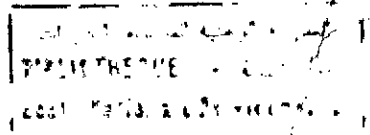


وزارة الجامعات والبحث العلمي
Ministère aux Universités et de la Recherche Scientifique

ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

DEPARTEMENT GENIE de l'ENVIRONNEMENT



PROJET DE FIN D'ETUDES

SUJET

Pollution par les Retombées
Particulaires à Alger.
Cas de la région de
Rais Hamidou.

Proposé par :

Pr. R. KERBACHI

M. BOUGHEDAQUI

Etudié par :

ANGUEL

SABAH

Dirigé par :

Pr. R. KERBACHI

M. BOUGHEDAQUI

PROMOTION Septembre 1992

République Algérienne Démocratique et Populaire

Ministère de l'Education

ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات
BIBLIOTHEQUE — المكتبة
Ecole Nationale Polytechnique

DEPARTEMENT GENIE de l'ENVIRONNEMENT

PROJET DE FIN D'ETUDES

SUJET

**Pollution par les Retombées
Particulaires à Alger
(Cas de la région de Raïs Hamidou)**

Proposé par :
Pr. R. KERBACHI
M. BOUGHEDAUI

Etudié par :
Mlle ANGUELS

Dirigé par :
Pr. R. KERBACHI
M. BOUGHEDAUI

PROMOTION 1992

هذا العمل يتعلق بدراسة الجسيمات المتساقطة في ناحية الجزائر العاصمة، خاصة نواحي مصنع الإسمنت ببلدية رايس حميدو. النتائج المحصلة عليها قد تمت مقارنتها بمعطيات الأحوال الجوية وقد بينت أن الجزائر العاصمة تحتوي على تلوث معتبر بالجسيمات العتساقطة.

Résumé

Ce présent travail porte sur l'étude des retombées particulières dans la région d'Alger, particulièrement aux alentours de la Cimenterie de Raïs Hamidou. Les résultats obtenues sont corrélés avec les données météorologiques et montrent qu'Alger présente une importante pollution par les retombées particulières.

Abstract

The aim of this work is to study the dustfall in the greater Algiers, particularly around the Raïs Hamidou cement factory.

The results are correlated with météorological data. It seems that Algiers accused an important pollution by dustfall

DEDICACES

المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات
المكتبة — BIBLIOTHEQUE
Ecole Nationale Polytechnique

Je dédie ce modeste travail à :

- mes très chers parents

- à mon défunt frère Abderezak

- à toutes mes soeurs : Samira, Amel, Nadia, Leïla

- à tous mes frères en particulier Salah-Eddine, Lyes

- à l'équipe de choc en particulier Katia

- à mes meilleurs copines :

Safia,

Atika,

Bahia,

Farida

- à Mr. et Mme MOUHOUBI et leurs enfants

- à Mr. et Mme KIARED et leur adorable fille Soumaya

- à notre cher et défunt Président

Mohamed Boudiaf puisse

*Dieu le tout puissant accorder au
défunt sa sainte miséricorde.*

REMERCIEMENT

المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات
BIBLIOTHEQUE — المكتبة
Ecole Nationale Polytechnique

Je tiens à remercier le professeur Kerbachi pour le rôle qu'il a joué et continue de jouer dans la formation des assistants et des élèves ingénieurs.

Je remercie également le Copromoteur Mr Boughedaoui qui assume sa tâche avec beaucoup de dévouement et qui m'a apporté toute l'aide nécessaire à la réalisation de ce modeste travail.

Je remercie aussi, Monsieur Mahdi, maître assistant au département d'hydraulique à l'ENP, l'ingénieur hydraulicien Ghazel, sans oublier Mon Oncle Djacta Zoubir pour avoir mis à ma disposition son ordinateur.

Enfin, je remercie tous ceux qui m'ont aidé de près ou de loin à réaliser ce modeste travail.

SOMMAIRE

I - Introduction	1
II - Pollution de l'atmosphère par les particules	2
1 - Particules de sources naturelles	2
2 - Particules de sources anthropogéniques	4
3 - Phénomène de resuspension	6
4 - Cas des émissions des cimenteries	6
5 - les retombées particulaires	11
6 - Effets des particules atmosphériques	16
III - Méthodologie d'échantillonnage et d'analyse des retombées	20
IV - Résultats et interprétation	25
1 - Données météorologiques	
2 - Les retombées particulaires totales	
3 - Les retombées de quelques éléments chimiques	
4 - Variation du pH et de la conductivité	
5 - Variation des retombées de nitrates	
6 - Variation des retombées de chlorures	
7 - Variation des retombées de sodium	
8 - Variation du rapport Cl/Na^+	
9 - Effets de ces retombées à Raïs Hamidou	
V - Conclusion	66
VI - Bibliographie	67

Annexes

INTRODUCTION

Les problèmes de l'environnement qui se posent avec acuité dans le monde sont de nature très diverses. Parmi eux, celui de la pollution atmosphérique qui ne cesse de prendre de l'ampleur d'année en année. L'absence de frontière à cette forme de pollution fait qu'elle diffuse dans toute les directions pouvant ainsi contaminer des régions très éloignées de la source polluante. Les accidents de Tchernobyl, du Bhopal et de Seveso sont des exemples illustratifs de l'importance de la pollution atmosphérique. La pollution de l'air par les poussières est une forme, parmi tant d'autres, de la pollution atmosphérique.

Une partie des poussières, rejetées dans l'atmosphère par des sources naturelles et/ou anthropogéniques, se sédimentent au bout d'un certain temps de séjour dans l'air : ce sont les retombées particulières.

Dans notre cas, on s'intéressera à étudier les retombées particulières dans la région d'Alger, particulièrement aux alentours de deux cimenteries (Raïs Hamidou et Meftah). A cet effet, on a installé plusieurs jauges de sédimentation en huit postes pour recueillir un échantillon après chaque quinzaine d'exposition de celles-ci à l'air libre.

Ce travail se compose de deux parties

- une partie théorique,
- une partie expérimentale.

Dans la partie théorique, on présente le problème posé par les retombées atmosphériques, les sources d'émission de poussières ainsi que leurs effets. La méthodologie d'échantillonnage et d'analyse ainsi que les résultats obtenus et un essai de leur interprétation sont présentés dans la deuxième partie.

II - Pollution de l'atmosphère par les particules

1 - Particules de sources naturelles

L'étude de la pollution particulaire est très difficile compte tenu de son hétérogénéité; elle même liée à la diversité des sources et à la composition chimique des effluents, à l'état physique et granulométrique des particules et à la dynamique d'évolution (conversion gaz particules). Leur diversité s'exprime de différentes manières selon leur origine ou leur nature[1].

Le tableau 1 illustre celle-ci [2].

Tab.1 Estimates of Tropospheric Aerosol Production Rates (2)

Source	Production rate (metric tons per day)	% by weight of total
A. Natural sources		
1. Primary		
Wind-blown dust	2×10^4 to 10^6	9.3
Sea spray	3×10^6	28
Volcanoes	10^4	0.09
Forest fires	4×10^4	3.8
2. Secondary		
Vegetation	5×10^5 to 3×10^6	28
Sulfur cycle	10^6 to 10^8	9.3
Nitrogen cycle	2×10^6	14.8
Volcanoes (gases)	10^3	0.009
Subtotals	10×10^6	94
B. Man-made sources		
1. Primary		
Combustion and industrial	1×10^6 to 3×10^6	2.8
Dust from cultivation	10^3 to 10^3	0.009
2. Secondary		
Hydrocarbon vapors	7×10^3	0.065
Sulfates	3×10^4	2.8
Nitrates	6×10^4	0.56
Ammonia	3×10^3	0.028
Subtotals	6.7×10^5	6
Total	10.7×10^6	100

a) Actions géologiques et météorologiques

Le sol doit être défini comme la couche superficielle de l'écorce terrestre dans laquelle les végétaux enfoncent leur racines. Là où pour une raison quelconque, il n'y a pas de végétation, il n'y a pas de sol, pas de terre, mais une roche stérile.

L'infiltration des eaux de pluie dans ces fissures, les éclatements sous l'action des gelées et des alternatives de dilatations par la chaleur solaire et de rétraction par le refroidissement nocturne commencent à la désagrégation.

L'action chimique des eaux de pluie chargées d' O_2 et de CO_2 , s'ajoute à ce travail mécanique, les sels dissous et déplacés sont entraînés dans des réactions variées. Sous ces influences, les granites se résolvent en sables et argiles, les dolerites en argiles riches en chaux, les calcaires se creusent des cavités souterraines.

Le vent (érosion éolienne) dissocie les couches superficielles du sol et les disperse à l'état de poussière. Il arrive à exercer par sa vitesse, des pressions considérables sur un sol non protégé. Les particules les plus fines sont alors soulevées en nuage de poussières pouvant monter jusqu'à 3000m. Ces nuages sont parfois transportés très loin et que leur précipitation donne lieu à des pluies de poussières ou de boue. Les particules plus volumineuses sont roulées, déplacées et agissent sur leur voisines comme une râpe. Le vent opère ainsi un tri des particules et ne laisse que des graviers et des cailloutis [1].

b) Embruns Marins

Les brumes et les embruns venant de l'océan apportent dans l'atmosphère continentale des cristaux de sel qui s'agglomèrent en noyaux de condensation. Les sel introduits dans l'atmosphère par les embruns marins sont principalement composés de chlorure de sodium (NaCl), mais également de chlorure de magnésium (MgCl_2), de chlorure de calcium (CaCl_2) et de bromure de potassium (KBr). Les plus fortes teneurs en sel sont relevés les jours de forte houle (mouvement ondulatoire de la mer).

Le vent soulève les embruns marins et peut les transporter à de grandes distances à l'intérieur des terres. Dans les régions côtières de la Bretagne, les pluies déposent au sol 25 à 35 gr de sel par m^2 et par un an dont 70% de NaCl . On y trouve également du nitrate d'ammoniaque qui serait synthétisé dans les régions élevées de l'atmosphère sous l'influence des décharges électriques à partir des éléments N, O et H [3].

Les aérosols marins ainsi déposés, donnent après évaporation des particules salines de $0.3\mu\text{m}$ de diamètre moyen, dont le nombre décroît beaucoup au delà de 3000m d'altitude [4].

c) Cendres Volcaniques

Elles résultent de la pulvérisation des laves au cours d'explosions violentes très tenues, projetées dans l'atmosphère à grande altitude et en masses énormes, elles forment des nuages épais qui peuvent parcourir des milliers de Km et reste en suspension très longtemps.

«Le brouillard sec» qui en 1783 couvrit pendant 3 mois presque toute l'Europe après être apparu d'abord à Copenhague où il persista 126 jours, avait pour origine une éruption en Islande. En 1883, la grande éruption de Krakatoa lança dans l'atmosphère des cendres qui furent plusieurs fois le tour de la terre, et donnent lieu jusqu'en 1885, à des illuminations crépusculaires. Ces cendres peuvent obscurcir le ciel pendant plusieurs jours avant de se déposer en une couche blanchâtre semblable à des neiges [1]. Ainsi, le volcanisme constitue une source naturelle d'aérosols dont l'importance excède de beaucoup toute autre cause spontanée ou anthropogène d'émissions particulières.

Les éruptions de premières magnitudes s'accompagnent de l'introduction de plusieurs millions de tonnes de telles particules dans la stratosphère. Ainsi l'éruption du Mont Saint Helens, en Mai 1980, dans l'état de Washington "Etat-Uni s"est accompagnée de l'émission de près de 3.10^9 tonnes de particules dont $1,4.10^6\text{t}$ ont atteint la stratosphère. L'éruption du Krakatoa (1883) a injecté dans l'atmosphère 18Km^3 de roches dont 50.10^6 tonnes se rependirent dans la stratosphère provoquant une baisse de 10% de la transparence atmosphérique pendant plusieurs mois. La plus grande explosion volcanique survenue au cours des deux derniers siècles, celle du Tambora (1815) dans l'île de Sumbawa, à l'est de Java, aurait injecté une masse de cendres plusieurs fois supérieure à celle introduite par l'éruption de Krakatoa dans l'atmosphère [4].

d) Poussière d'origine extra-terrestre

L'espace est occupé en réalité par une infinité de corps dont les dimensions s'échelonnent de celles d'une très petite planète à celle d'un grain de poussière. A haute altitude, on trouve constamment une grande quantité de poussière météoritiques et la sédimentation atmosphérique en amène en permanence au sol. On estime à près de 10.000t par jour cet apport cosmique. Quelques unes de ces météorites (et leur poussière) ont la même composition que certaines roches terrestres, Ce sont des météorites «pierreuses», mais la majorité est formée de Fer avec un peu de Nickel et de cobalt, ce sont des «Sidérites».

La chute d'un météorite peut se traduire par une pluie de poussières. Voici un cas rapporté par G. Tissandier pendant une traversée du Navire Josiah-Bates dans les eaux de la mer des Indes, au Sud de Java, dans la nuit du 24 au 25 janvier 1859, les marins virent tomber sur le pont une fine poussière qui y forma bientôt un dépôt abondant. l'analyse montra du fer métallique uni à de l'oxyde de Fer métallique [1].

2 - Particules de sources anthropogéniques

les activités humaines sous toute leurs formes sont productrices de poussières, c'est une conséquence inévitable de notre vie, liée au mouvement. L'usure de nos chaussures, de nos vêtements, des planchers, des pneus, d'automobiles, des rails, des roues etc..., correspond à la formation d'une quantité équivalente de poussières.

Il y a encore les résidus de la vie domestique et si ces détritres ne sont pas brûlés ou transformés en engrais, ils sont une source de poussières dangereuses. Une grande partie des aérosols présents dans l'atmosphère provient des tempêtes de sable dans les zones désertiques. Il s'agit de particules qui mesurent aux alentours de 0.3 μ m surtout de nature siliceuse. L'homme intervient aussi de façon indirecte dans leur formation. Il accroît leur émission en créant des déserts par de mauvaises pratiques agricoles, en particulier par la mise en valeur de sols fragiles dans des zones semi arides[1].

Le tableau 2 [3] donne la composition de quelque poussières industrielles.

Tableau . 2 [3] — Composition granulométrique de quelques poussières industrielles.

Tranches	Gaz de combustion charbon sur grille mécanique (%)	Gaz de combustion chauffe au charbon pulvérisé (%)	Gaz de four à ciment (%)	Concassage et broyage de pierre, poussière de silice (%)	Four électrique à carbure de calcium (%)
0 — 5 μ . .	0,5	3		20	68 (1)
5 — 10 μ . .	1,5	16	21	30	22
10 — 20 μ . .	6	25	24	35	8
20 — 30 μ . .	9	20	18	13	2
30 — 50 μ . .	21	24	12		
50 — 70 μ . .	17	7	15	2	
70 — 100 μ . .	15	5	10		
> 100 μ	30				
	100	100	100	100	100

(1) dont 10 % < 1 μ .
38 % de 1 à 3 μ .
20 % de 3 à 5 μ .

a) Dans la métallurgie, le mélange ou ébarbage des pièces se fait avec des meules en émeri (alumine) ou en Carborundum (Siliciure de carbone). Le meulage agit par usure de la pièce, mais use aussi la meule, d'où formation de poussières métalliques et d'alumine ou de Siliciure de carbone.

- Le retaillage des meules produit encore de la poussière.

- Le polissage, le dégagement de poussières est de même nature que précédemment.

- Le sablage-décapage par projection d'un jet de sable à l'air comprimé, provoque un nuage dense et dangereux de poussières Siliceuses.

- Le dessablage des pièces moulées se fait à la brosse sur des tables à claire voie, ce qui soulève encore (sauf aspiration) des poussières également nocives.

b) Dans la céramique, le broyage et la pulvérisation des matières premières se font aujourd'hui en vase clos, mais le finissage des pièces moulées et séchées se fait au papier de verre. La porcelaine subit deux cuissons entre lesquelles les pièces sont époussetées au plumeau sur des tables à clair voie.

L'empoussiéage est important, et malgré une ventilation aspirante énergique, la silicose sévit dans cette industrie.

c) Les poussières radioactives sont venues s'ajouter depuis 10 ans aux facteurs de pollution précédents, créant malheureusement un danger d'une toute autre ampleur. On sait que l'explosion aérienne d'une bombe atomique est immédiatement suivie de la formation d'un énorme nuage «en champignon» dont le chapeau atteint rapidement une altitude supérieure à 10.000 m. Ce nuage entraîne dans la haute atmosphère une grande quantité de corps radioactifs de toutes sortes, enrichis des produits également radioactifs qui résultent de l'action sur le milieu environnant du flux intense de neutrons émis. Le nuage radioactif ne se disperse que lentement, il dérive d'abord presque en bloc sous l'effet du vent en laissant tomber sur son parcours les poussières les plus lourdes dont il est chargé.

C'est de la sorte que fut atteint, à la suite de l'explosion de Bikini du 1er mars 1954, un petit bateau de pêche Japonais qui se trouvait à 145 Km du centre de l'expérience. Les pêcheurs aperçurent d'abord à l'horizon une lumière rouge, bientôt apparurent de gros nuages au dessus d'eux et des cendres blanches se mirent à tomber sur le bateau et sur la mer.

L'analyse à Tokyo de 1gr de cendre prélevée montre la présence de Carbonate de Ca sans activité, provenant vraisemblablement d'une île de corail, et permit de détecter 17 éléments radioactifs dont les strontium 89, le strontium 90, l'iode 131, l'iode 132, le baryum 140.

Le 16 juillet 1945, dans une région désertique du nouveau Mexique à Alamogordo, éclatait la bombe d'essai qui devait être bientôt suivie des explosions sur Hiroshima et Nagasaki (6 et 9 août 1945). Or, un mois et demi environ après la première explosion, les services techniques de la firme américaine Eastman Kodak constataient que des films photographiques s'étaient voilés spontanément semblaient-ils, dans leur emballages d'origine. Le même phénomène s'observait avec des cartons provenant d'usines différents distantes de 700 à 800 Km. L'étude des cendres de ces cartons décéla des corps doués de radioactivités artificielles.

On fut amené à admettre que les poussières radioactives issues de l'explosion d'Alamogordo, diffusées par les courants aériens, avaient contaminé les champs de céréales dont la paille avait été utilisée par les cartonneries ou que ces poussières avaient été transportées par les eaux de rivières qui alimentent les usines. Les explosions atomiques se sont succédées depuis en différents points du globe et les effets de nuage radioactif se sont fait sentir chaque fois en des régions très éloignées du lieu d'émission [1].

3 - Phénomène de resuspension

Les particules déjà sédimentées sont exposées à plusieurs facteurs pouvant les entraîner de nouveau dans l'air: c'est ce qu'on appelle remise en suspension des particules ou resuspension. Comme il est difficile de distinguer la particule remise en suspension après sédimentation de celle émise dans l'air pour la première fois à la suite de phénomène d'érosion ou d'une émission, on confond les deux particules en les considérant comme toutes remises en suspension.

Cohen (1977), a suggéré que l'humidité pourra être meilleure pour réduire la resuspension lorsque les études entrepris, dans les régions arides, semi arides sont comparées avec celles dans les régions plus humides telle que les côtes (Ouest et Est) des U.S.A.

Les études au laboratoire qui peuvent être utile dans la détermination de l'adhésion des particules, sont aussi incluses car ils peuvent aider à identifier quelques mécanismes qui sont important dans le phénomène de resuspension par le vent.

La plupart des études ont examiné la resuspension par le vent. Cependant, il y a une rangée de processus incluant l'impact de la goutte de pluie, les perturbations mécaniques par les véhicules ou les piétons qui sont aussi la cause d'injection de particules dans l'atmosphère.

Par les turbulences induites au passage et l'effet de cisaillement des pneus sur la chaussée, le trafic routier est responsable de la resuspension d'une quantité non négligeable de particules en milieu urbain.[5].

Le cas des villes des pays en développement, très souvent touchées par un important dépôt de poussière et où l'absence de lavage des rues. L'absence d'entretien de la voirie, l'érosion des terrains agricoles abandonnés font que la resuspension contribue énormément à la pollution particulaire.

4 - Cas des émissions des cimenteries

4.1. Définition du ciment

Le ciment est une poudre minérale qui forme avec l'eau une pâte faisant prise et durcissant progressivement. C'est un liant hydraulique, formé de constituants anhydres cristallisés, renfermant essentiellement de la Silice, de l'alumine et de la chaux, et dont le durcissement est principalement dû à la formation par combinaison de ces constituants anhydres avec l'eau, de Silicates et d'aluminates de calcium hydratés très peu solubles dans l'eau.

Le ciment anhydre est un mélange intime, réalisé soit avant, soit après broyage, d'un ou de plusieurs des constituants, avec éventuellement, et en petites quantités, une ou plusieurs additifs: Sulfate de calcium (gypse), sel solubles [7].

4.2. Procédés de fabrication de ciment

Il existe trois voies de fabrication de ciment

- Voies sèche, (figure 1)
- Voies humide (figure 2)
- Voie semi-sèche.

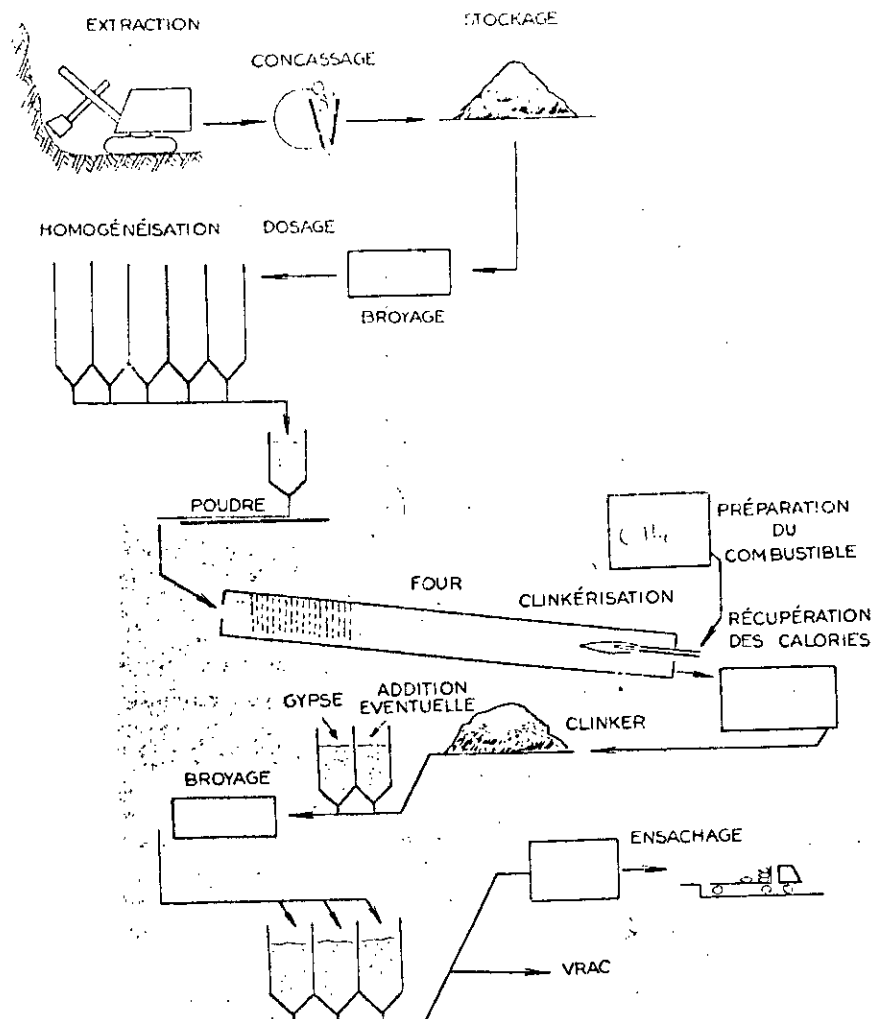


Fig.1 — Schéma de fabrication du ciment par voie sèche.

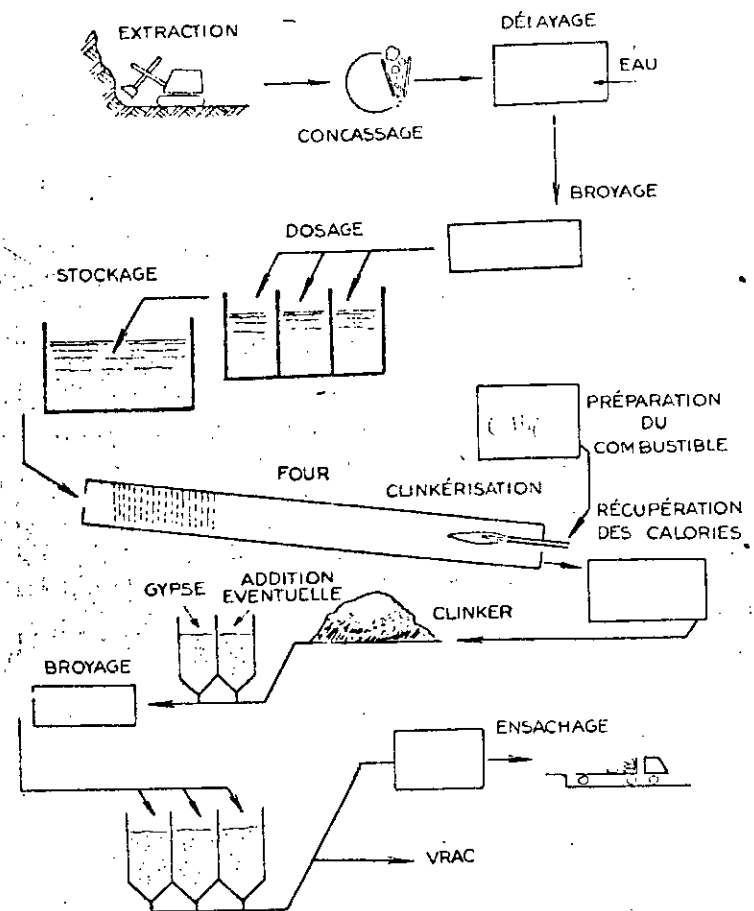


Fig.2 — Schéma de fabrication du ciment par voie humide.

Dans notre travail, on s'est intéressé à la pollution dégagée par deux cimenteries algériennes situées à Meftah et Raïs Hamidou.

La première fonctionnant par voie sèche et la seconde par voie humide.

On donnera dans ce qui suit la composition des matières premières pour la fabrication du ciment pour chacune des deux cimenteries.

Cas de Meftah

Tableau 3. [8].

Matières premières	Elements	Composition massique(%)						
		SiO ₂	CaO	MgO	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	PF	RI
Calcaire		4,49	51,14	0,28	0,57	1,63	40,76	
Argile		49,32	9,78	2,30	5,99	15,08	14,36	
Sable		8,79	3,79	0,00	0,85	1,81	3,20	
Fer		7,12	5,98	1,15	70,16	2,91	9,43	
Tuff		69,28	2,98	0,57	1,84	13,22	6,7	

Cas de Raïs Hamidou

Tableau 4 [9].

Matières premières	Elements	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	PF
		Calcaire	10,80	3,80	1,05	47,70	0,65
Schiste	60,30	14,72	7,33	6,85	0,55	8,25	
Sable	88,50	2,15	1,10	3,20	0,40	2,25	
Fer	23,40	6,90	50,00	8,37		11,28	
Tuff	64,80	14,10	2,90	5,30	0,7	9,20	

4.3. Les émissions de poussières

L'emplacement d'une cimenterie est située très généralement tous près d'une carrière d'extraction de matière première qui seront acheminées par transport aérien (tapis) ou transport terrestre (Camion). Ainsi donc, il existe trois niveaux principaux d'émission de poussière:

- au niveau de la carrière,
- au niveau du transport,
- dans l'usine de fabrication.

a) Nuisance dues à l'exploitation de la carrière

Les causes de nuisances essentielles créées par l'exploitation d'une carrière sont dues:

- a l'emploi d'un explosif,
- fragmentation des gros blocs,
- émission de poussière provoquée par certaines foreuses à grande vitesse,
- concassage primaire.

b) Nuisances dues au transport des matières premières

Il est rare qu'une cimenterie soit située dans le périmètre de sa carrière. Les matières premières extraites doivent donc être transportées à l'usine. Les émissions de poussières dépendent du mode de transport utilisé:

- Transport aérien

Il est assuré soit par un convoyeur à bande (tapis), soit par une succession de bennes mues par un câble. Le convoyeur à bande est généralement entouré par une superstructure en tôle. Celle-ci protège les abords des chutes de certains blocs qui pourraient s'échapper par suite des légers chocs provoqués par le passage de la bande sur les rouleaux. Il y a risque d'émission du fait qu'un contact de bloc laisse échapper un nuage de poussière. Le convoyeur à bennes n'est généralement pas protégé comme le précédent, d'où des bennes surchargées risquent en effet d'osciller sous l'effet du vent et laisser échapper une partie de leur chargement (poussières).

- Le transport terrestre

Il peut s'effectuer soit par wagon, soit par camion, ce dernier étant de loin le plus répandu. Le transport par camion peut, par contre, entraîner certaines nuisances. A l'intérieur de la carrière, les routes ne sont généralement pas aménagées. Le passage des camions soulève des quantités de poussière considérables qui, sous l'effet du vent peuvent être transportées sur de longues distances.

c) Nuisances dues à la préparation de la matière première

Suivant les procédés employés, la matière première destinée au four est préparée par voie humide ou par voie sèche.

