

وزارة التربية الوطنية
MINISTERE DE L'EDUCATION NATIONALE

ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

المدرسة الوطنية المتعددة التخصصات
المكتبة
BIBLIOTHEQUE
Ecole Nationale Polytechnique

DEPARTEMENT GENIE DE L'ENVIRONNEMENT

PROJET DE FIN D'ETUDES

SUJET

ETUDE

DE LA DISPERSION DES POUSSIÈRES
DES CIMENTERIES

(CIMENTERIE DE RAIS-HAMIDOU)

Proposé par :
Pr. R. KERBACHI

Etudié par :
A. BENHABILES

Dirigé par
Pr. R. KERBACHI

PROMOTION
1993

DEDICACES

À tous ceux qui ont contribué, de près ou de loin, à la réalisation de cet ouvrage.

À ma mère, mon père, Hayat et Babette avec ma plus profonde affection.

À mes amis Yakout, Samir, Foued, Rachid, Nabil et tous les autres avec ma plus grande considération.

À tous ceux que j'aime ...

===== 0 =====

Ce travail a été effectué, en majeure partie, au Département de Génie d'Environnement de l'Ecole Nationale Polytechnique d'Alger sous la direction et le contrôle de Monsieur KERBACHI.R., professeur au département de Génie de l'Environnement.

Je tiens à exprimer, tout particulièrement, mon profond respect et ma sincère gratitude à Monsieur KERBACHI pour l'intérêt et le suivi réguliers qu'il a apporté à mon travail sans oublier les connaissances qu'il m'a communiqué.

===== 0 =====

REMERCIEMENTS

Pendant toute la période de réalisation de ce mémoire plusieurs difficultés sont apparues, et, sans l'aide d'un bon nombre de personnes, je crois que je n'aurais jamais pu les surmonter aussi rapidement.

C'est pour cela que je tiens à remercier :

- Tout d'abord, et tout particulièrement, mon ami Foued qui a toujours été présent lorsque j'ai eu besoin de ses services.

Je lui suis profondément reconnaissant.

- Noureddine, Samir, Rachid, Yakout et Karima qui m'ont, eux aussi, beaucoup aidé.

Ma reconnaissance va, enfin, à Messieurs Ainouche de l'E.P.E.A.L. et Houas de l'A.N.P.E., qui m'ont permis d'avancer considérablement dans mon travail, ainsi qu'à Lamine pour m'avoir permis de placer une jauge de sédimentation dans la cité fermée où il habite.

A tous : Merci !

SOMMAIRE

I - INTRODUCTION	1
II - GENERALITES SUR LA POLLUTION PARTICULAIRE	2
II-1 - INTRODUCTION	2
II-2 - ORIGINES DES PARTICULES SOLIDES	2
II-2-1 - LES PARTICULES D'ORIGINES NATURELLES	2
a. LES PARTICULES ISSUES DE LA DECOMPOSITION DU SOL	2
b. LES PARTICULES PROVENANT DES FEUX DE FORETS ET DE PRAIRIES	2
c. LES PARTICULES PROVENANT DES EMBRUNS MARINS	3
d. LES CENDRES VOLCANIQUES	3
e. LES PARTICULES D'ORIGINE VEGETALE	3
f. LES POUSSIERES D'ORIGIE EXTRA-TERRESTRE	3
II-2-2 - LES PARTICULES D'ORIGINES ANTHROPOGENIQUES	4
a. L'INDUSTRIE SIDERURGIQUE	5
b. L'INDUSTRIE DES METAUX NON FERREUX	5
c. INDUSTRIE DE LA CERAMIQUE	5
d. LES PARTICULES ISSUES DU TRAFIC ROUTIER	6
e. L'INDUSTRIE DE FABRICATION DU CIMENT	6
f. LES POUSSIERES RADIOACTIVES	6
g. ACTIVITES DIVERSES	6
II-3 - PROPRIETES PHYSICO-CHIMIQUES DES PARTICULES SOLIDES	7
II-3-1 - DIMENSIONS DES PARTICULES ATMOSPHERIQUES	7
II-3-2 - DISTRIBUTION GRANULOMETRIQUE DES POUSSIERES	9
II-3-3 - SEDIMENTATION DES PARTICULES - DEPOTS SECS ET HUMIDES	11

III- LA FABRICATION DU CIMENT ET LA POLLUTION PARTICULAIRE	12
III-1 - LE CIMENT ET SA FABRICATION	12
III-2 - POLLUTION PARTICULAIRE DUE AUX CIMENTERIES	13
III-2-1 - AU NIVEAU DE LA CARRIERE	13
III-2-2 - AU NIVEAU DU TRANSPORT	13
III-2-3 - AU NIVEAU DE L'USINE DE FABRICATION	14
III-2-4 - AU NIVEAU DE LA LIVRAISON DU CIMENT	15
III-3 - COMPOSITION DES POUSSIÈRES EMISES	15
III-4 - LA CIMENTERIE DE RAIS-HAMIDOU	17
III-5 - LES SYSTEMES DE DEPOUSSIERAGE DANS LES CIMENTERIES	18
IV- PRINCIPALES INFLUENCES DES FACTEURS METEOROLOGIQUES SUR LA DISPERSION DES POLLUANTS	22
IV-1 - LE VENT	22
IV-2 - LA TEMPERATURE	22
IV-3 - LES PRECIPITATIONS	23
V - EFFETS DE LA POLLUTION PARTICULAIRE	25
V-1 - EFFETS SUR LES HOMMES	25
V-1-1- LES ALLERGIES	28
V-1-2- CARCINOMES PULMONAIRES	28
V-1-3- SILICOSE ET ASBESTOSE	28
V-2 - EFFETS SUR LES VEGETAUX	28
V-3 - EFFETS SUR LES MATERIAUX	28
V-3-1- DEGRADATIONS DES FACADES, BITUMES ET PEINTURES	28
V-3-2- DEGRADATION DES MATERIAUX DANS L'INDUSTRIE	28
V-4 - EFFETS SUR LES FACTEURS CLIMATIQUES	29

VI- PRELEVEMENTS ET METHODES D'ANALYSE DES RE DE RAIS-HAMIDOU	30
VI-1 - METHODE PRELEVEMENT	30
VI-2 - SITES DE PRELEVEMENTS	31
VI-3 - METHODES D'ANALYSE DES ECHANTILLONS	31
VI-4 - EXPRESSION DES RESULTATS	31
VII - RESULTATS ET INTERPRETATIONS	33
VII-1- LES RETOMBEES PARTICULAIRES	33
VII-2- ETUDE CHIMIQUE DES DEPOTS	42
VII-2-1 - pH DES FRACTIONS SOLUBLES	42
VII-2-2 - TENEURS DES RETOMBEES EN ELEMENTS CHIMIQUES	42
VII-2-2-1 - LES ELEMENTS MAJEURS	42
VII-2-2-2 - LES RETOMBEES EN METAUX LOURDS	50
VII-2-3 - NORMES DE RETOMBEES METALLIQUES DANS D'AUTRES PAYS	50
CONCLUSION	57
BIBLIOGRAPHIE	58

I - INTRODUCTION :

La pollution de l'atmosphère n'est qu'une des manifestations de la dégradation de l'environnement. Cependant, elle a une particularité importante : elle menace l'élément le plus précieux à la vie, l'air.

A l'inverse des problèmes, plus ou moins régionaux, liés à la pollution des eaux et aux rejets de déchets toxiques, la pollution de l'air se caractérise par ses phénomènes de diffusion et de transport transfrontaliers.

Ces caractéristiques font en sorte que les atteintes à la qualité de l'air sont toujours perçues comme une menace directe pour notre santé et notre bien-être.

Malgré une prise de conscience réelle (Sommet de Rio 1992) et malgré tous les efforts investis, le domaine de la pollution atmosphérique reste complexe et nous sommes encore loin de pouvoir analyser exactement tous les phénomènes impliqués et d'en prévoir les conséquences. Ainsi, par exemple, on n'est toujours pas arrivé à déterminer si l'augmentation des teneurs en particules engendre un réchauffement ou un refroidissement de la planète.

D'autres thèmes comme le trou d'ozone ou l'effet de serre restent, eux aussi, controversés. Une chose est cependant certaine, l'atmosphère où nous vivons reçoit des composés potentiellement dangereux, en quantités de plus en plus importantes, dûs essentiellement aux activités humaines. Aussi, une surveillance constante de l'évolution de la qualité de l'air est plus que nécessaire pour évoluer l'effet des mesures préventives. Dans ce contexte, il faut signaler que les moyens technologiques de prévention ont connu ces dernières années des développements importants qui font que les cimenteries n'émettent plus (normalement) de poussières et que le plomb dans l'air tend vers une disparition pur et simple.

Ce n'est malheureusement pas le cas de notre pays où la pollution est souvent visible à l'œil nu.

Une des formes de cette pollution est la contamination de l'atmosphère par les poussières émises dans la région urbaine de Rais-Hamidou à l'Ouest d'Alger. Issues de la cimenterie implantée dans cette zone, ces poussières sédimentent après un certain temps et forment ce qu'on appelle les retombées particulières.

C'est l'étude de ces retombées particulières qui fera l'objet de notre travail. Cette étude portera essentiellement sur les points suivants :

- L'évaluation de retombées au niveau de différents sites à Rais-Hamidou et délimitation de la zone contaminée.
- L'étude chimique des retombées.
- L'influence des facteurs météorologiques.
- Comparaison avec d'autres pays.

II - GENERALITES SUR LA POLLUTION PARTICULAIRE :

II-1 - INTRODUCTION :

Les poussières emportées par les vents qui balayent constamment notre planète ont toujours existé. Et déjà, n'étant qu'enfants, nous avons pu reconnaître la présence de particules en suspension grâce au jeu de faisceaux de lumière pénétrant dans une chambre, c'est dire que la pollution particulaire a toujours existé et qu'elle ne s'est qu'amplifiée avec le développement industriel. Bien qu'elle ne représente pas un concept scientifique nouveau, son étude demeure toutefois complexe et son impact n'est souvent pas clairement élucidé.

Les difficultés résultent du caractère hétérogène des particules, de la diversité des sources, de leur composition chimique et de leur état physique. Leurs comportements dans l'atmosphère et leurs propriétés catalytiques (Interactions gaz-solides) sont, par ailleurs, conditionnés par leur taille (granulométrie) et par les conditions météorologiques. Selon leur source, ces poussières peuvent être viables ou non, viables, nuisibles ou inertes.

II-2 - ORIGINE DES PARTICULES SOLIDES :

II-2-1 - LES PARTICULES D'ORIGINES NATURELLES :

On distingue, en général, les sources suivantes [1] :

a. LES PARTICULES ISSUES DE LA DECOMPOSITION DU SOL :

Le vent dissocie les couches superficielles du sol (Erosion éolienne) et les disperse à l'état de poussières.

Les poussières sont déplacées suivant les directions et vitesses des vents. En absence de végétation, cette source peut prendre une ampleur considérable (Cas des déserts).

Certaines particules, les plus fines, peuvent être soulevées en nuages de poussières pouvant monter jusqu'à 3000m d'altitude.

Ces nuages se retrouveront dans les précipitations donnant lieu à des pluies de poussières ou de boue.

b. LES PARTICULES PROVENANT DES FEUX DE FORETS ET DE PRAIRIES :

La foudre peut donner naissance à des feux de forêts s'étendant parfois sur plusieurs kilomètres.

Ces feux produisent d'énormes quantités de noyaux de condensation. Les suies et substances végétales carbonisés seront entraînés sur de longues distances.

