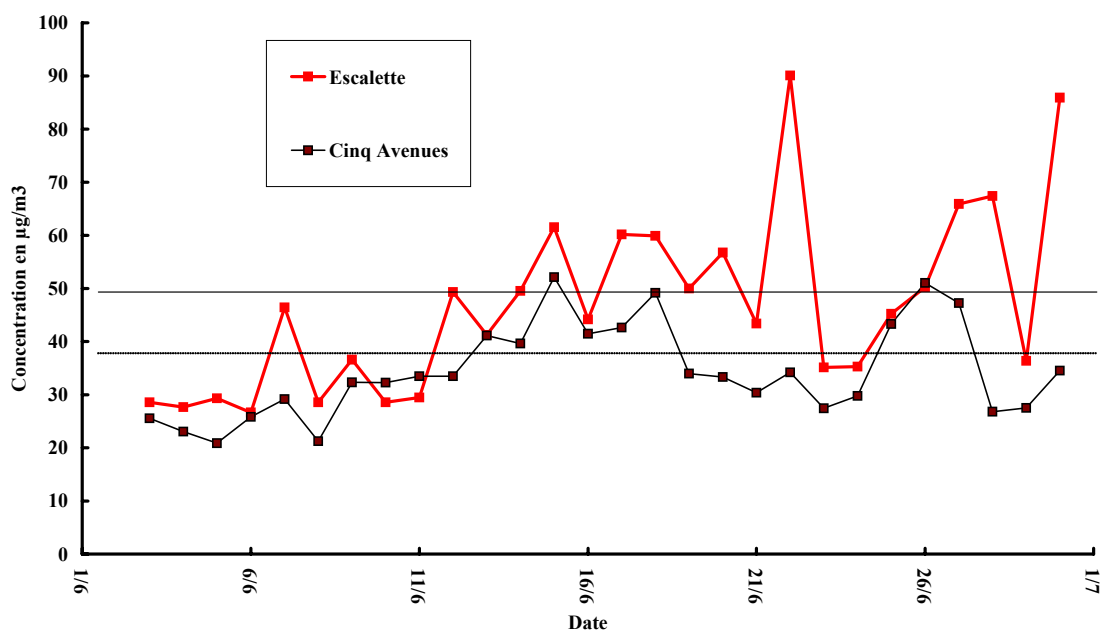
Comparativement, sur la même période, la station de fond des Cinq Avenues présente une moyenne de 35 µg/m³ et deux dépassements de la norme concernant la moyenne journalière 2003.

Tableau récapitulatif des niveaux de PM₁₀

	juin 2003		Année 2003	année
	Escalette	Cinq Avenues	Marseille centre	Norme (échéance 2005)
Moyenne période 2003	47 µg/m ³	35 µg/m ³	26 à 30 µg/m ³	40 µg/m ³
Nb jours > 50 µg/m³	10 jours sur 28	2	8 à 26	Tolérance de 35 jours > 50 µg/m ³

Figure 2

Evolution concentration PM10



II-2-2- Teneurs en métaux lourds dans les PM₁₀

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

Valeurs de référence

Décret du 15 février 2002

- Valeur limite annuelle pour le plomb : **500 ng/m³**
 - *Projet de valeur cible européen*
 - Nickel : **20 ng/m³/an**
 - Cadmium : **5 ng/m³/an**
 - Arsenic : **6 ng/m³/an**
-

Des analyses ont été faites concernant l'**Arsenic, le Cadmium, le Fer, le Nickel et le Plomb** (Tableau I et Fig. 2 à 7).

Plomb - fer – arsenic

Les concentrations en **Plomb** varient de 1 à 120 ng/m³, avec une moyenne de 27 ng/m³. Les concentrations en **Fer** varient de 200 à 1200 ng/m³ avec une moyenne de 580 ng/m³.

L'évolution des concentrations de plomb se rapproche de celle **des PM₁₀ et du Fer**, avec notamment des pics communs les 22 et 30 Juin. Les teneurs sont plus élevées pendant la deuxième période (vent plus soutenu favorable à la mise en suspension des particules sédimentées). Ce comportement indique sans doute l'apport local de particules (PM₁₀, plomb, fer). Compte tenu des sources potentielles locales, il est probable que ce comportement traduise la remise en suspension de particules (inférieures à 10 µm) issues du sol.

Les concentrations en **Arsenic** varient de 0.5 à 3 ng/m³ avec une moyenne de 1.75 ng/m³. Aucune évolution significative n'a été relevée pendant la période de mesure, alors que l'on aurait pu attendre un lien notable avec le plomb. Si l'apport de plomb constaté est effectivement issu du sol, l'absence de lien entre ce composé et l'arsenic dans les PM₁₀ pourrait traduire une évolution différente dans les sols (processus de lixiviation, migration des sols, agrégation différente des particules ...).

Cadmium – nickel

Les concentrations en **Cadmium** varient de 0.5 à 14 ng/m³ avec une moyenne de 2.8 ng/m³. Deux périodes peuvent être distinguées :

- une du 3 au 12 Juin 2003 avec des concentrations assez fortes;
- une du 15 au 30 Juin avec des valeurs toujours inférieures à 2 ng/m³.

Le comportement du cadmium est différent des composés précédents, notamment le plomb, dans la mesure où les niveaux les plus élevés sont enregistrés par vent faible. Les teneurs observées sur ce site sont significativement supérieures au niveau de fond des villes (de 0.2 à 0.9 ng/m³ dans Aix en Provence et Marseille). Il s'agit sans doute d'un processus d'émissions différents (processus de combustion par exemple).

Les concentrations en **Nickel** varient de 2 à 18 ng/m³ avec une moyenne de 7 ng/m³. Cette teneur est comparable à celle observée en ville (6 à 13 ng/m³). L'évolution ressemble un peu à celle du Cadmium.

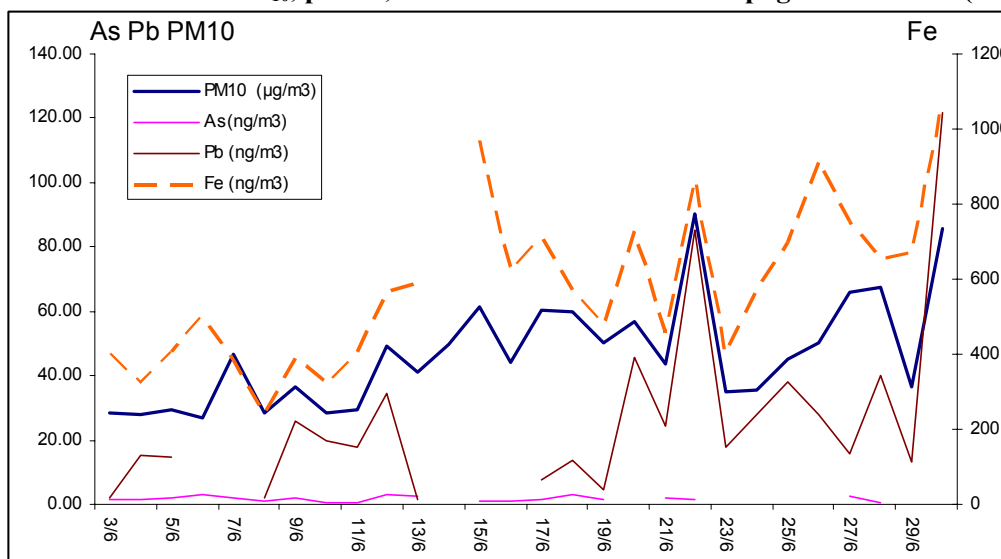
Toutes les concentrations moyennes en **métaux respectent les références normatives.**

Tableau récapitulatif des niveaux de métaux lourds

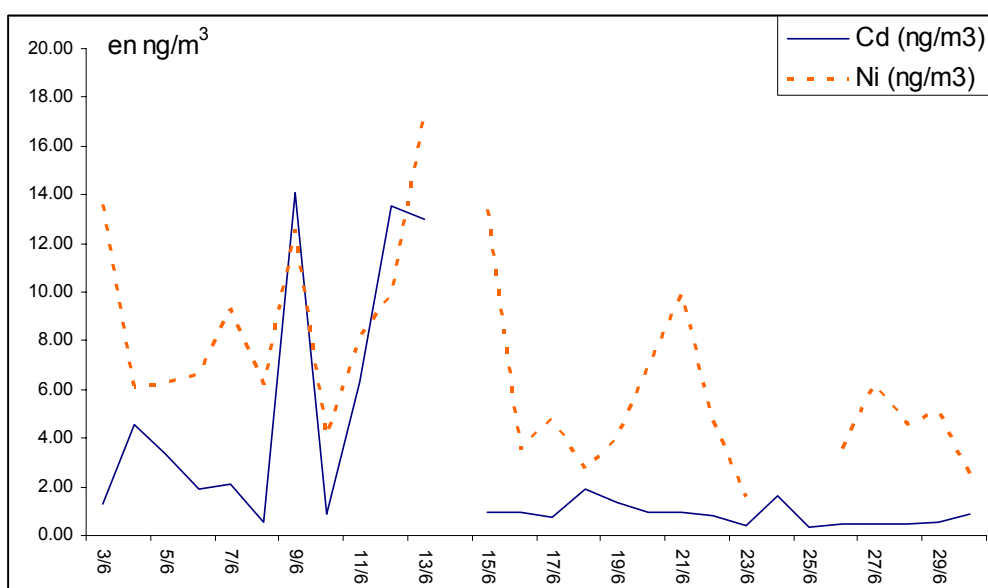
<i>En ng/m³</i>	Moyenne période 06/03	Max journalier	Norme annuelle	Marseille/Aix urbain
Plomb	27	120	500	7 à 14
Fer	580	1200	/	418 à 637
Arsenic	1.8	3	6*	2
Cadmium	2.8	14	5*	0.2 à 0.9
Nickel	7	18	20*	6 à 13

* Projet de valeur cible européenne

Evolution des niveaux de PM₁₀, plomb, arsenic et fer durant la campagne de mesure (site 1)



Evolution des niveaux de cadmium et de nickel durant la campagne de mesure (site 1)



II-3- Particules sédimentables

Des plaquettes Diem d'une surface de 50 cm² (0.005 m²) ont été implantées sur six sites : cinq autour de l'ancienne fonderie Fig. 8), une au Nord du site comme plaquette témoin site 6. Le site témoin est situé dans une zone couverte de garrigue (couverture végétale). Les plaquettes ont été prélevées hebdomadairement pendant quatre semaines. Une seule n'a pas été récupérée. La plaquette du site 1 double le site de prélèvement de PM₁₀ dans la zone bâtie.

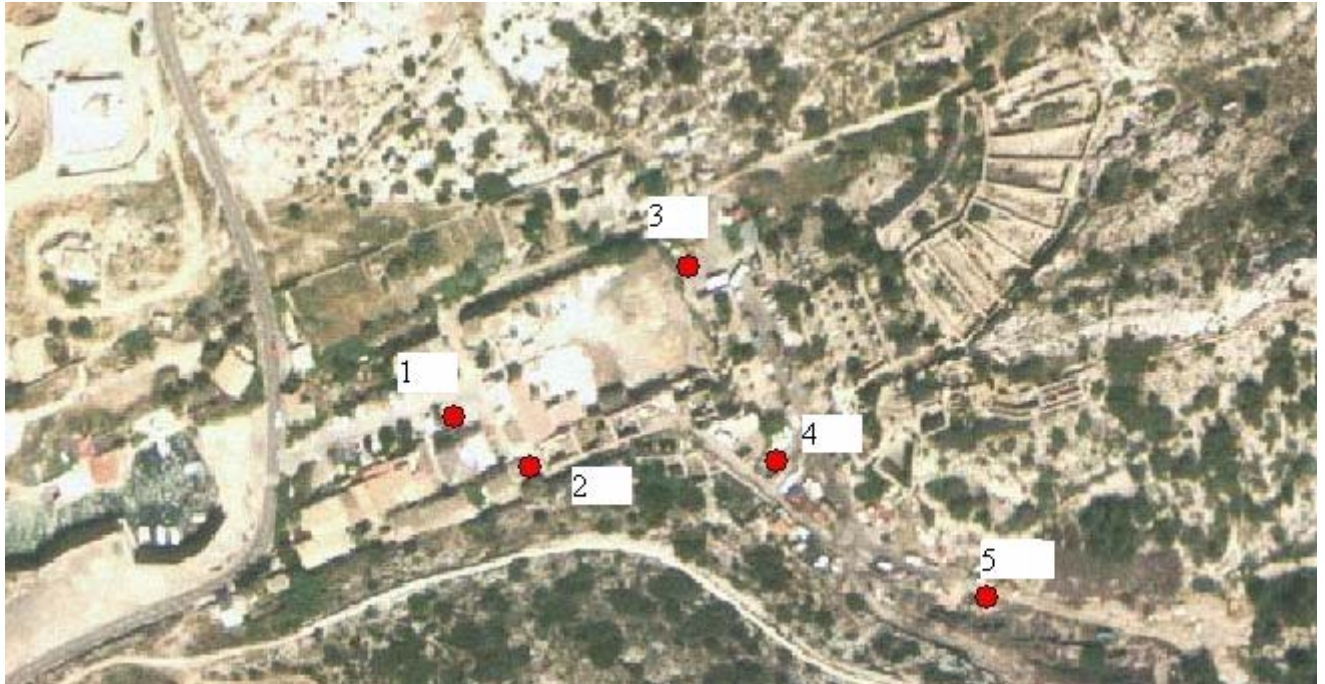


Figure 8 : Implantation des plaquettes DIEM

Les concentrations en **masse de particules et en Arsenic, Cadmium, Fer, Nickel et Plomb** ont été mesurées sur chacune des plaquettes (Tableau II en ANNEXE).