- Préparation par voie humide

Ni les opérations de délayage ou de broyage ne sont susceptibles de créer des nuisances à l'extérieur de l'usine du fait que les diverses opérations s'effectuent sur des pâtes. (voir figure 1).

- Préparation par voie sèche

Les opérations de broyage et de mélange s'effectuent sur des matériaux secs (voir figure 2). Il en résulte:

- Pour le broyage

Une émission de poussières car la majorité des broyeurs effectuent l'opération de séchage et sont de ce fait balayés par des gaz chauds qu'il faut ensuite purifier. L'émission provient aussi bien de l'appareil lui-même que des dispositifs d'évacuation de la poudre vers d'autres postes de l'usine.

- Pour l'homogénéisation

Les silos comportent des dispositifs qui permettent à l'air d'être évacué sans que les particules soient entraînées, mais il peut arriver que certains filtres soient inefficaces ou que certaines fermetures manquent d'étanchéité, d'où risque d'émission de particules poussiéreuses.

- Pour le transport des poudres

Le transport des poudres crues s'effectue le plus souvent par voie pneumatique:

- soit par soufflage
- soit par fluidisation.

Dans les deux cas, un manque d'étanchéité des canalisations d'appareils de raccordement ou de vannes, risque de provoquer une éjection des poussières dans l'atmosphère environnante. Ces poussières ainsi déposées dans l'usine, peuvent être transportées à l'extérieur sous l'effet du vent (resuspension).

d) Nuisances dues à la cuisson des matières premières

Les Nuisances sont provoquées essentiellement par la poussière émise par la ou les cheminées de l'usine, et qui peut se répandre abondamment sur de vastes terrains environnants. C'est la forme la plus visible et palpable des nuisances causés par la cimenterie.

e) Nuisance due à la livraison de ciment

Lors de la livraison de ciment par le chargement de sacs ou des containers (du vrac), il y a émission d'une quantité importante de poussières [6].

4.4. Formation des poussières

Quel que soit le procédé utilisé, on sait que les matières crues sont réduites à l'état de fines particules mais le comportement ultérieur de ces particules diffère suivant le procédé adopté. Par voie humide, la matière pénètre dans le four sous forme d'une pâte qui perd progressivement son eau au fur et à mesure de sa descente (le four est incliné). L'abrasion des agglomérats libère une certaine quantité de particules isolées.

L'abrasion des matières crues constitue la cause majeure de formation des poussières.

Une partie de ces poussières est évacuée en même temps que le gaz se dirigeant vers la cheminée.

Le procédé qui utilise la pulvérisation de la pâte favorise la production de poussière.

Quel que soit le procédé utilisé, les poussières proviennent également:

- des cendres du combustibles solide (charbon),
- les mouvements relatifs des grains de clinker joints au refroidissement, générateur de contraintes thermiques favorisent la libération de particules assez riches en silicates tricalciques. Ces particules sont entraînées par l'air secondaire et généralement recyclées par le clinker en formation. Certaines d'entre elles peuvent toutefois atteindre l'amont du four [6].

5 - Les retombées particulaires

5.1. Granulométrie des particules atmosphériques

Les diverses particules présentes dans l'air peuvent se classer par ordre de taille décroissante en catégories distinctes (figure 3):

- les poussières de grand diamètre sédimentables,
- les poussières semi-fines peu ou pas sédimentables,
- les poussières inframicroscopiques non sédimentables.

a) Les grosses particules sédimentables

Elles mesurent en moyenne 20 μm , se localisent dans les basses couches de la troposphère (au dessous de 3000 m) et retombent rapidement dans les environs de leur source d'émission.

Elles prédominent dans l'atmosphère des agglomérations fortement industrialisées. En Grande-Bretagne, les chercheurs ont estimés à 380t/km²/an, la quantité de particules sédimentables qui retombent sur les régions d'industrie lourde [4].

b) Les particules semi-fines

Elles ont une taille comprise entre 2,5 et 0,1 μm , cette dimension représente la limite inférieure au delà de laquelle la sédimentation n'est plus possible à cause du mouvement Brownien dont l'accélération devient supérieure à celle de la gravitation. Elles sont malgré tout ramenées tôt ou tard au sol, même si leur taille est plus faible que 1000Å°, par les précipitations et des phénomènes électrostatiques qui conduisent à leur agglomération en certaines circonstances.

c) les particules inframicroscopiques

On les dénomme souvent particules (ou noyaux) d'Aitken. Leur diamètre moyen est à peine de 300Å°. Leur taille peut descendre au dessous de 10Å°. Elles se rencontrent dans toute l'atmosphère mais leur concentration décroît très vite au delà de la tropopause [4].

5.2. Les procédés de dépôts des particules

Le processus d'élimination des polluants atmosphériques peut-être groupé en deux catégories: Dépôt sec et dépôt humide.

Le dépôt sec procède sans l'aide de précipitation et montre un transfert direct de particules d'air pollué à la surface du sol.

Le dépôt humide, d'autre part, renferme tous les processus par lesquels, les polluants en suspension sont transférés à la surface du sol, sous une forme aqueuse (pluie, neige, brume). L'état de connaissance actuel du processus de dépôt humide, excède de loin celle du dépôt sec. La connaissance des deux processus de dépôt sec et humide et leur vitesse relatives est déterminante dans l'établissement du temps de séjour de ces polluants atmosphériques, de la concentration en poussières de l'air et leur impact sur les écosystèmes terrestres et aquatiques.

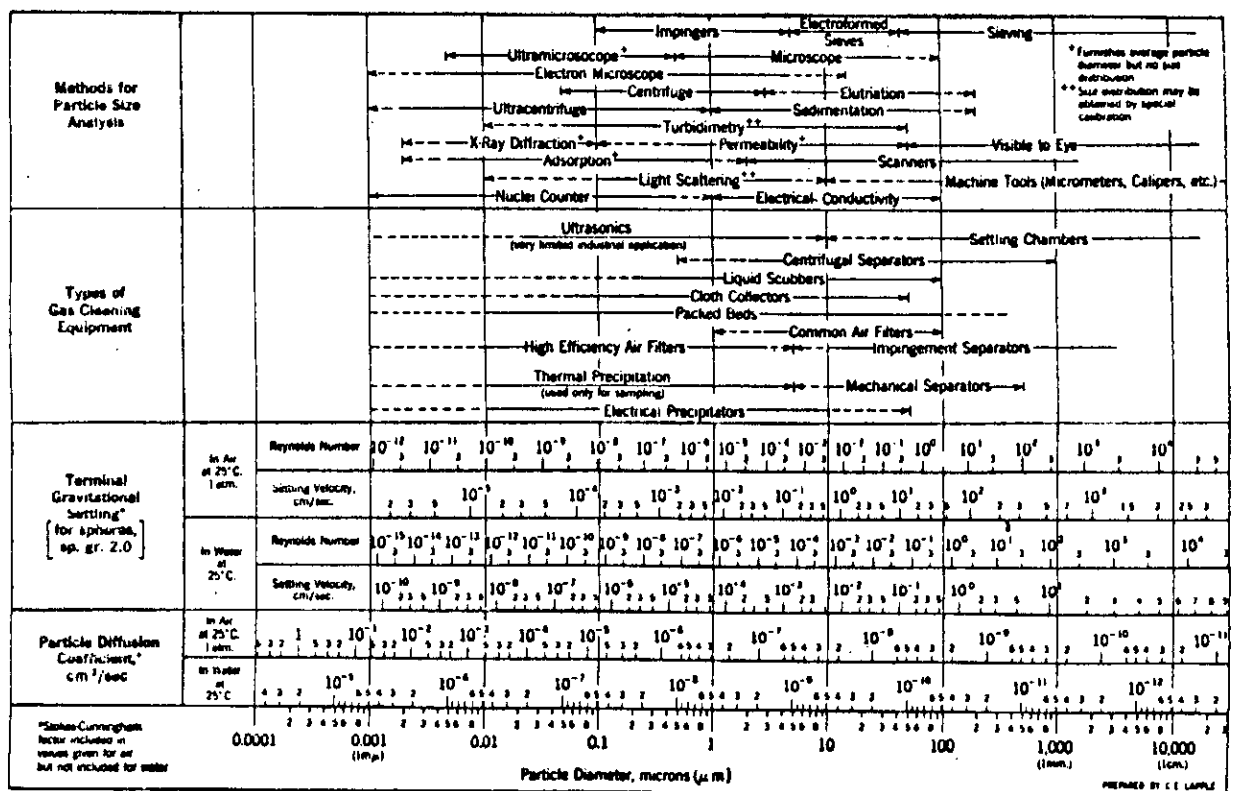
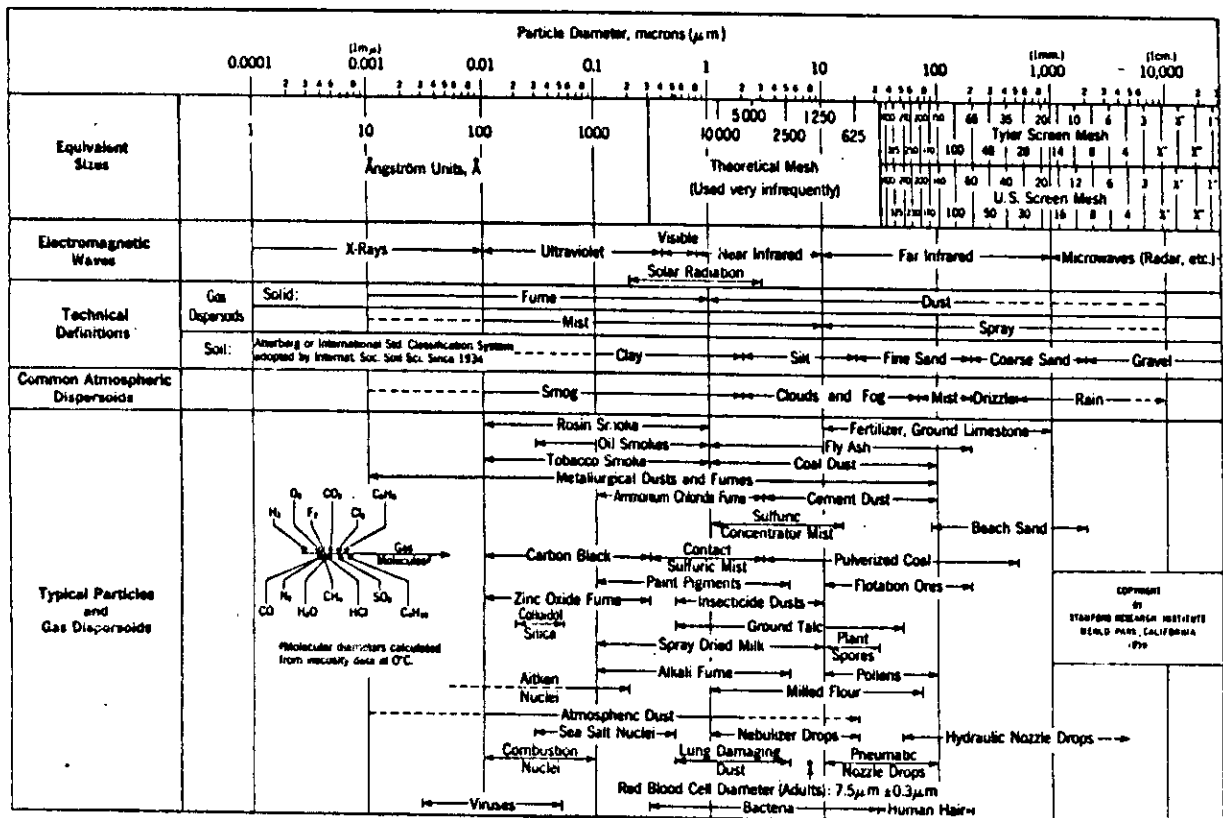


Fig. 3(2) Characteristics of particles and particle dispersoids. Reprinted by permission of *Stanford Res. Inst. J.*

La vitesse de dépôt sec des polluants à une surface exposé est souvent limité par la vitesse à laquelle l'atmosphère peut les transporter à proximité de cette surface.

Les méthodes existantes par la mesure des dépôts secs des polluants ont été revues et critiqués par Hicks, Wesely, et Durham. Le dépôt sec est exprimé mathématiquement par la relation empirique suivante :

$$D_d = V_d \times C_a$$

- où D_d est le flux de dépôt ($\text{g}/\text{cm}^2/\text{s}$),
 V_d est la vitesse de dépôt (cm/s),
 C_a est la concentration d'air (g/cm^3) de la substance au niveau du sol.

Le processus responsable d'un dépôt humide de polluants en suspension dans l'air a été étudié par beaucoup de chercheurs [10].

Depuis il a été découvert qu'il compte pour environ 80 - 90% des retombées totales de la stratosphère, émises par le test des armes nucléaires. Parmi les principaux processus majeur contribuant à l'élimination de polluants par la voie d'un dépôt humide est le mouvement brownien.

Une approche empirique, pour calculer le dépôt humide, utilise le rapport de lavage défini par:

$$W = C_r \cdot \rho_a / C_a$$

- où C_r = concentration massique des contaminants dans les précipitations ($\mu\text{g}/\text{g}$),
 ρ_a = densité de l'air (g/m^3)
 C_a = concentration des polluants dans l'air ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) [10].
 W = taux de lavage (sans dimension)

Les figures 4 et 5 illustre l'effet des précipitations sur les retombées particulaires.

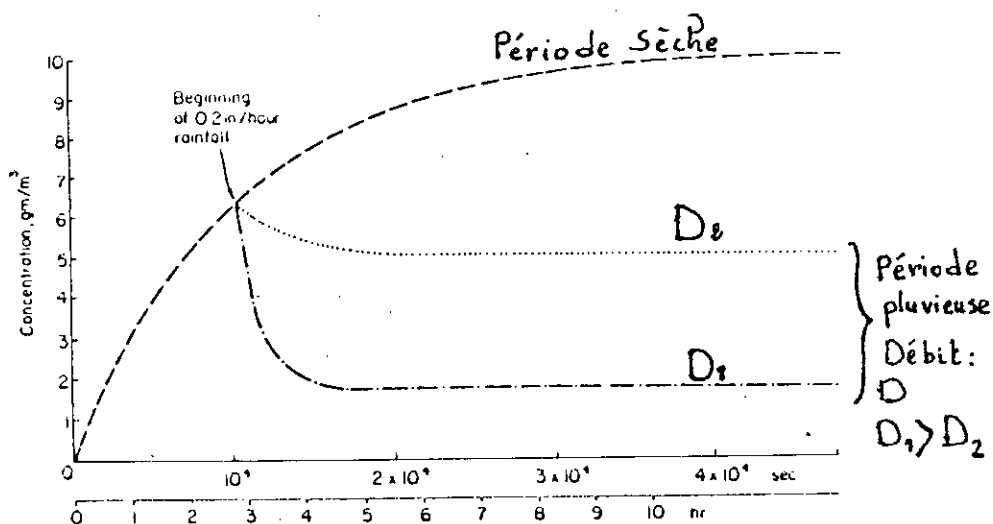


Figure 4. Pollutant concentrations as a function of time, for a hypothetical model of an urban atmosphere. Dashed line: Pollutant unaffected by rain; dotted line: SO_2 vapor, dotted-dashed line: Particles with 0.15-cm/second settling speed. [2]

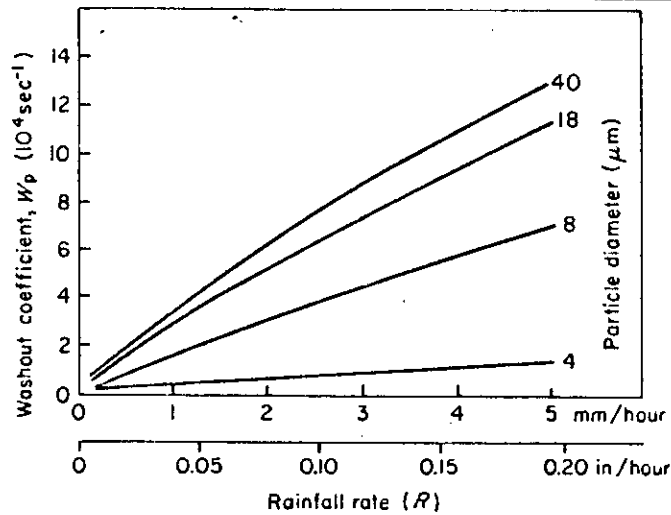


Figure 5. Typical values of washout coefficient as a function of rainfall rate and diameter of the scavenged particle.

Le tableau 5 donne le classement de la pollution par les retombées particulaires en Pensylvanie.

Classement de la pollution par les retombées

Classification	Dustfall	
	tons/mile ² /30 days	mg/cm ² /30 days
Slight	0-20	0-0.7
Moderate	20-40	0.7-1.4
Heavy	40-100	1.4-3.5
Very heavy	>100	>3.5

Tab. 5 [2]

5.3. Sedimentation des particules

Dans un gaz immobile, la particule atteindra rapidement une vitesse uniforme qui, suivant la dimension de la particule est donnée par l'une des formules suivantes:

Loi de Newton: pour les particules supérieures à 200 μm

$$V_N = 8g D (m_1/3 m_2)^{1/2}$$

Loi de Stokes: pour les particules comprises entre 100 et 1 μm

$$V_s = (m_1 - m_2) (g D^2/18\mu)$$

D: représente le diamètre de la particule en cm,

g: représente l'accélération de la pesanteur 981 cm/s²,

μ: représente la viscosité dynamique du gaz, soit pour l'air à 20°C : 1.83 x 10⁻⁴ g/cm s.

m₁ et m₂ la masse volumique de la particule et du milieu respectivement.

Pour de très faibles dimensions, la loi de Stokes n'est applicable que moyennant un facteur de correction tenant compte de leur chute plus rapide (facteur de Cunningham), les particules inférieures à $0,1\mu\text{m}$ sont soumises au mouvement brownien où par coagulation il y a formation de particules susceptibles de sédimenter [3].

le tableau 6 donne la vitesse de chute des particules selon leur granulométrie, alors que la figure 6 montre la vitesse de sédimentation des particules selon leur granulométrie et leur densité.

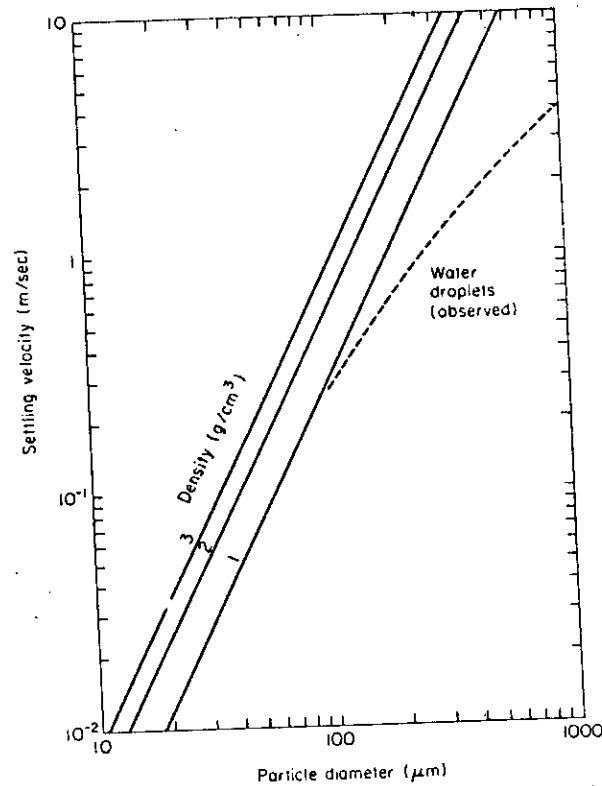


Fig6 . [2]

Settling velocity of spherical particles in quiet air as a function of size and density. Based on Stokes' law and Gunn and Kinzer data (20). (20°C , 101.32 kPa .)

Tab6 . [3]

Diamètre des particules μm	Vitesse de chute cm/s
200	120
100	30
50	7
10	0,3
5	0,07
1	0,003
0,5	0,0007

6 - Effets des particules atmosphériques

L'homme intervient pour une part très significative dans la turbidité de l'air au voisinage du sol. A l'opposé, la couche stratosphérique est essentiellement polluée par des sources naturelles, bien que l'activité industrielle contemporaine ait tendance à l'enrichir. Cette couche est constituée par des particules météoriques, des poussières volcaniques et du sulfate d'ammonium.

C'est aux éruptions volcaniques et l'érosion éolienne qu'il faut attribuer en premier lieu la genèse des immenses voiles de poussières brun-rouge qui s'observent au dessus du Sahara, Moyen-Orient, de l'Inde et de la Chine continentale.

On a pu ainsi mettre en évidence des couches d'aérosols formant des brumes blanchâtres au dessus de l'Amazonie, de l'Afrique équatoriale et de l'Asie du Sud-Est. Les zones fortement industrialisées d'Amérique du Nord et d'Europe sont, elles aussi, recouvertes d'un grisâtre de poussières. Le rôle de l'homme dans la genèse des aérosols, formés par l'érosion éolienne n'est pas toujours négligeable. L'exemple est donné à la suite d'une mauvaise exploitation des sols ou bien de faibles modifications des couches superficielles de la lithosphère en région désertique, suffisent pour provoquer une intense érosion éolienne.

6.1. Causes de l'augmentation de la turbidité atmosphérique

Plusieurs opinions divergent sur les causes de ce changement de la composition de l'atmosphère. Pour certains, tels Bryson et Wendland, le facteur déterminant résiderait dans la forte augmentation d'activité de l'industrie dans les pays de l'hémisphère Nord au cours des dernières décennies. Pour d'autres, comme Mitchell, c'est à des phénomènes naturels épisodiques, en particulier au volcanisme, qu'il faut attribuer en premier lieu l'augmentation de la concentration des particules dans l'atmosphère terrestre, qui se traduit par la décharge de quantités croissantes d'aérosols dans la troposphère.

Goldberg évalue à $20 \cdot 10^7$ t/an la quantité totale d'aérosols que l'homme rejette dans l'atmosphère. L'action de l'homme, selon les calculs de Mitchell, serait donc mineure, par rapport à celle du volcanisme puisqu'il n'introduirait en moyenne dans l'atmosphère que $2 \cdot 10^6$ tonnes d'aérosols, alors que les volcans en injectent $4,2 \cdot 10^6$ tonnes dans la seule stratosphère.

Enfin, outre l'industrie, l'érosion des sols, provoquée par une exploitation intempestive des terres marginales dans les régions surpeuplées de la biosphère, joue un rôle important dans l'augmentation de la charge moyenne en particules dans l'atmosphère.

Das a mis en évidence au Rajasthan, dans le Nord-Est des Indes, zone aride incontestablement créée par l'homme, l'existence d'un phénomène d'érosion éolienne auto-entretenu.

Au fur et à mesure que le surpâturage diminue le couvert végétal, la charge particulaire de la troposphère s'accroît de façon accélérée dans cette région.

6.2. Effets des poussières sur la température

Selon Rasool et Schneider, un accroissement d'un facteur 4 de la concentration moyenne des aérosols dans l'ensemble de l'atmosphère terrestre - lequel ne peut être exclu au cours du prochain siècle pourrait se traduire par une baisse de 3,5 K de la température au niveau du sol.

Maintenue pendant plusieurs années, une telle diminution de la température terrestre pourrait provoquer le retour d'une nouvelle période glaciaire.

Il existe d'ailleurs plusieurs observations concrètes qui corroborent ces résultats théoriques. Outre l'effet de l'éruption du Mont Agung, déjà cité, Mitchell (1970) rappelle que la température moyenne superficielle du globe aurait baissé de 1°C au cours de l'année consécutive à l'explosion du Krakatoa en 1883.

En revanche, Mitchell, Rasool et Schneider s'entendent pour conférer aux aérosols produits par l'homme un rôle prépondérant dans l'ajustement de la température du globe après l'an 2000. Leur effet non seulement contrebalancerait celui du gaz carbonique mais irait même jusqu'à l'excéder, ce qui provoquerait une chute sensible des températures terrestres. Rasool et Schneider ainsi que Bryson prédisent même le retour d'une nouvelle période glaciaire au cours du XXI^e siècle si la civilisation industrielle s'avérait incapable de mettre un terme à la pollution atmosphérique dans un proche avenir [4].

6.3. Effets des particules sur les végétaux

Les travaux concernant les polluants atmosphériques et leurs effets sur les plantes n'ont toutefois pris une importance de plus en plus marquée qu'après la première guerre mondiale. Certains métaux, oxydes métalliques ou anhydrides métalloïdiques se déposent parfois sur les plantes ou sur le sols de cultures. L'oxyde de zinc, ainsi observé aux alentours d'usines électrochimiques, peut déterminer le dépérissement de vergers entiers, probablement par suite de l'obturation des stomates assimilateurs par les très fines particules en suspension dans l'atmosphère.

Des effets analogues sont déterminés par les poussières de cimenteries qui forment des croûtes à la surface des feuilles, en se combinant avec l'humidité atmosphérique. Par hydratation, la chaux se solubilise et son action caustique provoque des nécroses sur les tissus. Les dépôts de poussières aux alentours de certaines usines peuvent atteindre quelque 100 à 400 mg/m²/jour [11].

En certaines régions fortement industrialisées, quelque 300t/km²/an de poussières peuvent se déposer.

Le dépôt de particules sur les feuilles des végétaux peut présenter des effets phytotoxiques. En sus d'une diminution de l'activité photosynthétique, elles empêchent la germination du pollen sur les stigmates floraux empoussiérés.

Les particules émises par les cimenteries, par suite de leur forte alcalinité, provoquent la chlorose foliaire [12].

Un cas particulier de pollution des herbages et des espèces de consommation est constitué par les dépôts de plomb qui se produisent le long des routes à forte densité de circulation. Ces dépôts de plomb proviennent des gaz d'échappement dans une proportion de 50 à 70% contenu dans l'essence est éliminée dans l'air et se dépose sur la végétation le long des routes.

Kloke signale qu'en Allemagne, en 1964, des dosages de plomb, effectués sur des prairies en bordures d'autoroutes ont décelé des teneurs :

32 à 36 ppm de Pb dans la matière sèche à 5 mètres de la route,

53 à 95 ppm de Pb à 1 mètre de la route,

62 à 132 ppm de Pb sur l'herbe des bandes médianes [11].

6.4. Effets des particules sur les humains

La santé humaine paie un lourd tribut à la pollution de l'air par les poussières (figures 7).

Bien que les plus grosses particules soient heureusement filtrées au niveau du rhinopharynx et de la trachée, celles de diamètre inférieure à 6µm pénètrent dans l'arbre bronchique et celle de taille plus faible que le micron vont dans les alvéoles pulmonaires. Il en résulte toute une série d'affections dont certaines sont gravissimes.

a) Allergies

De nombreuses allergies sont provoquées par des aéroallergènes. Il s'agit la plupart du temps de particules solides hygroscopiques de diamètre compris entre 1 et $80\mu\text{m}$. Quand ces poussières atteignent l'épithélium alvéolaire, elles provoquent l'asthme.

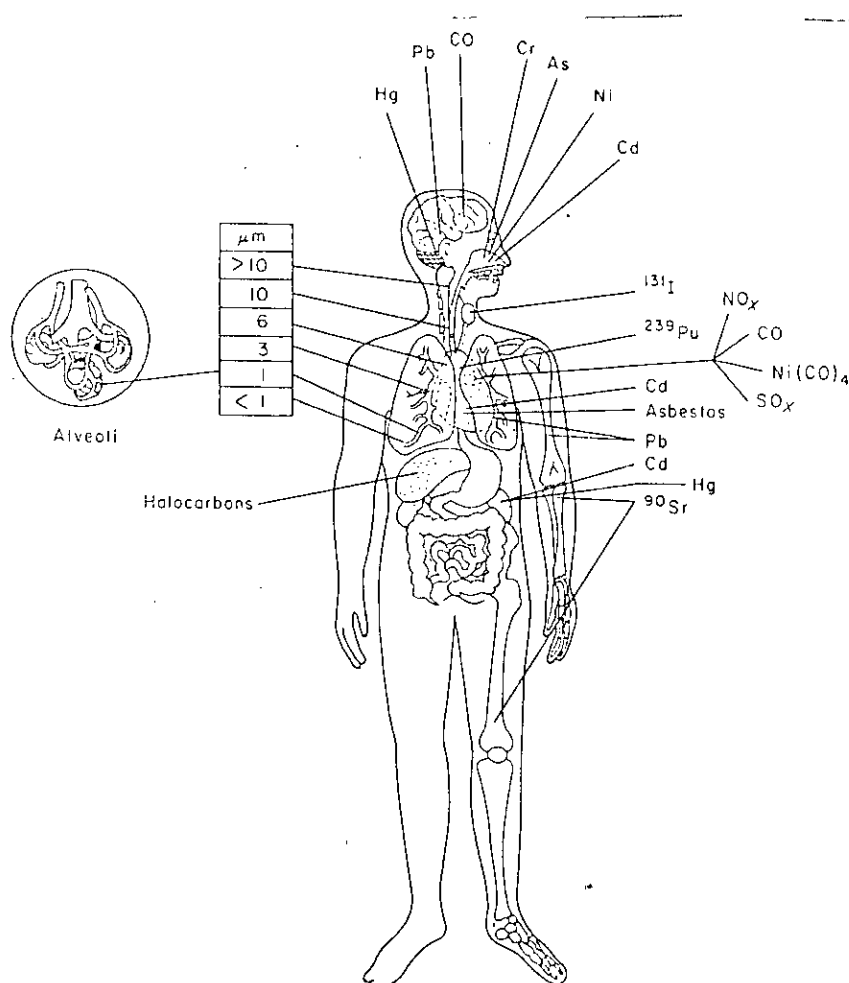


FIG. 7 [13] Target areas and organs of the human body for some chemical elements and compounds commonly present in polluted air

b) La bronchite chronique

C'est le résultat de l'exposition permanente à divers aéro polluants gazeux et solides. Elle se traduit par une toux sèche accompagnée d'une hypersécrétion bronchique, qui apparaît progressivement une hypoventilation pulmonaire qui s'accompagne à long terme de défaillances cardiaques. Bien que la fumée de tabac et le SO_2 jouent un rôle déterminant dans la genèse de cette maladie, on a pu montrer que sa fréquence et sa gravité étaient nettement plus élevées dans les régions renfermant plus de $100\mu\text{m}/\text{m}^3$ de particules. L'emphysème pulmonaire, caractérisé par une dilatation et une perte d'élasticité des alvéoles accompagne souvent cette affection.

e) Carcinome pulmonaire

Truhaut (1960) a démontré les potentialités carcinogènes des prélèvements de poussières extraites de l'atmosphère parisienne. Il a pu provoquer expérimentalement des cancers cutanés chez des souris par badigeon de leur peau avec ces dernières. Hickey (1971) insiste sur les propriétés mutagènes de divers polluants atmosphériques gazeux ou solides.

d) La Silicose ou Fibrocytose pulmonaire

Elle résulte de l'inhalation de silice et de silicates. Elle est causée par l'accumulation d'histiocytes dans le parenchyme pulmonaire qui phagocytent ces particules minérales et se transforment en fibrocytes. Il en résulte une sclérisation des alvéoles pulmonaires qui perdent toute élasticité de ce fait.

e) L'asbestose

ce terme est lié à l'inhalation ou plus rarement à l'ingestion de poussières d'asbeste. Les minéraux du groupe de l'asbeste sont des silicates de magnésie (chrysotile par exemple) ou ferro-sodique (crocidolite), de structure fibreuse.