Les surfaces non reboisées entraînent de nouveau l'érosion éolienne.

c. LES PARTICULES PROVENANT DES EMBRUNS MARINS :

Les brumes et les embruns venant des mers et océans apportent dans l'atmosphère continentale des cristaux de sels qui s'agglomèrent en noyaux de condensation.

Ces sels sont, en général, du chlorure de sodium (NaCl), du chlorure de magnésium (MgCl₂), du chlorure de calcium (CaCl₂) ou du bromure de potassium (KBr).

On estime, par exemple, qu'en régions côtières de Bretagne, les embruns marins déposent au sol annuellement 25 à 35 grammes de sel par m². [1]

d. LES CENDRES VOLCANIQUES :

Dès nuages se forment lors de la projection, dans l'atmosphère, de laves pulvérisées provoquée par des éruptions violentes de volcans.

Les nuages peuvent rester longtemps en suspension et parcourir des milliers de kilomètres.

L'éruption du Mont-Saint-Helens (Etat de Washington - Etat Unis d'Amérique), en mai 1980, a été accompagnée de l'émission de près de 3.10⁹ tonnes de particules dont 1,4.10⁶ tonnes se perdirent dans la stratosphère provoquant une baisse de 10% de la transparence atmosphérique pendant plusieurs mois. [2]

e. LES PARTICULES D'ORIGINE VEGETALE :

Ces particules peuvent être du pollen ou des spores. Les grains de pollen sont des pneumallergènes puissants. Ils peuvent provoquer chez l'être humain des réactions individuelles de gravité variable.

Pour ce qui est des spores, ils se retrouvent dans l'atmosphère jusqu'à une altitude de 1600m environ. Ils proviennent de plantes tels que fougères, mousses, champignons. Les spores de champignons sont permanents dans l'atmosphère à moins de 45 mètres d'altitude avec des concentrations maximales pendant les mois de Juillet et d'Août. [1]

f. LES POUSSIÈRES D'ORIGINE EXTRA-TERRESTRE :

Quelques milliers de tonnes (10000 tonnes environ) de poussières d'origine extraterrestre sont captés quotidiennement par la terre. Il s'agit de petites particules cosmiques, provenant des météorites, composées essentiellement de Sodium, Magnésium, Calcium, ...

On estime globalement les émissions d'origine naturelle en particules solides à quelques 2.10⁵ tonnes par an.

Leur taux de production selon la source est résumé dans le tableau N° 1. [3]

Sources	Production [10 ⁹ Kg/an]	Pourcentage du total
Aérosol marin	908	44
Nitrates	390	18
Ammonium	245	11
Sulfates	182	9
Erosion du sol	182	9
Volcans	4	/
Feux de forêts	3	/

Tableau N° I : Production de particules d'origine naturelle.

II-2-2 - PARTICULES D'ORIGINES ANTHROPOGENIQUES : [1],[2],[4],[5]

Bien qu'une certaine quantité de particules, tels les aérosols, proviennent des combustions, la majorité d'entre elles ont une autre origine.

La sidérurgie, les industries extractives, les cimenteries et les grands travaux de génie civil constituent les principales sources de production de poussières.

Les poussières recueillies en zones industrielles se composent essentiellement de substances minérales telles que Quartz, Calcite, Feldspath, Gypse, Anhydrite et Asbeste (Variété de l'amiante). En outre, les poussières renferment un grand nombre de métaux, soit sous forme de sels ou d'oxydes, soit à l'état pur. [4]

Ces poussières d'origines artificielles ne représentent qu'environ 11% des poussières naturelles mais leurs émissions sont souvent localisées sur des zones fortement habitées (Milieu urbain, Zone industrielle, etc ...).

Comme le montre le tableau II, sur les 0,27.10⁹ tonnes produites annuellement, les 2/3 sont produites dans l'atmosphère via les réactions chimiques que provoquent les gaz polluants.

TABLEAU II : REPARTITION DES EMISSIONS DE PARTICULES ANTHROPOGENIQUES SELON LES SOURCES [3]

Sources	Production [Kg/an]
Emission sous forme de particules	84.10 ⁹
Particules formées des gaz polluants :	
- Sulfates de SO ₂	133.10 ⁹
- Nitrates de NO _x	27.10 ⁹
- particules photochimiques issues des hydrocarbures	25.10 ⁹
Total	269.10⁹

a. L'INDUSTRIE SIDERURGIQUE :

L'industrie sidérurgique est une source considérable d'émission de poussières. Ces poussières sont de composition chimique variable et de granulométrie diverse allant de 10 à 100 μ suivant les procédés utilisés.

Elles sont émises lors de combustions mais aussi aux différents stades suivants : [1]

- Manutentions et stockage de matières premières.
- Préparation du minerai.
- Agglomération du minerai.
- Procédés sidérurgiques à l'oxygène.
- Aciéries Martin.
- Convertisseurs soufflés par le fond.

b. L'INDUSTRIE DES METAUX NON FERREUX :

Dans l'industrie des métaux non ferreux tels que le Zinc, le Cuivre et le Plomb, les diverses opérations de grillage, de raffinage et de fusion dans les fours provoquent des émissions de vapeurs métalliques qui se répandent dans l'atmosphère, s'oxydent et se subliment en fines particules qui peuvent sédimenter ou rester en suspension.

Les opérations de finissage telle que le retailage, le polissage, le décapage et dessablage sont elles aussi à l'origine d'émissions de particules métalliques.

c. INDUSTRIE DE LA CERAMIQUE :

Si le broyage et la pulvérisation des matières premières se fait, aujourd'hui, en vase clos (et ne représentent donc plus de dangers de pollution), le finissage des pièces, lui, se fait au papier de verre.

De plus, entre les (2) deux cuissons que subissent les pièces durant leur préparation, elles sont époussetées au plumbeau.

L'empoussiérage reste donc important malgré une ventilation aspirante.

La silicose est une maladie très présente dans une telle industrie. [2]

d. LES PARTICULES ISSUES DU TRAFIC ROUTIER :

Les particules issues du transport se composent principalement :

- Des suies : Ce sont des particules de carbone et d'imbrûlés dénommées "Fumées noires" qui sont dues à la combustion incomplète.
- Des hydrocarbures polynucléaires présents dans le carburant lui même ou synthétisés lors de la combustion. Malgré leur très faible proportion, ils présentent de l'importance car ils exercent des effets cancérogènes.
- Des particules métalliques issues de l'usure des moteurs, des pneus et des plaquettes de freins (Fe, Al, Cr, Cd, et fibres d'amiante).
- Et surtout du plomb ajouté aux carburants comme anti-détonnant.

Aux U.S.A. et en Grande Bretagne, environ 16% de la production globale de plomb est utilisée comme additif dans l'essence, soit 227.10^3 kg/an et 56.10^3 kg/an de plomb alkyle pour les deux pays respectivement.

On estime, d'autre part, que par litre d'essence consommé, un véhicule émet 0,2 gramme de plomb.

Globalement on a évalué la pollution particulaire due au trafic routier à 0,36 gramme par kilomètre parcouru. [3]

e. L'INDUSTRIE DE FABRICATION DE CIMENT :

Les cimenteries émettent des quantités considérables de poussières. Leur présentation détaillée fera l'objet d'un chapitre ultérieur.

f. LES POUSSIÈRES RADIO-ACTIVES :

Elles peuvent résulter des explosions nucléaires. En effet, ce genre d'explosion est suivi de la formation d'un énorme nuage riche en corps radio-actifs.

Le problème de poussières radio-actives s'est amplifié ces dix dernières années par la multiplication en Europe de centrales nucléaires qui génèrent des émanations et des résidus nucléaires difficiles à maîtriser.

Rappelons, dans ce contexte, le récent accident de Tchernobyl (U.R.S.S.) où la radioactivité a atteint des zones éloignées tel le sud de la France.

g) ACTIVITES DIVERSES :

Il existe naturellement plusieurs autres sources fixes, diffuses ou mobiles, qui contribuent à des émissions de poussières.

L'incinération des résidus émet des métaux lourds toxiques tel que le Pb, Cr, Cd, Hg et l'As, provenant des câbles, des batteries, des boîtes de conserve, des peintures, des thermomètres, etc...

Les activités personnelles, ménagères et domestiques, tels que le jardinage, le grille, les petits feux, etc... sont aussi des sources non négligeables de pollution.

On estime que, par ces émissions, une famille américaine de 4 personnes évacue dans l'atmosphère 72 Kilogrammes de particules par an. [6]

II-3 - PROPRIETES PHYSICO-CHIMIQUES DES PARTICULES SOLIDES :

Les transports de la phase particulaire, ses transformations dans l'atmosphère (agglomérations) et ses effets nuisibles dépendent de sa granulométrie.

II-3-1 - DIMENSIONS DES PARTICULES ATMOSPHERIQUES :

Les particules solides que peut véhiculer une atmosphère se divisent grossièrement en particules sédimentables de diamètre supérieur à 5μ , et en particules fines ou en suspension, non sédimentables, leurs taille est souvent inférieur à 1μ . [7]

Les particules sédimentables se localisent généralement dans les basses couches de l'atmosphère et retombent plus ou moins rapidement dans les environs de leur source d'émission.

Les particules fines, par contre, sont soumises à un mouvement Brownien qui augmente la diffusion et réduit fortement la sédimentation.

Après un séjour plus ou moins long dans l'atmosphère, ces particules sont ramenées au sol par les pluies et l'agglomération due aux phénomènes électrostatiques.

Nous résumons dans la figure N° 1 les tailles moyennes de particules atmosphériques selon leur nature. [8]