Tableau récapitulatif des niveaux de particules sédimentables et des concentrations en métaux lourds observés pendant la campagne

	site 1	site 2	site 3	site 4	site 5	site 6 témoin
Flux en g/m²/mois	3.99	3.85	14.11	29.85	22.72	3.06
As en µg/m²/mois	179.70	306.72	1525.12	2337.68	756.78	44.63
Cd en µg/m²/mois	130.14	154.03	86.51	295.71	90.27	49.57
Fe en µg/m²/mois	44333	69969	239132	654369	282558	31887
Ni en µg/m²/mois	597	1005	1530	1754	2198	364
Pb en µg/m²/mois	6147	11626	45592	85722	42465	1600

Les sites 1 et 2 sont localisés dans une zone d'habitation.

Les sites 3, 4 et 5 sont implantés sur des sols peu couverts, quasi à nu.

Le site 6, témoin, est implanté dans une zone couverte par une garrigue.

II-3-1- Flux de particules sédimentables

Les concentrations massiques de particules sédimentables s'étalent de **3 à 30 g/m²/mois**.

Les **plaquettes 1 et 2**, situées dans la zone habitée et relativement protégées par le **bâti** ne présentent pas de flux supérieurs à 7 g/m²/mois, comparables à ceux de la plaquette **témoin 6**. A noter que l'influence du couvert végétal du site témoin entraîne des niveaux d'empoussièrement modérés. En revanche, les plaquettes **3, 4 et 5**, plus exposées, peuvent enregistrer des flux élevés (jusqu'à 90 g/(m²/mois)).

L'augmentation des flux pendant les semaines **3 et 4** est à mettre en parallèle avec l'importance des **vents de secteur SE pendant ces périodes**.

L'examen des flux de particules montre une double évolution (Fig. 9 et 10) :

- pour une **même semaine**, les plaquettes **1, 2 et 6** sont moins empoussiérées que les plaquettes **3, 4 et 5**. Ces différences traduisent largement la **différence de couverture du sol** (sol nu favorable à l'envol de particule).
- pour une **même plaquette**, les flux des **semaines 3 et 4** sont nettement plus élevés que ceux des **semaines 1 et 2** ; cette **évolution est comparable à celle des PM₁₀**. ce constat est à mettre en relation avec **la force du vent** favorable à la remise en suspension des particules sédimentées.

II-3-2- Flux de métaux lourds dans les particules sédimentables

Pour les 5 métaux analysés (As, Cd, Fe, Ni et Pb), les flux présentent des caractéristiques **similaires au flux de particules**, à savoir (Fig. 11 à 20):

- flux faibles les semaines 1 et 2, importants les semaines 3 et 4 ;
- flux faibles sur les plaquettes 1, 2 et 6, importants sur les plaquettes 3 et 4.

Les maxima se trouvent sur les plaquettes et périodes suivantes :

- *Arsenic* : Plaquette 4 pendant le 3^{ème} semaine ;
- *Cadmium* : Plaquette 4 pendant les 3^{ème} et 4^{ème} semaine ;
- *Fer* : Plaquette 4 pendant le 3^{ème} semaine ;
- *Nickel* : Plaquette 5 pendant la 4^{ème} semaine ;
- *Plomb* : Plaquette 4 pendant la 3^{ème} semaine.

L'étude des relations entre les différents flux de particules et métaux montrent les caractéristiques suivantes :

- Il n'y a **pas de relations** entre flux de particules et flux de Cadmium ou de Nickel ;
- Il existe **de bonnes relations entre les flux de particules, d'Arsenic (à un point prêt), de Fer et de Plomb**.

Le **rapport Pb/As** est de l'ordre de **30** (Fig. 21), en accord avec les valeurs trouvées dans les sols lors de l'EDR effectuée par le CEBTP.

En combinant les données météorologiques et les données sur les flux de particules et de métaux, le schéma suivant peut être proposé :

- le site est **globalement empoussiéré** par des particules contenant notamment du fer, de l'arsenic et du plomb ; l'importance des flux **est liée à la force du vent et à l'état des sols** ;

- lorsque **les vents de SE** (au niveau de la station Météo-France) sont fréquents et forts, les flux sont nettement plus abondants.

Comparaison avec d'autres sites :

Les flux de particules enregistrés sur certaines plaquettes (jusqu'à $90 \text{ g/m}^2/\text{mois}$) sont comparables à ceux mesurés autour du site Pechiney à Gardanne.

Sur les plaquettes 6 pendant toute la campagne et sur les autres plaquettes pendant les semaines 1 et 2, les flux de Plomb variaient de 0.001 à $0.24 \text{ mg/m}^2/\text{j}$

Sur les plaquettes 3, 4 et 5 pendant les semaines 3 et 4, les flux de Plomb variaient de 0.3 à $9 \text{ g/m}^2/\text{j}$.

A titre de comparaison, les valeurs mesurées à Toulon en 2002 étaient de l'ordre de $3.10^{-5} \text{ mg/m}^2/\text{j}$. Par contre, des mesures faites en 1995 sur plaquettes Diem à Noyelles-Godault, à 1 km sous le vent de l'usine, variaient entre 7 et $24 \text{ mg/m}^2/\text{j}$. D'autres mesures faites en 2002 sur le même site évoluaient entre 2 et $10 \text{ mg/m}^2/\text{j}$.

III Conclusion

Ce travail fait suite à une première étude réalisée par Airmaraix en décembre – janvier 2001/2002 sur le site de l'Escalette concernant l'analyse des métaux lourds dans les PM₁₀.

Les objectifs principaux ont été :

- de compléter la première évaluation des niveaux de concentration massique de PM₁₀ et en métaux lourds dans la fraction inhalable ciblés par la directive européenne de septembre 1996 (Pb, Ni, Cd As) en réalisant une campagne estivale,
- d'évaluer les niveaux en particules sédimentables et leur teneur en métaux lourds à l'aide de plaquettes de dépôt sur six points.

La campagne de mesure s'est déroulée **du 3 Juin au 30 Juin 2003**.

1- Les conditions météorologiques de la période de mesure étaient assez tranchées. Deux phases se distinguent :

- P1 – vent faible à modéré,
- P2 – vent modéré à fort.

La situation météorologique la plus pénalisante sur le site de l'Escalette correspond aux flux de Sud Est (situation où le vent est sans doute assez fort dans le « cirque » de l'Escalette). Cette situation est sans doute la plus favorable à l'envol et la remise en suspension de particules sédimentée. Par vent fort, la direction du vent est indicative et traduit un régime de temps, localement une situation tourbillonnante rend difficile le lien zone source – zone réceptrice. Les situation de mistral semblent un peu moins pénalisantes, sans doute en raison du relief au Nord Ouest qui limite l'impact de ce vent.

2- La teneur en PM₁₀ (particules inhalable) est significative sur le site de l'Escalette : 47 µg/m³ pendant la période. Elle est sans doute proche de la valeur limite 40 µg/m³ (échéance 2005) sur l'année. Le seuil de 50 µg/m³/j a été atteint 10 jours sur les 28 échantillonnés. La tolérance européenne de 35 jours est donc sans doute atteinte concernant ce critère. La teneur moyenne est supérieure à celle de la première campagne (33 µg/m³) pendant laquelle les sols étaient partiellement gelés. Elle est également supérieure à celles du centre ville de Marseille (de 28 à 30 µg/m³ en 2003). A l'Escalette la concentration de PM₁₀ augmente lorsque la force du vent s'accroît, en particulier par flux de Sud Est. Ce comportement traduit sans doute la remise en suspension locale de particules issues des sols à nu.

3- Les concentrations en métaux dans les PM₁₀ ne présentent pas de dépassement des normes. Un marquage significatif a été observé entre les PM₁₀, le plomb et le fer en relation avec la force du vent (augmentation lorsque la force du vent croît). L'arsenic ne montre pas de tendance durant la campagne de mesure dans la fraction inhalable. Des teneurs de cadmium remarquables (2.8 ng/m³) ont été relevées pendant la première période P1, même si elle restent inférieures au projet de valeur cible européen (5 ng/m³). Le processus d'émission est sans doute différent du précédent, car les teneurs les plus élevées sont relevées par vents faibles. Les concentrations de nickel enregistrent une légère hausse pendant la période moins ventée, mais elles sont comparables à celles enregistrées en général en ville.

- 4- Les flux en **particules sédimentables** peuvent, en certains endroits, atteindre des valeurs comparables à celles mesurées autour de sites industriels actuellement en activité. Leur évolution spatio-temporelle est liée à la couverture du sol et à la force du vent.
- 5- Les teneurs en **arsenic et plomb** sont significatives dans les **particules sédimentables**. Elles augmentent avec la force du vent traduisant l'influence de l'envol des particules locale.
- 6- Un lien entre les PM₁₀ (les teneurs en plomb, en fer) et les particules sédimentables a été mis en évidence sur le site ayant reçu la totalité des analyses (site 1 - analyse des particules inhalables et sédimentables). Si cette relation se vérifie sur les autres points les teneurs en métaux dans la fraction inhalable, notamment de plomb, est sans doute supérieure sur les sites 3, 4 et 5, car la quantité de particules sédimentables enregistrée était nettement supérieure.

Malgré un arrêt ancien de l'activité de l'usine, cette étude met en évidence l'influence toujours notable des sols sur les teneurs en métaux lourds des particules en suspension et sédimentables dans le secteur de l'Escalette

Perspectives

Une analyse du rapport PM_{2,5}/PM₁₀ pourrait être réalisée sur le site 1, afin d'évaluer la part de particules fines susceptible d'atteindre les alvéoles pulmonaires (inférieures à 2-3 µm).

Une évaluation des niveaux en plomb dans la fraction inhalable (PM₁₀) serait pertinente sur un site plus empoussiéré que le site échantillonné durant la campagne (site 1), si des populations sont exposées (sites 3, 4 et 5).