L'amiante est un matériau obtenu par dissociation mécanique de fibre d'asbeste. Il existe à l'heure actuelle de multiples usages industriels de l'amiante. Il intervient dans l'industrie de construction dans la fabrication de panneaux de cloisons de couvertures de toit en fibrociment, comme isolant thermique de locaux d'habitation ou d'entreprise comme ignifuge, etc...

L'amiante sert aussi dans la construction mécanique, par exemple dans la fabrication d'embrayages et de garnitures de frein. Le type de cancer le plus fréquent est une forme particulière dénommée mésothéliome pulmonaire. Il s'agit d'une infiltration fibreuse diffuse du parenchyme alvéolaire et des plèvres, qui prend un caractère tumoral.

L'étude d'un groupe de patients atteints de mésothéliome lesquels avaient vécu à proximité d'une usine d'amiante sans avoir travaillé dans cette industrie a montré que dans les cas extrêmes, 50 ans peuvent s'écouler entre l'exposition à cet agent carcinogène et l'apparition d'un mésothéliome [12].

III Méthodologie d'échantillonnage et d'analyse des retombées

1- principe de la méthode: (jauge de précipitation)

Les jauges de dépôt répondent à la norme AFNOR NF X-43-006, avec une surface réceptrice de 314 cm² (figure 8).

Le principe consiste à exposer la jauge, contenant un volume de 10l d'eau distillée, à l'air libre pendant une quinzaine de jours. Les eaux de pluies et les poussières sédimentables sont recueillies dans la jauge. La solution obtenue est transvasée dans un récipient en polyéthylène propre et sec et transportée au laboratoire pour les différentes analyses.

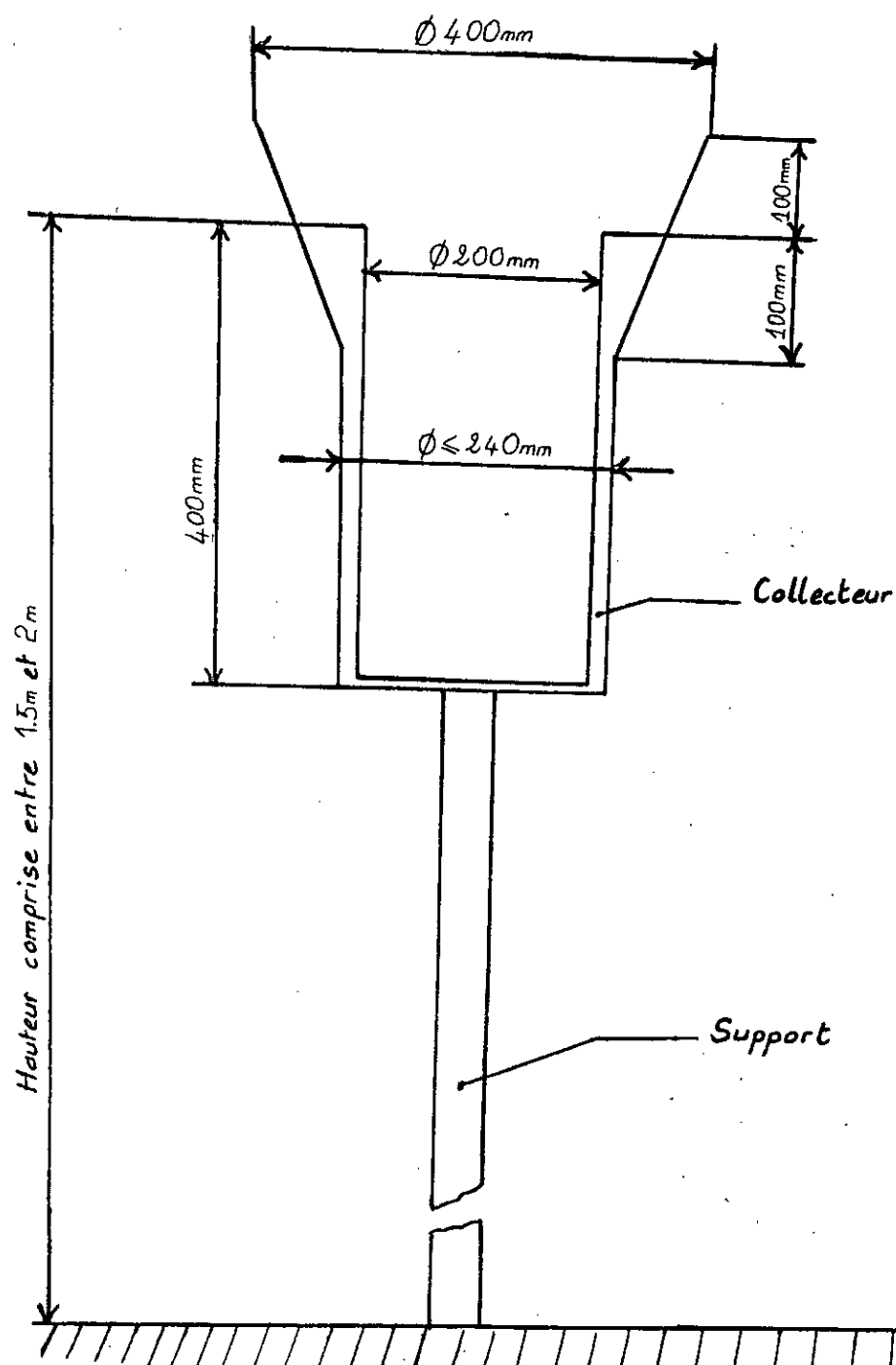


Fig. 8 Jauge de Précipitation

2 - Prélèvements

a) Choix des sites

Un réseau de prélèvement, comprenant 8 sites, est installé dans la région d'Alger avec cinq collecteurs autour de la cimenterie de Raïs Hamidou et un Collecteur respectivement au port d'Alger, à l'E.N.P et à la cimenterie de Meftah.

Les figures 9, 10 illustrent l'emplacement des huit postes de prélèvement. Les collecteurs étant installés sur des toits, ou terrasses inaccessibles, et loin des cheminées afin d'éviter de fausser les résultats de l'étude par une source ponctuelle proche du poste.

b) Collecte

La collecte des échantillons se fait toute les quinze jours et ceci pour les 8 sites étudiés. L'eau des jauges est ramenée au laboratoire pour subir différentes analyses. La figure 11 montre l'organigramme des différentes étapes de traitement et d'analyse des échantillons.

3 - Traitement des échantillons et analyses

a) Préparation des échantillons

On procède au début, à la filtration de chaque échantillon avec une pompe sous vide Millipore, à l'aide de papier filtre (M C E, 0,4 μm) (millipore en ester de cellulose). Le filtrat recueilli est soumis à une lecture du pH et de la conductivité. Ce filtrat est supposé contenir seulement la partie soluble des retombées. La partie insoluble est soumise à une digestion acide.

- Traitement de la fraction soluble

Dans un bêcher de 100 ml, un volume de 100 ml du filtrat est évaporé à sec dans l'étuve, à une température de 105°C. Le dépôt soluble recueilli au fond du bêcher est solubilisé dans 40 ml d'acide nitrique 1%. La solution obtenue est filtrée puis complétée à 50 ml avec de l'eau distillé, elle est ainsi prête pour l'analyse.

- Traitement de la fraction insoluble

Tous les filtres sont pesés, mis dans un bêcher de 500 ml, contenant 50 ml de HNO_3 2N, 50 ml de Hcl 2N, avec un temps de digestion de 48 heures. Le contenu du bêcher est filtré, mit dans l'étuve dans le but de réduire son volume à 40 ml, à une température de 80°C. La solution obtenue est complétée à 50 ml avec de l'acide nitrique 1%. La fraction insoluble est prête pour l'analyse.

b) Analyse

L'analyse des chlorures et des nitrates est effectuée par les méthodes volumétriques (Annexes I et II).

Quelques alcalins et alcalino-terreux ont été dosés par photométrie de flamme.

Les métaux lourds (Fer, Cuivre, Zinc, Plomb, Nickel, Magnésium, Manganèse) ont été analysés par spectrophotométrie d'absorption atomique (Annexes III et IV).

CG

RAIS HAMIDOU
(Pointe Pescade)

la Réserve

la Corniche

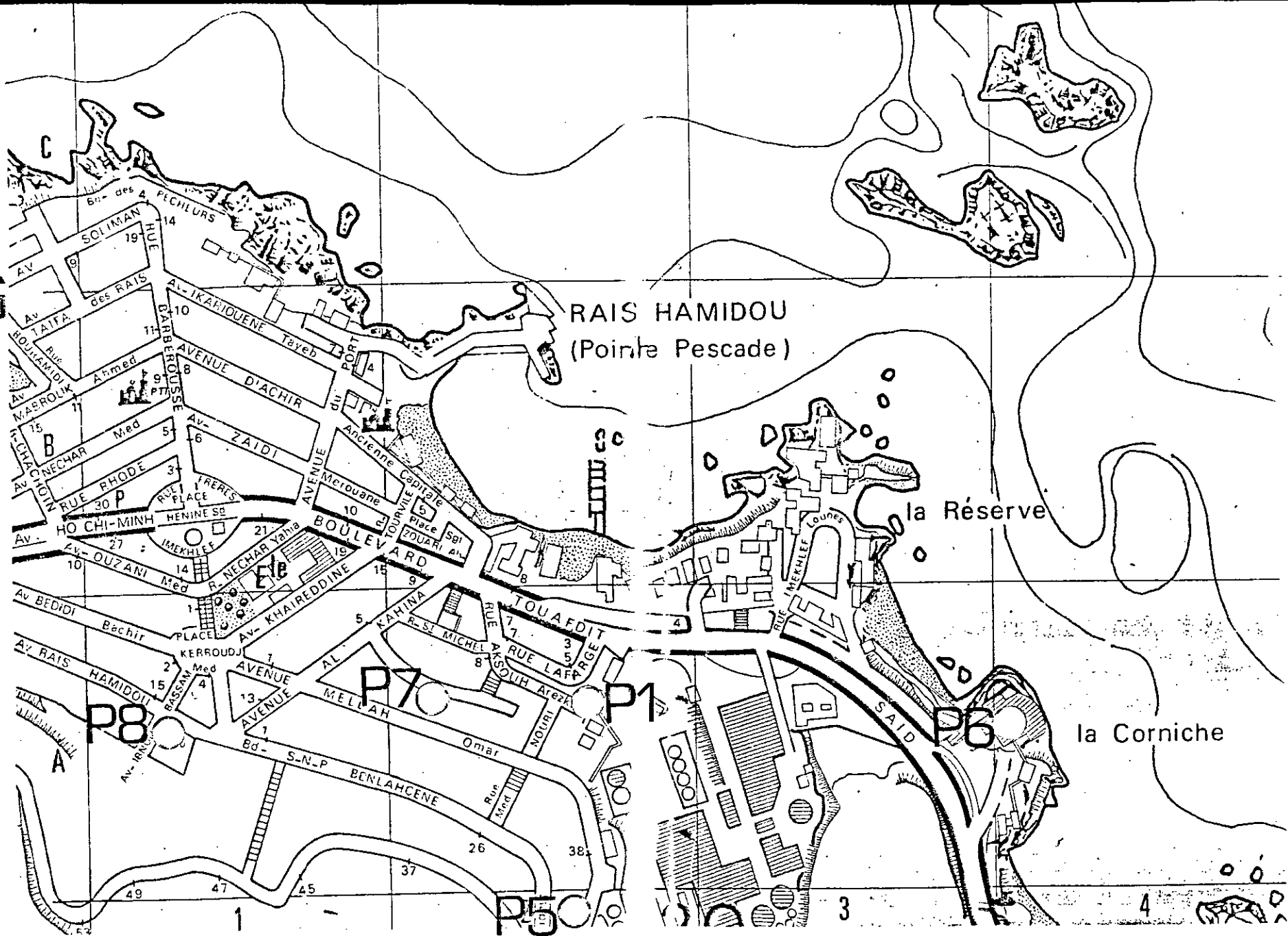
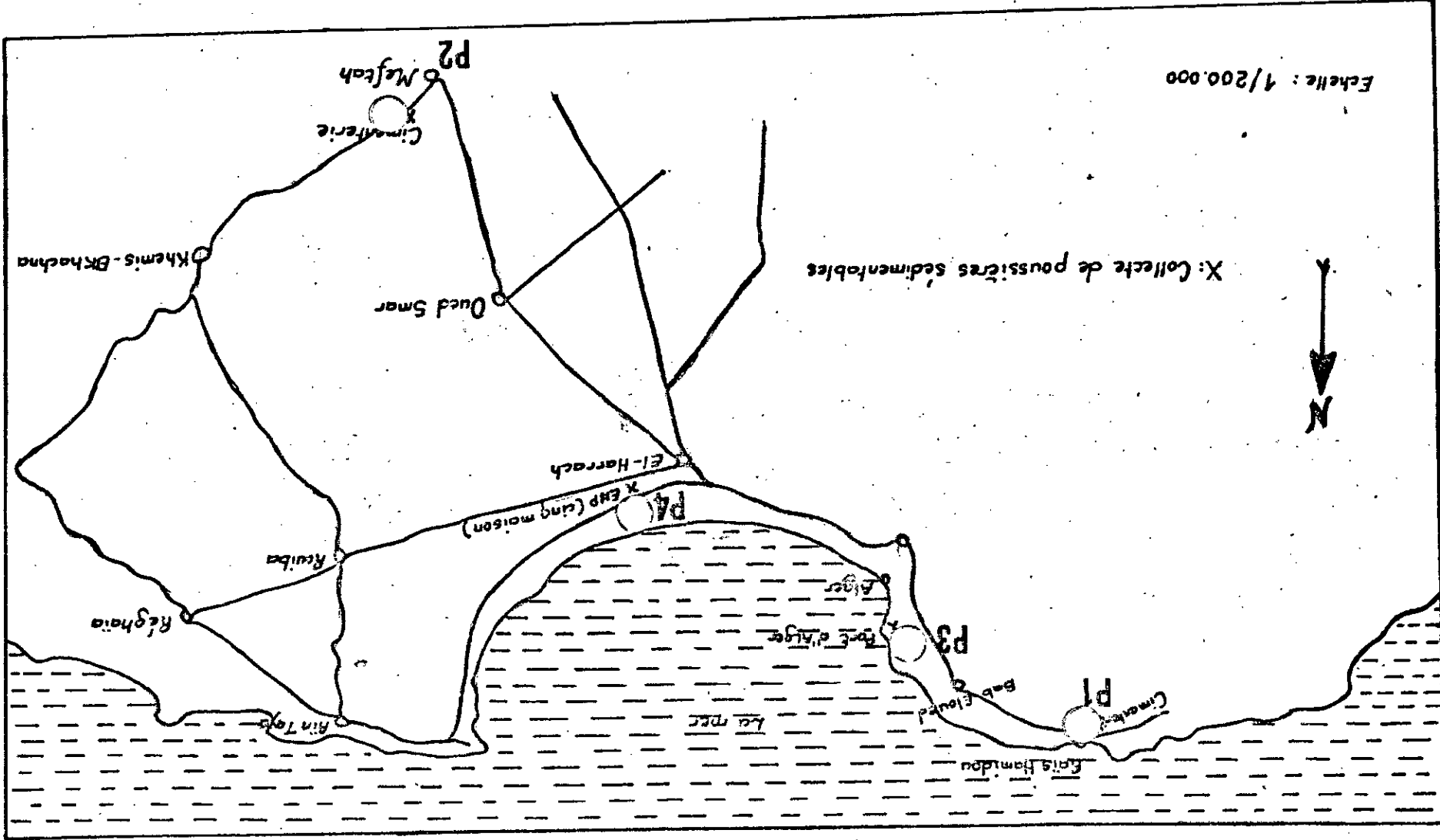


Figure n°10 Schéma globale des lieux d'implantation des collecteurs de poussières



Organigramme récapitulatif de la procédure d'échantillonnage et d'analyse

24

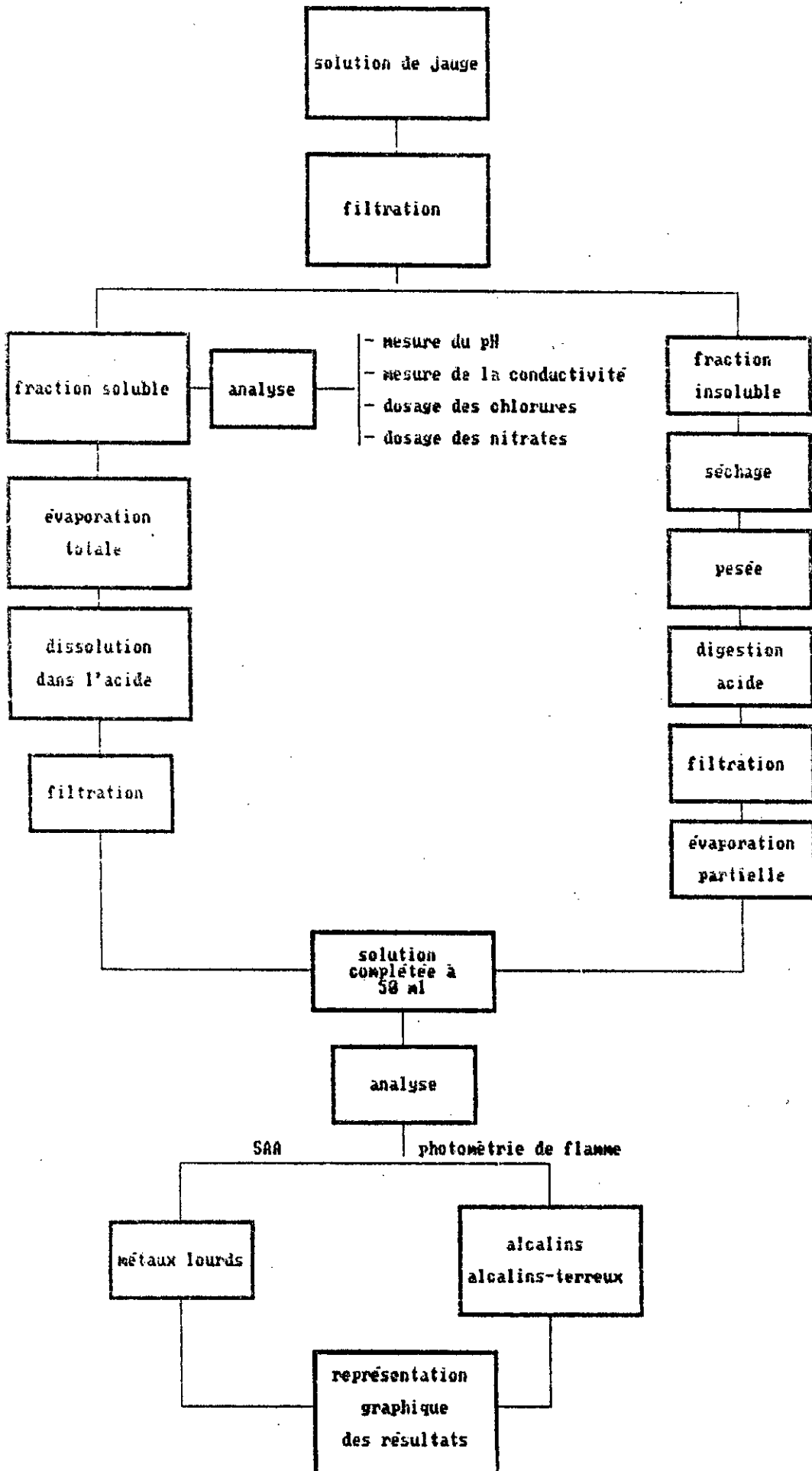


Fig.11

IV - Résultats et interprétations

1 - Données météorologiques

La pluviométrie enregistrée durant la période d'échantillonnage pour chaque quinzaine de prélèvement à chaque poste est représentée sur la figure 12. Les résultats indiquent le volume cumulé de pluie précipitée pendant une quinzaine de jours correspondant à la période d'échantillonnage.

La variation de la direction du vent est représentée sur la figure 13. Dans la plupart des cas, durant cette période d'échantillonnage, le vent soufflait du Nord-Ouest (270° - 360°) (figure 14). La vitesse du vent était très variable (figure 15), comme en témoigne la figure 16 représentant la variation des classes de vitesse du vent pour chaque période de prélèvement.

2 - Les retombées particulaires totales

La figure 17 montre les résultats des retombées insolubles totales recueillies dans les jauges de précipitations installées dans les huit postes de prélèvements à Alger.

La région de Raïs Hamidou, étant fortement polluée en poussières émises par la cimenterie, a fait l'objet d'une étude particulière avec cinq postes de prélèvement installés tout autour de la cimenterie et ce afin d'estimer les retombées particulaires dans la région (figure 9).

Les trois premières quinzaines de nos prélèvements ont coïncidé avec un arrêt technique de la cimenterie de Meftah, d'où l'absence directe d'émission par les cheminées de la ligne de production et malgré cela on recueille certains teneurs non négligeable de poussières atteignant les valeurs de $10\text{g/m}^2/\text{q}$. Le phénomène de resuspension est sans aucun doute responsable de la présence de ces poussières une deuxième fois dans l'air après s'être sédimenté dans la cimenterie. La reprise des activités de cette dernière est marquée par une augmentation notable des retombées de poussières. Comparées aux deux dernières quinzaines, les teneurs des retombées enregistrées en 1991 [13] sont voisines à celles de 1992 et dépassent généralement $100\text{g/m}^2/\text{q}$ lorsque la cimenterie est en marche.

Les valeurs enregistrés au niveau de l'école Nationale Polytechnique sont inférieurs à $18\text{g/m}^2/\text{q}$ durant la période d'échantillonnage tandis que les valeurs de 1991 atteignent des maximas de $154\text{g/m}^2/\text{q}$. Ceci est certainement dû à la fermeture du chantier se trouvant sur l'autoroute à côté des Pins Maritime où la présence de station bétonnière était à l'origine des retombées mesurées, l'an dernier. Les retombées au port d'Alger sont restées comparables à celles relevées antérieurement.

Dans la région de Raïs Hamidou, des valeurs de retombées semblables ont été enregistrées cette année au même poste et sont inférieures à $40\text{g/m}^2/\text{q}$.

Les quatre postes entourant la cimenterie désigné par P5, P6, P7 et P8 nous renseignent sur la pollution dans chaque direction. Par effet de lavage, les pluies favorisent l'entraînement de particules vers le sol.

Une corrélation des retombées insolubles totales avec la pluviométrie, montre l'effet épurateur des pluies sur les poussières. Dans le cas de la cimenterie de Meftah qui était à l'arrêt, on voit nettement la réduction des retombées, avec la chute de pluie, due à la réduction de la resuspension en période pluvieuse. Pour les sites restants, les poussières sont entraînées par les premières pluies, et comme les particules diffusent faiblement en période pluvieuse, la quantité de poussière sédimentée reste faible (figure 18).

Quant à la variation des retombées insolubles totales en fonction de la vitesse et de la direction moyenne du vent (figure 19,20), révèle que les poussières se déposent le plus dans la direction des vents dominants avec de faibles vitesses comprises entre 1 et 2,8 m/s.

Pluviométrie

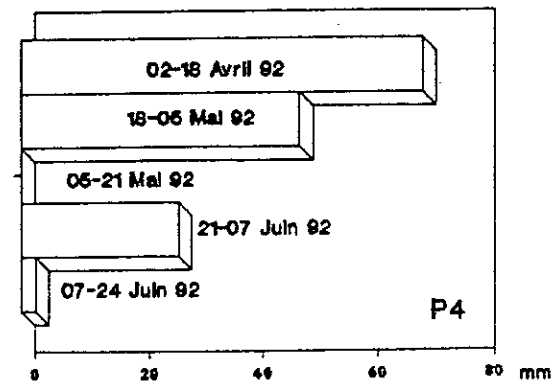
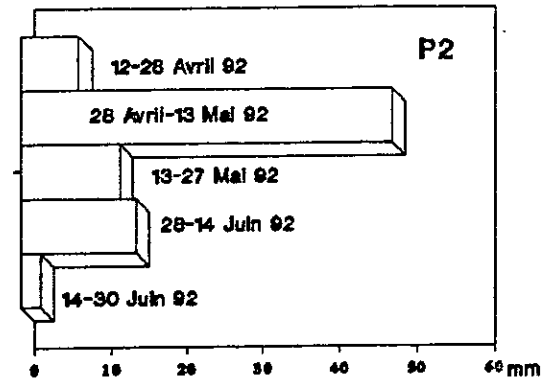
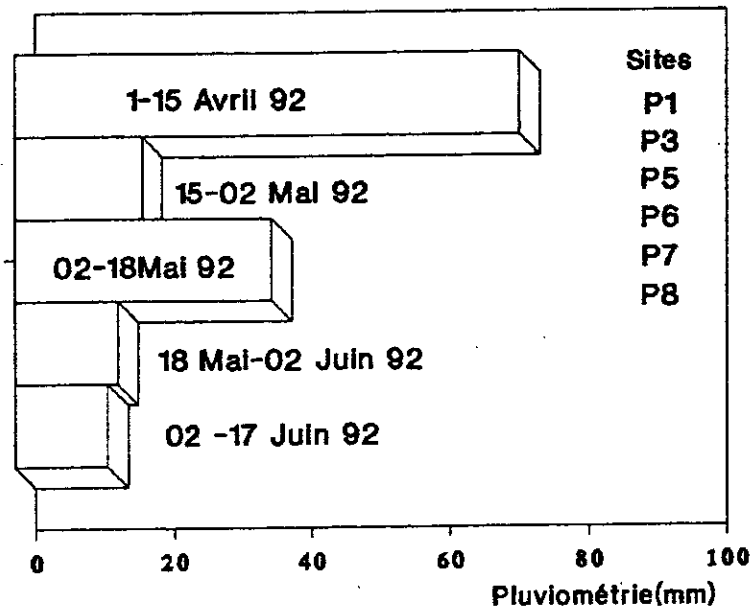