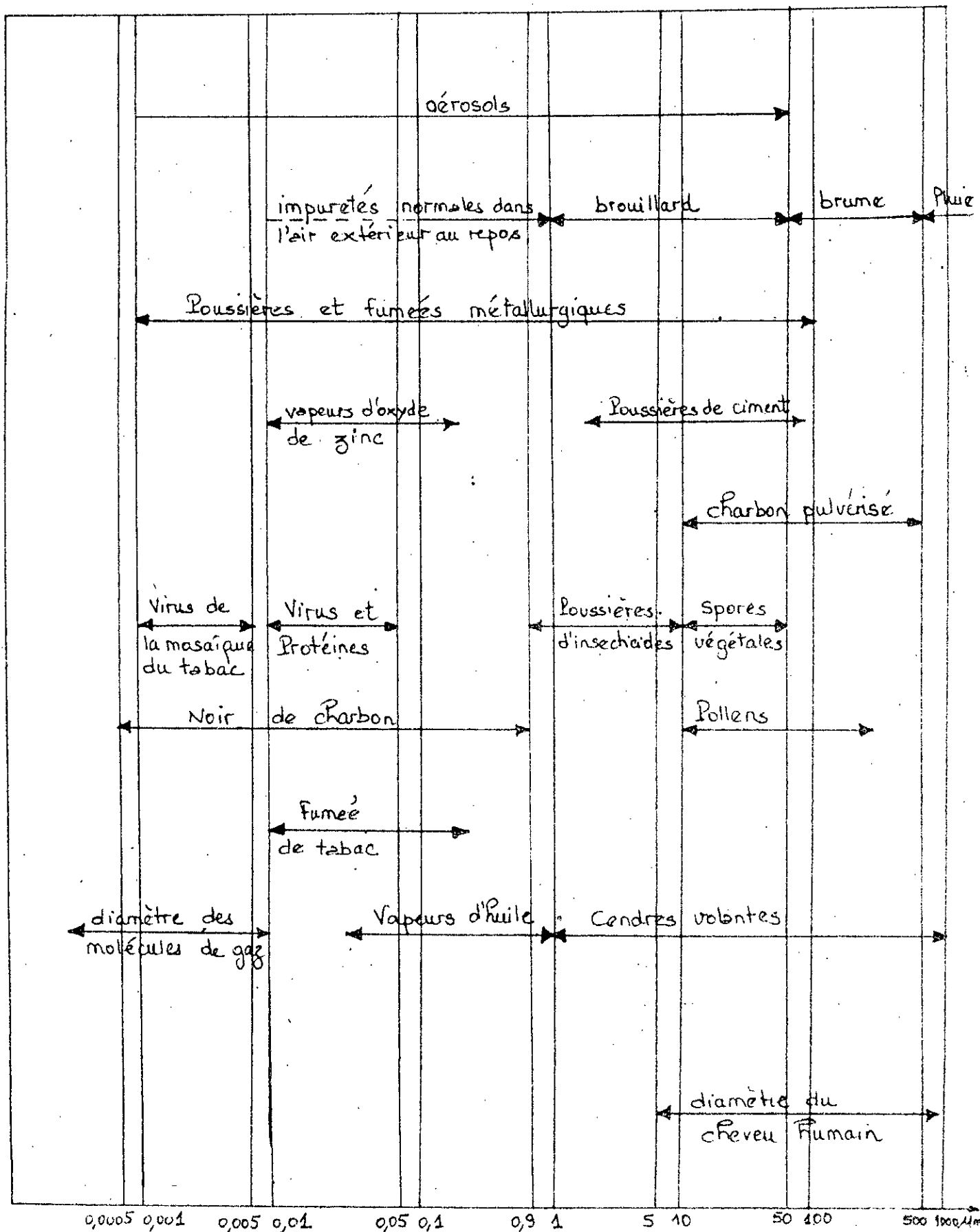


FIGURE N° 1 : TAILLE MOYENNE DES PARTICULES ATMOSPHERIQUES SELON LEUR NATURE

Le tableau N° III illustre la répartition granulométrique de quelques poussières industrielles. [1]

Tranches	Gaz de combustions charbon sur grille mécanique (%)	Gaz de combustion chaufferie 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	/	/	/	/
Total	100	100	100	100	100

(1) : Dont 10 % < 1 μ
 38 % de 1 à 3 μ
 20 % de 3 à 5 μ

TABLEAU N° III : REPARTITION GRANULOMETRIQUE DE QUELQUES POUSSIÈRES INDUSTRIELLES

Selon leur diamètre, les particules peuvent être visualisées, soit à l'œil nu (Diamètre > 10 μ), soit au microscope (Diamètre > 1 μ), soit au microscope électronique (0,01 < diamètre < 1 μ).

II-3-2 - DISTRIBUTION GRANULOMETRIQUE DES POUSSIÈRES : [1]

Le spectre granulométrique d'une poussière est la répartition des particules en liaison avec une valeur qui les caractérise.

Après une analyse granulométrique quelconque, les résultats peuvent être représentés comme indiqué sur la figure N° II.

Les poids P1, P2, etc... sont supposés se reporter aux particules moyennes $(r_0 + r_1)/2$, $(r_1 + r_2)/2$, etc ...

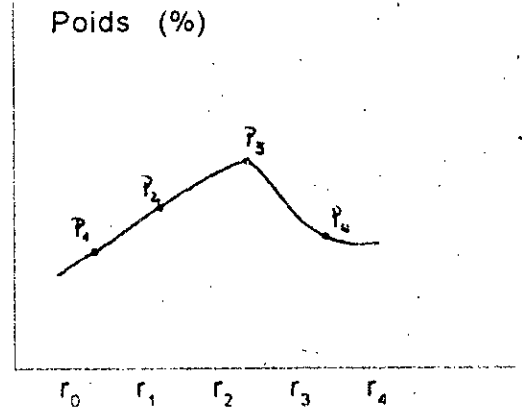
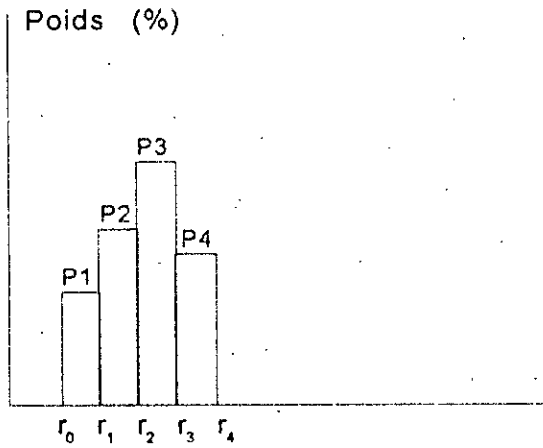


FIGURE N° II : EXEMPLES DE REPRESENTATIONS GRAPHIQUES D'ANALYSE GRANULOMETRIQUE

Une courbe cumulative peut être obtenue en portant les rayons en abscisse et les pourcentages en poids des particules supérieures (ou inférieures) au rayon correspondant en ordonnée.

L'allure générale des courbes cumulatives est donnée par la figure. N° III.

Le point d'inflexion I correspond à la particule de plus grande probabilité.

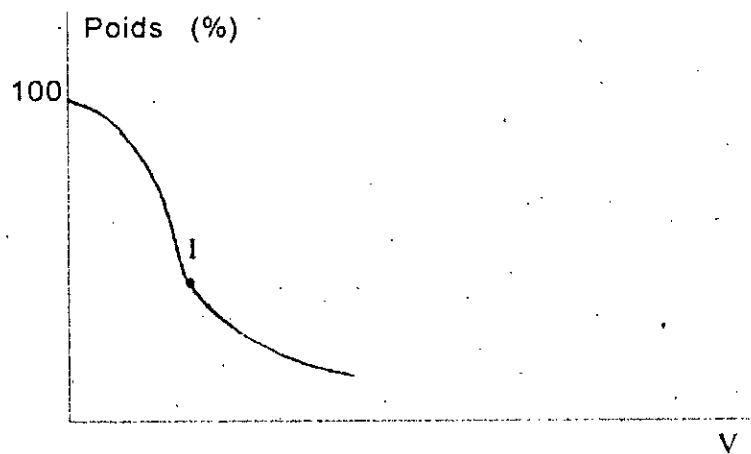


FIGURE N° III : COURBE CUMULATIVE D'ANALYSE GRANULOMETRIQUE

II-3-3. - SEDIMENTATION DES PARTICULES DEPOTS SECS ET HUMIDES: [2]

L'élimination des particules de l'atmosphère peut se faire de deux façons différentes : En dépôt sec ou en dépôt humide.

Les dépôts secs se font sans l'aide des précipitations. Ce sont des transferts directs des particules de l'air vers la surface du sol.

Les dépôts humides, eux, renferment tous les processus par lesquels les polluants en suspension sont transférés à la surface du sol sous une forme aqueuse.

La connaissance de ces deux processus de dépôt et de leurs vitesses relatives est déterminante pour l'étude des concentrations et des temps de séjour des polluants dans l'air et pour la connaissance de leur impact sur les écosystèmes terrestres et aquatiques.

Mathématiquement, le dépôt sec s'exprime par la relation empirique :

$$Dd = Vd \cdot Ca \quad [3]$$

Vd : Flux de dépôt (g/cm²/s)

Ca : Concentration au niveau du sol de la substance dans l'air (g/cm³/s).

Il représente jusqu'à 80 à 90% des retombées totales.

Concernant les dépôts humides, l'un des principaux processus contribuant à l'élimination des particules de l'atmosphère est le mouvement Brownien.

Une approche empirique, Pour calculer le dépôt humide, utilise le rapport de lavage défini comme suit :

$$W = C_p f_p / C_a \quad [9]$$

C_p : Concentration du polluant dans les précipitations.

f_p : Densité de l'air.

C_a : Concentration des polluants dans l'air.

On a dans ce contexte montré que c'est durant les premières minutes de précipitation que le lessivage est le plus important.

SEDIMENTATION : [3]

La loi de Stokes peut être appliquée dans la collection des particules qui sédimentent grâce à leur poids dans une atmosphère calme.

La vitesse de chute est régie par l'équation :

$$6\pi \eta r V_s = \frac{4}{3} \pi r^3 (\rho_p - \rho_a) g$$

η : viscosité de l'air

r : rayon de la particule

ρ_p et ρ_a : respectivement densité de la particule et de l'air.

Lorsque ρ_p et ρ_a sont telles que $\rho_p > \rho_a$, la vitesse de chute est :

$$V_s : 2g \rho_p \cdot r^2 / 9\eta$$

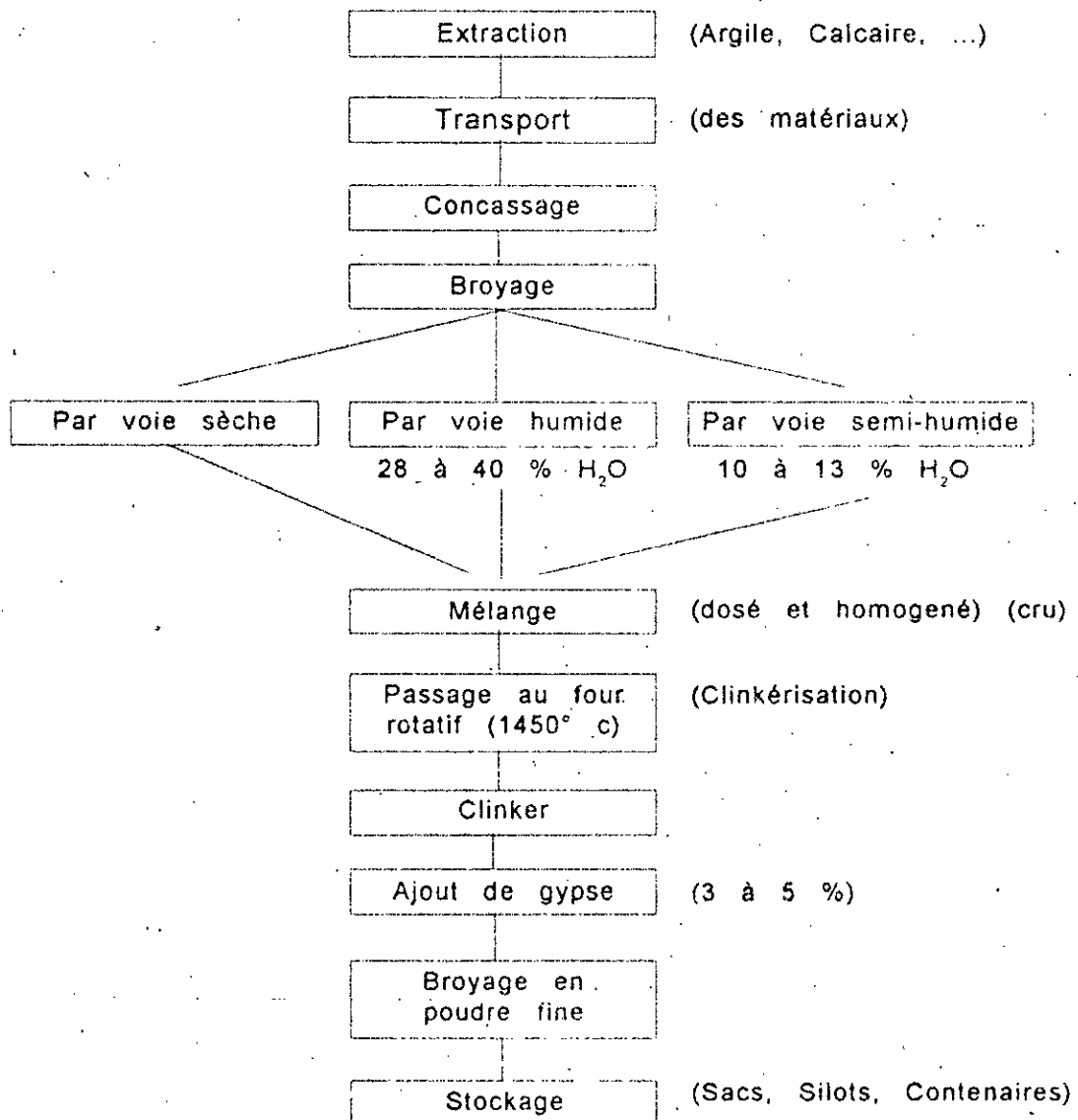
Cette équation régit la sédimentation naturelle des poussières.