ANNEXES

Figure 1

Données météorologiques issues de la station Marseille Hippodrome de Météo-France

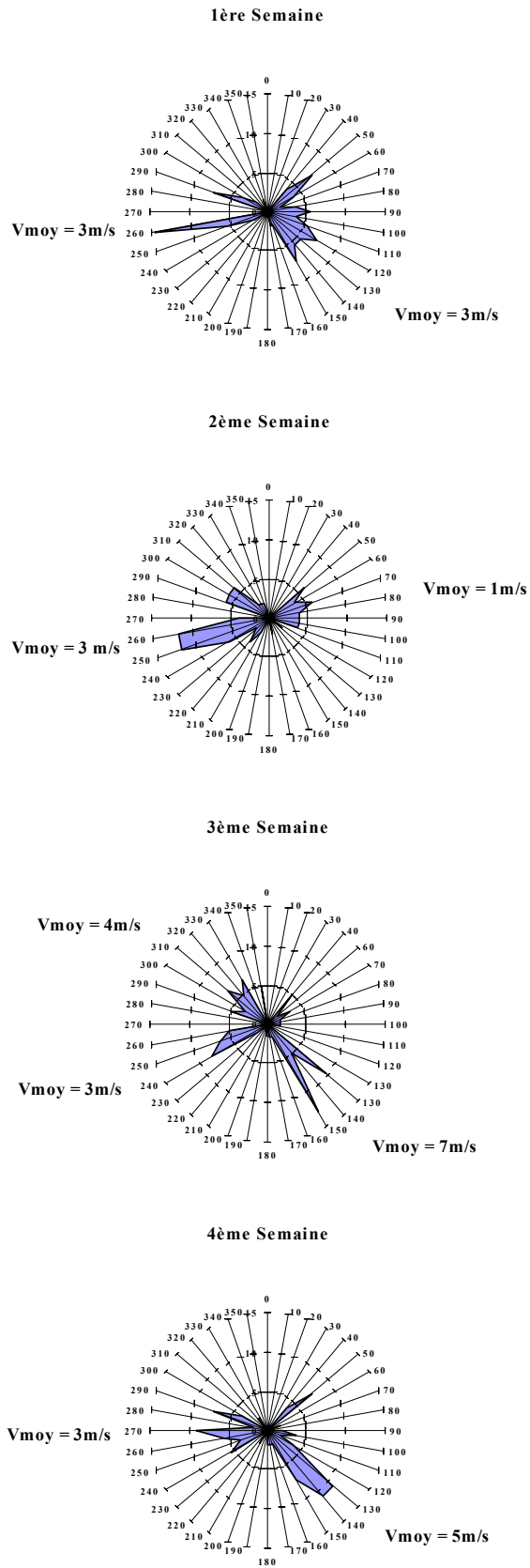


Tableau 1

Tableau récapitulatif des analyses dans les PM₁₀

Filtre	P0000301	P0000302	P0000303	P0000304	P0000305	P0000306	P0000307	P0000308	P0000309	P0000310	P0000311	P0000312	P0000313	P0000314	P0000401	P0000402	P0000403	P0000404	P0000405	P0000406	P0000407	P0000408	P0000409	P0000410	P0000411	P0000412	P0000413	P0000414	
Date	03/06/2003	04/06/2003	05/06/2003	06/06/2003	07/06/2003	08/06/2003	09/06/2003	10/06/2003	11/06/2003	12/06/2003	13/06/2003	14/06/2003	15/06/2003	16/06/2003	17/06/2003	18/06/2003	19/06/2003	20/06/2003	21/06/2003	22/06/2003	23/06/2003	24/06/2003	25/06/2003	26/06/2003	27/06/2003	28/06/2003	29/06/2003	30/06/2003	
Amb Temp Ave	21.1	21.6	21.6	20.7	21.9	22.1	22.4	22.6	22.9	23.8	24.3	25.1	25.6	24	24.5	23.7	24.2	24.7	26.3	23.3	24.5	25.9	26	24.7	25	24	24.5	24.1	
Pres Ave	763	765	767	767	765	765	765	766	767	767	766	765	763	760	760	763	765	764	761	761	763	765	764	762	760	760	760	758	
RH Ave	51.2	42.2	48.6	58.6	51.5	50.1	51.5	48.5	47.5	43.7	46.2	40.1	48.4	54.2	47.1	40.1	33.3	36.7	34.3	52.2	48.8	33.2	40	55.1	46.7	40.3	40	55.1	
Volume	22.4	22.4	22.5	22.5	22.4	22.4	22.4	22.4	22.4	22.3	22.3	22.2	22.1	12.9	22.1	22.2	22.2	22.2	21.9	22.2	22.2	22.1	22.1	22.1	22.0	22.1	22.0	22.0	
PM₁₀ (µg/m³)	28.57	27.68	29.33	26.67	46.43	28.57	36.61	28.57	29.46	49.33	41.26	49.55	61.54	44.19	60.18	59.91	50.00	56.76	43.38	90.09	35.14	35.29	45.25	50.23	65.91	67.42	36.36	85.91	
As (ng/m³)	1.58	1.65	1.91	3.09	1.94	1.07	2.28	0.51	0.36	2.89	2.67		1.04	0.85	1.61	3.06	1.49		2.17	1.60		1.45			2.77	0.75			
Cd (ng/m³)	1.31	4.53	3.37	1.91	2.14	0.56	14.10	0.89	6.30	13.53	12.97		0.93	0.95	0.74	1.90	1.39	0.93	0.92	0.85	0.43	1.63	0.35	0.47	0.51	0.46	0.57	0.86	
Fe (ng/m³)	398	323	406	500	384	241	392	323	400	565	591		969	623	709	570	477	727	458	864	399	576	696	914	754	651	669	1074	
Ni (ng/m³)	13.63	6.09	6.27	6.68	9.34	6.20	12.58	4.11	8.13	9.84	17.45		13.37	3.56	4.79	2.75	3.91	6.99	9.95	4.77	1.53			3.55	6.20	4.53	5.11	2.42	
Pb (ng/m³)	1.96	15.11	14.70			2.11	25.69	19.59	17.80	34.69	1.38		23.08		7.40	13.90	4.52	45.71	24.58	85.03	18.00	27.98	38.09	27.96	15.69	39.95	13.19	121.51	
PM₁₀ Cinq Avenues	25.55	23.05	20.89	25.82	29.16	21.23	32.32	32.27	33.50	33.50	41.13	39.65	52.15	41.48	42.64	49.19	33.99	33.34	30.36	34.19	27.46	29.78	43.32	51.05	47.27	26.80	27.51	34.52	