Figure 1.2

Variation de la direction du Vent

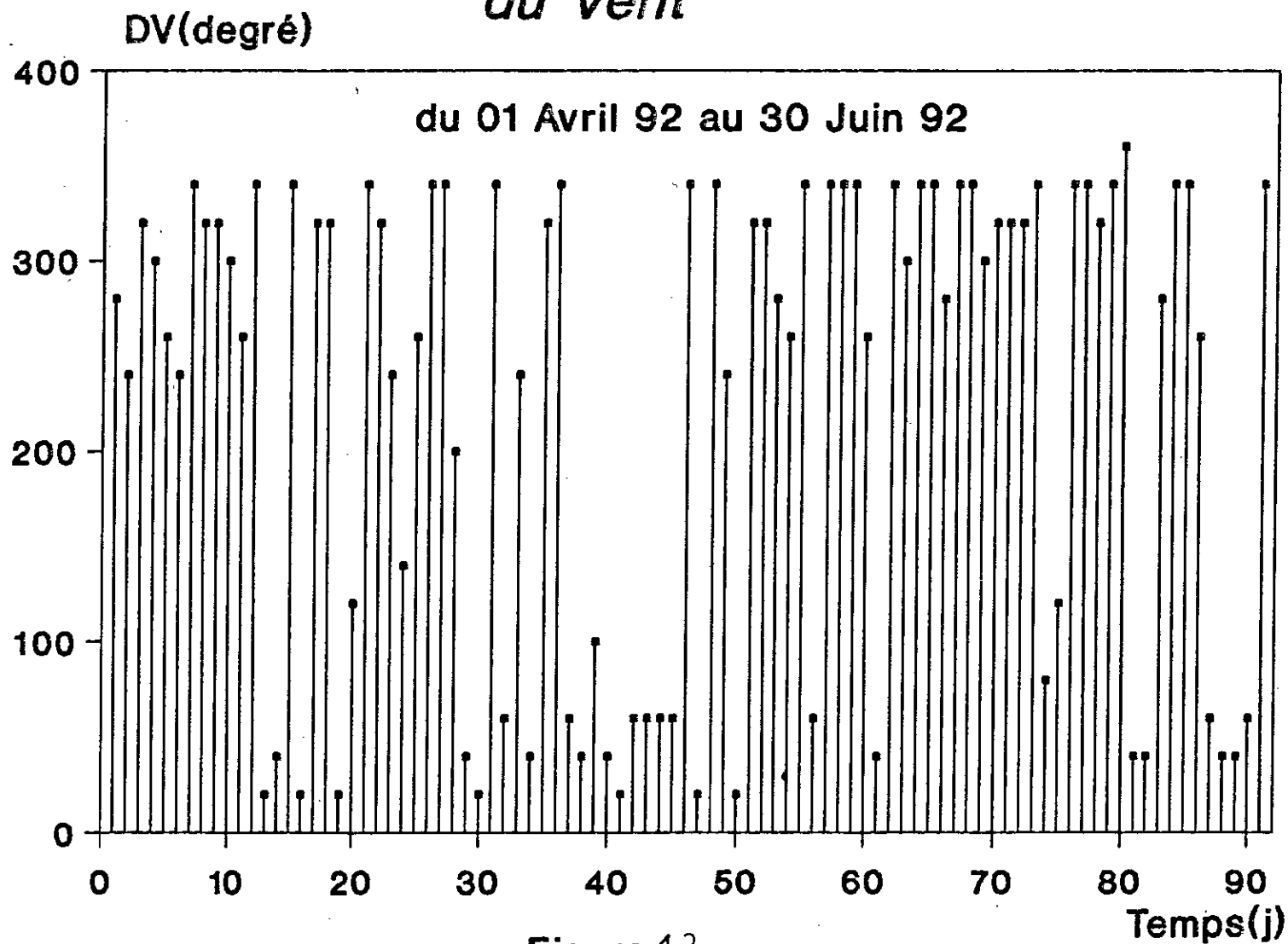


Figure 13

Variation des Frequences des Directions du Vent

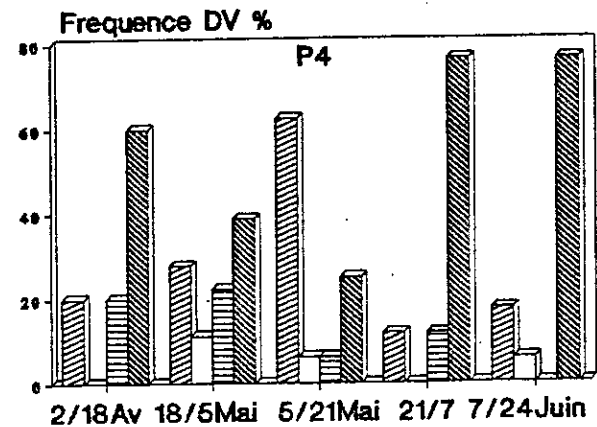
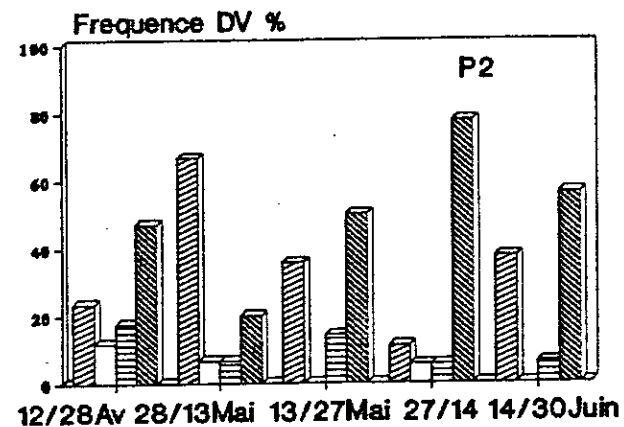
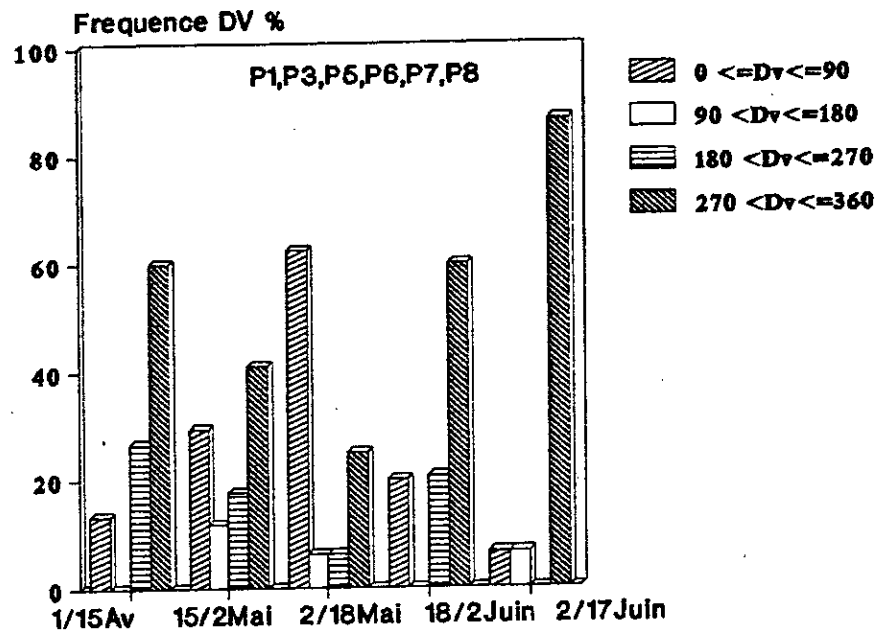


Figure 14

Variation de la vitesse du Vent

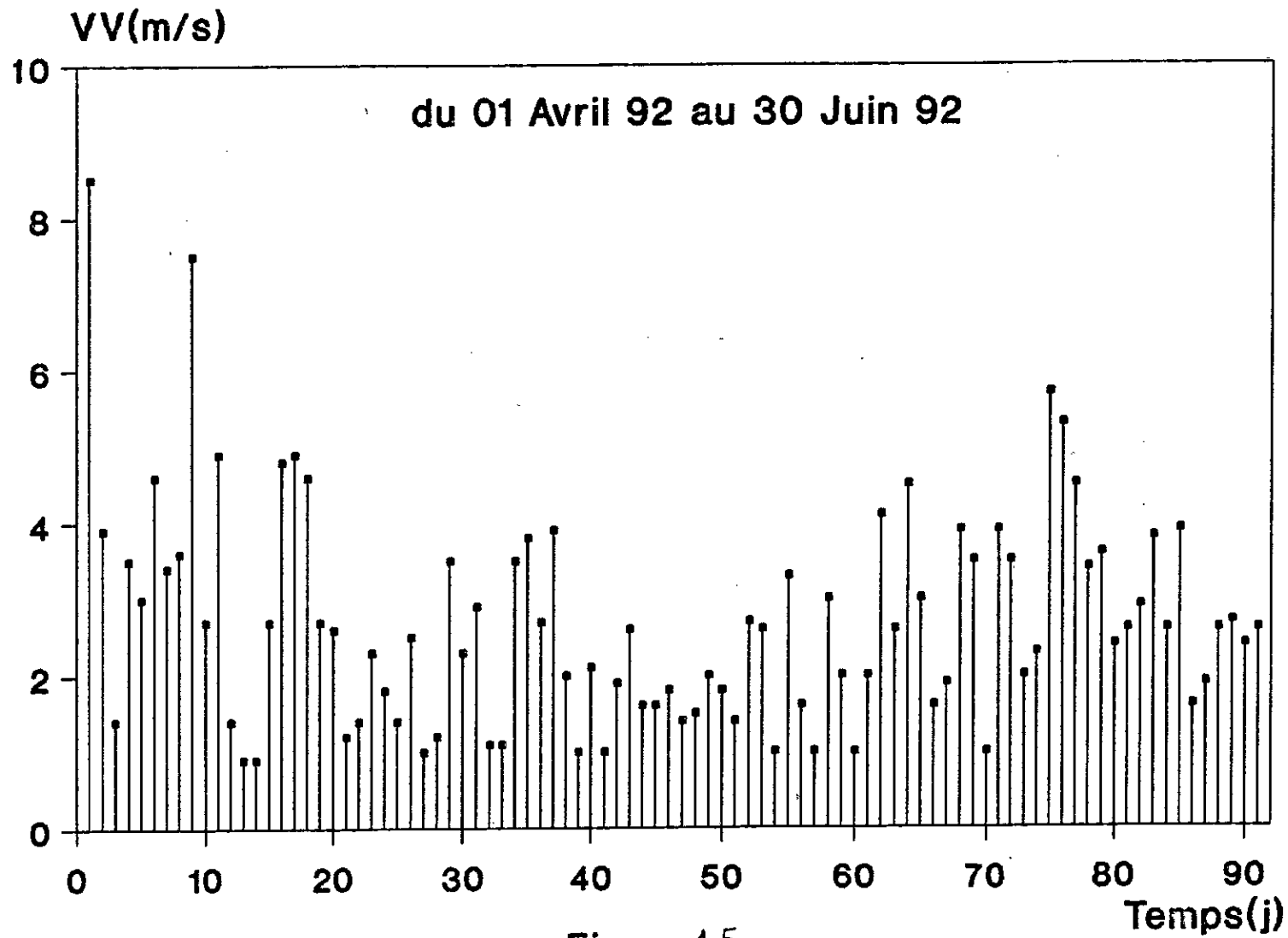


Figure 15

Variation des Frequences des Classes de Vitesse du Vent

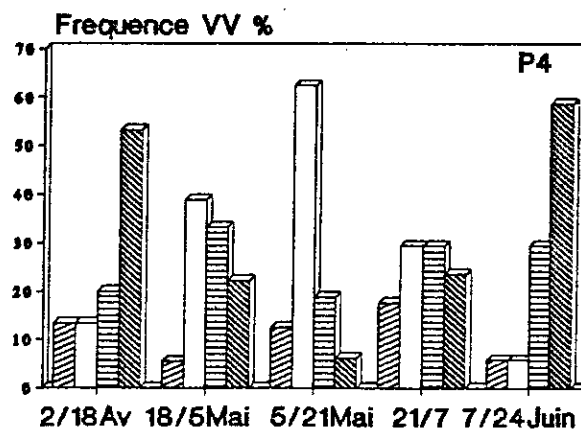
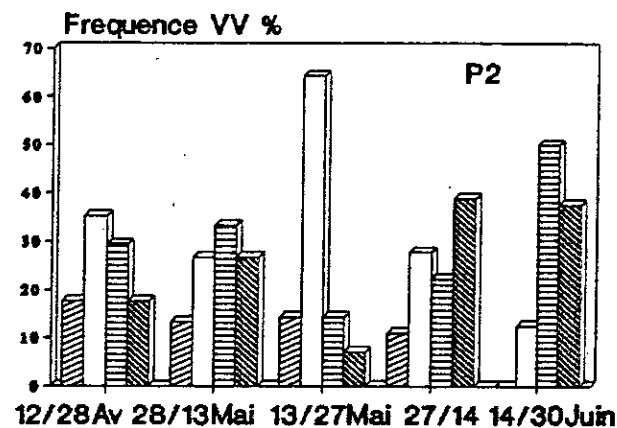
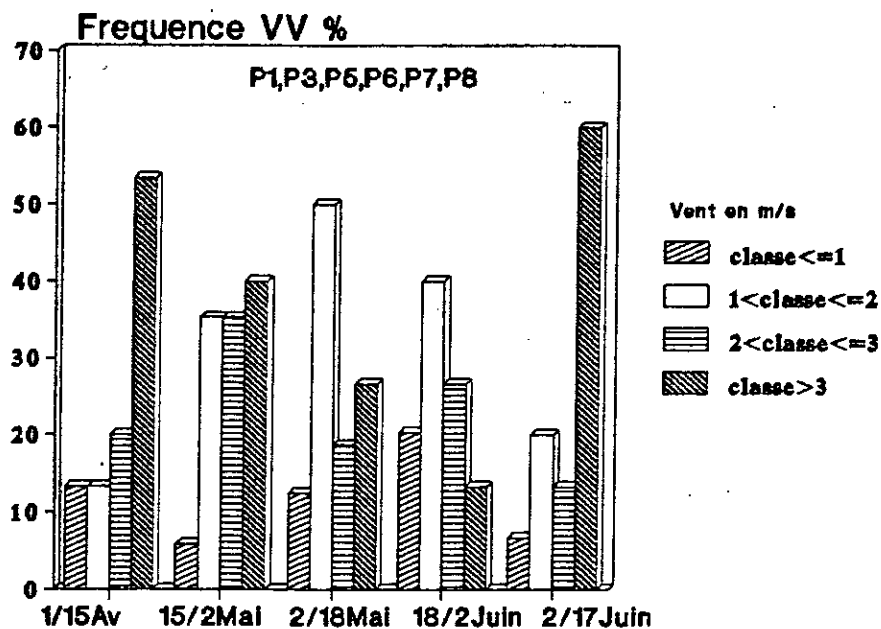


Figure 16

Retombées Insolubles Totales

dans l'eau des jauges

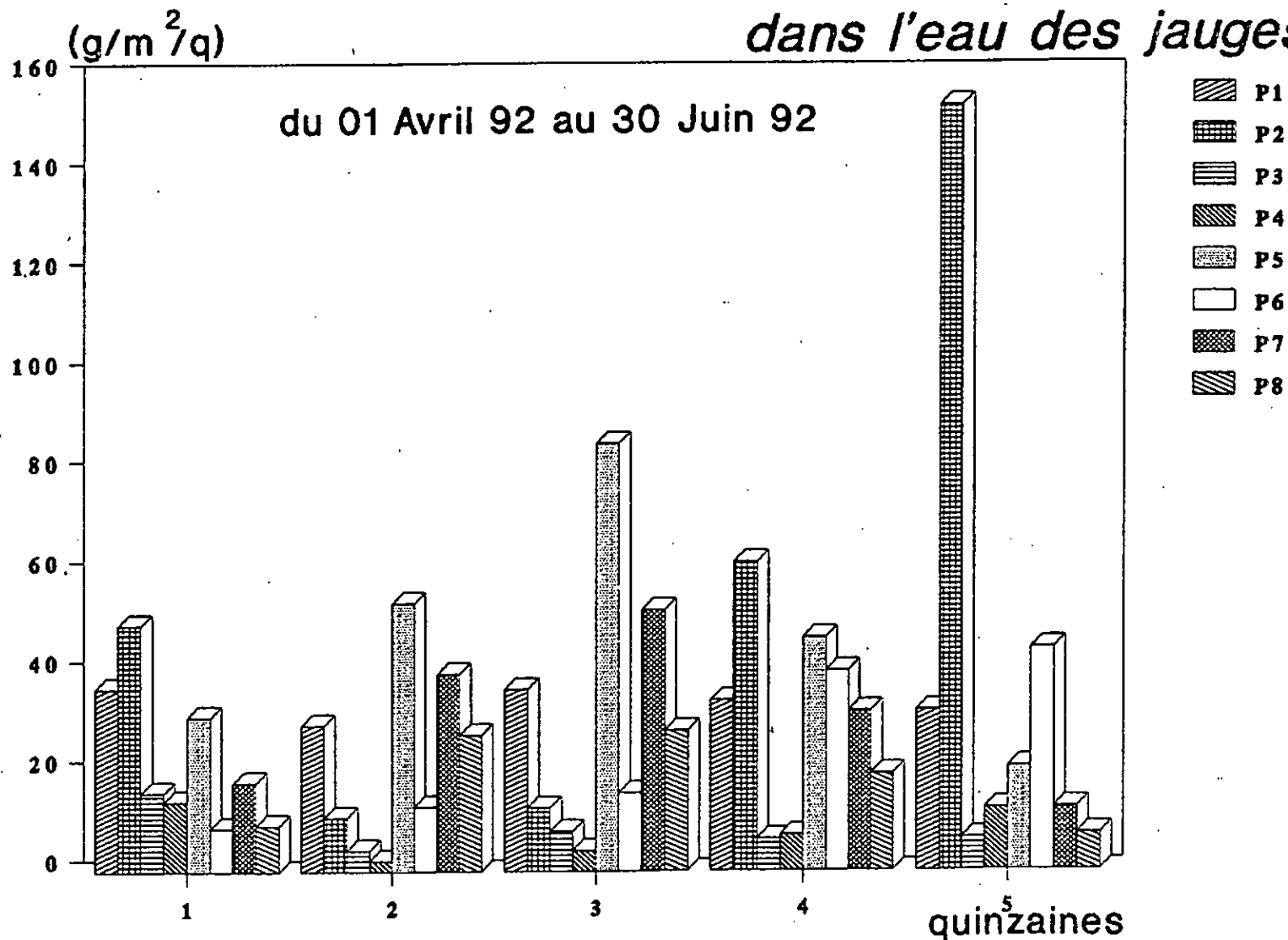


Figure 17

Variation des Retombées Insolubles totales
selon la Pluviométrie

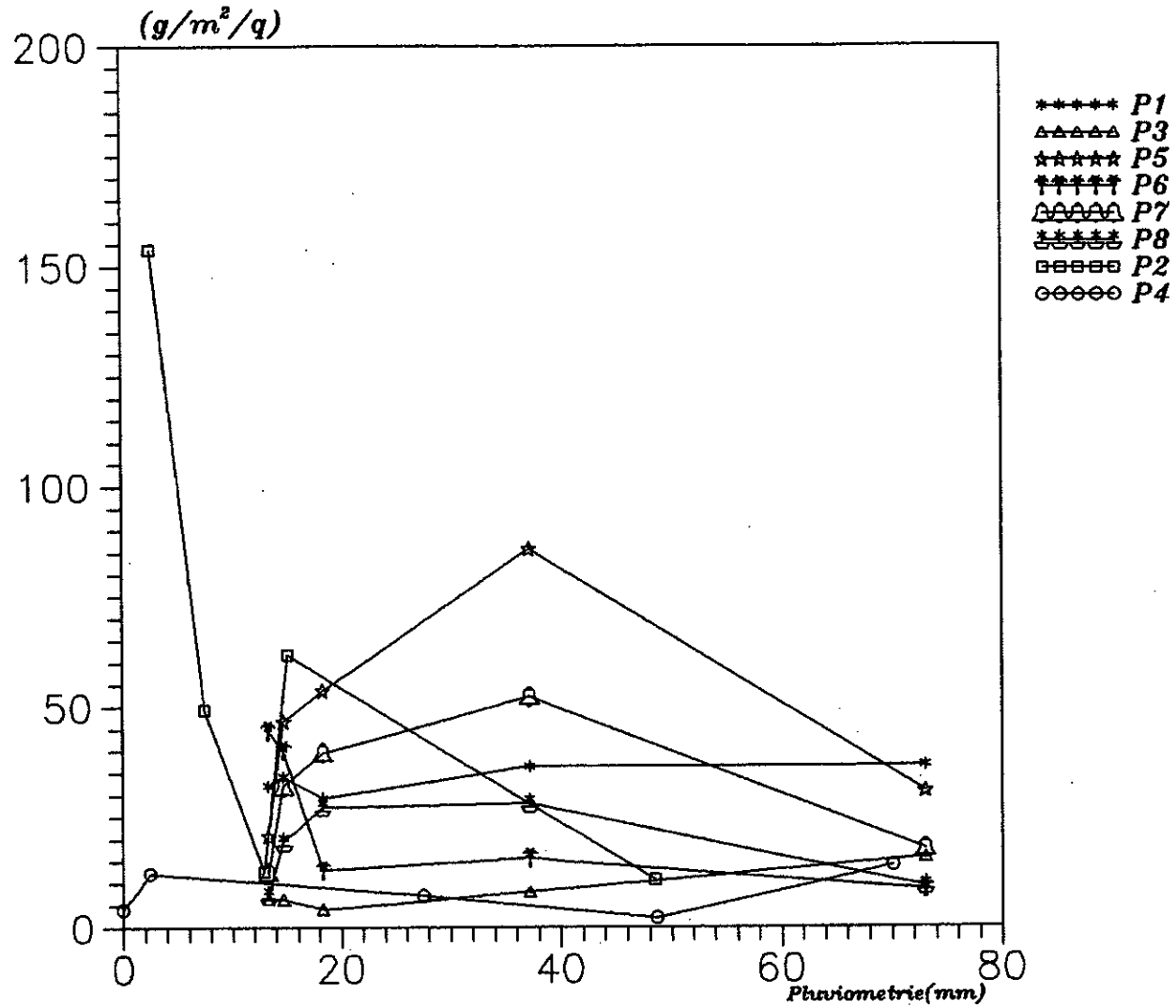


Figure 18

Variation des Retombées Insolubles Totales
 en fonction de la Vitesse moyenne du Vent

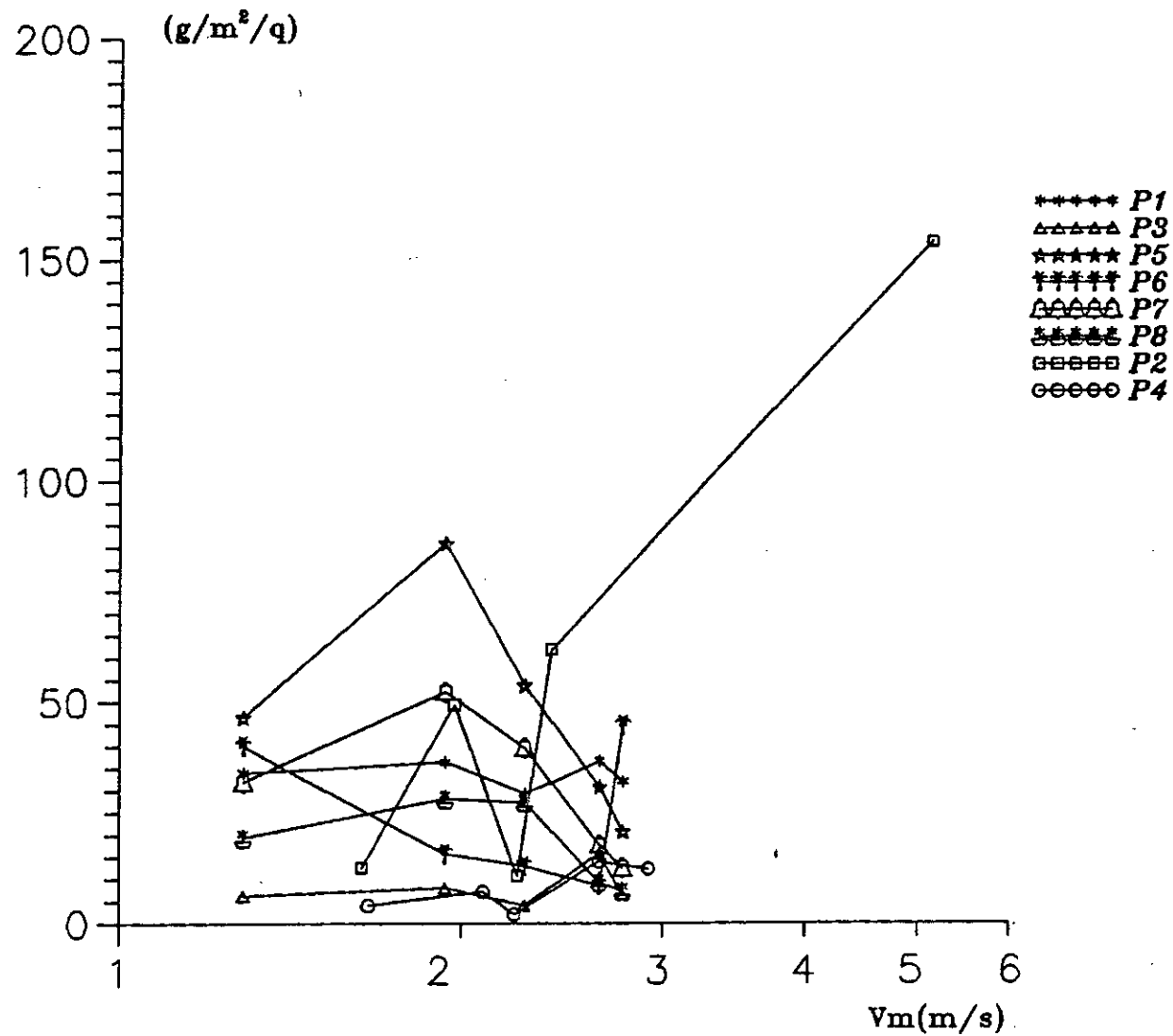


Figure 19

*Variation des Retombees Insolubles Totales
en fonction des Directions moyennes du Vent*

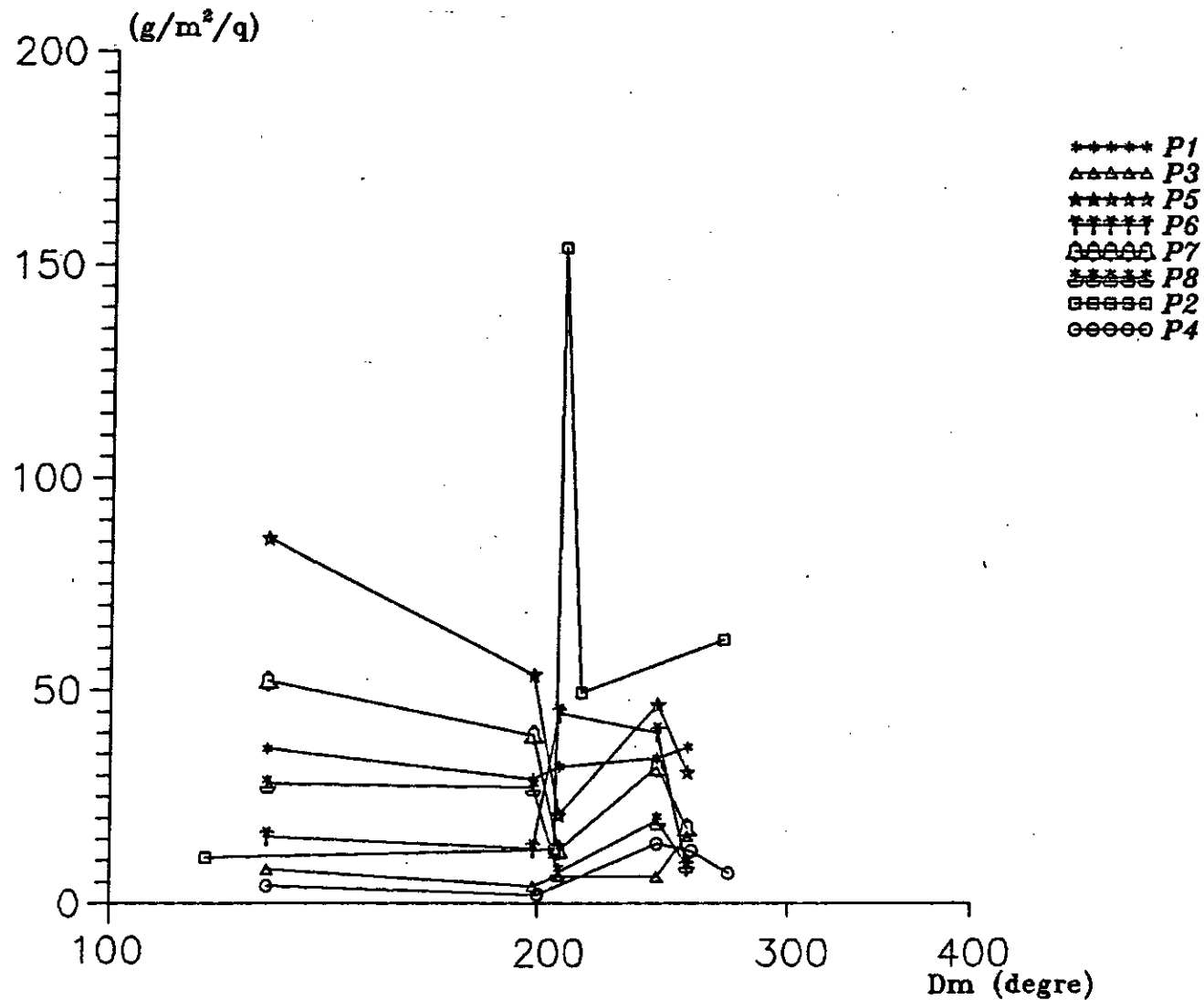


Figure 20

Les jauges installées autour de la cimenterie de Raïs Hamidou (figure 9) ont clairement montré que le dépôt de poussières recueilli à proximité de la source est supérieur à celui mesuré à des postes éloignés. Il est à noter aussi des vitesses de vent élevées favorisent la remise en suspension de poussières déjà sédimentées particulièrement pour des surfaces exposées.

Ceci est le cas de la cimenterie de Meftah où on a enregistré une teneur supérieure à $150\text{g/m}^2/\text{q}$ avec une vitesse moyenne du vent de $5,1\text{m/s}$.

Le tableau 7 donne les retombées totales mesurées dans quelques régions dans le monde.