III - LA FABRICATION DU CIMENT ET LA POLLUTION PARTICULAIRE :

III-1 - LE CIMENT ET SA FABRICATION : [10],[11]

Les ciments sont des poudres fines obtenues par broyage et cuisson à haute température (1450° c) d'un mélange minéral (Calcaire plus argile en général).

Ils font partie des liants hydrauliques utilisés comme matériaux de construction. Le procédé de fabrication du ciment peut être schématisé comme suit :



Le clinker, qui est obtenu par cuisson jusqu'à fusion partielle (Clinkérisation) du mélange calcaire-argile dosé et homogénéisé, contient essentiellement de la chaux (CaO), de la silice (SiO₂) et de l'alumine (Al₂O₃). Il se présente sous forme de grains de 0,5 à 3cm de diamètre.

C'est ce clinker qui, après broyage en présence d'un peu de sulfate de chaux (Gypse) jouant le rôle de régulateur dans les portlands, confère aux ciments de ce groupe leurs propriétés caractéristiques. Les quatres (04) constituants principaux du clinker sont :

- Silicate tricalcique : SiO₂, 3CaO symbolisé C₃S.
- Silicate bicalcique : SiO₂, 2CaO symbolisé C₂S.
- Aluminate tricalcique : Al₂O₃, 3CaO symbolisé C₃A.
- Alumino ferrique tétracalcique : 4CaO, Fe₂O₃, Al₂O₃ symbolisé C₄AF.

Avant clinkérisation, le minerai de ce port doit satisfaire dans le cas du ciment portland les proportions suivantes :

$$\frac{\text{CaO}}{\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3} \approx 1,7 \text{ à } 2,2$$

et

$$\frac{\text{SiO}_2}{\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3} \approx 2,0 \text{ à } 2,5$$

D'autres composés comme le laitier de hauts fourneaux ou les cendres volantes peuvent être ajoutés pour obtenir des ciments spéciaux.

III-2 - POLLUTION PARTICULAIRE DUE AUX CIMENTERIES : [1],[2]

Les cimenteries ont toujours été connues comme étant émettrices de poussières donnant souvent un aspect typique à la campagne environnante.

Pratiquement, toutes les étapes du procédé de production sont génératrices de poussière. Pour produire une tonne de ciment, il faut extraire, transporter, broyer et transformer environ 3 tonnes de matière première.

Aux divers stades de production, les émissions se résument comme suit :

III-2-1 - AU NIVEAU DE LA CARRIERE :

L'emploi des explosifs, l'extraction, la fragmentation des gros blocs, l'utilisation de foreuses qui travaillent à grande vitesse et le concassage primaire sont à l'origine des émissions de poussières à ce niveau.

III-2-2 - AU NIVEAU DU TRANSPORT :

Lors du transport de la matière première de la carrière à l'usine, il y a des émissions de poussières qui dépendent du mode de transport utilisé :

* TRANSPORT AERIEN :

Ce type de transport est assuré, soit par convoyeur à bandes (tapis), soit par une succession de bennes mues par un câble. Une superstructure en tôle entoure généralement les convoyeurs à bandes, les protégeant ainsi des chutes de blocs dues aux légers chocs provoqués par le passage de bandes sur le rouleau.

Cette protection n'existant pas sur les convoyeurs à bennes, ceux-ci présentent donc des risques d'échappement de leur chargement du fait de l'oscillation des bennes surchargées. En fait, la principale source d'émission dans le transport aérien est le contact entre les blocs.

* TRANSPORT TERRESTRE :

Le transport par camions, qui est le plus répandu, entraîne, du fait du mauvais état des routes à l'intérieur des carrières, des émissions considérables de poussières qui peuvent être transportées par le vent sur de longues distances.

III-2-3 - AU NIVEAU DE L'USINE DE FABRICATION :

Au niveau de la préparation de la pâte, le problème de pollution dépend du procédé utilisé :

- Préparation par voie humide (Pâte crue) : Peu de problèmes de pollution se posent dans les ateliers de préparation de la pâte. Et comme, à la suite, toutes les opérations s'effectuent sur des pâtes, ni le balayage, ni le broyage ne sont susceptibles de créer des nuisances à l'extérieur de l'usine.

- Préparation par voie sèche (Poudre) : Dans ce cas, les émissions de poussières sont importantes, elles proviennent des trois (03) étapes suivantes :

* Le broyage : La majorité des broyeurs effectuent aussi l'opération de séchage, ils sont donc balayés par des gaz chauds qu'il faut ensuite purifier. Il y a une émission de poussières qui provient aussi bien de l'appareil lui-même que des dispositifs d'évacuation de la poudre vers d'autres postes de l'usine.

* L'homogénéisation : Bien que les silos comportent des dispositifs qui permettent à l'air d'être évacué sans que les particules soient entraînées, il y a toujours des émissions de poussières dues au manque d'efficacité de certains filtres ou au manque d'étanchéité de certaines fermetures.

* Le transport des poudres : Cette opération s'effectue par voie pneumatique, : - Soit par soufflage.
- Soit par fluidisation.

Dans les deux (2) cas, une émission de poussières peut être provoquée par un manque d'étanchéité des canalisations des appareils de raccordement ou des vannes. Les poussières, qui se déposent dans l'usine, peuvent être véhiculées vers l'extérieur par le vent (Resuspension).

- Atelier de cuisson : Les principales émissions sont dues à l'entraînement des poussières dans les gaz d'échappement du four et à la teneur en soufre des combustibles utilisés.

Toute marche irrégulière du four accentue l'importance des émissions de poussières.

- Lors du broyage du ciment, de l'ensilage, des opérations de manutention et de l'ensachage, des émissions peuvent toujours se produire.

III-2-4 - AU NIVEAU DE LA LIVRAISON DU CIMENT :

Une grande quantité de poussières est émise lors de la livraison du ciment par le chargement des sacs ou des containers (Vrac).

Le tableau N° IV (voir page suivante) illustre les principales sources de poussière dans les cimenteries. [1]

III-3 - COMPOSITIONS DES POUSSIÈRES EMISES : [6],[7]

La pollution de l'air par une cimenterie non contrôlée peut être quantifiée de la façon suivante : [6]

Pollutant	Emissions (kg/metric ton)			
	Dry process		Wet process	
	Kilns	Dryers, Grinders	Kilns	Dryers, Grinders
Particulate matter	122,0	48,0	114,0	16,0
Sulfur dioxide				
- Mineral source	5,1	/	5,1	/
- Gas combustion	Neg	/	Neg	/
- Oil combustion	2,5*5 ^(b)	/	2,5*5 ^(b)	/
- Coal combustion	3,4*5	/	3,4*5	/
Nitrogen oxides	1,3	/	1,3	/

(b) : S is the percentage of sulfur in the fuel

TABLEAU N° V : LES EMISSIONS POLLUANTS DES CIMENTERIES PORTLAND TRAVAILLANT SANS CONTROLE

TABLEAU IV^a — Sources principales de poussières dans les cimenteries
— rapport de l'industrie cimentière de République fédérale allemande —

Installation	Air ou gaz de rejet			Poussières	
	Volume de gaz rejetés Nm ³ /kg	Température des gaz rejetés °C	Point de rosée °C	Taux de poussières dans les gaz bruts g/Nm ³	Poussières en suspension dans les gaz bruts < 10 µ (%)
Sécheur à tambour	0,8 — 2,0	70 — 150	40 — 70	30 — 90	20 — 70
Sécheur rapide avec pelles mécaniques	0,5 — 1,5	70 — 150	40 — 70	30 — 250	30 — 70
Broyeur combiné à un sécheur	0,5 — 1,5	70 — 150	40 — 60	200 — 1 000	20 — 50
Fours :					
Rotatifs longs à voie humide	3,3 — 4,5	120 — 220	65 — 75	2,0 — 25,0	40 — 60
Rotatifs avec injection de boue	3,3 — 4,5	150 — 250	65 — 75	30 — 150	40 — 60
Rotatifs avec séchoir à boue	3,3 — 4,5	120 — 190	65 — 75	20 — 80	40 — 60
Rotatifs à sec avec échangeur thermique	1,6 — 2,0	280 — 350	30 — 38	40 — 70	90 — 99
Four Lépol à double courant gazeux	1,8 — 2,2	80 — 130	45 — 60	1,5 — 5	25 — 45
Four vertical	2,0 — 3,5	50 — 190	40 — 55	2,0 — 8,0	15 — 30
Calcination à grille de frittage	4,5 — 6,5	120 — 170	35 — 45	5,0 — 15,0	15 — 25
Refroidissement à grille dans fours rotatifs à sec	1,2 — 1,8	200 — 350	—	0,7 — 10,0	0 — 10
Broyeurs à ciment	0,2 — 1,0	70 — 120	20 — 60	50 — 250	20 — 50

I.F.F.A. — La pollution atmosphérique.

On enregistre, toutefois, des différences entre les proportions de poussières évacuées suivant les particularités locales liées aux caractères physiques de la matière première, aux procédés technologiques, aux installations de production et d'épuration, et au mode de fonctionnement et d'entretien. Il existe aussi des cas où de grandes quantités de polluants sont évacuées à cause de mauvais fonctionnement des dispositifs d'épuration.

Les poussières rejetées par les cimenteries ont une composition essentiellement alcaline en rapport avec les matières premières utilisées, on y retrouve aussi des impuretés tels que des métaux lourds. En général, les poussières de cimenteries sont riches en Calcium, Aluminium, Sodium, Silice, et divers métaux tels que le fer, et le manganèse.

Parmi les anions, les chlorures, les carbonates et les sulfates sont omniprésents.

III-4 - LA CIMENTERIE DE RAIS-HAMIDOU :

La cimenterie de Rais-Hamidou est l'une des plus importantes d'Algérie. Sa capacité de production est de 400.000 tonnes de ciment/an. Elle utilise le procédé de fabrication par voie humide. La composition des matières premières est donnée par le tableau suivant : [2]

Matière première	Eléments							
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	FeO ₃	CaO	MgO	SO ₃	Na ₂ O	K ₂ O
Calcaire	10,80	3,80	1,05	47,70	0,65	/	/	/
Schiste	60,30	14,72	7,33	6,85	0,55	/	/	/
Sable	88,50	2,15	1,10	3,20	0,40	/	/	/
Fer	23,40	6,90	50,00	8,37	/	/	/	/
<u>Ajouts :</u>								
Gypse	7,83	3,10	1,70	34,25	0,75	36,00	/	/
Inertie poussière	12,15	4,20	3,00	49,26	1,30	2,45	1,87	0,90
Actif tuf	64,80	14,10	2,90	5,30	0,70	0,10	/	/

TABLEAU N° VI : COMPOSITION DES MATIERES PREMIERES DE LA FABRICATION DE CIMENT A RAIS-HAMIDOU .

Cette cimenterie, qui travaille 24 heures sur 24, émet une quantité de poussières considérable dans l'atmosphère malgré la présence, au niveau de 2 fours de combustion, d'électrofiltres qui captent 13 tonnes de poussière par heure.