Figure 2
Evolution concentration PM10

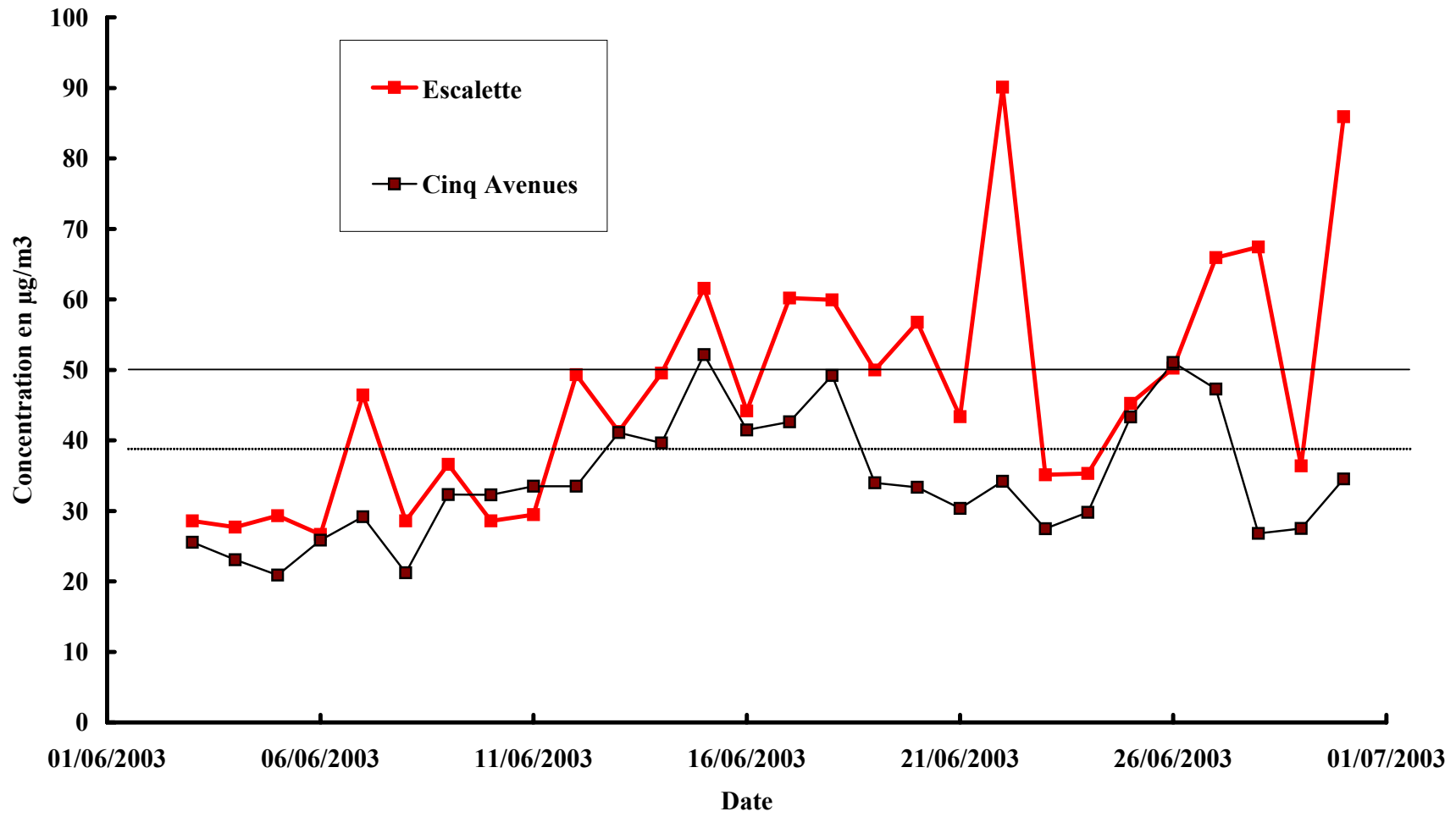


Figure 3

Evolution des concentrations en As dans les PM10

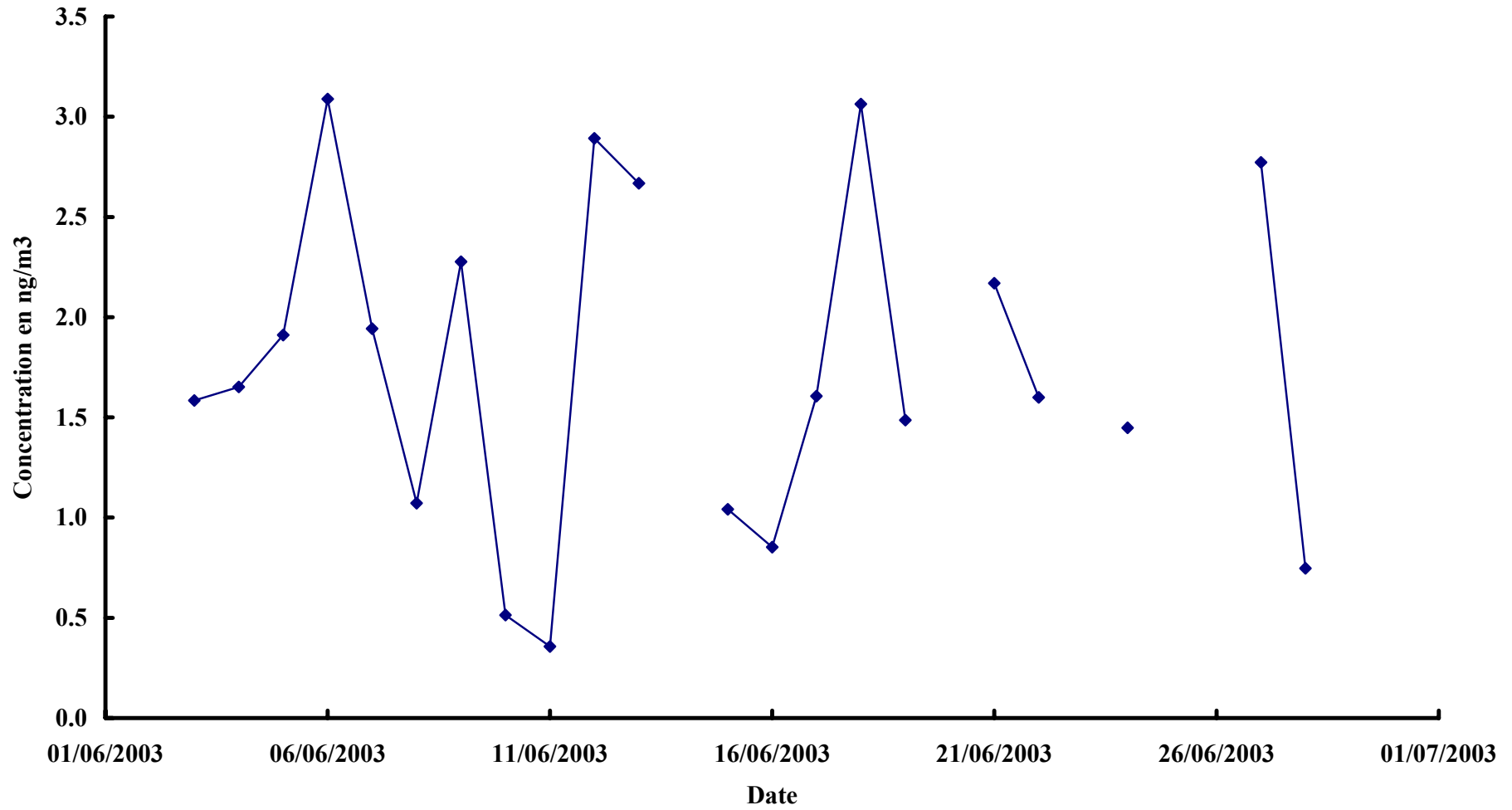


Figure 4
Evolution des concentrations en Cd dans les PM10

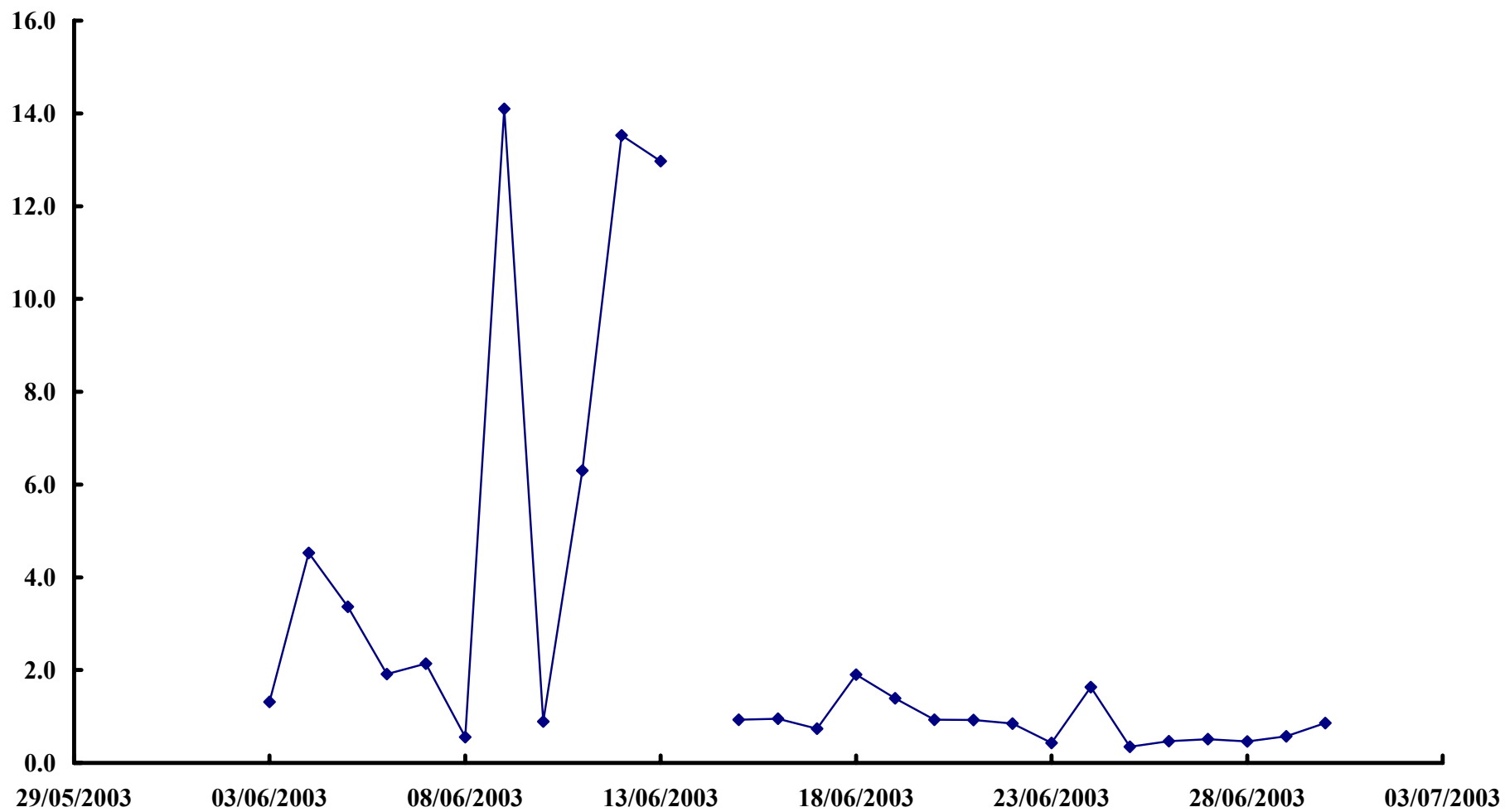


Figure 5
Evolution des concentrations en Fe dans les PM10

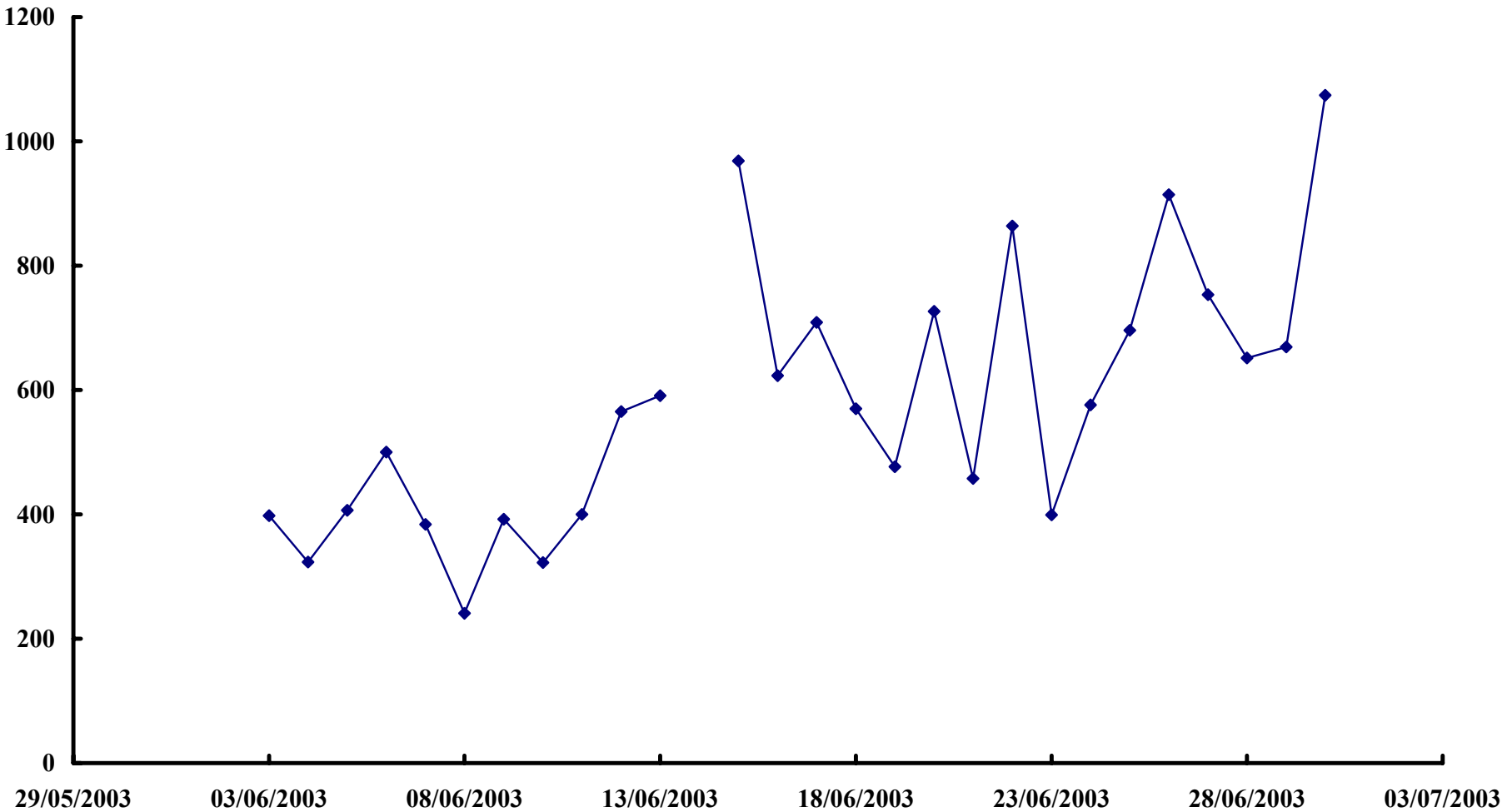


Figure 6

Evolution des concentrations en Ni dans les PM10

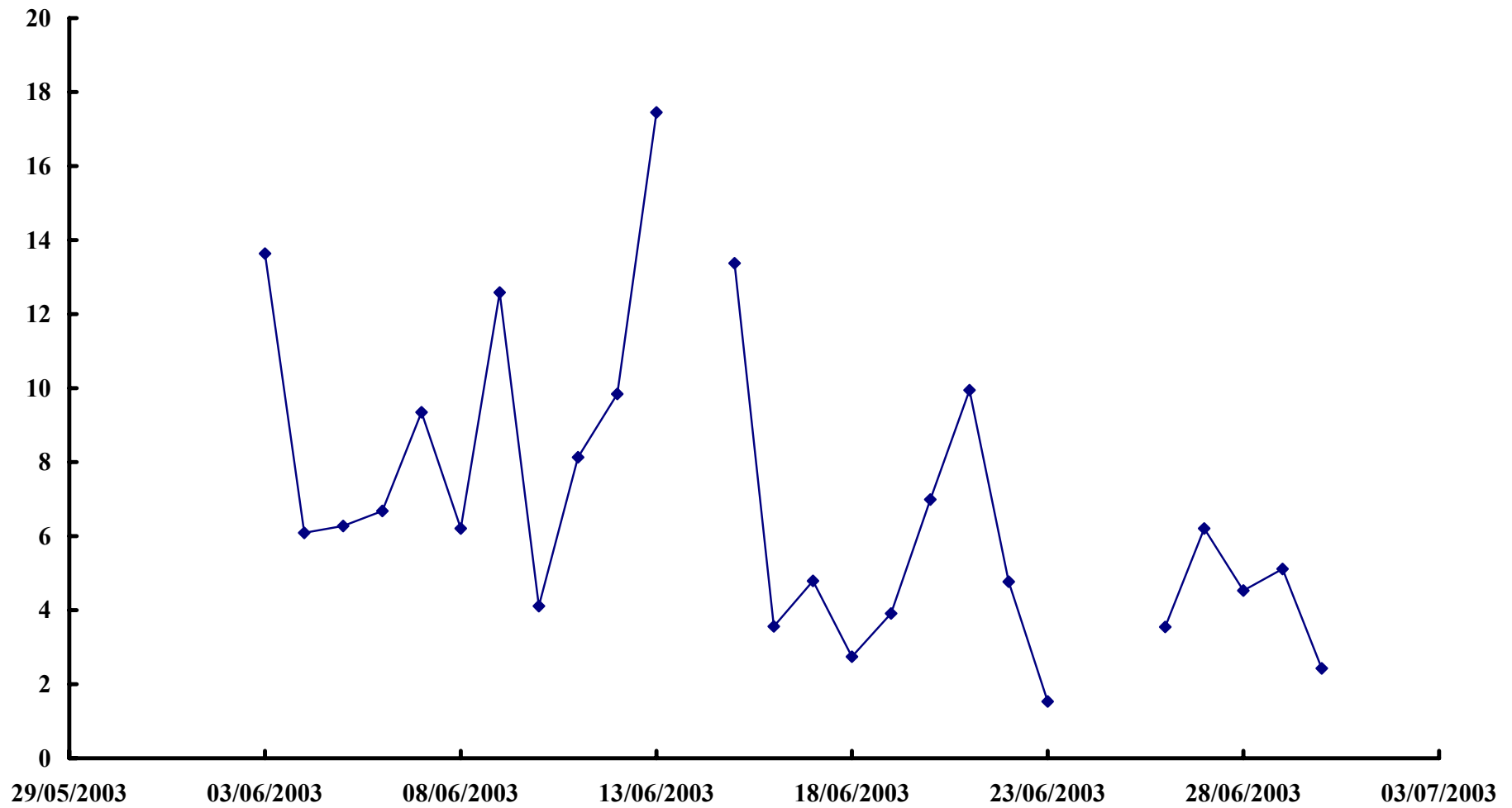


Figure 7

Evolution des concentrations en Pb dans les PM10

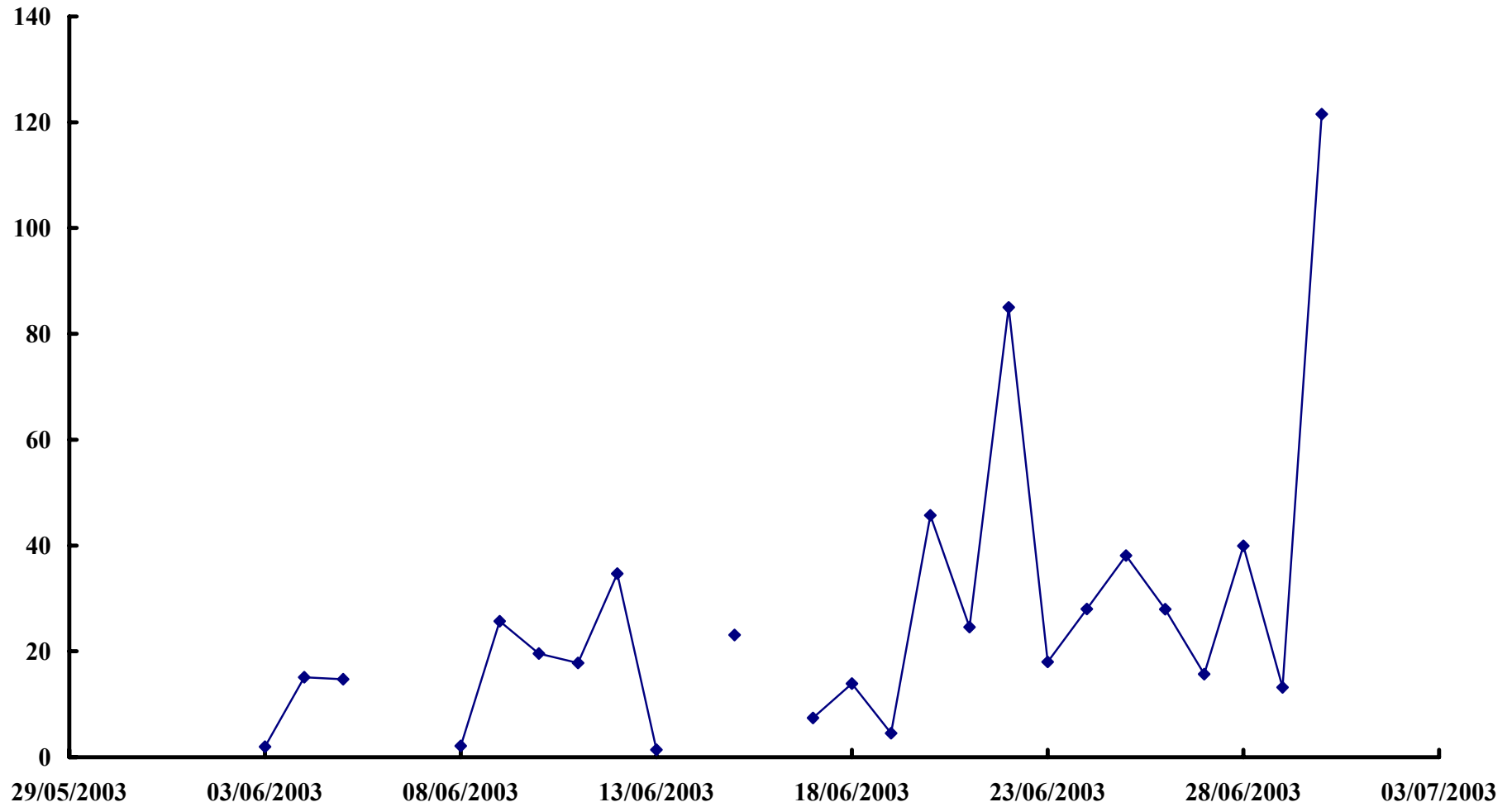


Tableau 2

	1ère Semaine						2ème Semaine						3ème Semaine						4ème Semaine				
	P1-1	P1-2	P1-3	P1-4	P1-5	P1-6	P2-1	P2-2	P2-3	P2-4	P2-5	P2-6	P3-1	P3-2	P3-3	P3-4	P3-5	P3-6	P4-1	P4-2	P4-3	P4-4	P4-5
Flux en g/m²/mois	1.19	0.89	2.60	3.49	4.45	1.85	2.59	2.59	3.09	3.21	2.77	3.14	7.01	5.99	21.02	86.65	31.36	4.18	5.19	5.95	29.71	26.04	52.30
As en µg/m²/mois	49	52	51	90	190	36	62		31	52	63	75	252	760	3280	8796	2452	23	356	108	2739	413	321
Cd en µg/m²/mois			21	62	37	42	63	124	49	84	66	36	65	68	107	570	115	70	262	270	169	467	142
Fe en µg/m²/mois	12348	17226	40188	70082	54140	17461	26176	23397	46944	42567	36475	29387	94337	133056	398970	2117222	302438	48814	44471	106196	470428	387606	737178
Ni en µg/m²/mois	331	412	756	1328	870	523	592	412	1330	639	1079	229	403	626	870	3187	1120	340	1064	2568	3166	1861	5721
Pb en µg/m²/mois	39	1054	5943	4481	7275	1055	1576	2273	4691	2680	2687	1091	13430	25512	92864	270077	54822	2654	9544	17665	78872	65649	105075