Tableau 7

Pays	Quantité $\text{g/m}^2/\text{q}$
Toronto [14]	7,0 (milieu urbain)
Bangkok [15]	33,6 (milieu urbain)
Caire [16]	{ 42,3 (aire résidentielle avec des activités industrielles et commerciales) } 3,7 (aire purement résidentielle entourées d'aires cultivées)
Espagne [17]	> 4,5 (milieu urbain)
Zurich (Suisse) [13]	0,9 (milieu urbain)

On remarque que les teneurs élevées dans les pays en développement sont très élevées par rapport à ceux des pays développés. L'absence de norme et d'application, quand celle-ci est présente, fait que les industries ne tiennent pas compte de la protection de l'environnement dans ce pays.

3 - Les retombées de quelques éléments chimiques

L'analyse chimique de quelques éléments chimiques (Manganèse, Fer, Cuivre, Plomb, Nickel, Manganésium, Zinc, Calcium, Lithium, Potassium) présents dans les deux fractions des retombées solubles et insolubles à chaque poste est représentée sur les figures suivantes (21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30). La prédominance de certains composés, particulièrement le calcium, aux alentours des cimenteries est due à sa présence dans la composition chimique du ciment à une teneur allant jusqu'à 56% en CaO.

4 - Variation du pH et de la conductivité

Le pH des solutions de jauges (figure 31) présente un maxima de 8,5 et un minima de 6,5 sauf le cas des deux sites P5 et P2 où par moment a grimpé à environs 10,6.

La teneur en particules solubles dans les eaux de la pluie influe sur le pH de la solution de jauge selon l'acidité ou l'alcalinité de celle-ci. Les périodes de prélèvements sont d'une quinzaine de jour et on n'a pas pu détecter l'influence des pluies sur le pH de la solution des jauges (figure 32).

La figure 33 montre l'évolution de la conductivité des solutions de jauges. Celle ci comprise entre 100 et 600s/cm.

Manganese

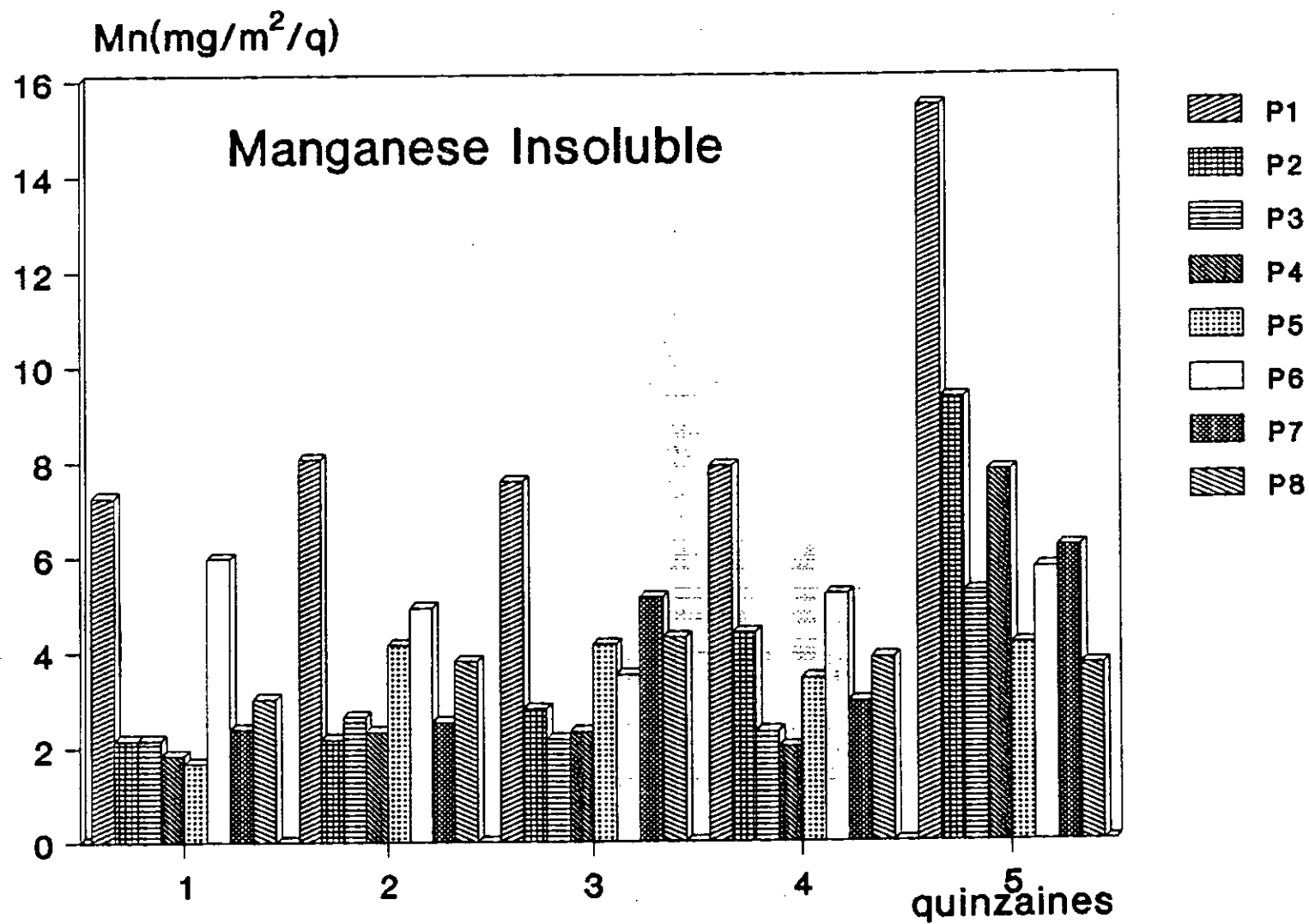


Figure 21

Fer

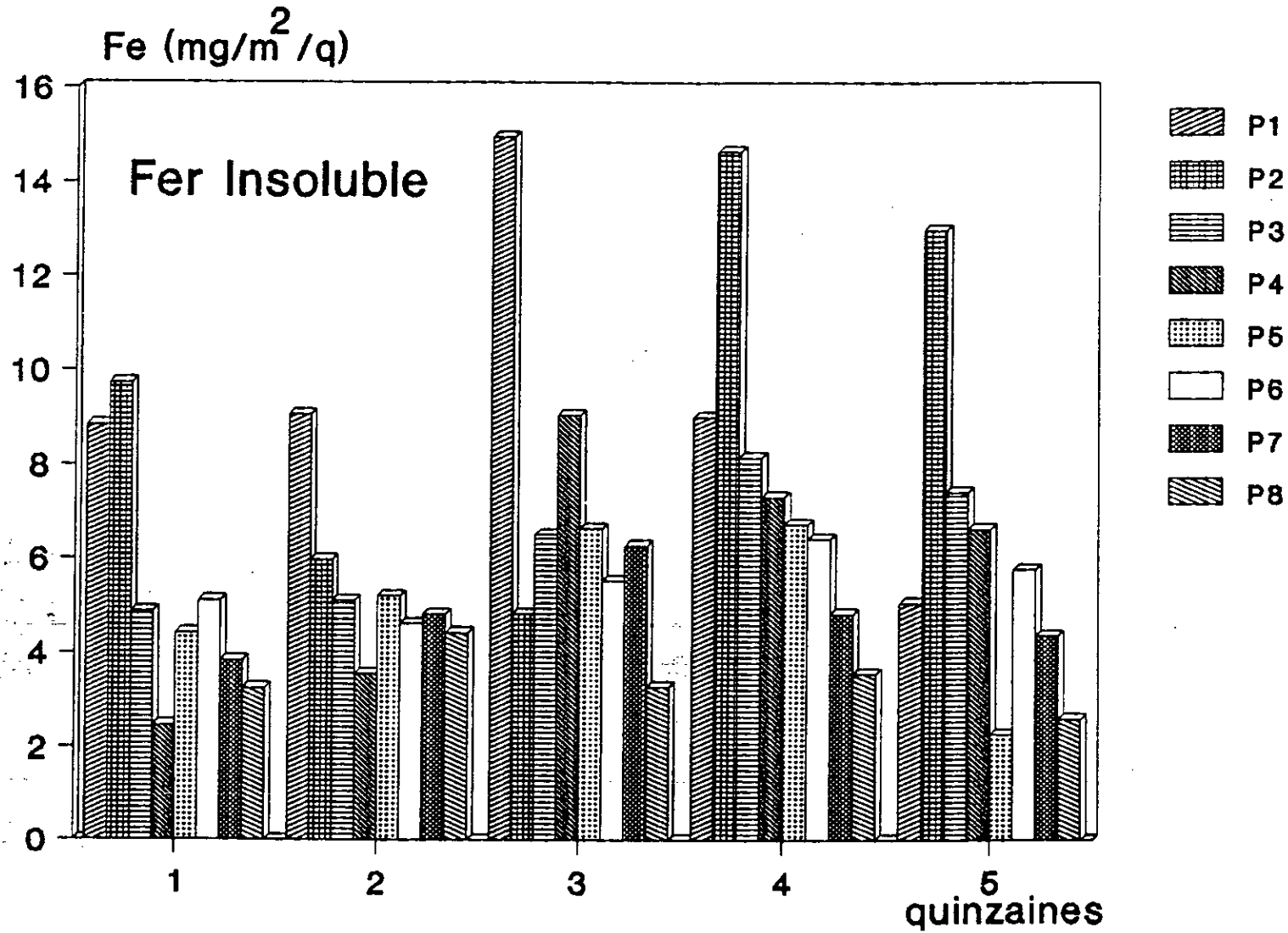


Figure 22

Cuivre

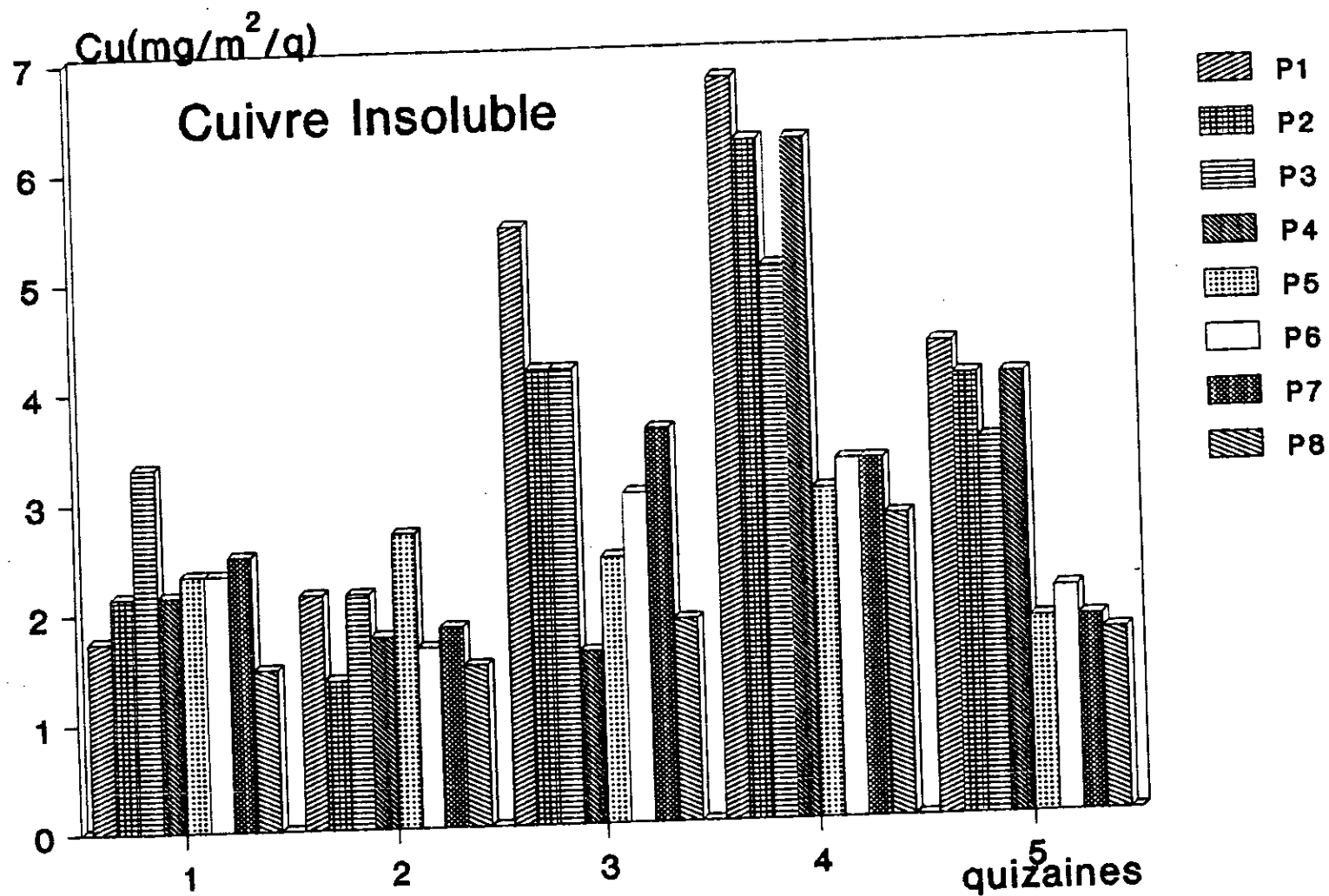


Figure 23

Plomb

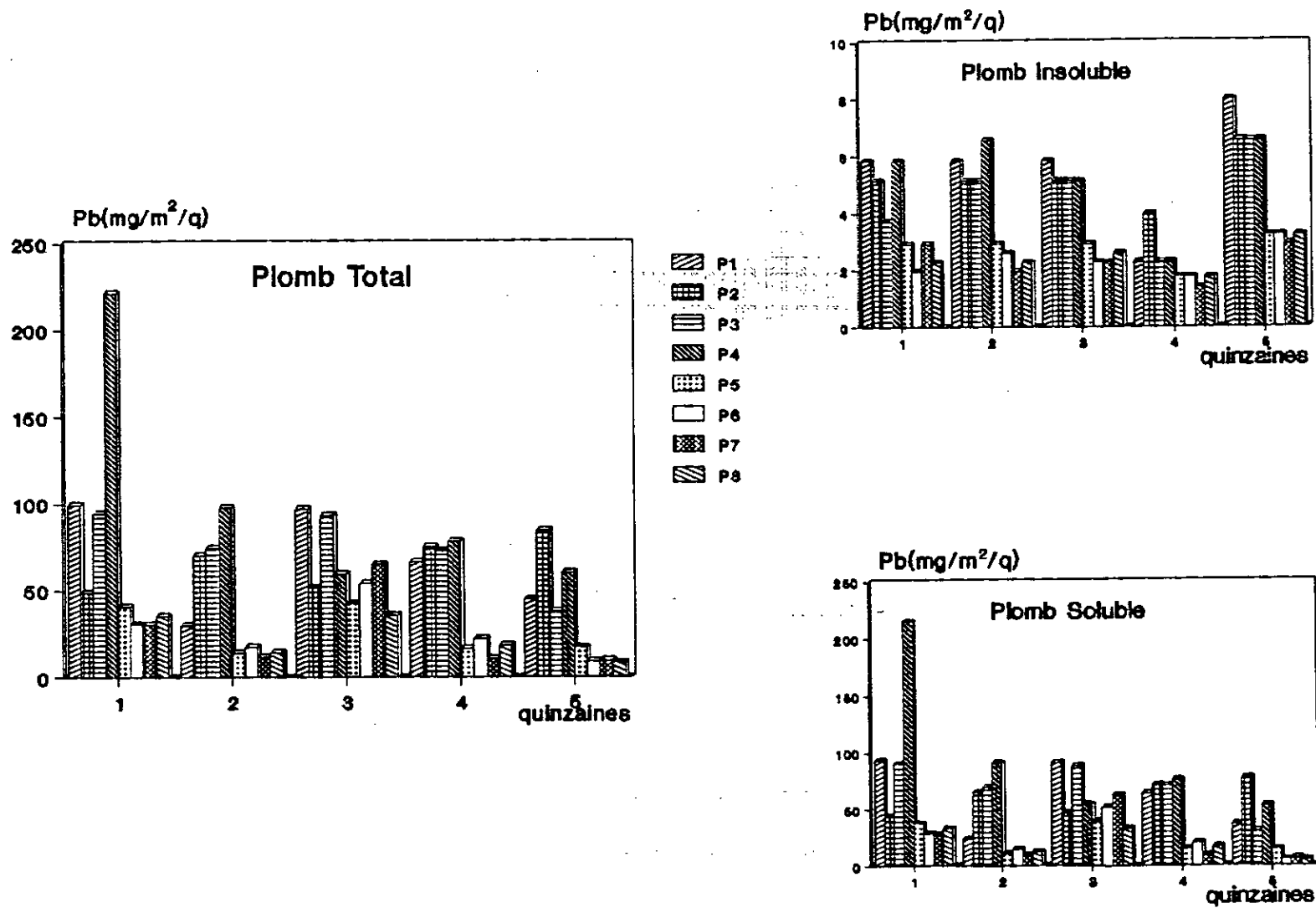
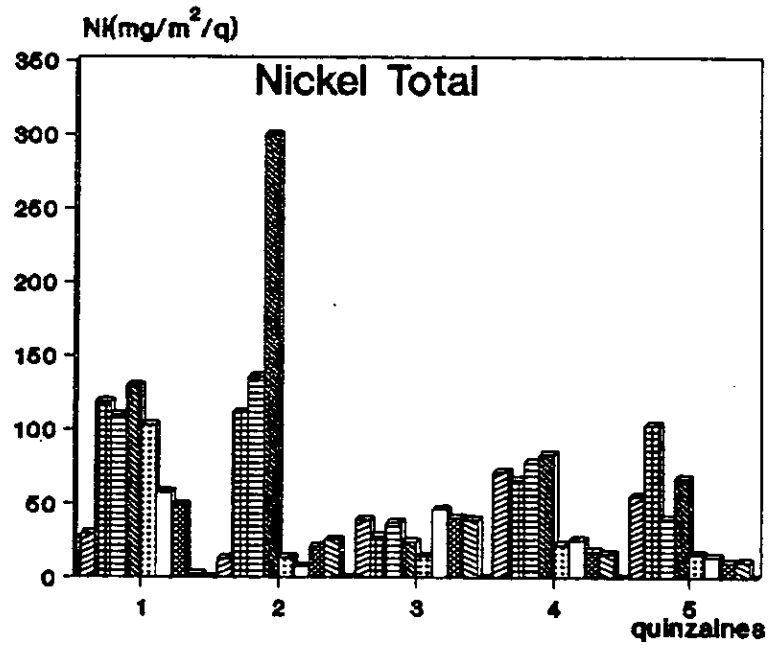


Figure 24

Nickel



- P1
- P2
- P3
- P4
- P5
- P6
- P7
- P8

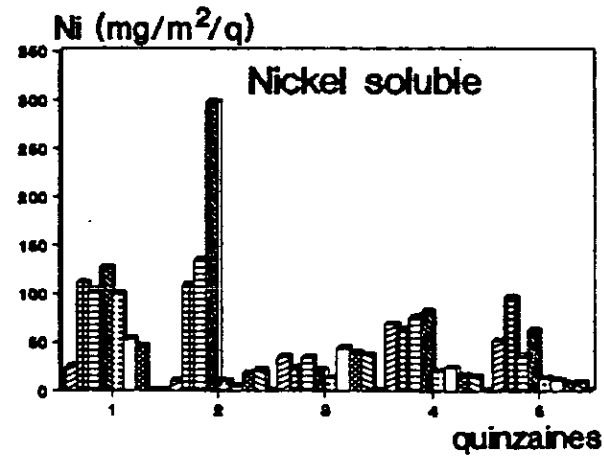
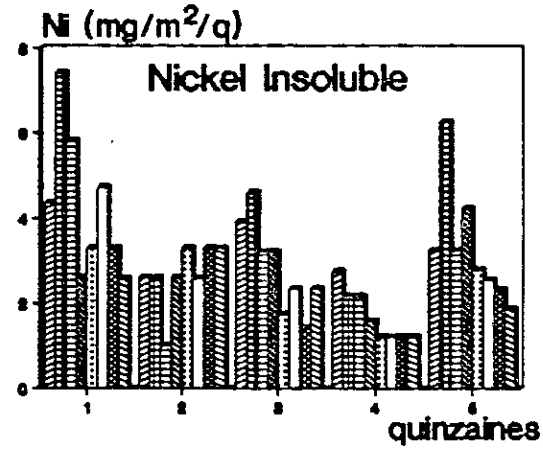


Figure 25

Magnesium

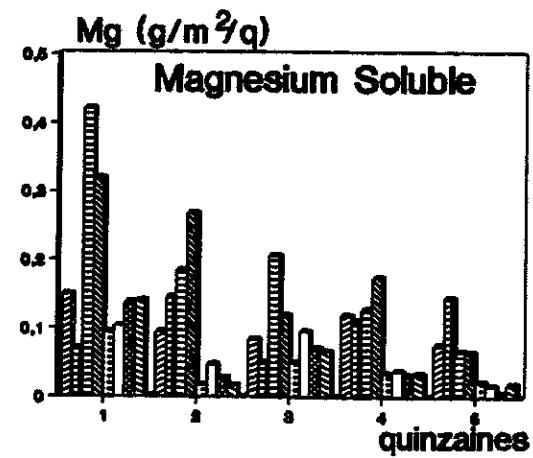
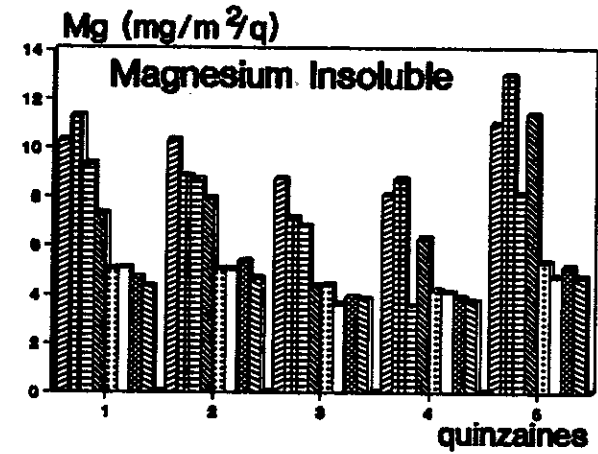
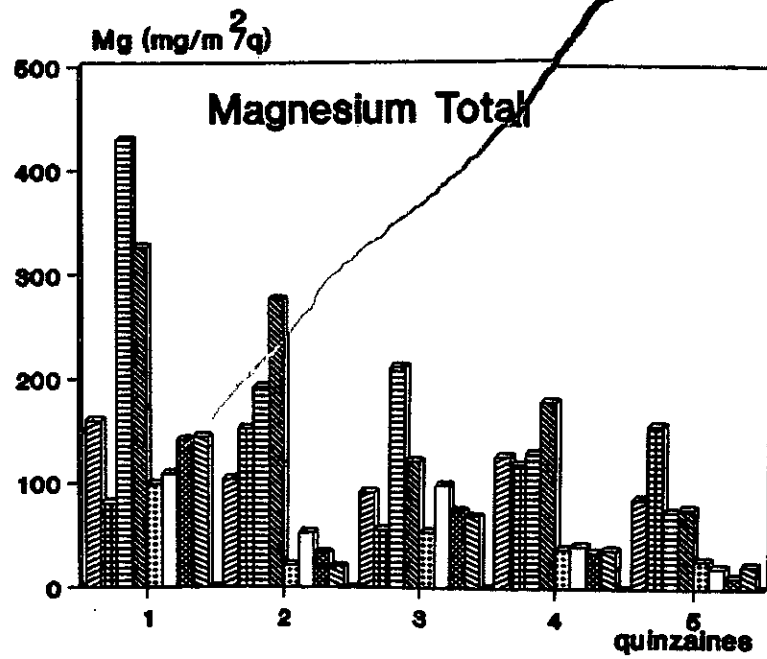


Figure 26

Zinc

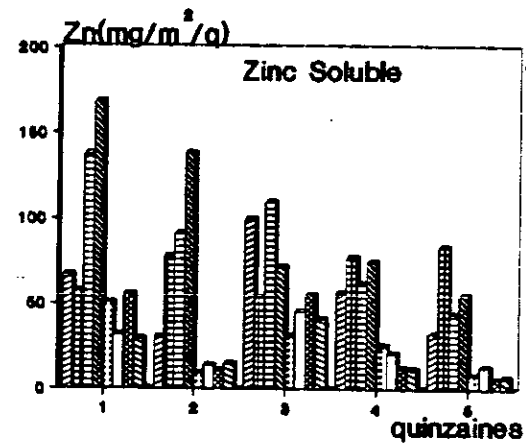
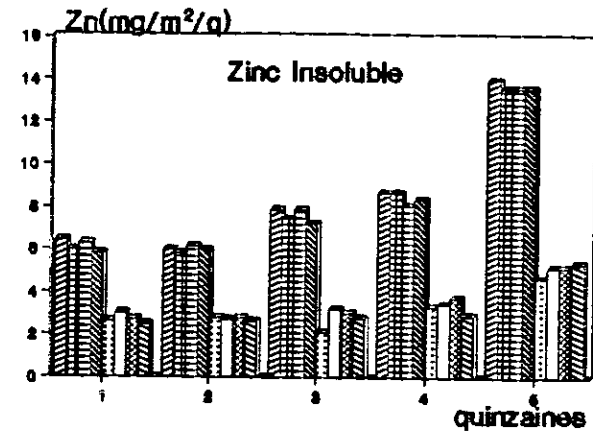
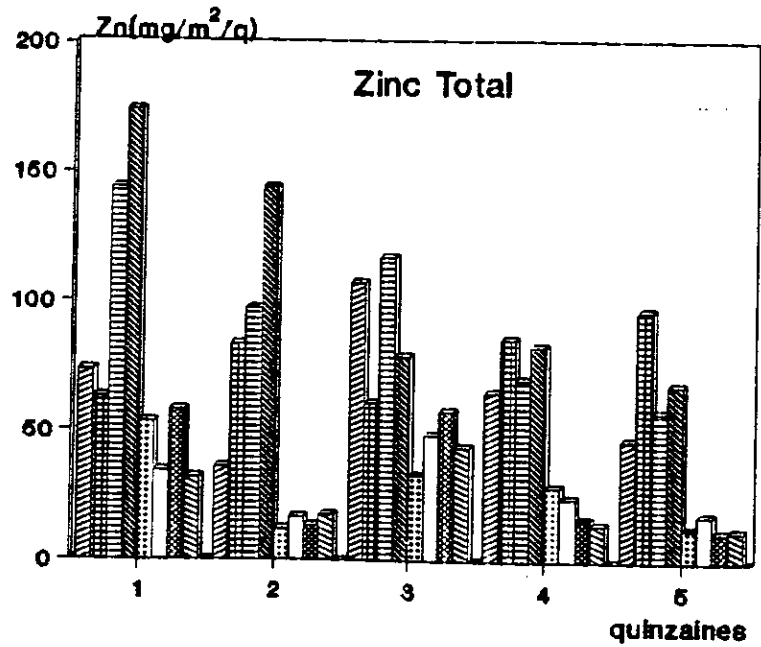
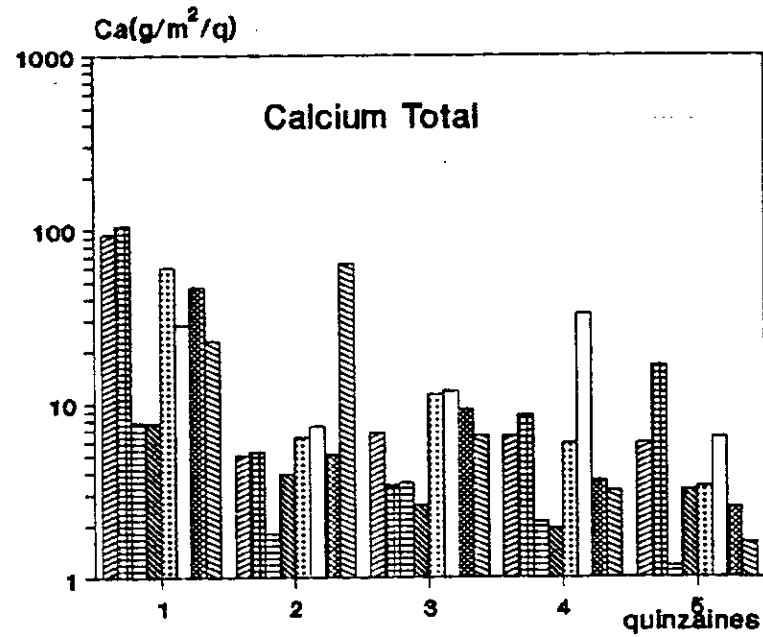