La région de Rais-Hamidou se trouvant entre 2 collines, les poussières se dégageant de la cimenterie ne quittent que très peu le site. Cela provoque au niveau de la ville (très habitée), une pollution particulaire très importante et apparente à première vue d'oeil. C'est cette pollution qui a fait l'objet de l'étude détaillée dans la partie expérimentale de cet ouvrage.

III-5 - LES SYSTEMES DE DEPOUSSIERAGE DANS LES CIMENTERIES : [12]

Le dépeussierage permet de diminuer les émissions de poussières de cimenteries. En effet, sans son application, les fours de cuisson dégagent dans leur gaz d'échappement une quantité de poussière représentant jusqu'à 10% de la matière première. Cette valeur peut être abaissée jusqu'à 0,3% par l'application d'un procédé de dépeussierage approprié.

Le choix du procédé de dépeussierage est fonction des propriétés à la fois des particules (Toxiques, Corrosives humides, ...) et des gaz (Température, Pression, ...) ainsi que des exigences de l'environnement (efficacité recherchée).

Les séparateurs de poussières peuvent être classés en quatre (4) familles principales :

- Séparateurs mécaniques.
- Dépeussierage humides (laveurs).
- Séparateurs électriques (électrofiltres)
- Séparateurs à couche filtrante.

LES SEPARATEURS MECANIQUES - CYCLONES - MULTICYCLONES :

Ces appareils mettent en jeu une force mécanique (Pesanteur, inertie ou force centrifuge) pour faire migrer les poussières hors du courant du gaz porteur et assurer leur séparation (la masse volumique des poussières est environ 1000 fois supérieure à celle des gaz).

- * Les chambres de décantation : Utilisent le seul effet de la pesanteur. Elles sont utilisées pour des poussières à forte concentration et de dimension supérieure à 50 ou 100 μm .
- * Les séparateurs à inertie ou chicanes : Les poussières sont séparées par impact sur des lamelles qui dévient brusquement le courant gazeux.
- * Les séparateurs centrifuges ou cyclones : Les gaz sont mis en rotation à des vitesses aussi rapides que le permettent les limites admissibles de pertes de charge et d'abrasion. Si r est le rayon de giration d'un filet gazeux, la particule transportée par celui-ci est soumise à une accélération centrifuge de V^2/r ; (V : Vitesse) qui peut être comprise entre 10 et 1 000 fois celle de la pesanteur. Les particules séparées ont des diamètres allant jusqu'à 15 et même 5 μm .

LES DEPOUSSIÈREURS HUMIDES OU LAVEURS :

Ils s'avèrent parfois indispensables; notamment, lorsque les gaz à traiter sont proches de leur saturation en eau ou lorsque des problèmes de sécurité rendent difficile leur épuration par voie sèche. Ils ont l'inconvénient de transférer la pollution gazeuse vers une phase liquide.

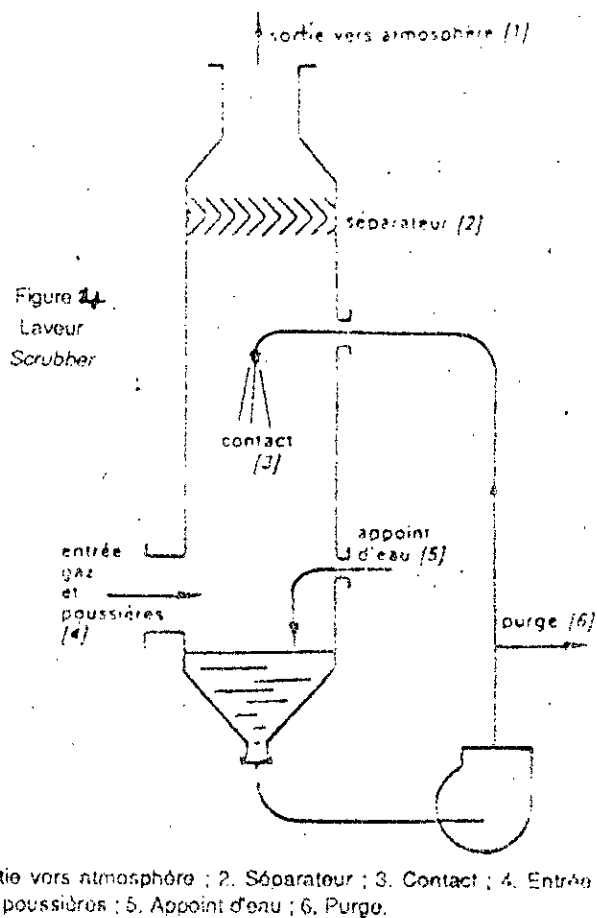


FIGURE N° IV : DEPOUSSIÈREUR HUMIDE OU LAVEUR

On distingue les laveurs à basse ou moyenne énergie et ceux à haute énergie.

LES SEPARATEURS ELECTRIQUES OU ELECTROFILTRES :

Les gaz poussiéreux circulent horizontalement et à basse vitesse (environ 1 ms-1) entre des plaques verticales distantes de 200 à 500mm. Entre ces plaques collectrices, destinées à capter les poussières et à les évacuer vers le fond de l'appareil, sont disposées des électrodes émissives constituées de fils ou de rubans éventuellement garnis de pointes et portés à une haute tension négative (40 à 110 Kv). Les plaques reliées à la terre, sont nettoyées périodiquement par frappe.

Sous l'effet de la haute tension, les poussières sont chargées négativement et migrent dans le champ électrique crée entre électrodes et plaques.

La force séparatrice $F = q.E$ peut être 100 à 10 000 fois supérieure à la pesanteur.

LES SEPARATEURS A COUCHES FILTRANTES :

Ils utilisent des supports d'assez large porosité pour séparer des poussières fines, notamment, submicroniques de dimensions beaucoup plus petites que les pores. Les pores vont, selon les médiums filtrants, de quelques millimètres à quelques dizaines de micromètres.

Le support n'est qu'un matériau intermédiaire destiné à accrocher "Le gâteau" de poussière, et qui permet ensuite au gaz poussiéreux d'être filtrés par la poussière captée elle-même.

Les appareils les plus utilisés sont les filtres à manches ou à poches, improprement appelés "Filtres à tissu" car on utilise, aujourd'hui, des feutres aiguilletés à structure plus homogène que les tissus, et qui permettent des vitesses de passage plus importantes et donc des surface moindres.

L'efficacité de ces filtres s'exprime par une "Valeur d'échappée" qui est toujours inférieure à 50 mg.m^{-3} et non par un rendement en pourcentage. On peut atteindre des échappées inférieures à 10 mg.m^{-3} dans des applications spéciales.

Le tableau N° VII (*voir page suivante*) donne des exemples d'emploi des dépoussiéreurs.

Tableau VII

EXEMPLES D'EMPLOI DES DÉPOUSSIÉREURS

Note liminaire : Les cas d'utilisation donnés ci-après correspondent à l'état actuel de la technique mais ne doivent pas être considérés comme une règle absolue, les techniques anti-pollution évoluant constamment.

	Dyn.	Filt.	Hydr.	Élec.		Dyn.	Filt.	Hydr.	Élec.
SIDÉRURGIE					MATÉRIAUX DE CONSTRUCTION (suite)				
Préparation des charges		*			Pâtisseries : Fours				
Manutentions		*			Broyage, manutentions				
Agglomération du minerai		*			Usines à chaux : Fours				
Manutention agglomérée		*			Céramique				
Cokerie : Enfournement		*			Enrobage de produits routiers				
Défournement		**	*		Verre et Fibres de verre				
Épuration du gaz		*			Produits crus				
Haut fourneau : Fouraison du gaz		*	**		Fours de fusion				
Assainissement Halle		*			Extraction des fibres				
de coulée		*			Travail mécanique du verre				
Mélangeurs et transferts de poche		**	*		CHIMIE				
Convertisseur à oxygène		*	*		Fabrication acide sulfurique				
Émissions secondaires convertisseur		*	*		Fabrication acide phosphorique				
Fours électrodes d'acier		*	*		Céramique : Fabrication				
Écriquage		*	*		Séchage, granulation				
FERRO-ALLIAGES : Fours ouverts		*	*		Chimie organique, Parachimo				
FONDERIE : Cubilots		*	*		Caoutchouc : Réacteurs				
Annexes		*	*		Manutention poudres				
Saboterie		*	*		PÂTE PAPIER				
MÉTALLURGIE DES NON FERREUX					Procédé au bisulfite				
Aluminium : 1 ^{re} fusion		**	*		Procédé au sulfate : Chaudière				
2 ^e fusion		*	*		de récupération				
Autres : Préparation des charges		*	*		Four à chaux				
Four de grillage		*	*		Disolvant				
Induction		*	*		INDUSTRIE DE BOIS				
Affinage		*	*		Dérivage, tronçonnage				
MATÉRIAUX DE CONSTRUCTION					Travail mécanique du bois				
Carrières : Manutention, broyage,		*	*		MANUTENTION,				
Cablage		*	*		TRAITEMENT DES FIBRES				
Cimenteries : Manutentions		*	*		INDUSTRIES AGRICOLES				
Broyage cru		*	*		ET ALIMENTAIRES				
Four cuisson		*	<	**	Méunerie				
Refroidisseur clinker		*	*		Laiterie				
Broyage clinker		*	*		Sucrerie : Four à chaux				
Stockage, ensachage		*	*		Manutentions, Silos				
Broyage charbon		*	*		Aliments du bétail				
LÉGENDE :					INCINÉRATION DE DÉCHETS				
Dyn. : Dépoussiéreur dynamique (cyclone)					& ORDURES				
Filt. : Dépoussiéreur filtrant					INSTALLATIONS DE COMBUSTION				
Hydr. : Dépoussiéreur hydraulique									
Élec. : Dépoussiéreur électrique									

* : Utilisé — ** : Utilisé le plus souvent — * < : Rarement utilisé — * + : Utilisé en combinaison avec un autre.

TABLEAU N° VII : EXEMPLES D'EMPLOI DES DEPOUSSIEREURS

IV - PRINCIPALES INFLUENCES DES FACTEURS METEOROLOGIQUES SUR LA DISPERSION DES POLLUANTS :

Après leur évacuation dans l'atmosphère à des vitesses et températures variables par les diverses sources, les polluants particulaires se déplacent et se diluent dans l'atmosphère selon les conditions météorologiques prévalantes. Les principaux facteurs météorologiques qui conditionnent le transport et la diffusion de polluants sont le vent et la température.

IV-1 - LE VENT :

Le vent trouve son origine dans les mouvements de l'air chaud venant de l'équateur et qui est remplacé par un courant d'air froid venant du pôle. Il entraîne les polluants émis dans la direction de son déplacement et les répand dans le bassin aérien. La dispersion des polluants dépend alors de sa direction et de sa vitesse.

Sur un site donné, cette dispersion est étroitement liée à la rose des vents. La direction du vent au sol peut être différente de celle à haute altitude à cause des effets dus aux frottements avec le sol, au gradient thermique et au relief. [1] En cas de calme atmosphérique (Stabilité ou stagnation), c'est à dire absence de courants d'air, les polluants s'accumulent au voisinage des lieux d'émission. [5]

IV-2 - LA TEMPERATURE :

La température de l'air au voisinage du sol est supérieure à celle d'altitude plus élevée. Cela est dû à l'échauffement par le soleil qui engendre un gradient adiabatique de l'ordre de $0,7^{\circ}$ c par 100m.