Figure 9

Evolution hebdomadaire du flux de particules

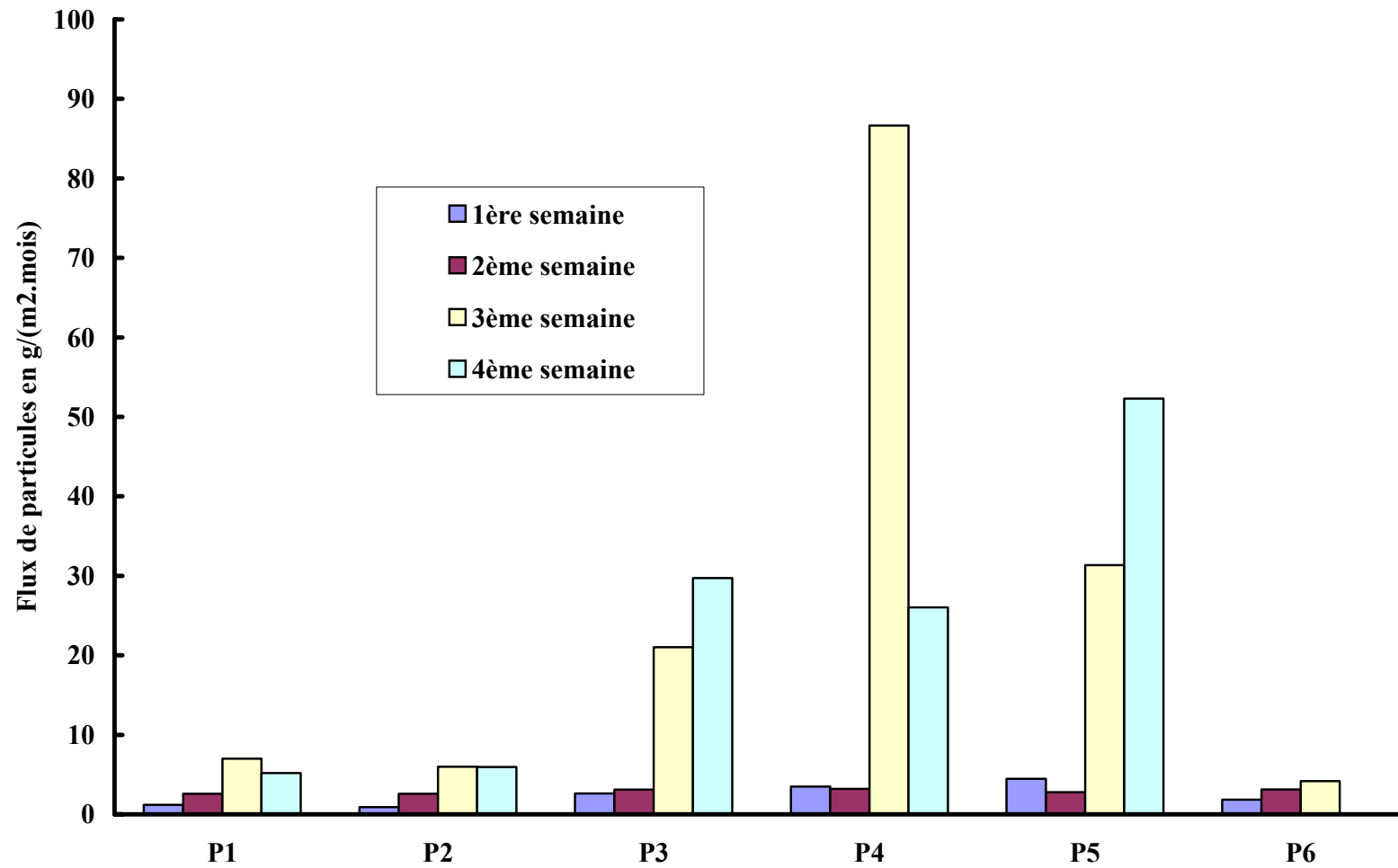


Figure 10

Evolution du flux de particules par plaquette

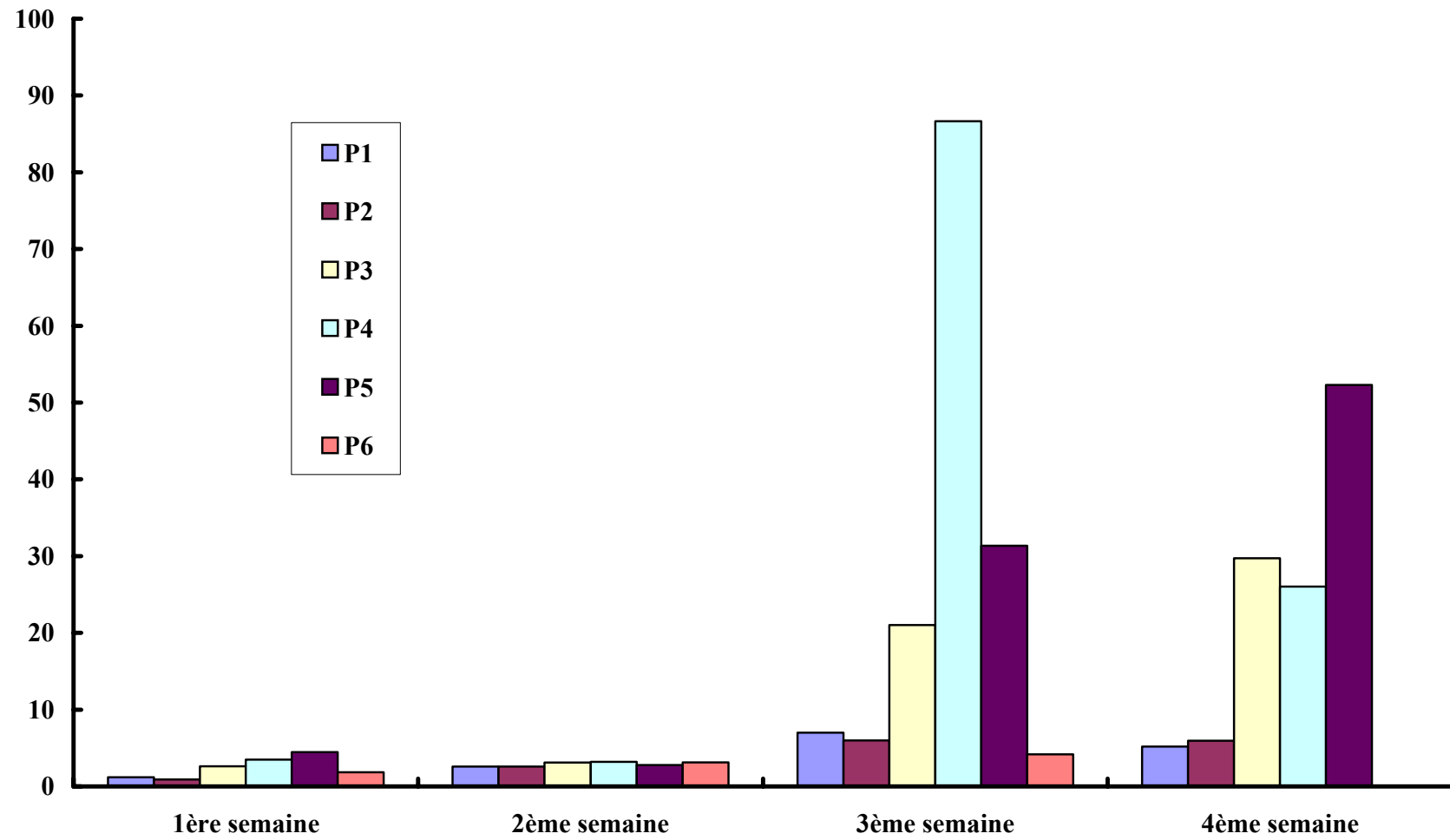


Figure 11

Evolution du flux As par plaquette

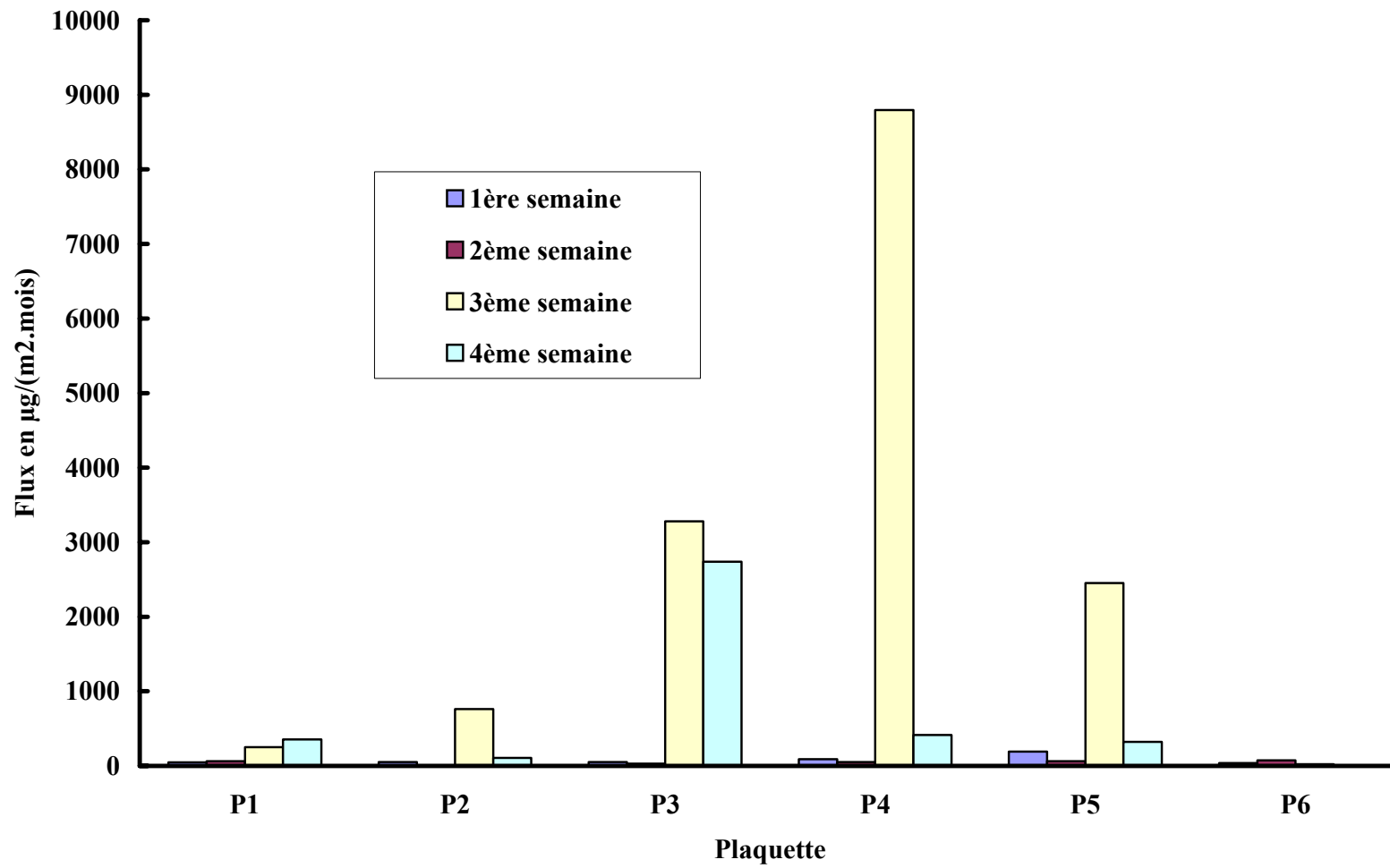


Figure 12

Evolution hebdomadaire du flux As sur plaquettes

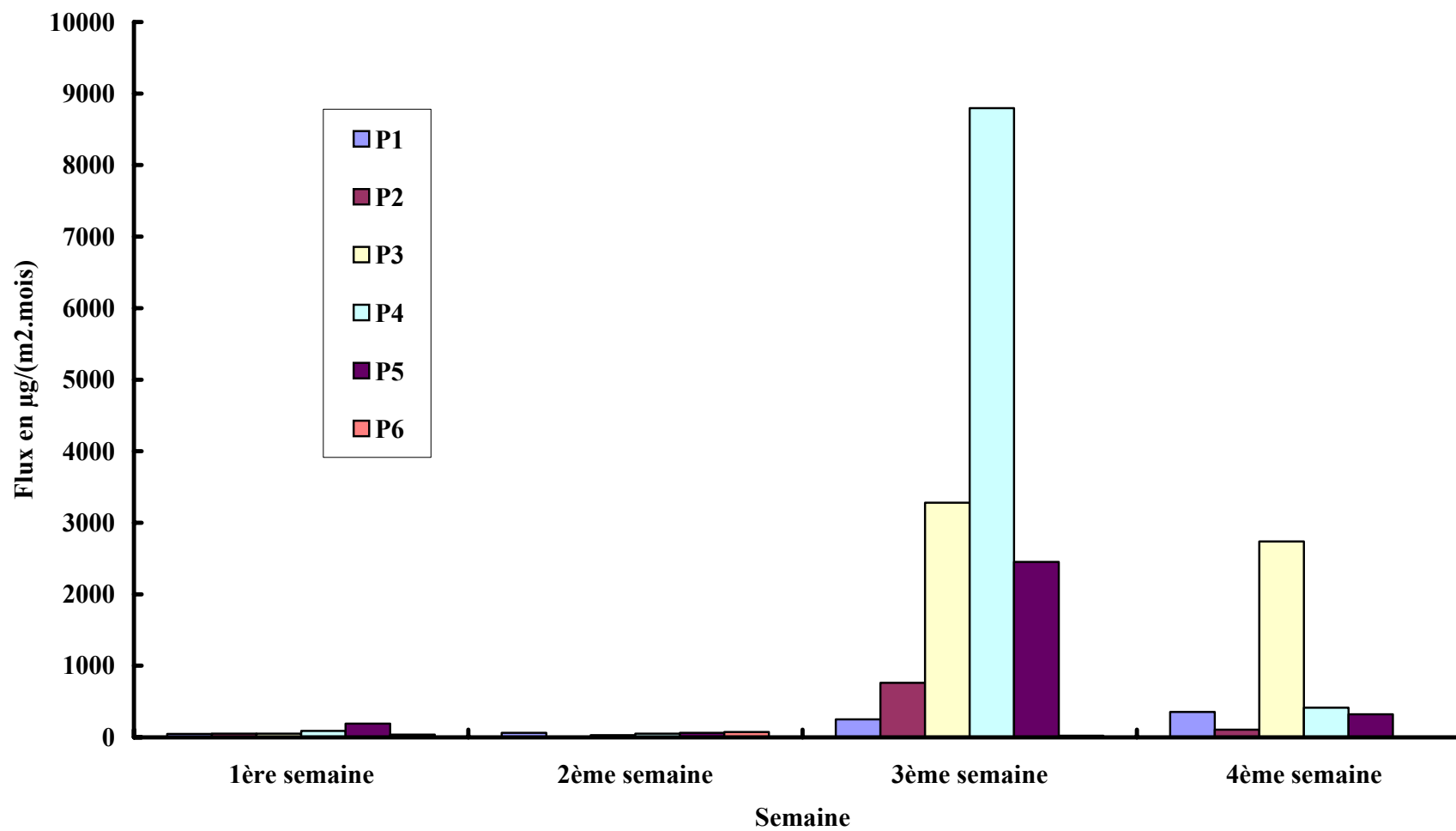


Figure 13

Evolution hebdomadaire du flux Cd sur plaquettes

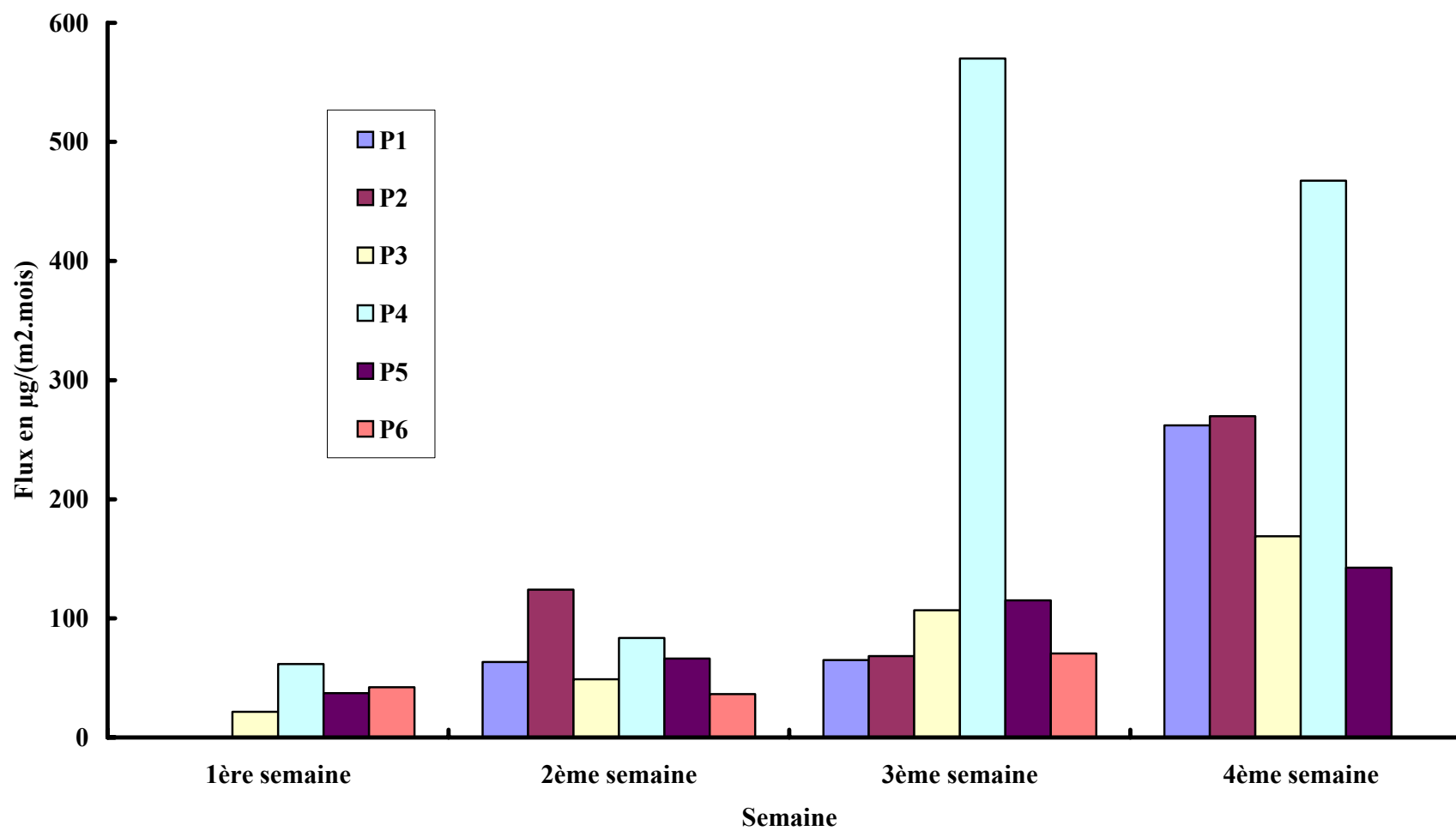


Figure 14

	P1	P2	P3	P4	P5	P6
1ère semaine			21	62	37	42
2ème semaine	63	124	49	84	66	36
3ème semaine	65	68	107	570	115	70
4ème semaine	262	270	169	467	142	