Figure 27

Calcium



- P1
- P2
- P3
- P4
- P5
- P6
- P7
- P8

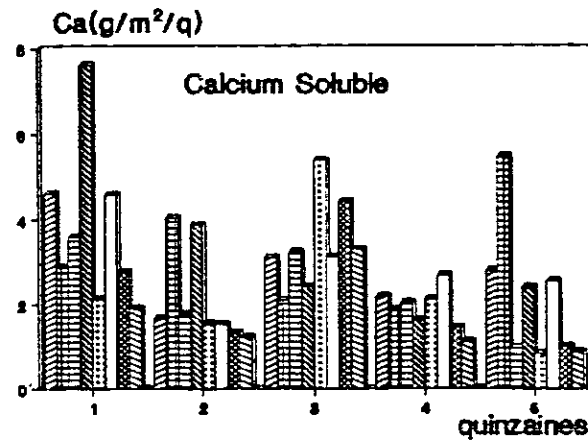
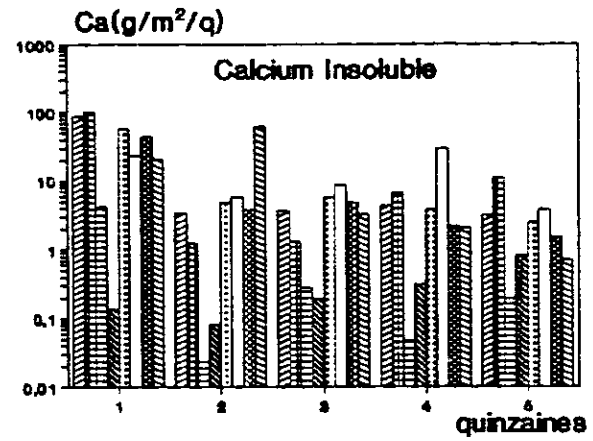
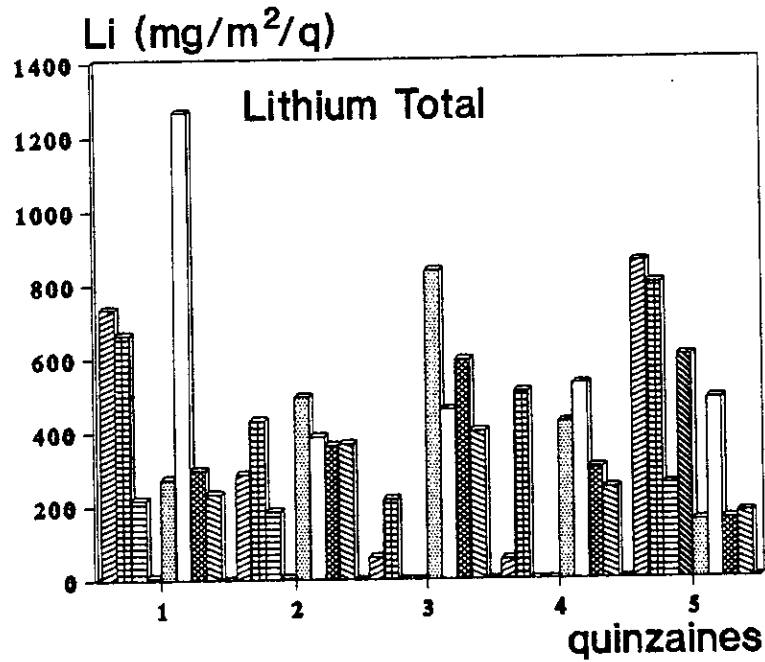


Figure 28

Lithium



- P1
- P2
- P3
- P4
- P5
- P6
- P7
- P8

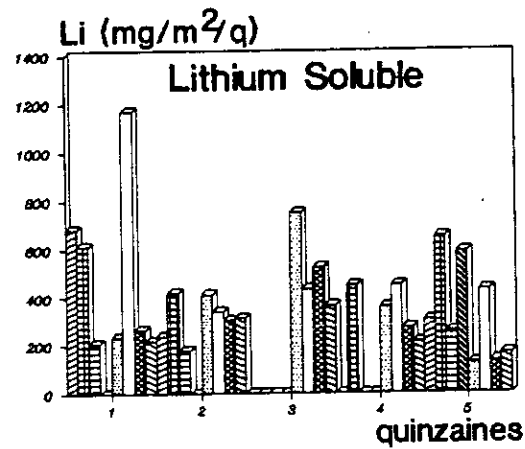
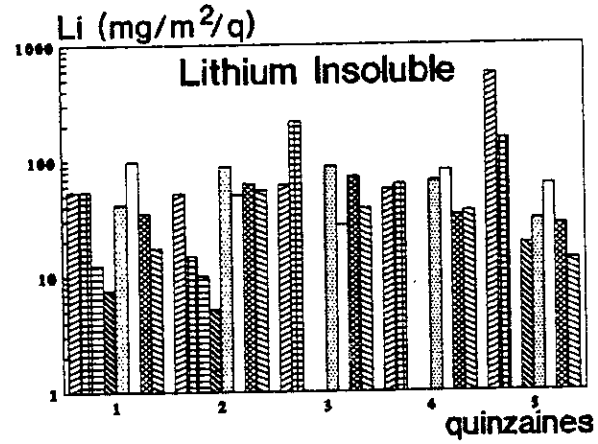
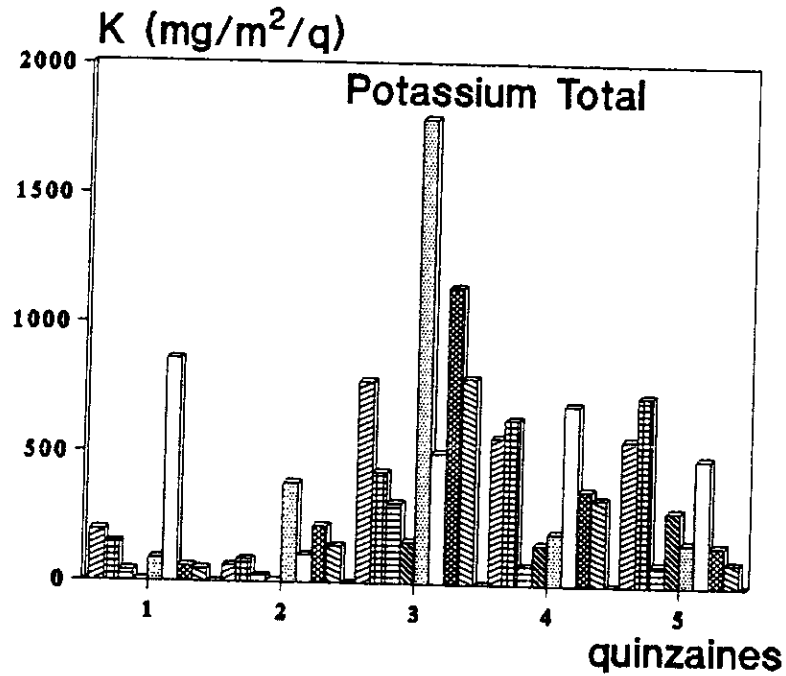


Figure 29

Potassium



- P1
- P2
- P3
- P4
- P5
- P6
- P7
- P8

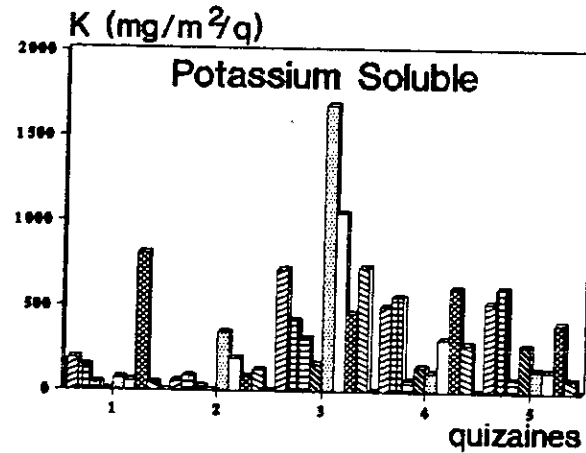
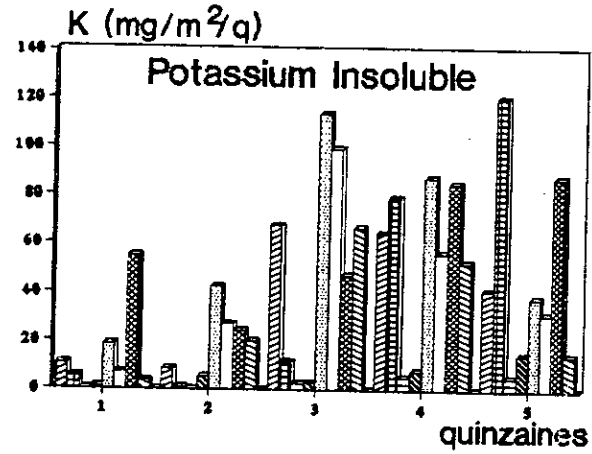


Figure 30

Evolution du pH de l'eau des jauges

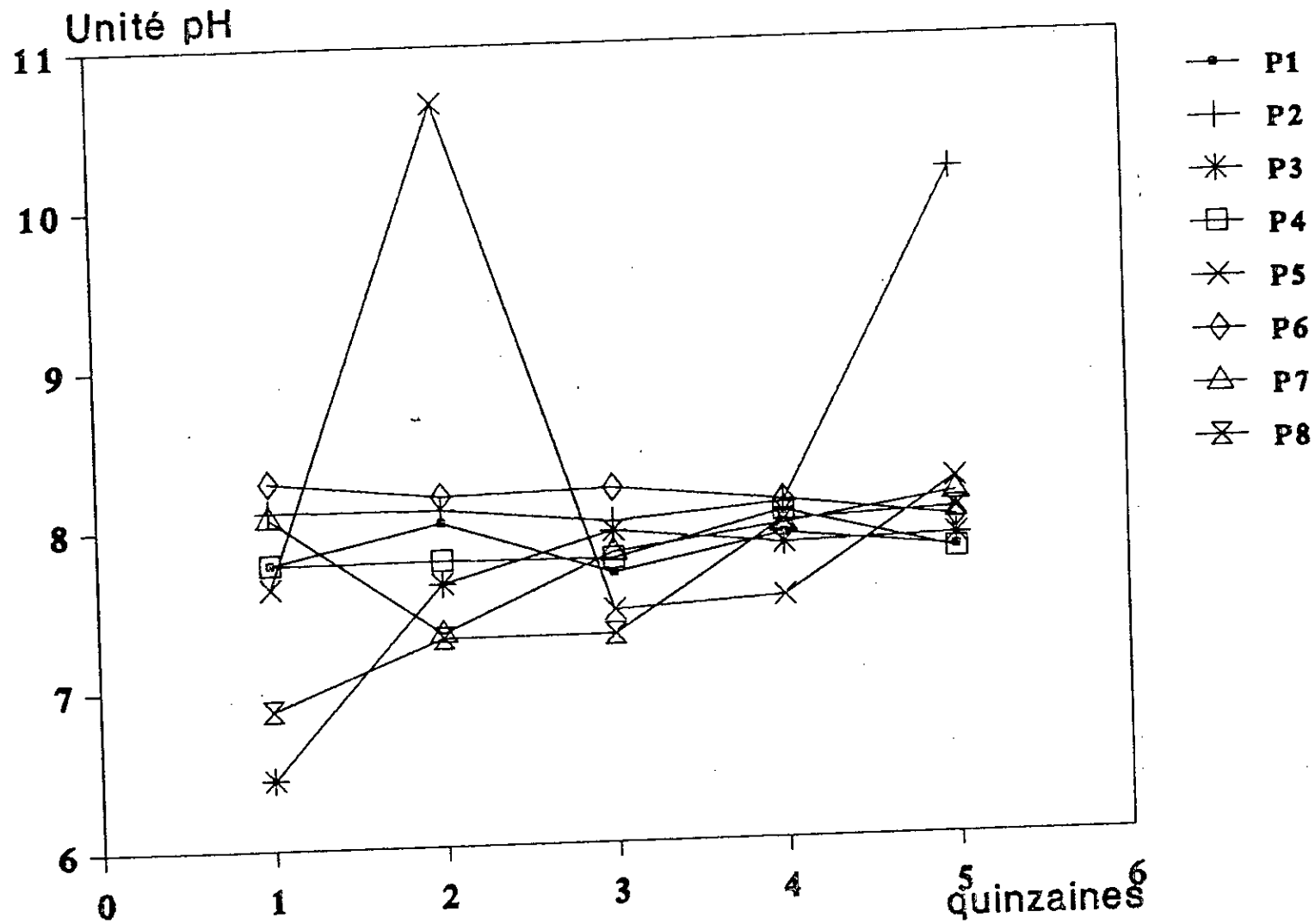


Figure 31

Variation du pH de l'eau des jauges

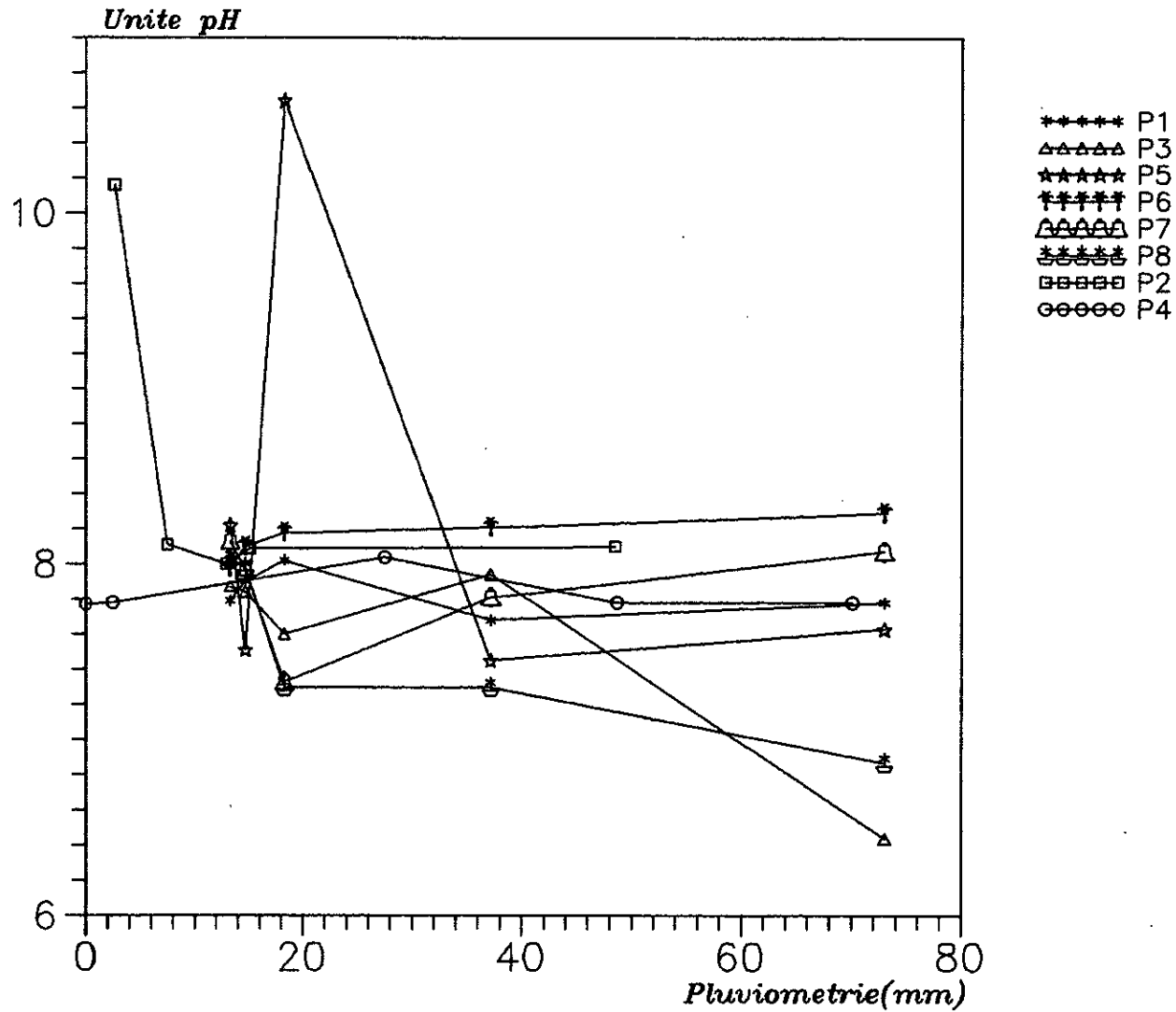


Figure 32

La mesure de la conductivité permet d'évaluer la concentration en ions solubles.

Comme schématisé en figure 34, la conductivité des solutions des jauges passe d'un minimum à un maximum. Ceci explique le phénomène de sédimentation des particules qui est très influencé par les paramètres météorologiques.

Le lavage par les pluies favorise la dissolution de la fraction soluble des poussières ainsi que leur entraînement au sol où il sont recueillies dans la jauge.

La conductivité de la solution se trouve ainsi affecté après chaque pluie. ceci s'observe en figure où le passage d'un maxima à un minima et vice versa explique un apport important d'ions dissout pour la première quinzaine, ce qui entraîne une purification de l'air. Ainsi donc l'apport de la deuxième quinzaine serait inférieur et on observe le retour d'une importante charge d'ions dissous lors du 3^{ème} prélèvement.

Cependant, ce phénomène ne peut être observé que si les postes de prélèvement se trouvent assez éloigné des sources émettrices.

5 - Variation des retombées de Nitrates

Les postes où on relève des concentrations appréciables de nitrates, sont ceux situés à proximité d'axe routier à forte densité de circulation. La concentration maximale est rencontrée au poste P4 (cinq Maisons à El-Harrach), coïncidant avec une période pluvieuse, est de plus de 20mg/m²/q (figure 35).

Les oxydes d'azote émis dans l'atmosphère par le trafic routier, sont facilement lessivés par les eaux de pluies pour donner formation à l'acide Nitrique.

La figure 36, illustrant la variation des nitrates en fonction de la vitesse moyenne du vent, met en évidence deux points pour lesquels les concentrations sont de l'ordre de 0.01 et 9,36mg/m²/q. Le premier correspond au poste P5 se trouvant à l'abri du trafic routier. Le deuxième est dû aux gaz brûlés rejetés par le four de combustion de la cimenterie de Meftah qui a repris ses activités en cette période.

6 - Variation des retombées de Chlorures

La figure 37 montre que les concentrations des chlorures totales sont souvent inférieures à 1mg/m²/q. Les maximas enregistrés sont compris entre 3 et 4 mg/m²/q pour plusieurs sites et coïncident avec une période pluvieuse. On observe sur la figure 38 que les retombées en chlorure augmentent avec l'intensité de la pluie pour tous les postes côtiers.

Le poste de Meftah se trouvant assez éloigné de la côte, accuse des retombées en chlorures assez faibles. Cette tendance d'augmentation des chlorures avec la pluviométrie est due à la grande solubilité des chlorures présents dans l'atmosphère, provenant de diverses origines.

La vitesse correspondant au dépôt maximum des chlorures correspond à environs 2,6m/s (figure 39).

La direction du vent apportant une teneur assez élevée en chlorures se situe à 240° (Ouest-Sud-Ouest) (figure 40).