D'autre part, si une particule d'air subit un mouvement ascendant dans l'atmosphère, elle se dilate du fait des pressions décroissantes auxquelles elle est soumise et sa température baisse. Il est donc logique que cette variation de température entraîne un mouvement vertical ascendant des particules d'air des couches inférieures de l'atmosphère vers les couches supérieures. Ce mouvement est appelé convection thermique verticale. Il entraîne avec lui les particules polluantes. Si la température de l'air en hauteur est plus grande qu'au niveau du sol, on a le phénomène d'inversion appelé "Inversion thermique". Dans ce cas, il n'y a plus d'élévation de particules d'air et donc plus d'éloignement des polluants de leur source d'émission. Elles s'accumulent dans la couche d'air inférieure jusqu'au niveau de la couche d'inversion qui peut être épaisse de quelques mètres jusqu'à des centaines de mètres. [5]

L'inversion thermique a lieu normalement lors du cycle diurne de la température et lors des périodes anticycloniques. Le matin, lorsque le soleil réchauffe la terre, l'inversion se brise et le gradient adiabatique normal se rétablit.

L'inversion peut cependant durer plusieurs jours lorsque le réchauffement solaire est insuffisant (Ciel nuageux ...).

L'inversion est donc un phénomène naturel qui réduit périodiquement la turbulence dans la couche de mélange et entraîne, sur des épisodes plus ou moins larges, une stagnation des polluants à faible hauteur. [13]

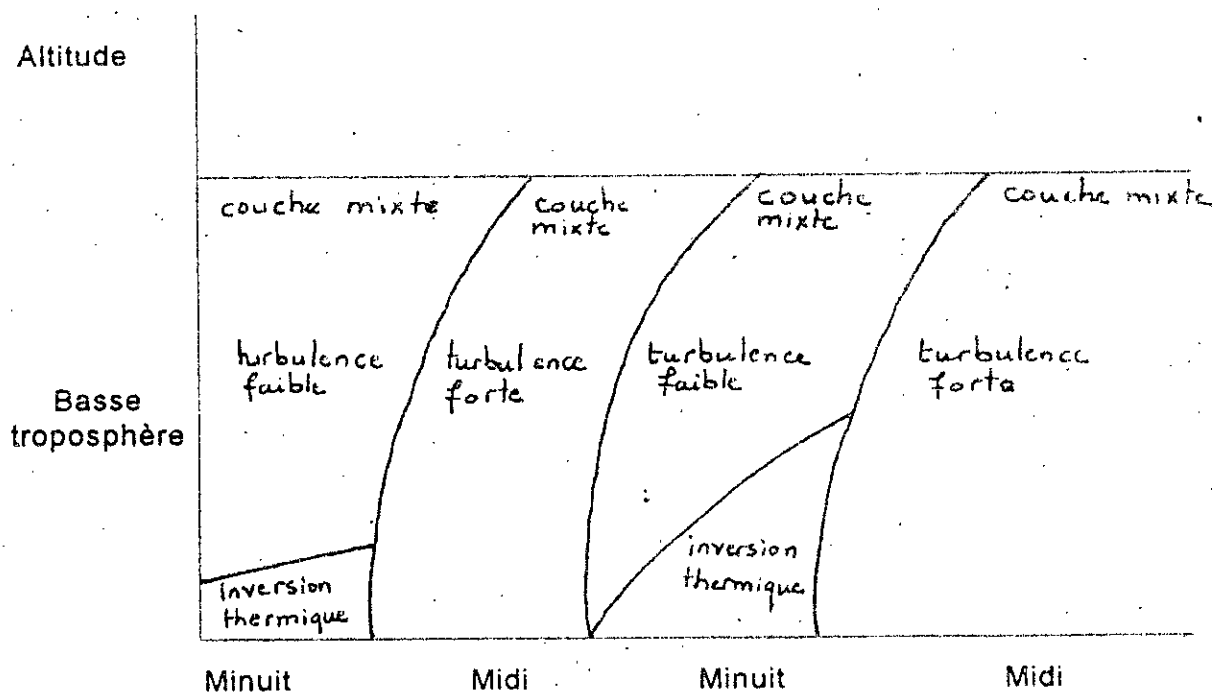
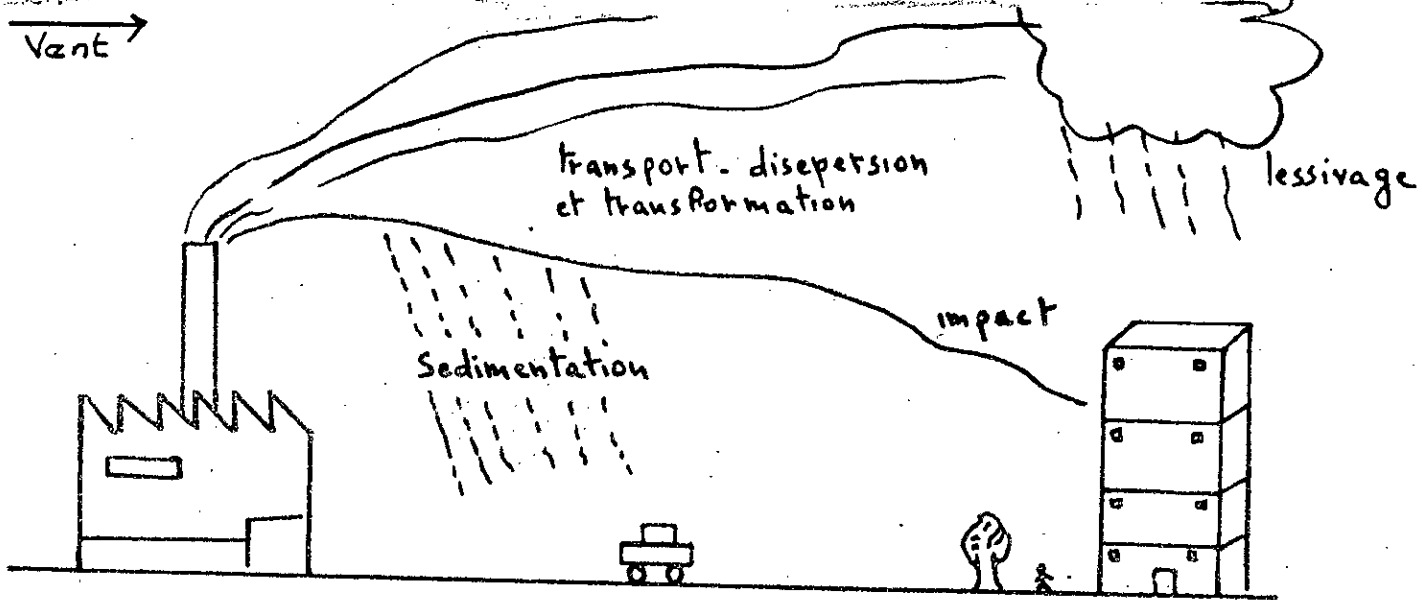


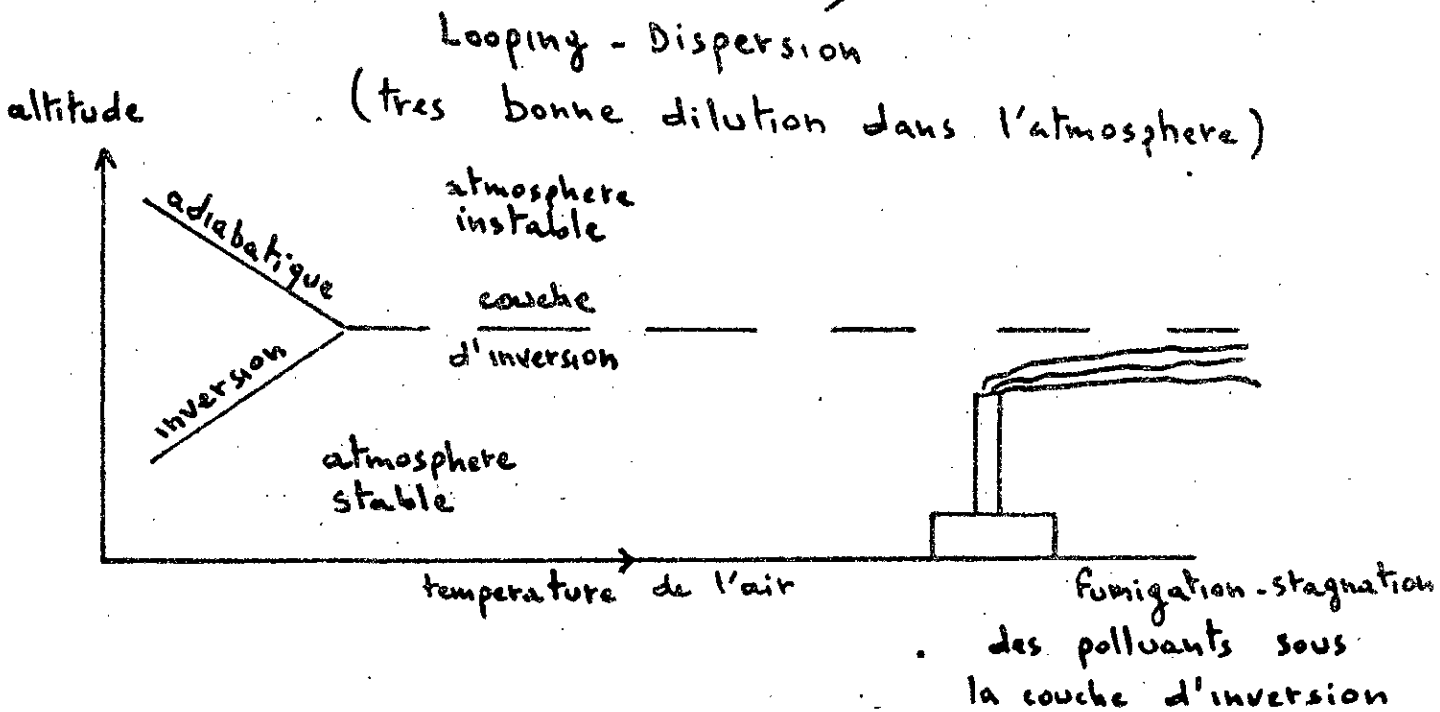
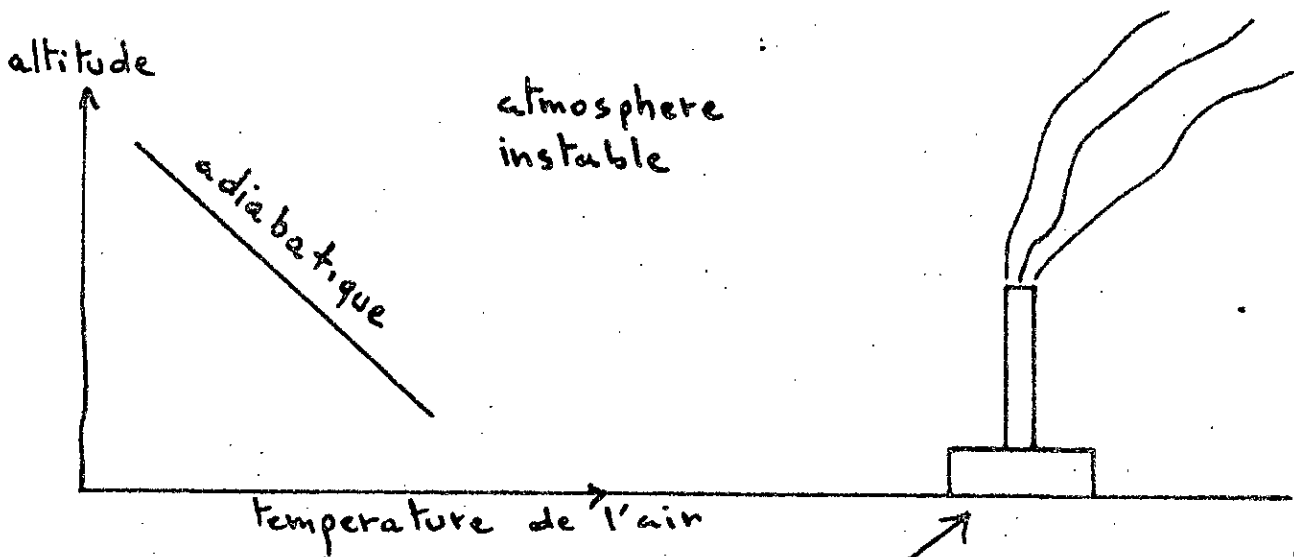
FIGURE N° V : STRUCTURE DE LA TROPOSPHERE INFERIEURE SUR UNE PERIODE DE BEAU TEMPS DE 36 HEURES

IV-4 - LES PRECIPITATIONS :

Les précipitations favorisent le dépôt des particules polluantes se trouvant dans l'air. En effet, en tombant, la pluie entraîne avec elle, vers le sol, les particules solides rencontrées en son chemin. C'est le phénomène du "Wash out" et "Rain out" (Lessivage). Nous représentons en figures n°VI a et b quelques situations illustrant la diffusion des polluants. [6]



VI a) action de l'atmosphère sur les polluants



VI b) forme du panache en fonction du profil de température

V - EFFETS DE LA POLLUTION PARTICULAIRE : [1],[2],[3],[4],[8],[14],[15],[16]

Les particules solides émises dans l'atmosphère exercent des effets nuisibles sur l'être humain, les animaux, la végétation, les matériaux et sur le milieu ambiant.