Figure 15

Evolution du flux Fe par plaquette

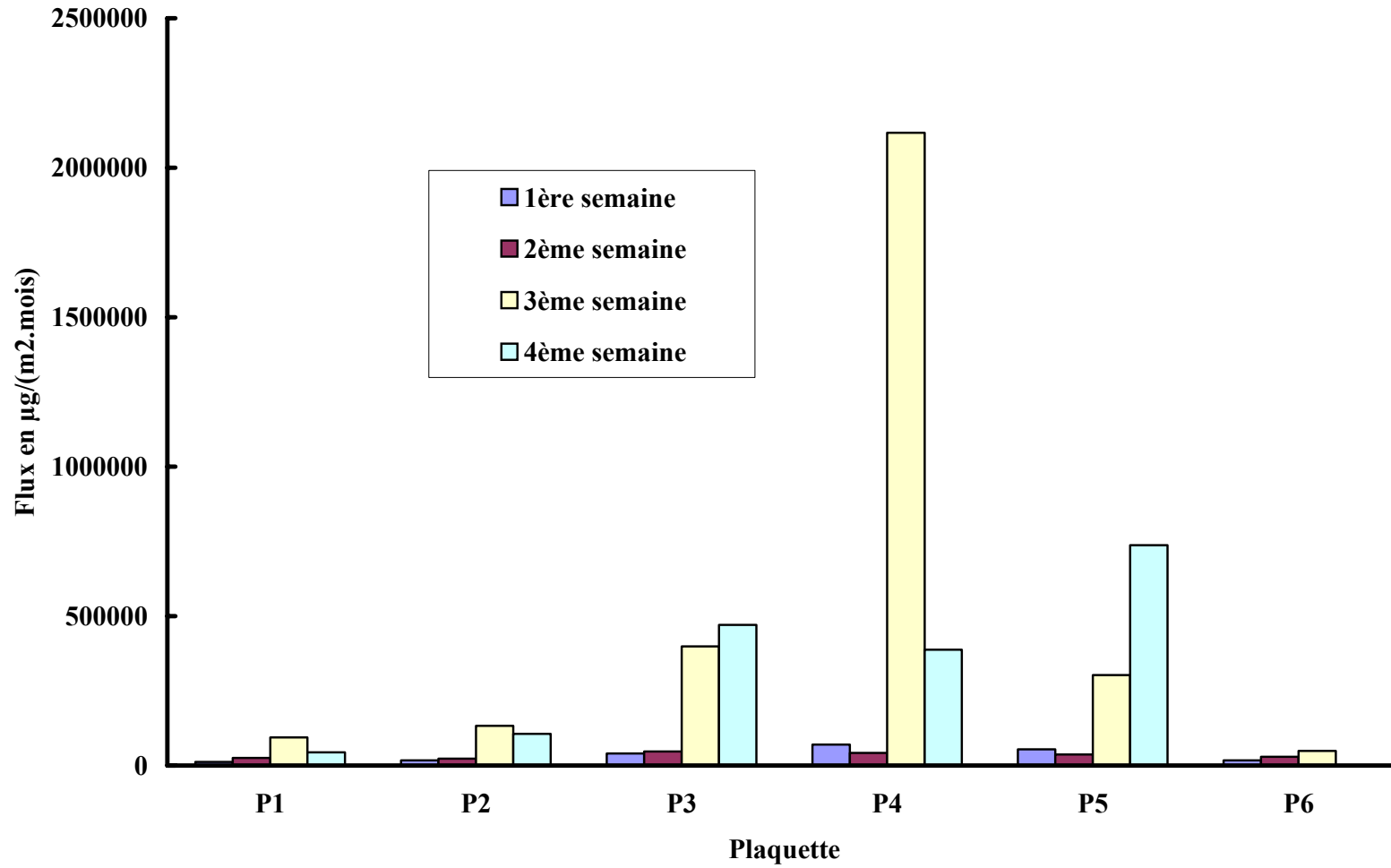


Figure 16

Evolution hebdomadaire du flux Fe sur plaquettes

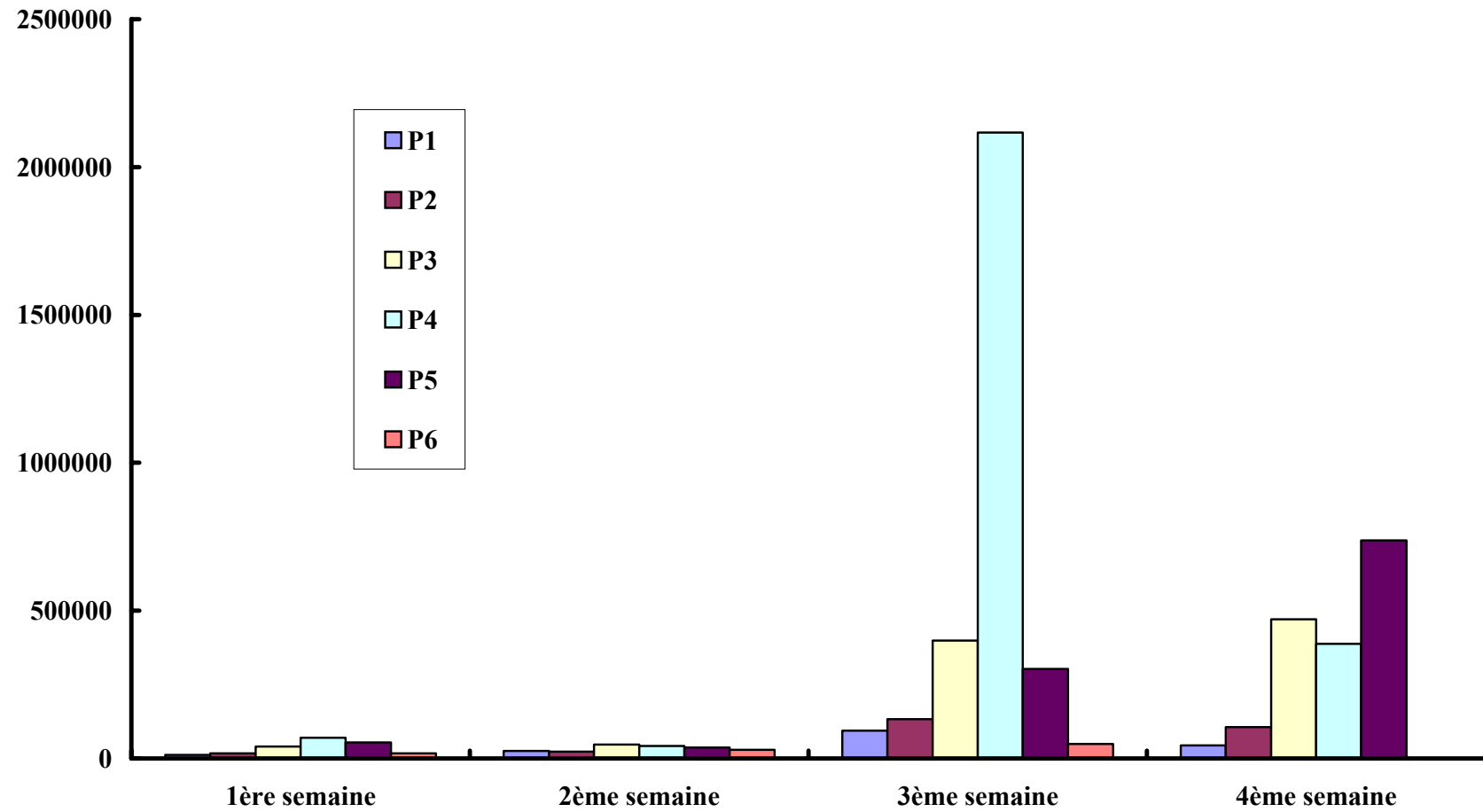


Figure 17

Evolution du flux Ni par plaquette

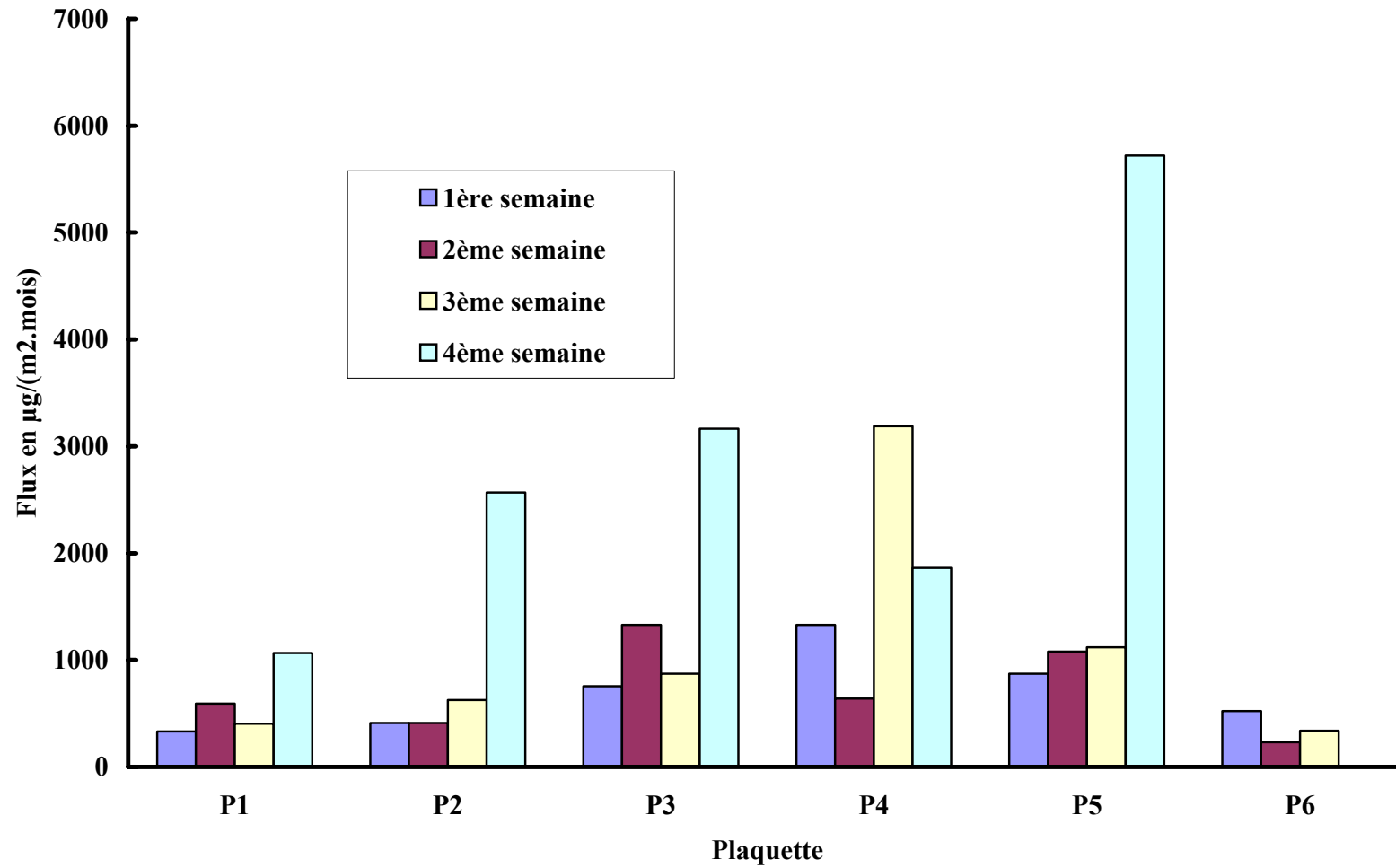


Figure 18