Evolution de la Conductivité de l'eau des jauges

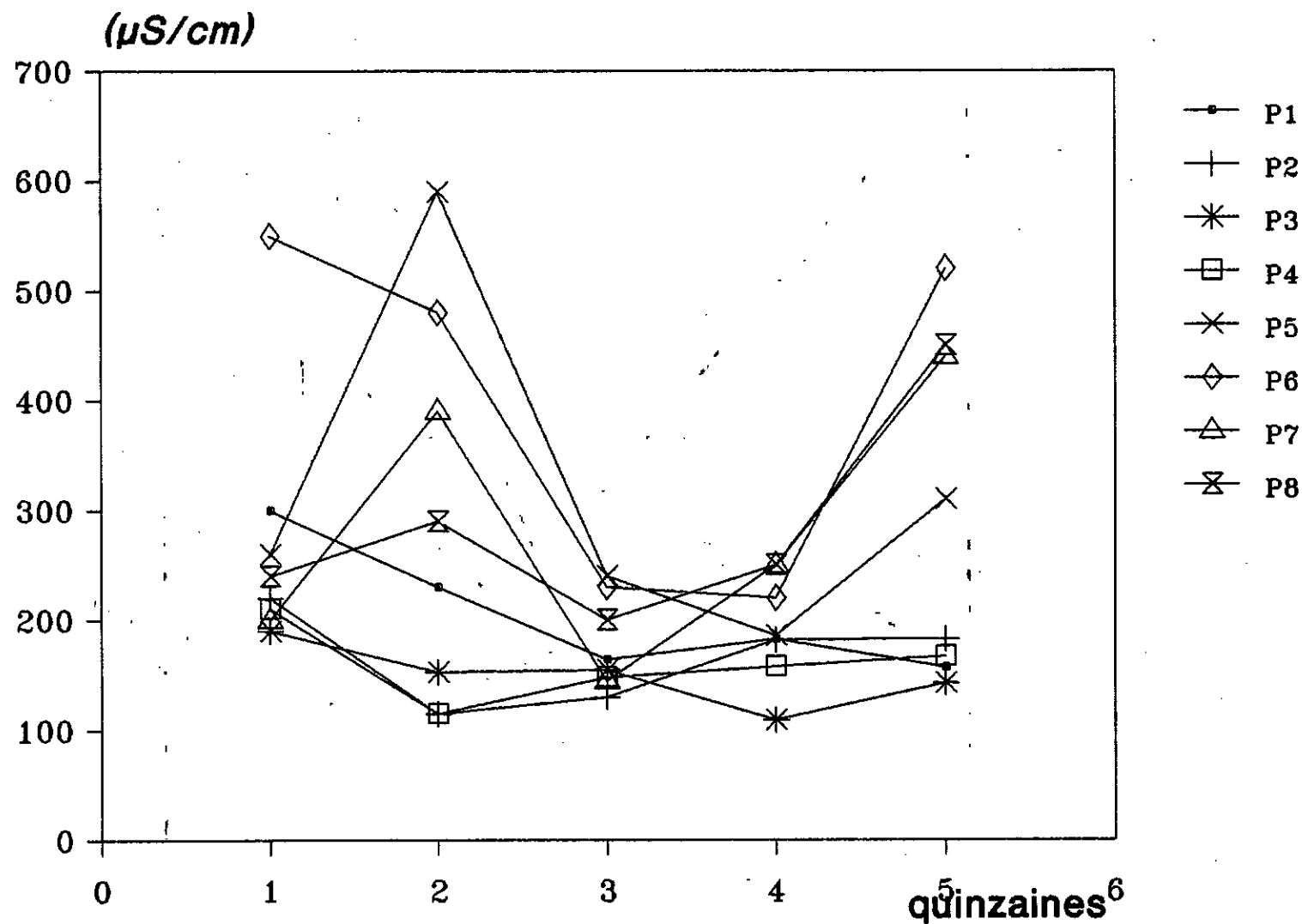


Figure 33

NITRATE

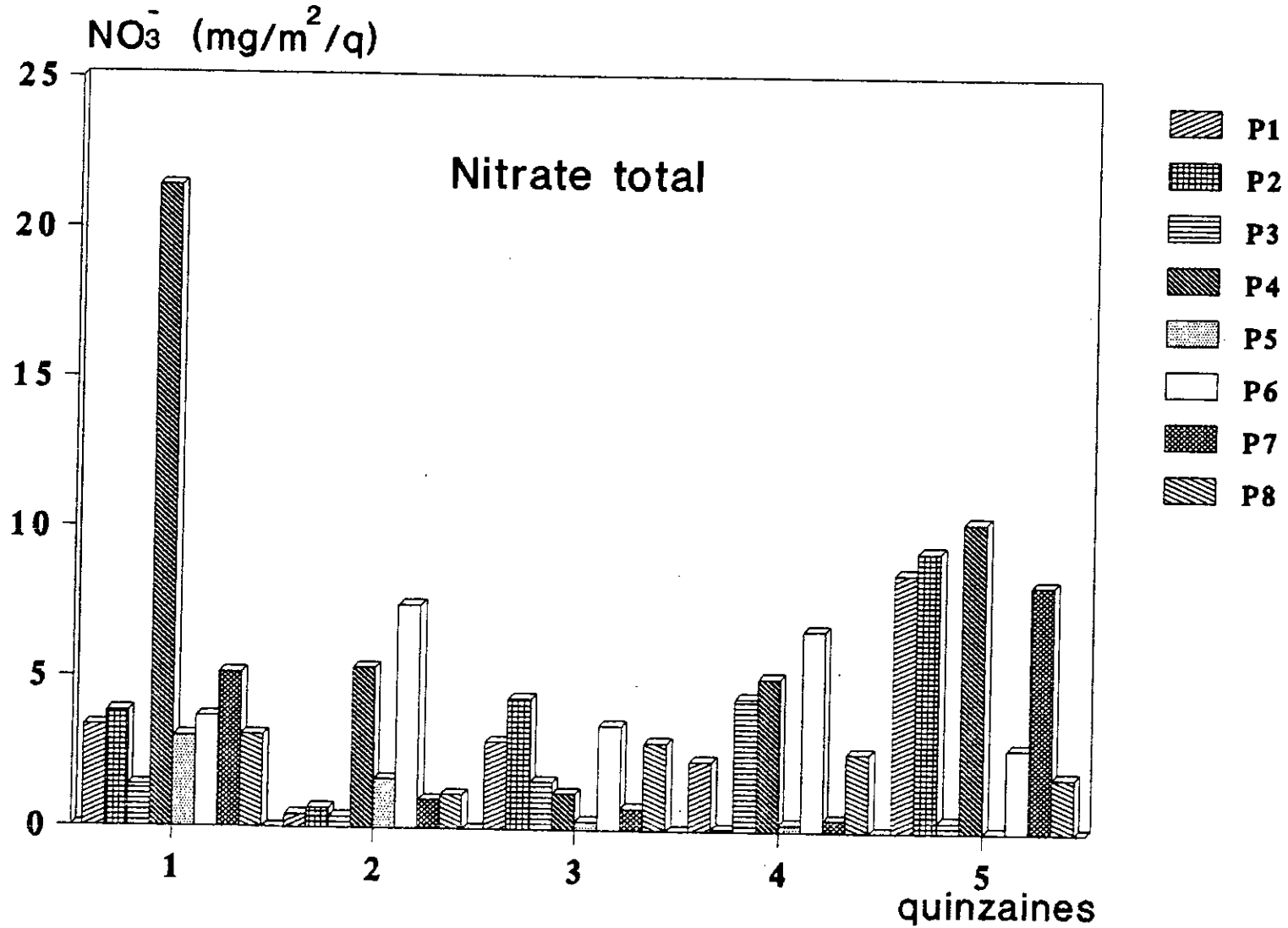


Figure 35

Variation des Nitrates en fonction
de la Vitesse moyenne du Vent

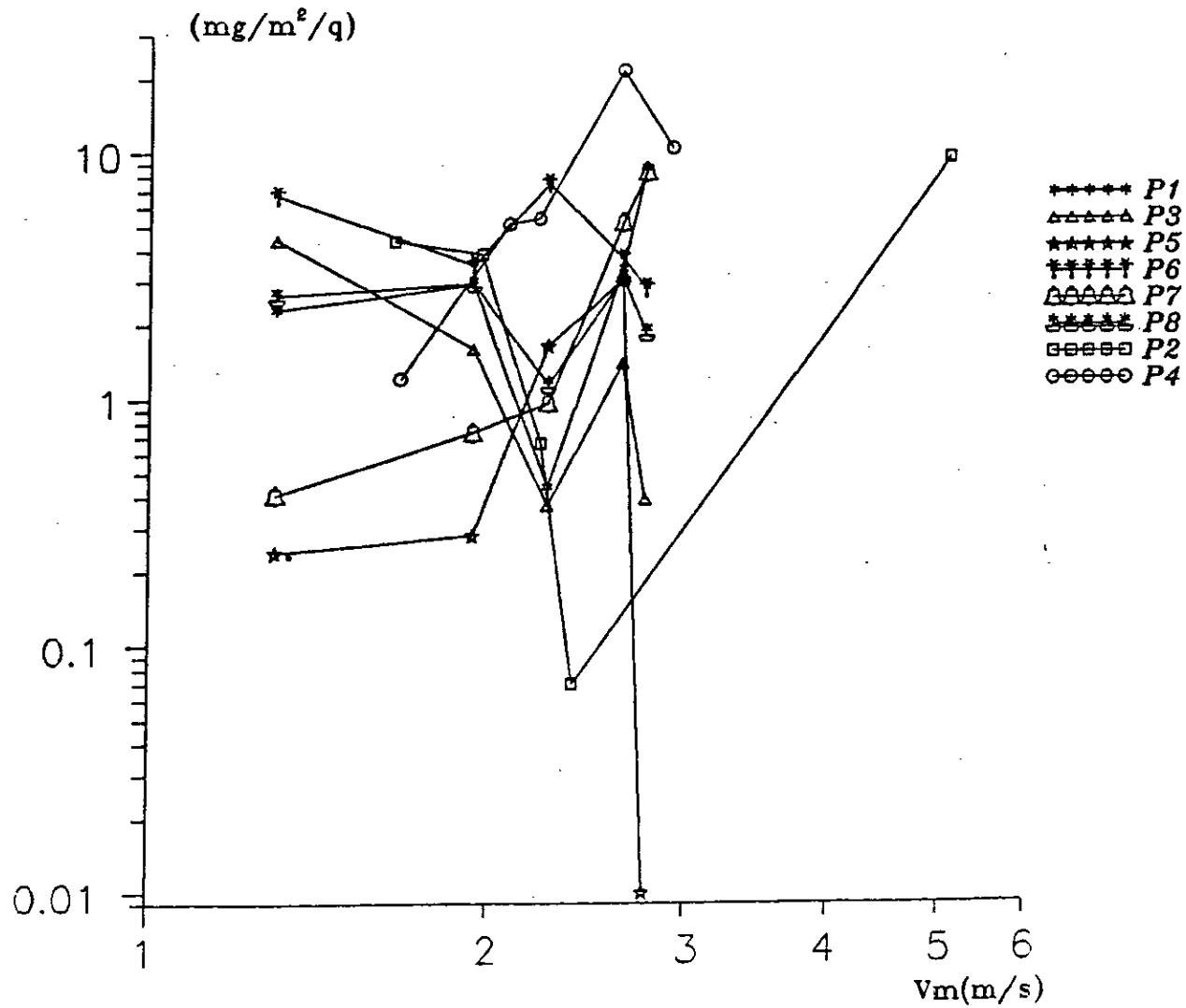


Figure 36

CHLORURE

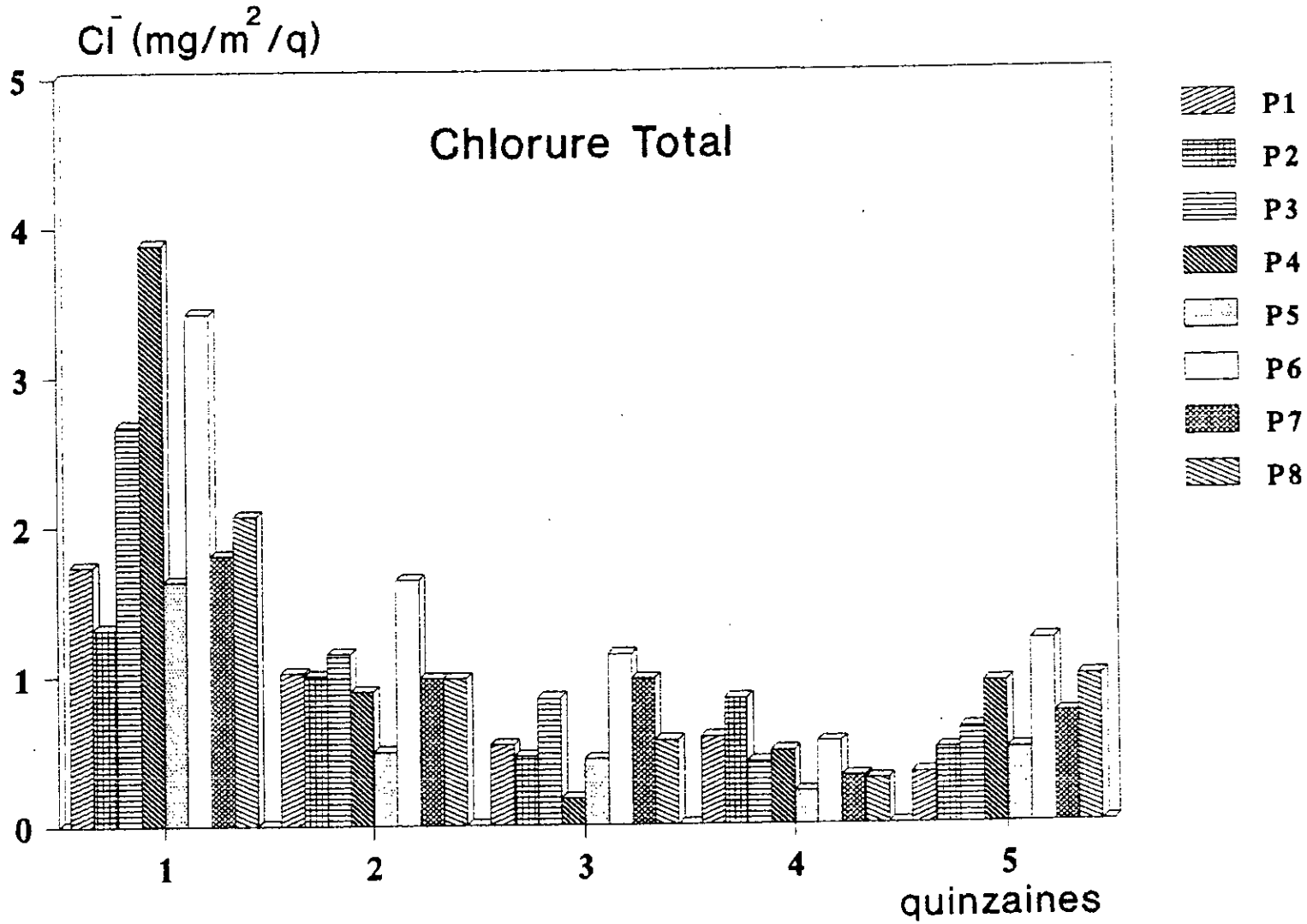


Figure 37

Variation des chlorures selon la pluviométrie

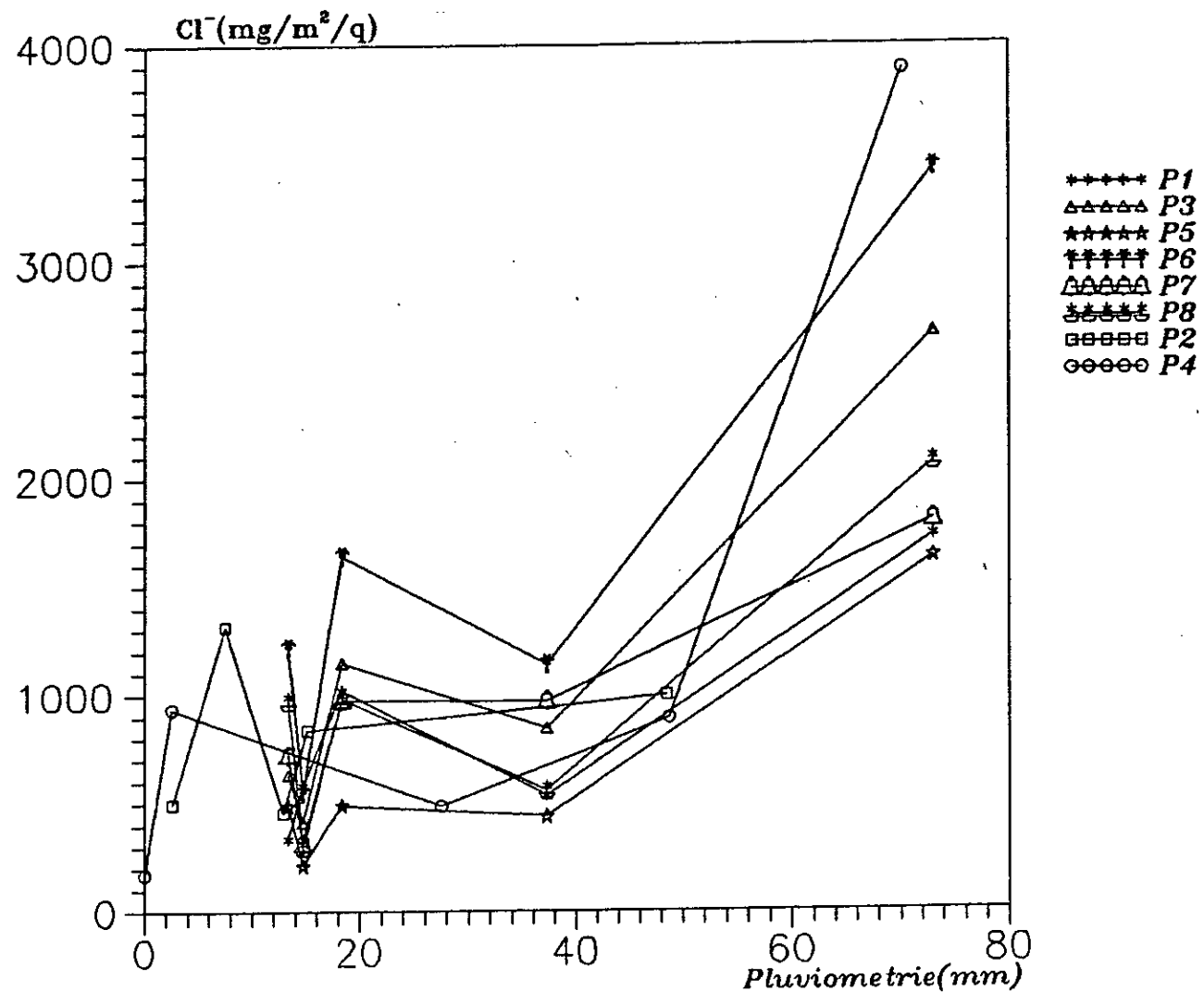


Figure 38

Variation des Chlorures en fonction
de la Vitesse moyenne du vent

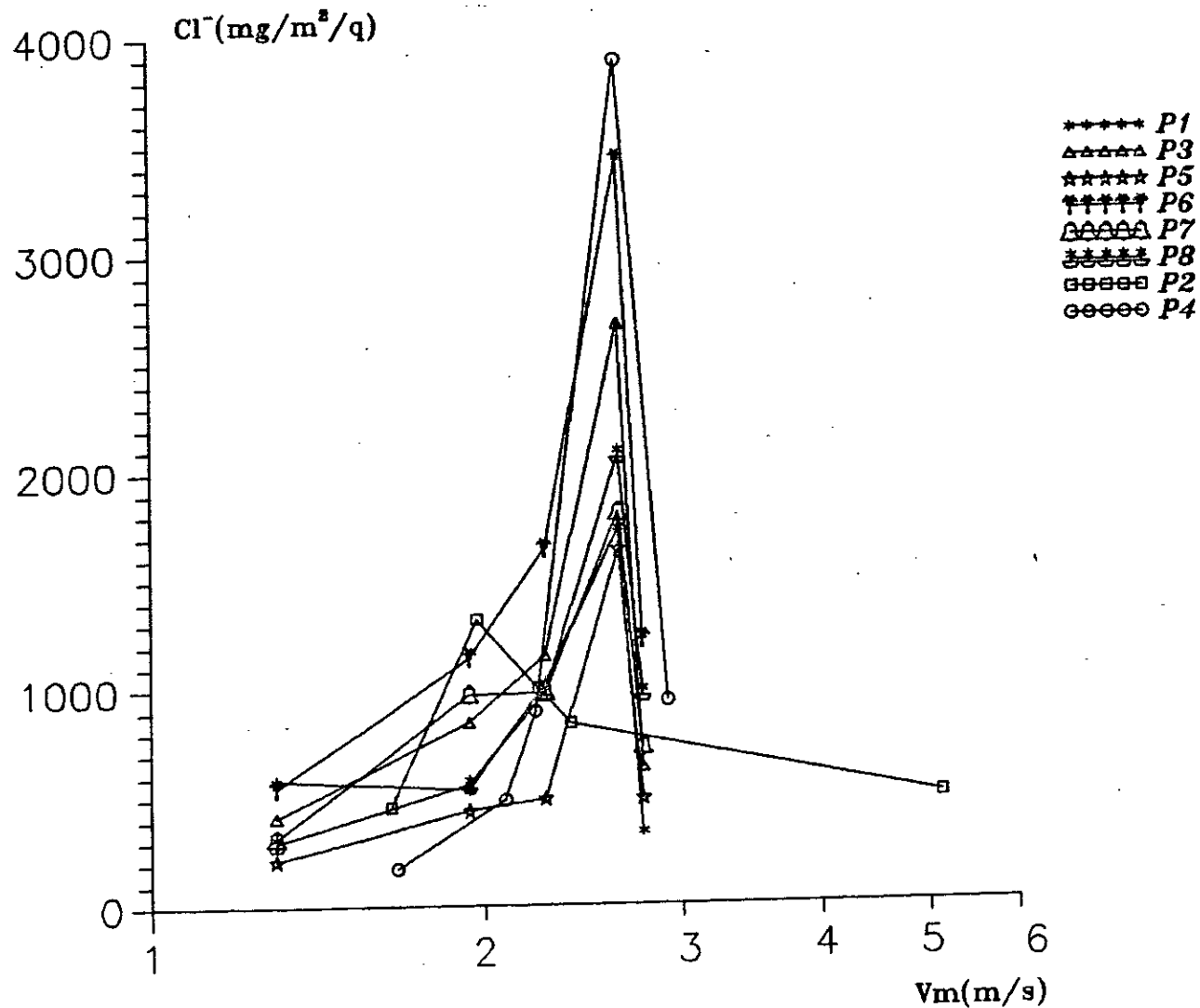


Figure 39

Variation des Chlorures en fonction de la direction moyenne du Vent

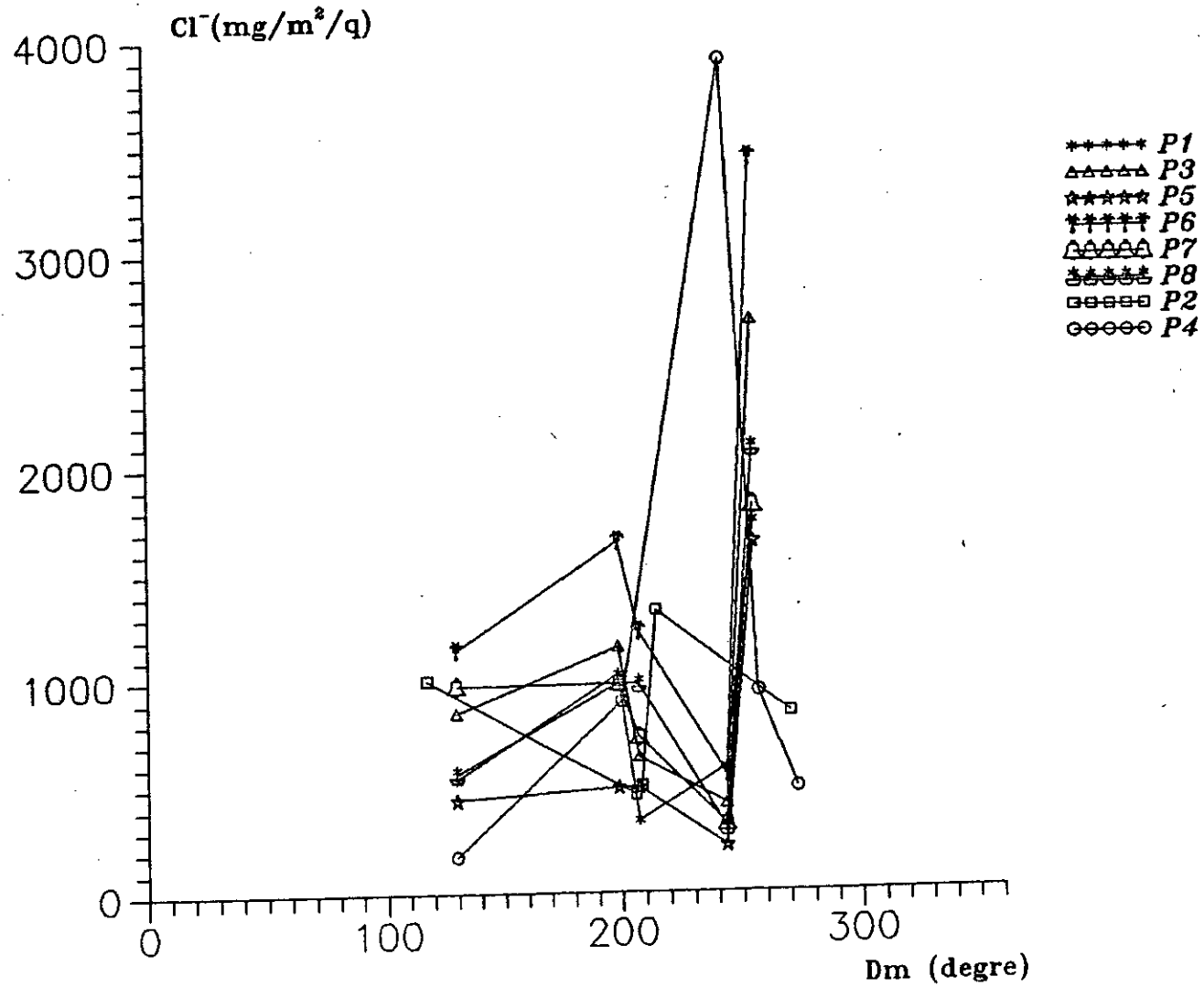


Figure 40

7 - Variation des retombées de sodium

Les retombées de sodium totales sont beaucoup plus élevées aux postes se trouvant tout près de la mer que ceux de l'intérieur car ils sont exposés simultanément au sodium apporté par les embruns marins ainsi que les poussières de différentes émissions anthropogéniques.

Les brises de mer, en soufflant transportent des aérosols de sels marins formé principalement d'ions sodium, potassium et chlorure. La figure 41 présente les teneurs de sodium dans les retombées.

Sur la figure 42, on remarque que les vents soufflants à une direction moyenne de 130° entre (Est-Sud-Est, Sud-Sud-Est), sont ceux qui transportent le plus de sodium, dans la région de Raïs Hamidou. Cet excès d'apport en Sodium, par rapport aux trois autres postes, ne peut provenir que de la carrière alimentant la cimenterie et se trouvant justement sur les hauteurs de Sidi El kebir au Sud-Est. Cet apport de sodium est moins important quand les vents soufflent du Sud-Sud Ouest à environ 200 à 220 . Dans cette direction, on ne détecte aucune source importante d'émission de poussières, car toute la zone est occupée par des habitations.

Par contre les vents, soufflent du Sud-Ouest et de l'Ouest apportent un peu plus de sodium en provenance de la carrière de Hammamet (Bains Romains) où à la suite d'utilisation d'explosifs et aux différentes activités de concassage, de chargement et de transport, entraînent l'apparition d'un nuage immense de poussières. Pour le poste P4, la forte teneur de sodium en provenance du Sud-Ouest-Ouest provient probablement de la zone industrielle d'El Harrach.

D'après la figure 43, certaines vitesses sont favorables à une bonne sédimentation des particules donnant lieu à de fortes teneurs en retombées de sodium. le sodium étant très soluble dans l'eau, les retombées de sodium (sel contenant le sodium) sont accentuées lors d'épisodes pluvieuses (figure 44).

8 - Variation du rapport Cl-/Na+

L'établissement du rapport chlorure/sodium, permet d'identifier la source d'émission de ces deux ions. Dans le cas des embruns marins, ce rapport vaut 1,8, dans notre cas, l'évolution de ce rapport dans le temps varie de 0,5 à 7 avec une forte concentration autour de 0,5 et 2. La valeur de ce rapport est variable et l'on ne peut attribuer la présence de ces deux ions seulement aux embruns marins. Ce rapport étant souvent différent de 1,8, la présence d'autres sources émettrices de ces deux ions se confirme en figure 45. Comme déjà interprété par le rapport chlorure/ sodium, la présence de chlorure et de sodium ne peut être dûe aux seules embruns marins. En effet la figure 40 révèle la présence de fortes retombées de chlorures à plusieurs postes lorsque les vents soufflent du Sud et du Sud-Ouest.

Si les embruns marins étaient les seules principaux responsables de la présence du chlorure et du sodium, on s'attendaient à ce que ces retombées soient élevées lorsque les vents soufflent du Nord (figure 46).

La variation du rapport Cl- /Na+ en fonction de la vitesse du vent montre une augmentation du rapport pour une vitesse comprise entre 2 et 3 m/s (figure 47).

9 - Effets de ces retombées à Raïs Hamidou

D'après nos constatations faites sur le terrain, il ressort que toute la région est touchée par cette pollution particulière et plus particulièrement le voisinage immédiat de la cimenterie. Faut-il le signaler, une fois encore, que la cimenterie est installée en plein centre ville de Raïs Hamidou. Tout passager par la région est attiré par une couleur anormale des toitures, censées être rougeâtre,

décolorées par une couche grisâtre: c'est le ciment.

Les services sanitaires ont constatés depuis longtemps un taux élevé de maladies à difficultés respiratoires.

Si aucune étude épidémiologique n'a été faite ou si elle l'a été, elle n'a pas été diffusée, il ne fait aucun doute que cette cimenterie est située dans un site devenu aujourd'hui très peuplé et porte atteinte à la santé publique.

Si la fermeture d'une cimenterie, comme celle de Raïs Hamidou, portera un corps d'ur à l'économie nationale, particulièrement au secteur du Bâtiment, rien n'empêche les autorités responsables d'investir afin de réduire les émissions de poussières. Ceci étant fait, on réduira les dépenses des soins médicaux apportés aux habitants de la région et permettra d'avoir une population en bonne santé.

Sodium

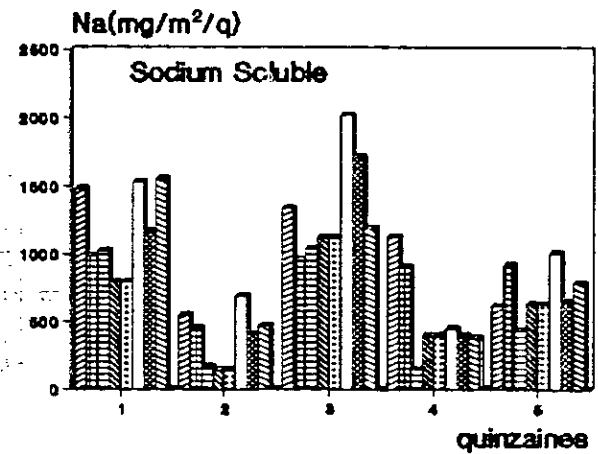
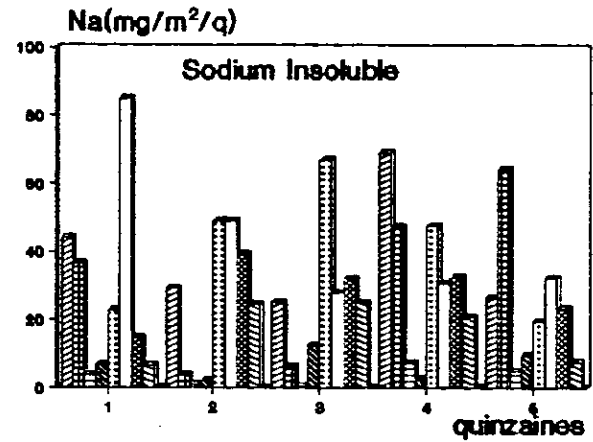
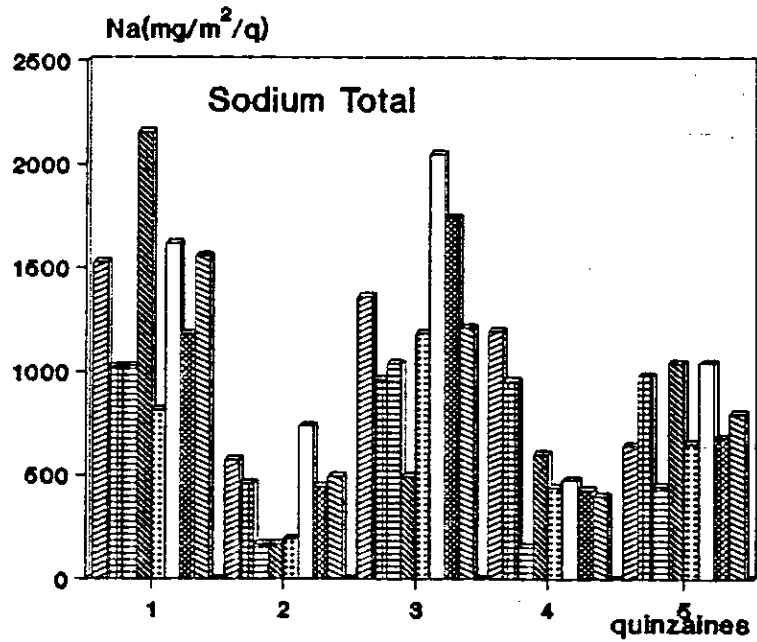