V-1 - EFFETS SUR LES HOMMES :

Les poussières présentes dans l'atmosphère pénètrent l'être humain, soit par voie nasale (au cours de la respiration calme), soit par voie buccale (au cours de la ventilation forcée secondaire à un travail physique important). Lors de l'inspiration et de l'expiration, une partie des particules véhiculées dans le flux aérien va se déposer sur les parois de l'appareil respiratoire. La déposition des particules dépend de leur diamètre aérodynamique et de la morphologie des voies aériennes qui conditionnent les modalités de l'écoulement aérien. [14]

Les particules de diamètre supérieur à 10µm sont filtrées au niveau de la trachée et du rhinopharynx. Les autres atteignent l'arbre bronchique et même, pour celles dont le diamètre est inférieur au micron, les alvéoles pulmonaires. [2]

Les figures N° VII (a et b) (*voir pages suivantes*) montrent le devenir des particules atmosphériques dans le corps humain en fonction de leur granulométrie moyenne et de leur nature. [3],[8]

Les nuisances qui en résultent varient des simples irritations jusqu'à divers stades de pneumoconiose et de cancer. Certaines études épidémiologiques ont montré que même les poussières inertes exercent un risque potentiel dans le cancer de poumon. [15]

Nous résumons dans le tableau N° VIII l'action locale sur les voies respiratoires des polluants particuliers atmosphériques. [16]

Action locale sur les voies respiratoires	Type de polluants
1. Pneumoconiose - Siderose - Silicose - Asbestose	Fer Silice Amiante
2. Irritations - Trachée - Bronches - Poumons	Poussières irritantes
3. Allergie respiratoire - Asthme	Poussières de bois
4. Les cancers pulmonaires	Poussières cancérogènes (ex. Amiante)

TABLEAU N° VIII : ACTION LOCALE SUR LES VOIES RESPIRATOIRES DES POLLUANTS PARTICULAIRES NON SOLUBLES DANS LE SANG

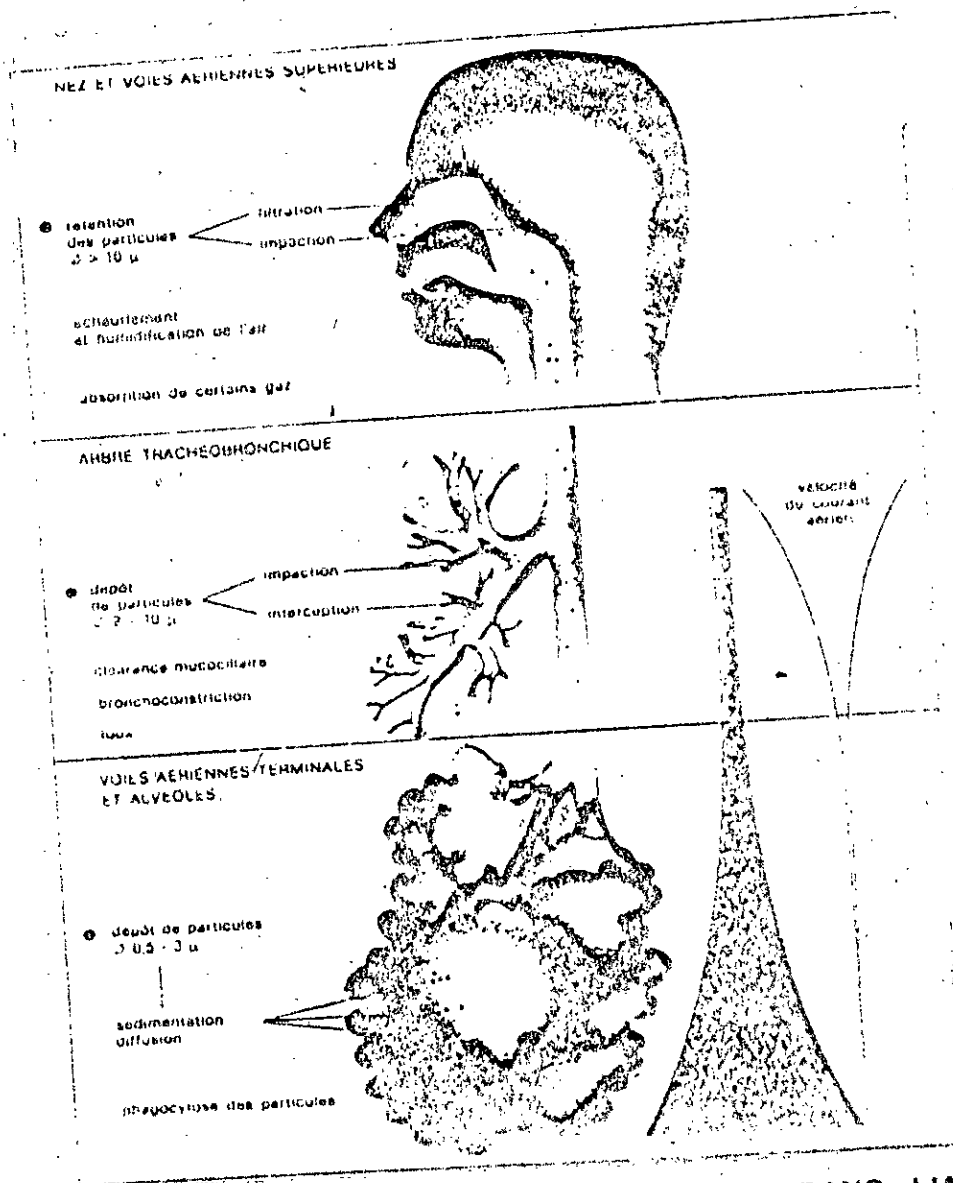


FIGURE N° VII (a) : DEVENIR DES PARTICULES DANS L'APPAREIL RESPIRATOIRE

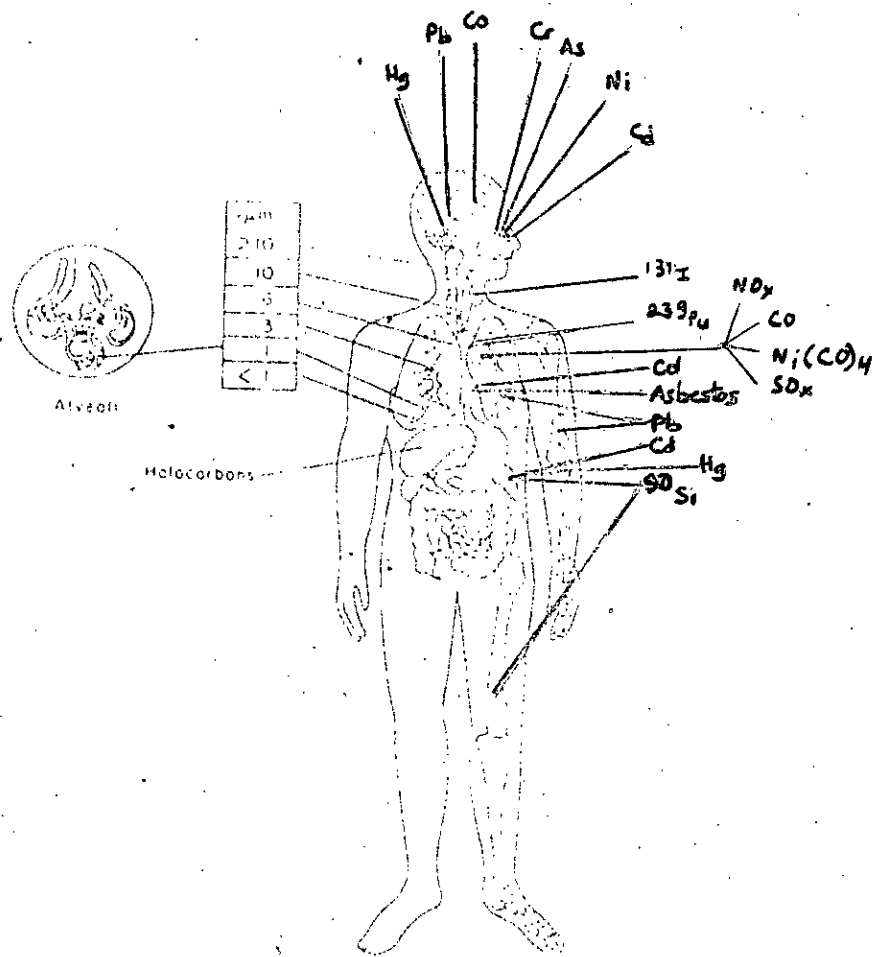


FIGURE N° VII (b) : TARGET AREAS AND ORGANS OF THE HUMAN BODY FOR SOME CHEMICAL ELEMENTS AND COMPOUNDS COMMONLY PRESENT IN POLLUTED AIR

Les poussières solubles dans le sang (Tel que le plomb) passent la barrière alvéolaire pour rejoindre le flux sanguin et être véhiculés vers certains organes où elles exerceront leurs actions.

V-1-1- LES ALLERGIES : [4]

Elles sont provoquées par des aéroallergènes constitués de particules solides hygroscopiques de diamètre compris entre 1 et 80 μ . Quand ces poussières atteignent l'épithélium alvéolaire, elles provoquent de l'asthme.

V-1-2- CARCINOME PULMONAIRE : [4]

La présence d'hydrocarbures polycycliques carcinogènes dans les poussières explique leur contribution à l'induction de cancers du poumon chez les citadins non fumeurs.

V-1-3- SILICOSE ET ASBESTOSE : [4]

Résultent de l'inhalation de poussières de silice, silicates ou d'asbeste.