Evolution hebdomadaire du flux Ni sur plaquettes

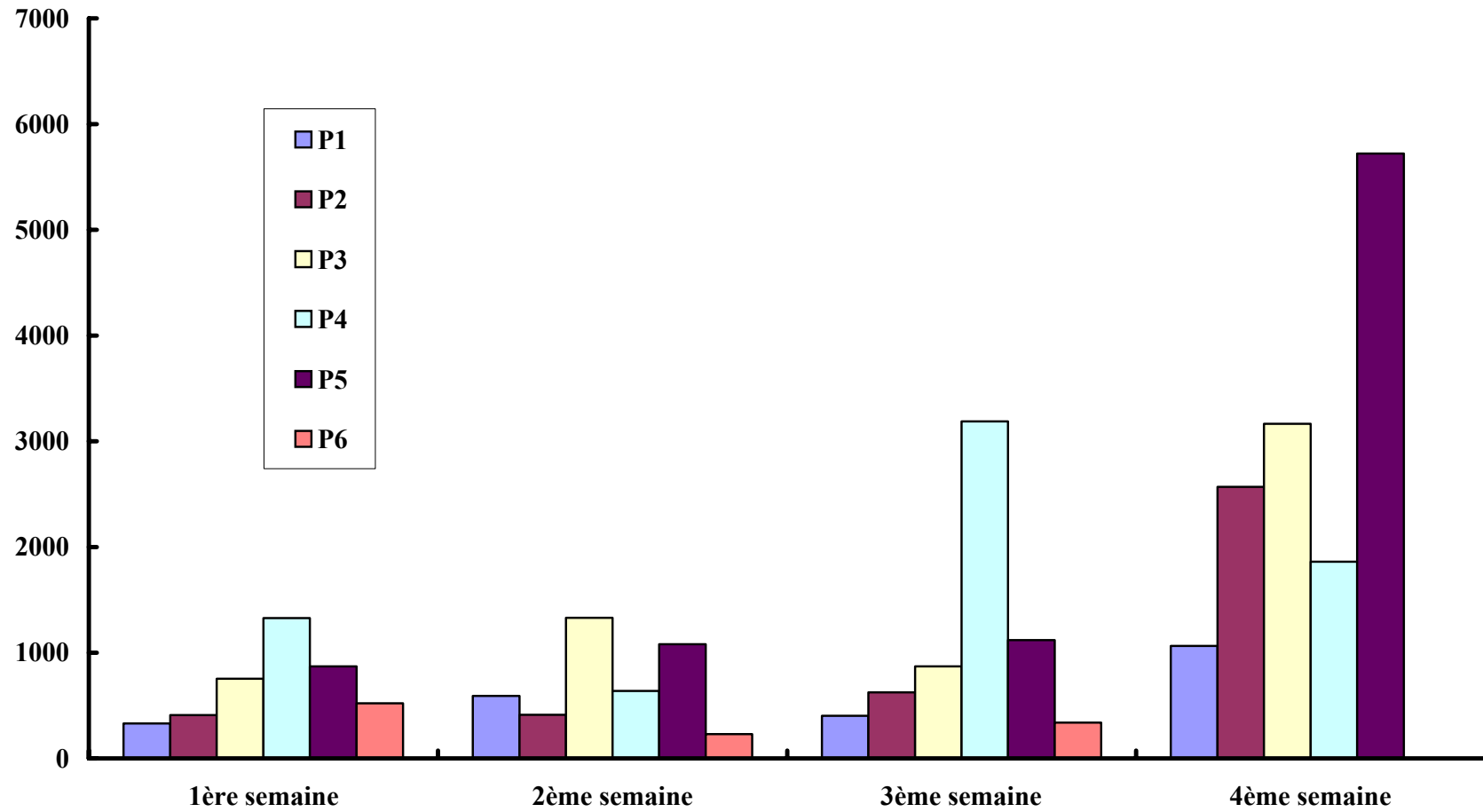


Figure 19

Evolution du flux Pb par plaquette

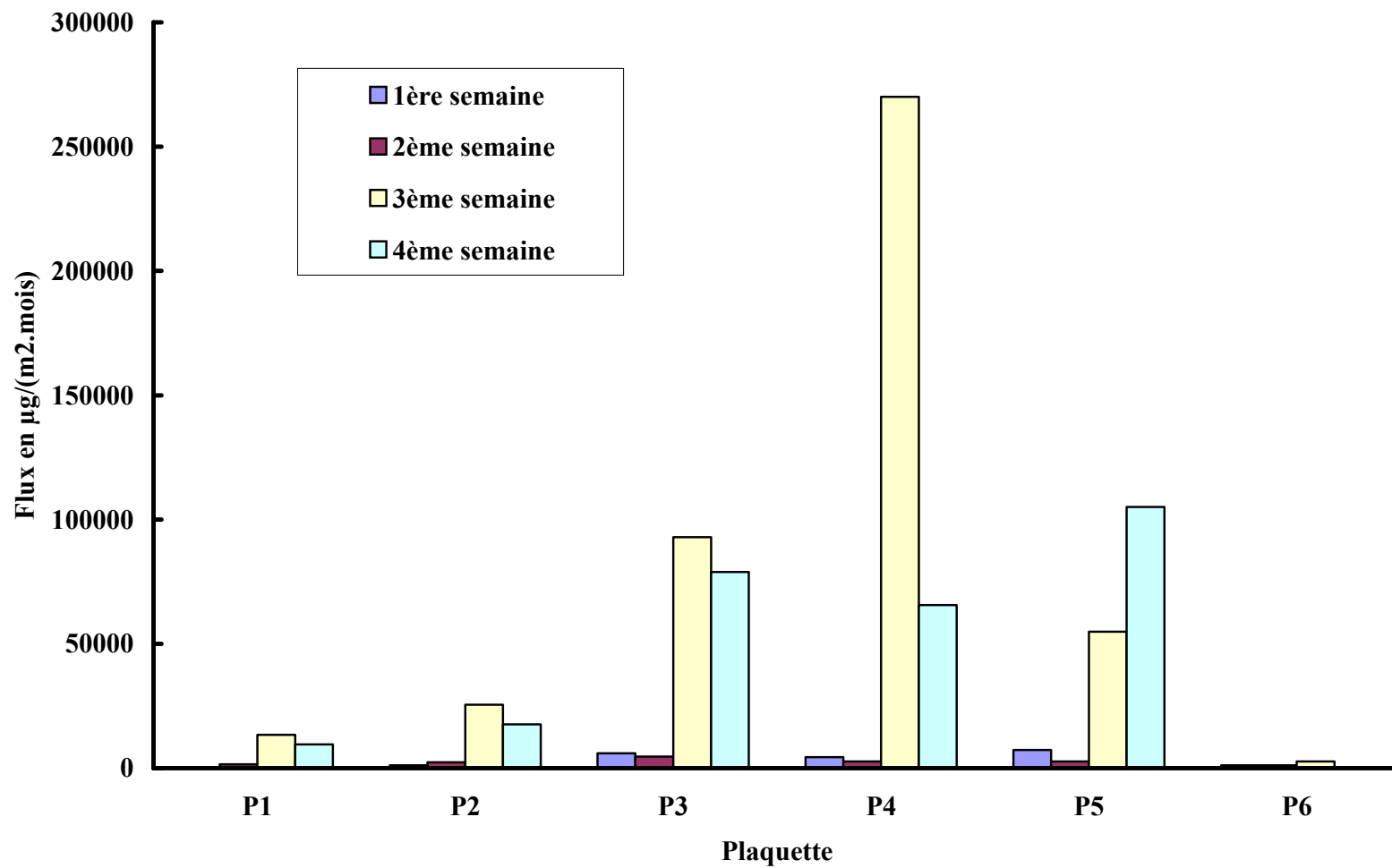


Figure 20

Evolution hebdomadaire du flux Pb sur plaquettes

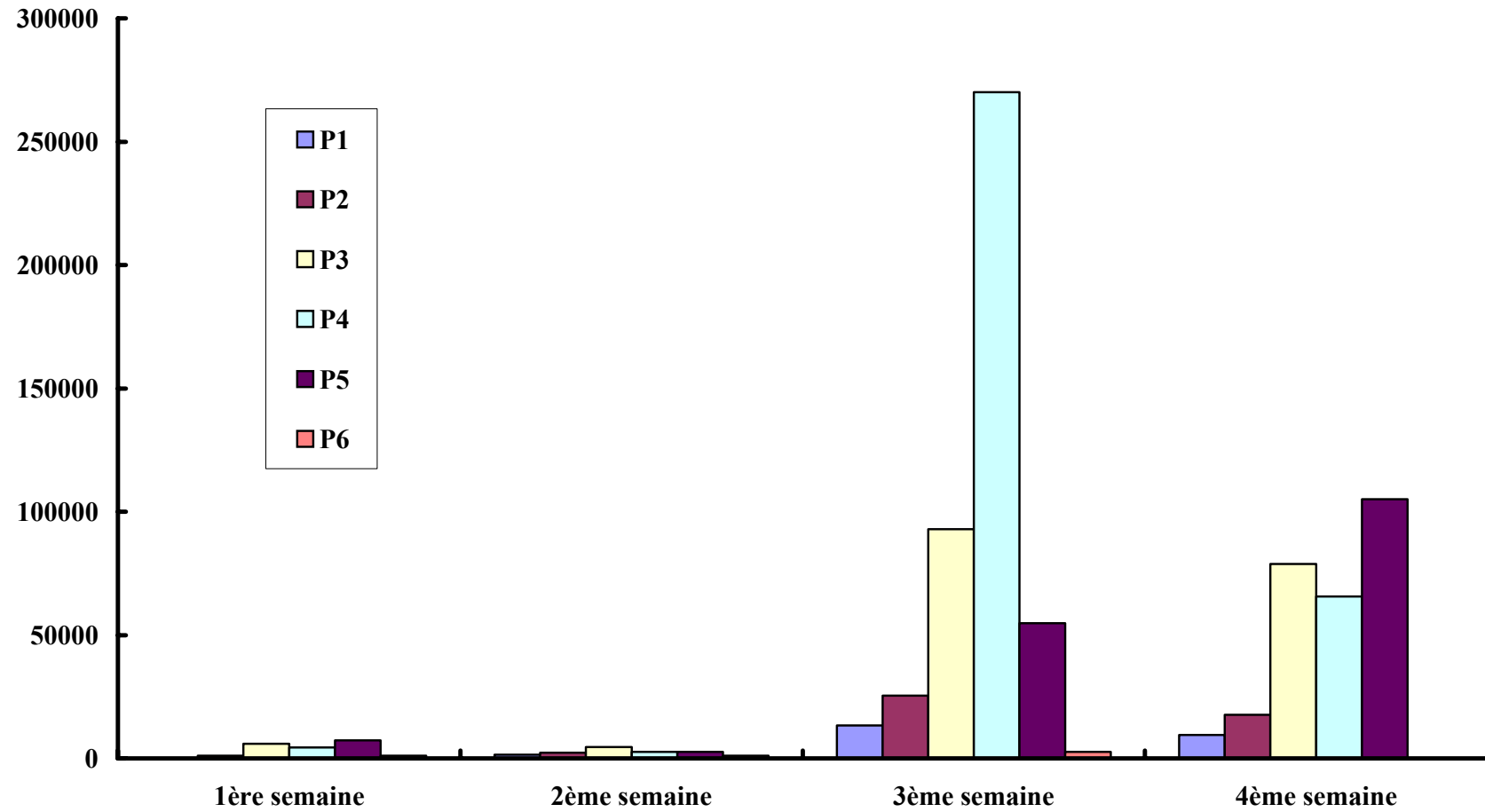


Figure 21
Relation As -Pb sur les plaquettes