Figure 41

Variation du Sodium en fonction des Directions moyennes du Vent

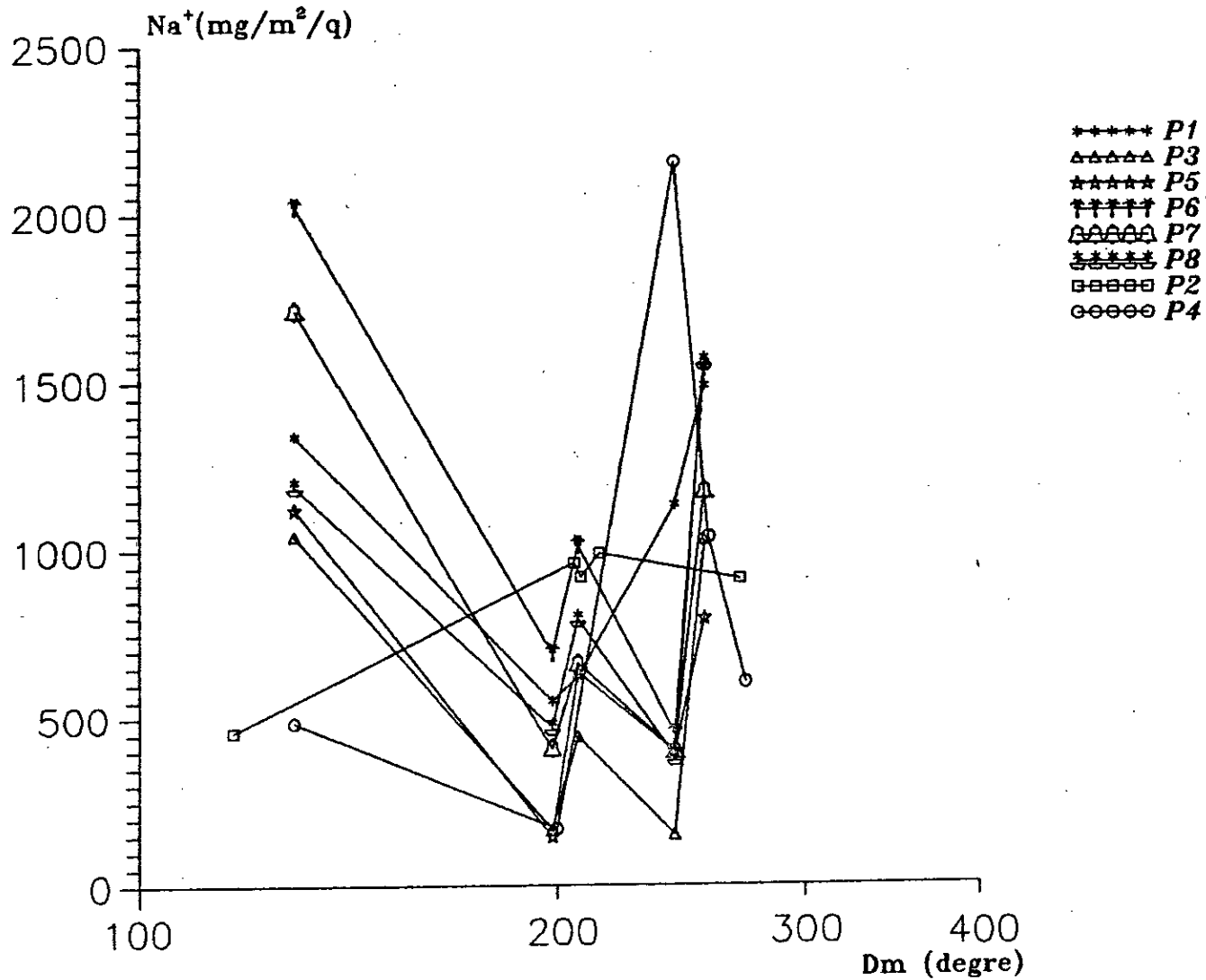


Figure 42

Variation du Sodium en fonction
de la Vitesse moyenne du Vent

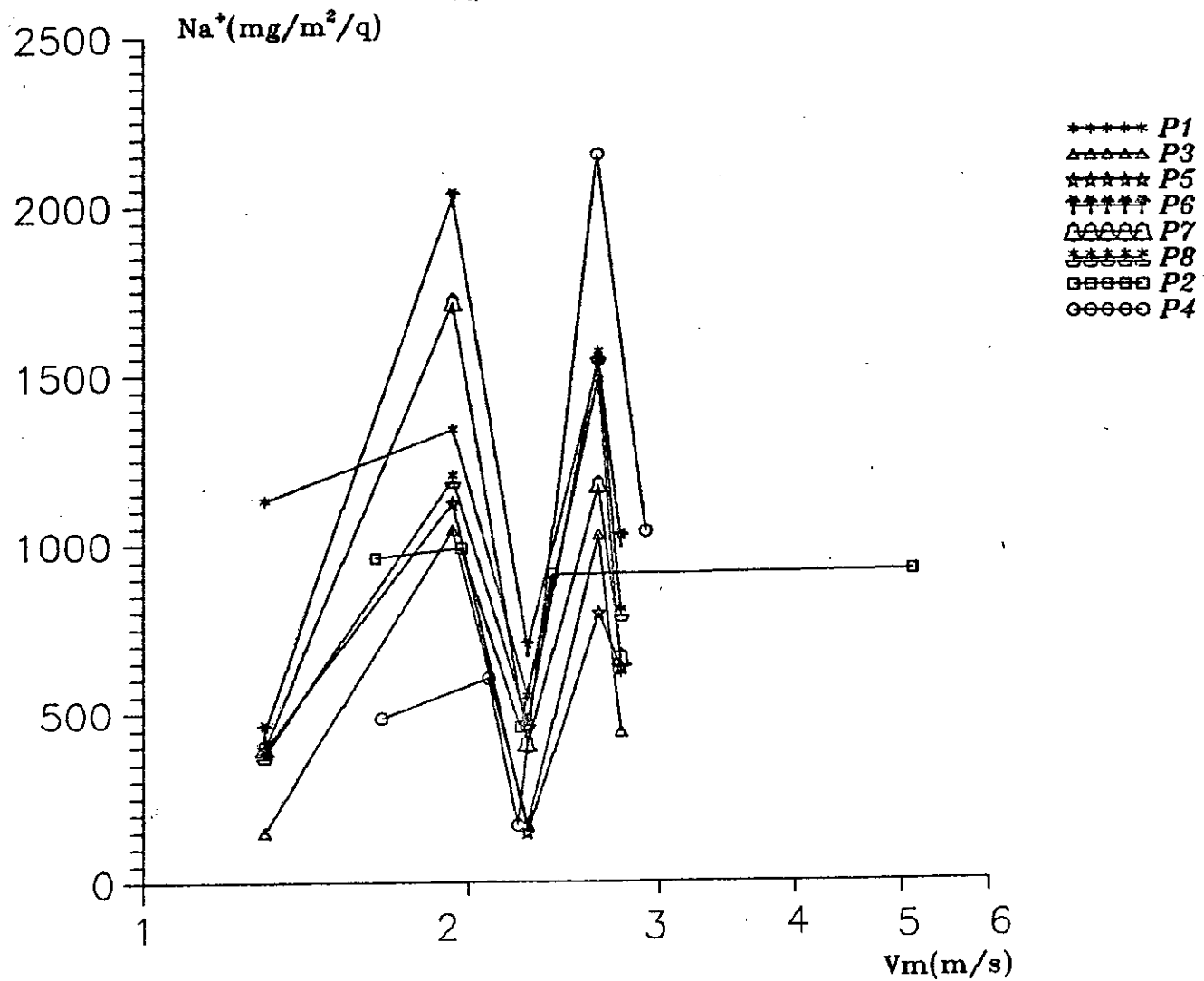


Figure 43

Variation du Sodium selon
la Pluviometrie

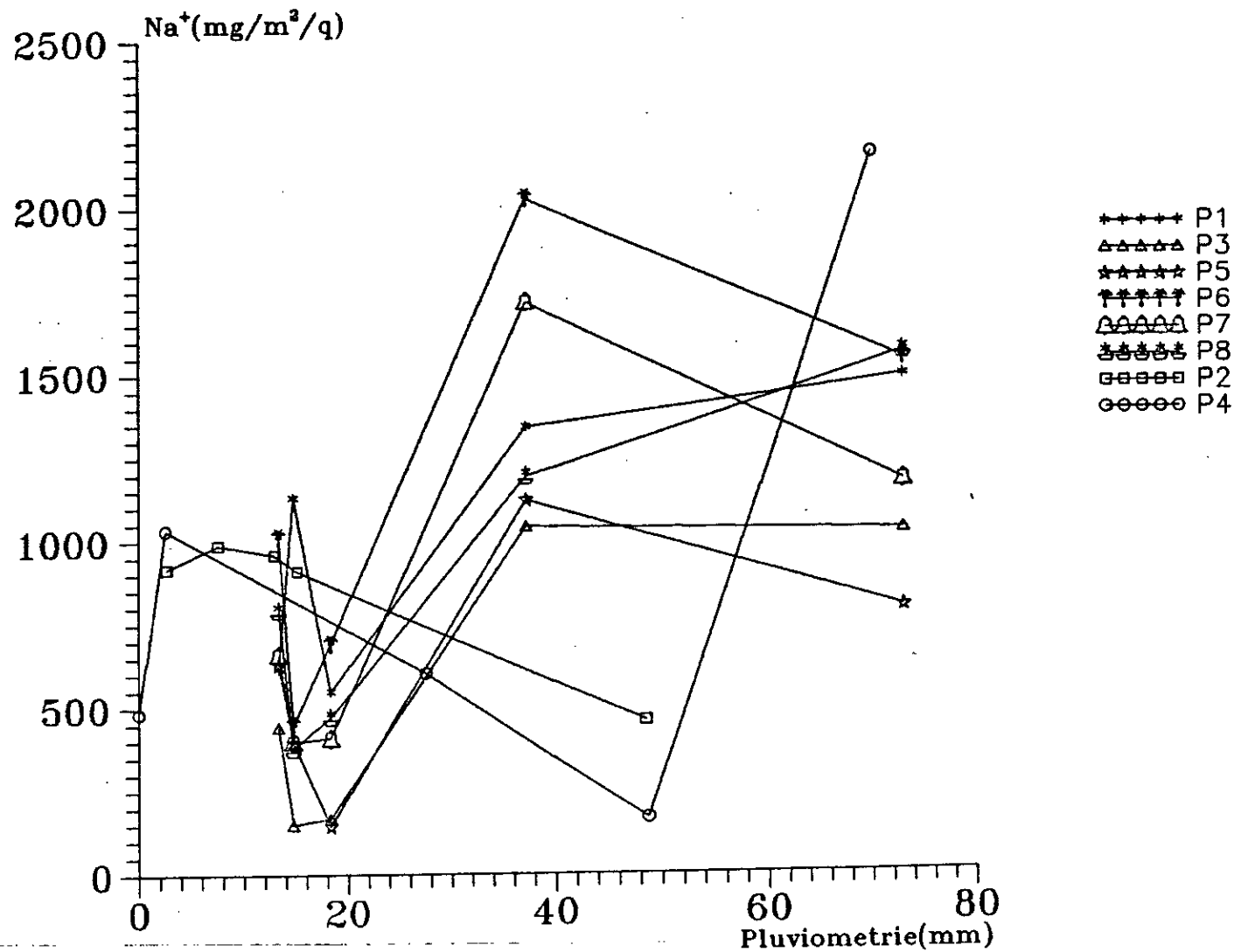


Figure 44

R(Chlorure / Sodium)

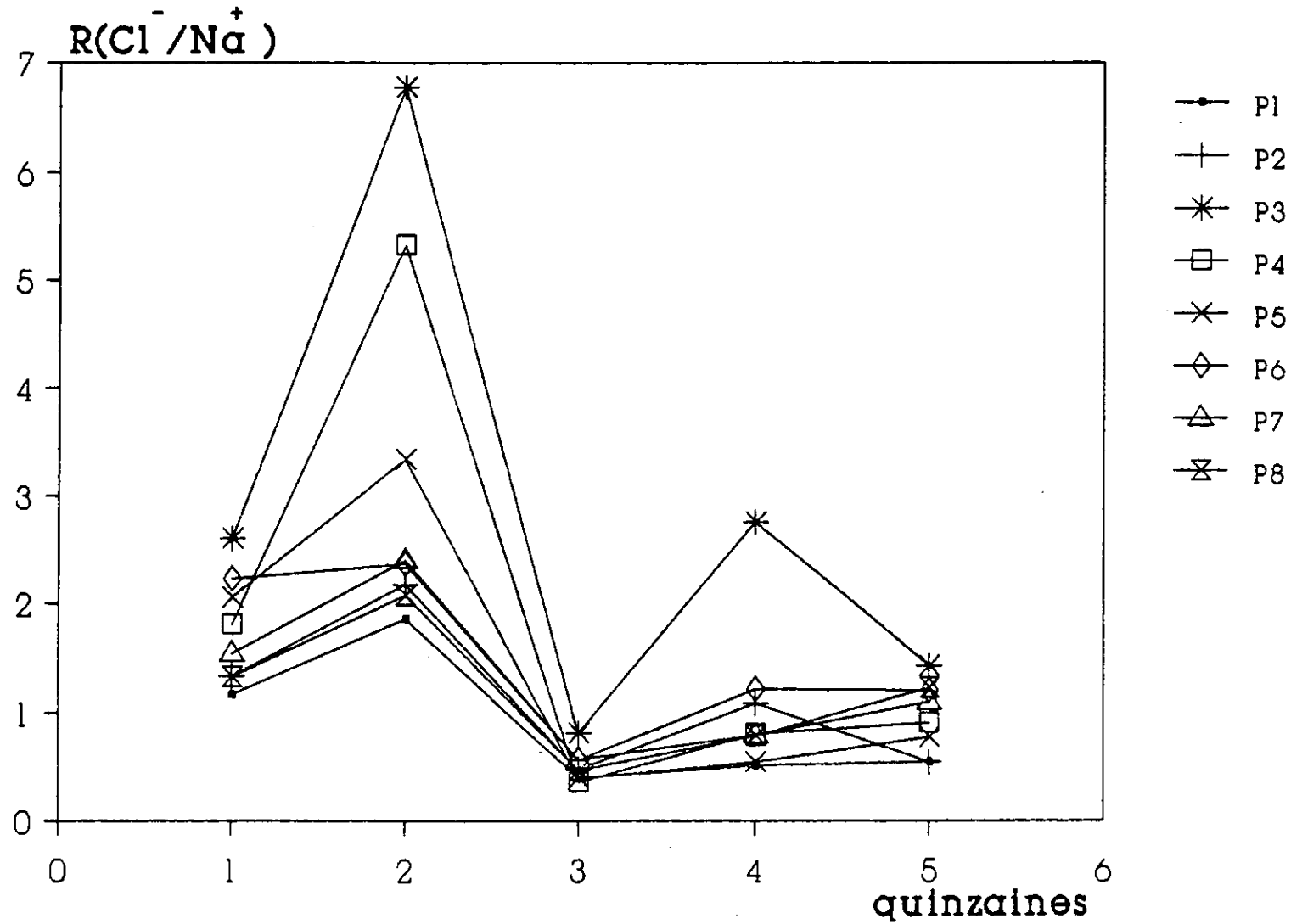
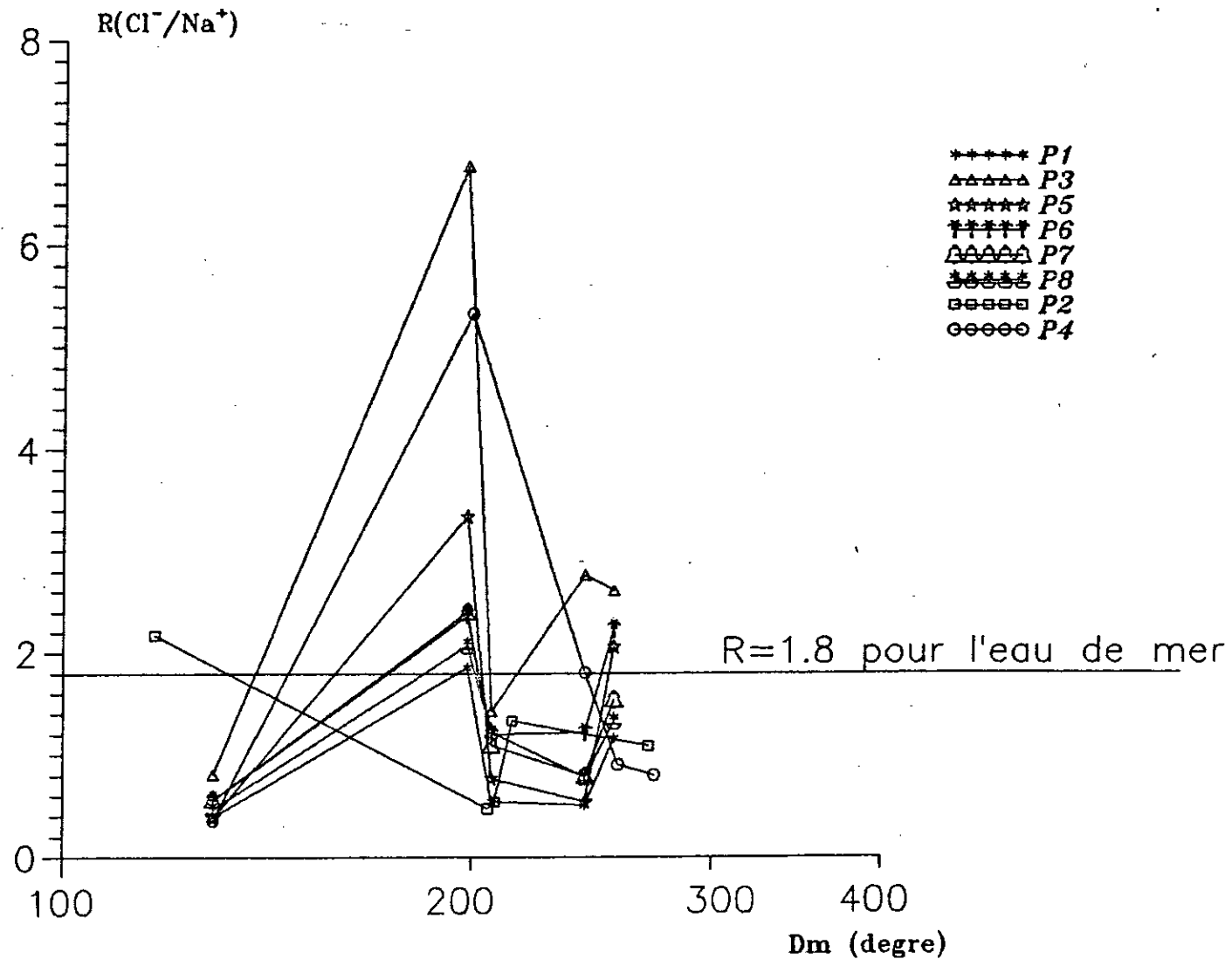


Figure 45

Variation du rapport(Cl^-/Na^+) en fonction
des Directions moyennes du Vent



Variation du rapport (Cl^-/Na^+) en fonction de la Vitesse moyenne du Vent

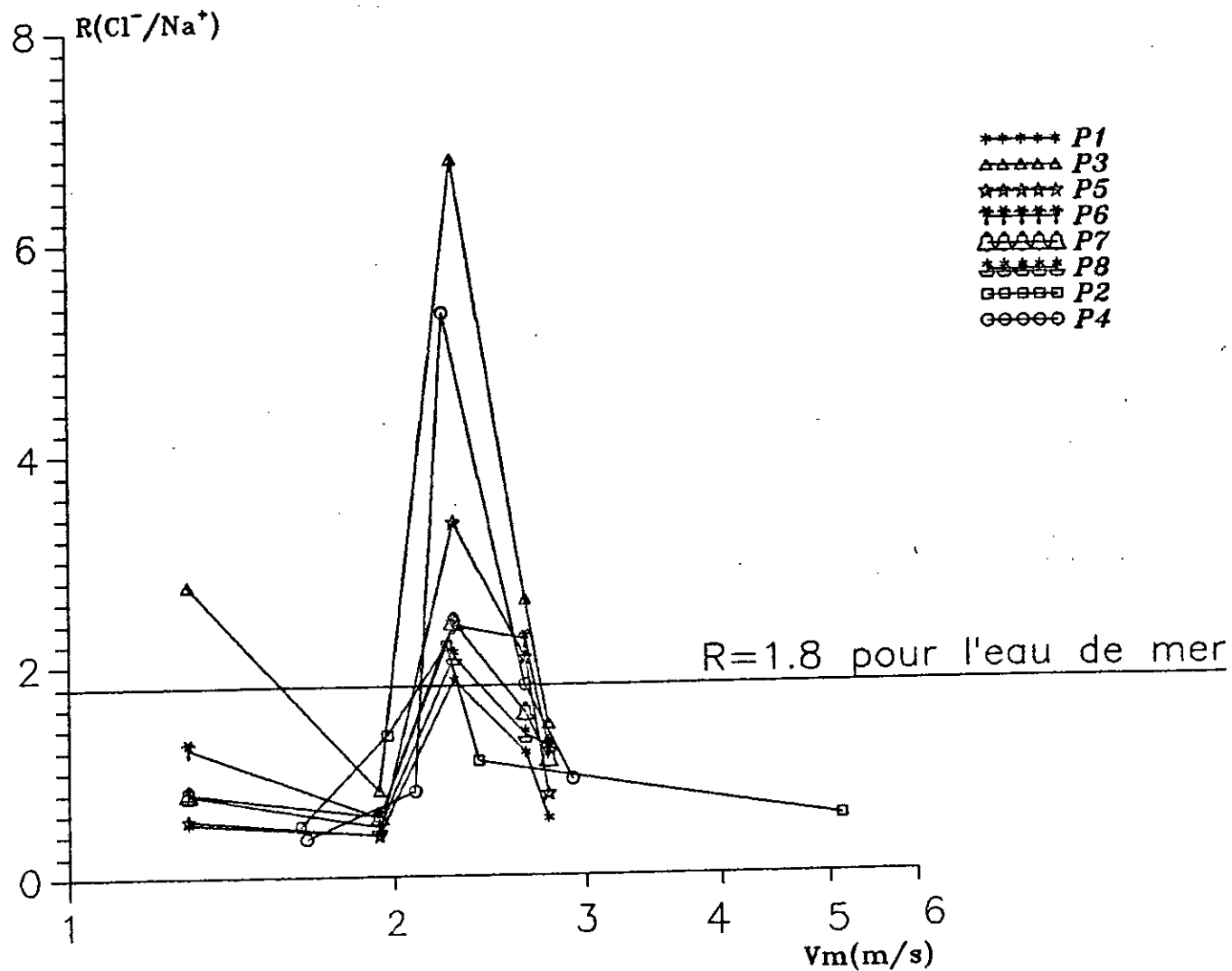


Figure 47

V - CONCLUSION

L'étude des retombées particulières effectuée en plusieurs sites à Alger, a permis d'évaluer l'état de pollution par celle-ci. Un intérêt particulier a été porté sur les dépôts de poussières émises par la cimenterie de Raïs Hamidou qui se trouve en plein centre urbain. Les résultats trouvés révèlent la présence d'une importante quantité de poussière déposée autour des deux cimenteries, atteignant par moment, les valeurs de $153\text{g/m}^2/\text{q}$ à Meftah, à Raïs Hamidou. Tandis que pour les deux postes situés à Cinq Maison (El Harrach) et au port d'Alger, on enregistre des teneurs maximales de $14\text{g/m}^2/\text{q}$ et $15\text{g/m}^2/\text{q}$ respectivement. Bien que, les dépôts à ces deux derniers postes paraissent faibles, elles sont en fait importants en tenant compte des normes internationales en vigueur, et des retombées enregistrées dans plusieurs pays développés.

La filtration des échantillons prélevés a permis de distinguer deux fractions de poussières déposées, l'une soluble et l'autre insoluble.

L'identification de la composition chimique de ces deux fractions a été effectuée par spectrométrie d'absorption atomique et par spectrophométrie de flamme. On note une forte présence de métaux alcalins et alcalino-terreux comparable à celle trouvée autour des régions industrielles dans le monde. Par contre, on observe des dépôts en métaux lourds très faible par rapport, aux dépôts des zones industrielles des pays développés.

Un essai de corrélation des résultats trouvés avec trois paramètres météorologiques, à savoir la pluviométrie, la vitesse et la direction du vent, a été effectué. Bien que les relations entre les dépôts polluants et la pluviométrie ou le vent ne sont pas concrètes.

Cependant on a procédé à une tentative d'interprétation des résultats trouvés en fonction des données météorologiques. Il ressort de cette étude que la pollution par les retombées de poussières est très importantes dans la région d'Alger. La source de cette pollution se trouve non seulement au niveau des cimenteries, des carrières, des chantiers de construction, de quelques industries mais aussi à cause de certaines mauvaises pratiques quotidiennes de la société et au phénomène de resuspension.

Il importe de poursuivre ce genre d'étude afin d'établir une carte de la pollution par les retombées particulières dans la région. Ceci permettra d'identifier les sources permanentes d'émission et de détecter toute nouvelle source, ainsi que l'émission de particules d'une autre nature et l'accroissement ou la diminution de celles-ci.

VI - BIBLIOGRAPHIE

- [1] A.ASSAILLY, les poussières, Que Sais-je, N° 717, 1956
- [2] A.C.Stern, Air Pollution, volume I, Academic Press, 1976.
- [3] J.P.DETRIE, la pollution atmosphérique, Dunod, Paris, 1969.
- [4] F.RAMADE, élément d'écologie: action de l'homme sur la biosphère, Mc Graw-Hill, Paris, 1982
- [5] K.W.Nicholson, A review of Particle Resuspension, Atmospheric Environment, N°12, Vol 22, 1988, pp 2639-2651
- [6] M.PAPADAKIS et al., Industrie de la chaux du Ciment et du Plâtre, Dunod, Paris, 1970
- [7] E.Olivier, Technologie des matériaux de construction, Tome I, Entreprise Moderne, Paris, 1978
- [8] Rapport de Production mensuelle, Service Contrôle Qualité. Département de Production Unité Meftah. Année 1989. Mois de Septembre.
- [9] Rapport de Production mensuelle, Service Contrôle Qualité, année 1992, mois de Juin, Unité Raïs Hamidou
- [10] Cité par W.H. Shroeder et al., The Fate of toxic airborne pollutants, Environmental Science and technology, N°3, Vol. 22, 1988, pp 240-246
- [11] Dr. Ernest Bovay, Effets de la pollution de l'air sur les plantes, "Problème derluftverunreinigung durch die Industrie", Vogt-Schild S.A, Suisse
- [12] F.RAMADE, Ecotoxicologie, Masson, Paris, 1979, pp 159-162
- [13] DERNOUMIA., A., EL Aïchia, contribution à l'évaluation de la pollution particulaire dans le grand Alger, memoire d'ingénieur, ENP, Alger, 1991
- [14] A.F.FISHER, Dustfall Measurements, APCA, N°1, Vol. 7, May 1957, pp 47-51
- [15] H.U.KHAN, Concentration Of Heavy Metals in Bangkok Metropolitan AREA, Environment Science and Health, A16 (6), 1981, pp 637-645
- [16] M.S.ABDELSALAM et M.A. Sawelim, Dust Deposits in the City of Cairo, Atmospheric Environment, Pergamon Press, Vol. 1, 1967, pp 211-220
- [17] J.USERO et I.GRACIA, Trace and major elements in Atmospheric deposition in the "Campo de Gibraltar Region, Atmospheric environment, N°8, Vol. 20, 1986, pp 1639-1646
-

Annexe II

Dosage des ions Chlorures

- Principe

Dosage du Chlore combiné à l'état de Chlorure par le nitrate d'argent, en présence de chromate de potassium comme indicateur.

- Reactifs

- 1- Carbonate neutre de calcium en poudre.
- 2- Acide nitrique ($\rho_{20} = 1.3.3$ g/ml) dilué au 1/10 où la masse de l'acide nitrique = 63,01 g
- 3- Chromate neutre de potassium : solution à 50g au litre
- 4- Permanganate de potassium : solution environ 0,1 N
- 5- Eau oxygénée à 3%
- 6- Solution titrée de nitrate d'argent.

Solution obtenue par dissolution de 4,791g de nitrate d'argent cristallisé dans un litre d'eau. 1ml de cette solution à 10g au litre dans l'alcool éthylique à 96°

Mode opératoire

- Préparation de la prise d'essai

le volume de la prise d'essai est fixé à 100 ml et la teneur en Chlorure doit être comprise entre 0,5 et 15mg (soit (à 150 mg/l)

Si la teneur de l'eau à analyser est inférieure à 5mg de Chlorure au litre, l'échantillon est concentré de façon à amener sa teneur entre 5 et 150mg de chlorure au litre, l'échantillon est dilué par addition d'eau distillée de façon à ramener sa teneur entre les limites précédemment indiquées.

- Essai à blanc

Le volume de nitrate d'argent nécessaire pour produire la teinte des virage est déterminé au préalable par un essai à blanc.

- Dosage

a) Eaux naturelles à la phénolphtaléine

Ajouter à la prise d'essai, 1ml de solution de chromate de potassium (3) doser avec le nitrate d'argent (6) jusqu'à virage de la coloration jaune à une très faible teinte brunâtre.

b) Eaux acides, de PH inférieur à 4

Neutraliser avec le moins possible de Carbonate de Calcium (1) environ 0,1g) jusqu'à neutralité (pH = 7 environ). Attendre quelques minutes après l'addition du Carbonate de Calcium car la réaction n'est pas immédiate. Continuer le dosage comme en a).

c) Eaux alcalines à la phénolphtaléine

Ajouter de l'acide nitrique dilué (2) jusqu'à décoloration de la phénolphtaléine (7). Eviter d'ajouter un excès d'acide et continuer le dosage comme en a).

d) Eaux contenant des sulfures ou des sulfites

Ces composés doivent être détruits par addition, goutte à goutte, d'une solution de Permanganate de potassium (4) jusqu'à coloration rose persistante. Rendre incolore par une goutte d'eau oxygénée (5) et continuer le dosage comme en a).

- Expression des résultats

soient :

v : le nbre de ml de solution de AgNO_3 (6) utilisé

b : le nbre de ml de solution de AgNO_3 consommé par l'essai à blanc

V : le nbre de ml de la prise d'essai (100ml)

K : un coefficient de la concentration dépendant de la [] (eaux contenant moins de 5 mg de Chlorure au litre) ou de la dilution (eaux contenant plus de 150 mg de Chlorure au litre) subie par l'échantillon lors de la concentration de préparation de la prise d'essai.

La teneur de l'eau en Chlorure sera donnée en milliéquivalent d'ion Cl^- au litre, par l'expression :

$$\frac{(v - b) \times 1000 \times 0,0282}{V \cdot k}$$

Soit $V = 100 \text{ ml}$

$$\frac{(v - b) \times 0,282 \text{ mé}}{k}$$

- Il est rappelé que

1 mé au litre = 35,5 mg au litre d'ion Cl^- .

1 mg au litre = 0,0282 mé au litre ou 0,1411'F.

Annexe III

Dosage des alcalins et alcalino-terreux par photométrie de flamme

Les atomes alcalins et alcalino-terreux, s'excitant facilement et à température relativement basse en émettant des raies intenses (doublés) situées dans la zone visible du spectre. C'est la raison pour laquelle l'analyse spectrographique a été appliquée aux alcalins d'une manière générale et que la photométrie de flamme par émission est d'emploi constant dans les laboratoires d'analyse.

- Dosage des éléments

- Lithéum, Sodium, potassium, Calcium

- Préparation de la solution de base des étalons des éléments Lithium, Sodium, Potassium, Calcium

- Solution d'étalonnage

- solution mère à 1g/l

- solution fille : 1,5,10, ppm

On place dans une série de trois fioles jaugées de 100 ml, 0,1 - 0,5 - 1ml de la solution mère ou de l'élément, compléter au trait de jauge avec de l'eau distillée. On obtient 1 - 5 - 10 ppm de l'élément.

Annexe IV

Dosage des éléments Fer, Cuivre, Zinc, Manganèse, plomb, magnésium, Nickel, par spectrométrie d'absorption atomique

Conditions opératoires

- appareil spectromètre d'absorption atomique muni de cathode Creuse spécifique pour chaque élément.

- solution d'étalonnage

- solution mère à 1g/l

- solution fille : 1 - 5 - 10 - ppm

- Les longueurs d'ondes des éléments sont:

- Plomb = 283,3 nm

- Zinc = 213,9 nm

- Nickel = 232,0 nm

- Manganèse = 285,2 nm

- Magnesium = 279,5 nm

- Cuivre = 324,8 nm

- Fer = 248,3 nm

Annexe V

Méthode de calcul des fréquences des classes des directions du vent

- Les classes des directions du vent sont :

- 0 - 90 degré = 1^{ère} classe
- 90 - 180 degré = 2^{ème} classe
- 180 - 270 degré = 3^{ème} classe
- 270 - 360 degré = 4^{ème} classe

Pour chaque quinzaine, on compte le nombre de fois l'apparition de direction dans la 1^{ère} classe. Le procédé est le même pour les trois autres classes. On les notera respectivement

$n_1 - n_2 - n_3 - n_4$.

- Calcul des direction moyennes du vent : D V %

$$DV_1 \% = \frac{n_1}{n_1 + n_2 + n_3 + n_4} \times 100$$

$$DV_2 \% = \frac{n_2}{n_1 + n_2 + n_3 + n_4} \times 100$$

$$DV_3 \% = \frac{n_3}{n_1 + n_2 + n_3 + n_4} \times 100$$

$$DV_4 \% = \frac{n_4}{n_1 + n_2 + n_3 + n_4} \times 100$$

De chaque classe de direction, on prend la direction médiane comme direction représentative de la classe en question. Et ce afin de pouvoir calculer la direction moyenne du vent qui a dominé durant une quinzaine.

- Pour chaque quinzaine, le calcul sera comme suit :

$$\text{Direction DV (degré)} = \frac{DV_1 \times 45^\circ + DV_2 \times 135^\circ + DV_3 \times 225^\circ + DV_4 \times 315^\circ}{100}$$

Méthode de calcul des fréquences des classes de vitesse du vent

- Les classes des vitesses du vent :

$$VV \left\{ \begin{array}{l} 0 \text{ --- } 1 \text{ m/s} = 1^{\text{ère}} \text{ classe} \\ 1 \text{ --- } 2 \text{ m/s} = 2^{\text{ème}} \text{ classe} \\ 2 \text{ --- } 3 \text{ m/s} = 3^{\text{ème}} \text{ classe} \\ > 3 \text{ m/s} = 4^{\text{ème}} \text{ classe} \end{array} \right.$$

Pour chaque quinzaine, on compte le nombre de fois l'apparition de vitesse dans la 1^{ère} classe. Le procédé est le même pour les trois autres classes.

- Calcul des vitesses moyennes du vent : $VV\%$

$$VV_1 (\%) = \frac{n_1}{n_1 + n_2 + n_3 + n_4} \times 100$$

$$VV_2 (\%) = \frac{n_2}{n_1 + n_2 + n_3 + n_4} \times 100$$

$$VV_3 (\%) = \frac{n_3}{n_1 + n_2 + n_3 + n_4} \times 100$$

$$VV_4 (\%) = \frac{n_4}{n_1 + n_2 + n_3 + n_4} \times 100$$

De chaque classe de vitesse, la vitesse moyenne est prise comme vitesse représentative pour le calcul des vitesses moyennes du vent durant une quinzaine.

Celle-ci sont calculées par la relation suivante:

$$VV \text{ (m/s)} = \frac{VV_1 \times 0,5 + VV_2 \times 1,5 + VV_3 \times 2,5 + VV_4 \times 3,5}{100}$$