V-2 - EFFETS SUR LES VEGETAUX :

Le dépôt de particules sur les feuilles des végétaux peut présenter des effets phytotoxiques. En sus d'une diminution de l'activité photosynthétique due à l'encrassement des feuilles, 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. [4]

Certains métaux, oxydes métalliques ou anhydres métalloïdiques se déposent parfois sur les plantes ou les sols de culture causant le dépérissement de vergers entiers par suite de l'obturation des stomates assimilateurs par les très fines particules en suspensions dans l'air. Des cas de dépérissement de plantes dûs à de faibles rejets des cimenteries ont été signalés en Allemagne au début des années 80, des émissions de poussières de cimenteries contenant du thallium, en traces seraient à l'origine de ces effets. [17]

V-3 - EFFETS SUR LES MATERIAUX :

V-3-1- DEGRADATION DES FACADES, BITUMES ET PEINTURES :

L'effet le plus visible est leur noircissement par les dépôts de suies ou de poussières. Sur les faces non touchées par la pluie, le gypse est collé à de la pierre, le décollement de la crante produit des chancres de pierres qui la corrodent et la détériorent. [1]

V-3-2- DEGRADATION DES MATERIAUX DANS L'INDUSTRIE :

Les métaux ferreux, l'aluminium, le cuivre, ou le nickel peuvent être corrodés par l'anhydride sulfureux.

En présence de polluants gazeux acides, les matières particulaires peuvent augmenter la corrosion des métaux.

V-4 - EFFETS SUR LES FACTEURS CLIMATIQUES :

L'augmentation du taux d'aérosols dans l'atmosphère est, pour beaucoup, la cause majeure de l'augmentation de la turbidité atmosphérique. Goldberg évalue à 20.107 tonnes/an la quantité totale d'aérosols rejetée annuellement dans l'atmosphère par l'homme. Cependant, cette hypothèse reste très discutée car, pour d'autres chercheurs tel que Mitchel, ce sont des phénomènes naturels qui sont la cause de l'augmentation de la turbidité de l'air. [2] Les phénomènes naturels concernés sont l'érosion éolienne et les éruptions volcaniques.

Rasool et Shneider ont montré qu'un accroissement d'un facteur 4 de la moyenne des aérosols dans l'ensemble de l'atmosphère terrestre pourrait se traduire par une baisse de 3,5° Kelvin de la température au niveau du sol du fait d'un ensoleillement plus pauvre. [2]

Les modèles décrivant l'atmosphère noire (Trous noir) en cas d'une guerre nucléaire ont été discutés. Il en résulte, qu'en plus de la radioactivité, la poussière émise dans l'atmosphère réduira totalement, et pendant des mois, l'arrivée au sol des radiations solaires causant par là un gel de la planète.

VI - PRELEVEMENTS ET METHODES D'ANALYSES DES RETOMBÉES DE RAIS-HAMIDOU :

VI-1 - METHODE DE PRELEVEMENT :

Les retombées ou particules sédimentables sont en principe recueillies dans des jauges de précipitation. Ces jauges permettent de collecter aussi bien les retombées solides que les particules lessivées par les pluies.

Les résultats obtenus sont généralement fortement influencés par la forme et les particularités des diverses jauges utilisées dans différents pays. Aussi a-t-on normalisé la procédure pour aboutir à des données comparables. Comme dans le cas des études effectuées dans le passé à Alger. [18]

Nous avons des jauges répondant à la norme AFNOR NF x-43-006. La forme et les dimensions d'une telle jauge sont représentées en figure N° VIII.

Le collecteur de la jauge d'une surface réceptrice de $47.10^{-3}m^2$ et contenant quatre (4) litres d'eau distillée est alors exposé à l'air libre sur un site préalablement choisi. Le lieu d'exposition lui-même doit répondre à certains critères préconisés par la norme. Au bout de 15 jours, les eaux de pluies ainsi que les poussières sédimentées sont recueillies dans un récipient propre et sec et transportées au laboratoire pour analyses.

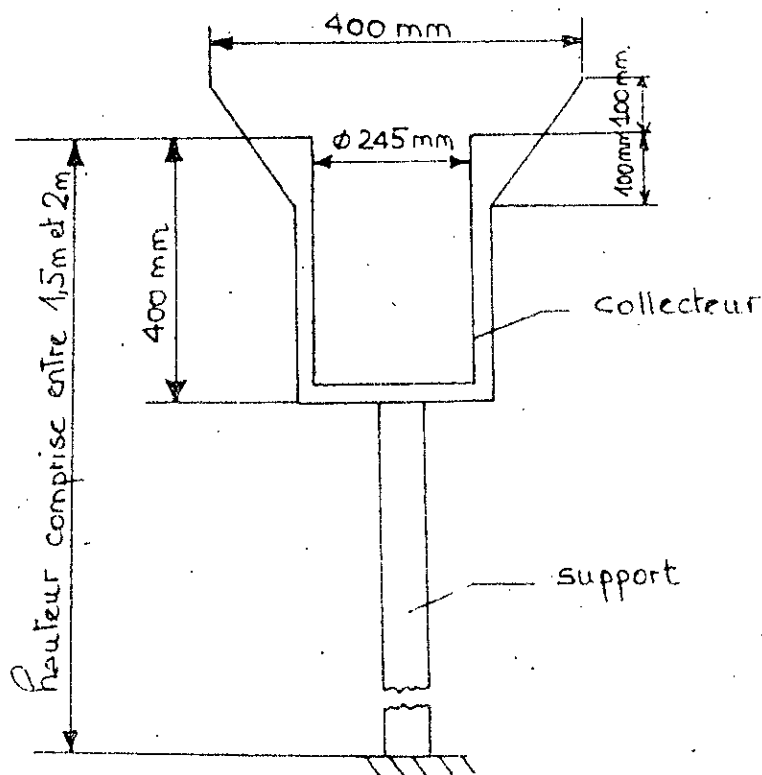


FIGURE N° VIII : Jauge de sédimentation

VI-2 - SITES DE PRELEVEMENT :

Afin de délimiter la zone la plus atteinte par les retombées issues de la cimenterie de Rais-Hamidou, nous avons installé un réseau de prélèvement constitué de (7) postes. Ces postes sont implantés à l'Est, à l'Ouest et au Nord de la cimenterie et à différentes distances de celle-ci. Un huitième poste a été implanté à Alger-centre au niveau du palais du peuple. Ce dernier site représente un site urbain non influencé par une quelconque source émettrice de poussières. Les différents postes de prélèvements sont illustrés sur les figures N° IX et N° X.

VI-3 - METHODES D'ANALYSES DES ECHANTILLONS :

Après collecte, l'échantillon est soumis à une filtration par une pompe à vide Millipore. Le filtrat obtenu constitue la partie soluble dans l'eau. Le résidu recueilli sur papier filtre Millipore en ester de cellulose $0.45\mu\text{m}$ donne, après séchage dans l'étuve à 105°C jusqu'à constante du poids, la masse de particules insolubles dans l'eau.

L'évaporation d'une partie adéquate du filtrat à 80°C donne la masse de la fraction dissoute dans l'eau. La calcination du résidu insoluble dans l'eau à 550°C pendant deux (02) heures permet d'accéder au taux de matières volatiles.

Enfin, et afin de solubiliser une grande partie de métaux recueillis, la fraction insoluble a fait l'objet, après broyage et homogénéisation, d'une digestion acide, d'abord à chaud, puis à froid pendant 24 heures par l'acide nitrique HNO_3 concentré.

L'analyse des éléments majeurs ou présents en traces dans les poussières recueillies a été effectuée selon les méthodes classiques connues :

- Alcalins et Alcalino-terreux : Spectrophotométrie de flamme.
- Métaux lourds : Spectrométrie d'absorption atomique.
- Chlorures : Méthode volumétrique de Mohr

En annexe N° I, nous présentons quelques détails concernant ces méthodes. Nous récapitulons en figure N° XI (*voir page suivante*) l'organigramme des différents étapes de traitement et d'analyse du dépôt.

VI-4 - EXPRESSIONS DES RESULTATS :

L'exposition des jauges ayant porté sur 15 jours, les dépôts solubles, insolubles et volatils seront exprimés en gramme par mètre carré par quinzaine.

Les teneurs des différents éléments sont déterminées, d'abord en gramme par litre, puis seront converties, selon les volumes prélevés, en dépôts donnés par masse de l'élément par mètre carré par quinzaine ($\text{Masse}/\text{m}^2/\text{q}$).

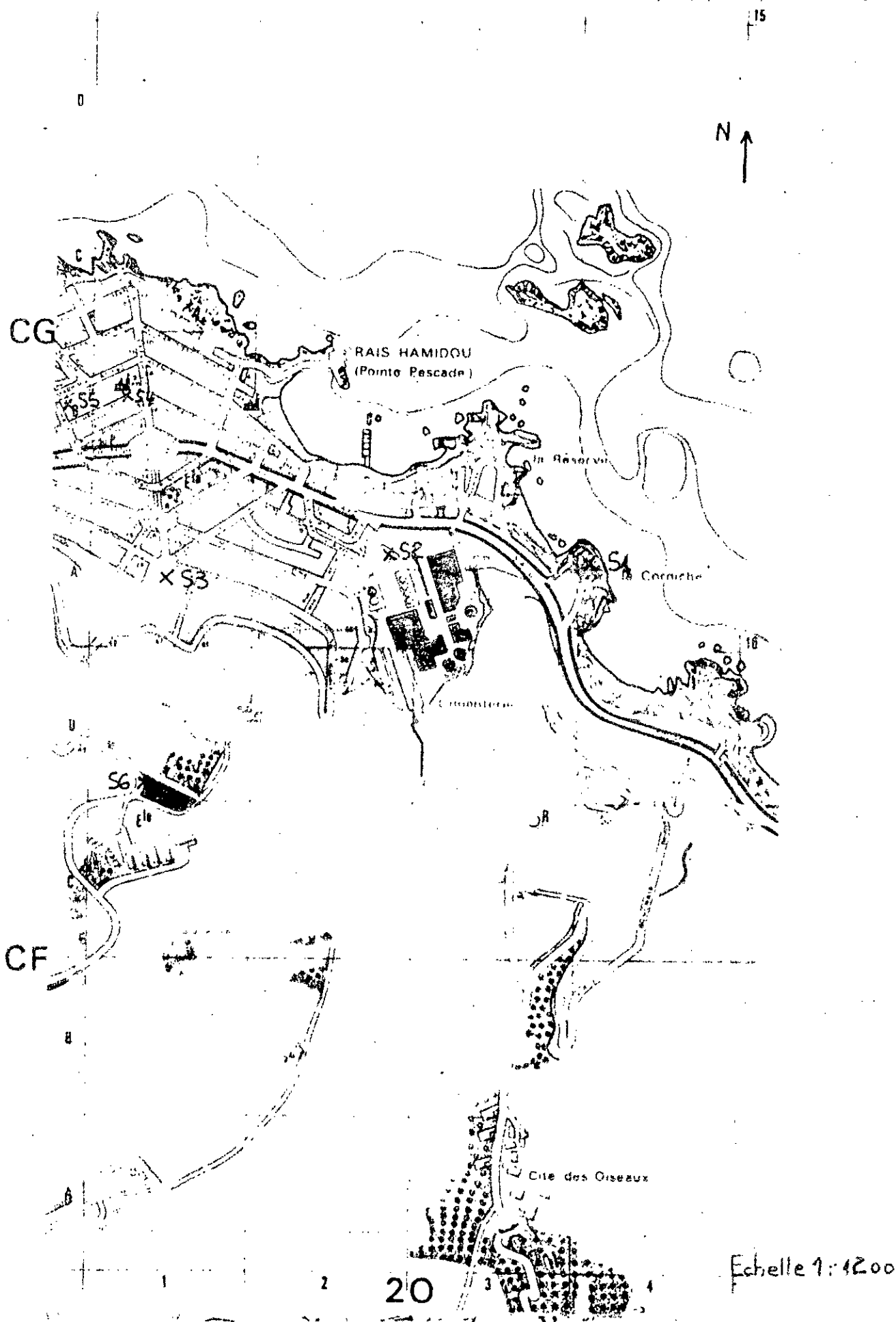


Figure IX

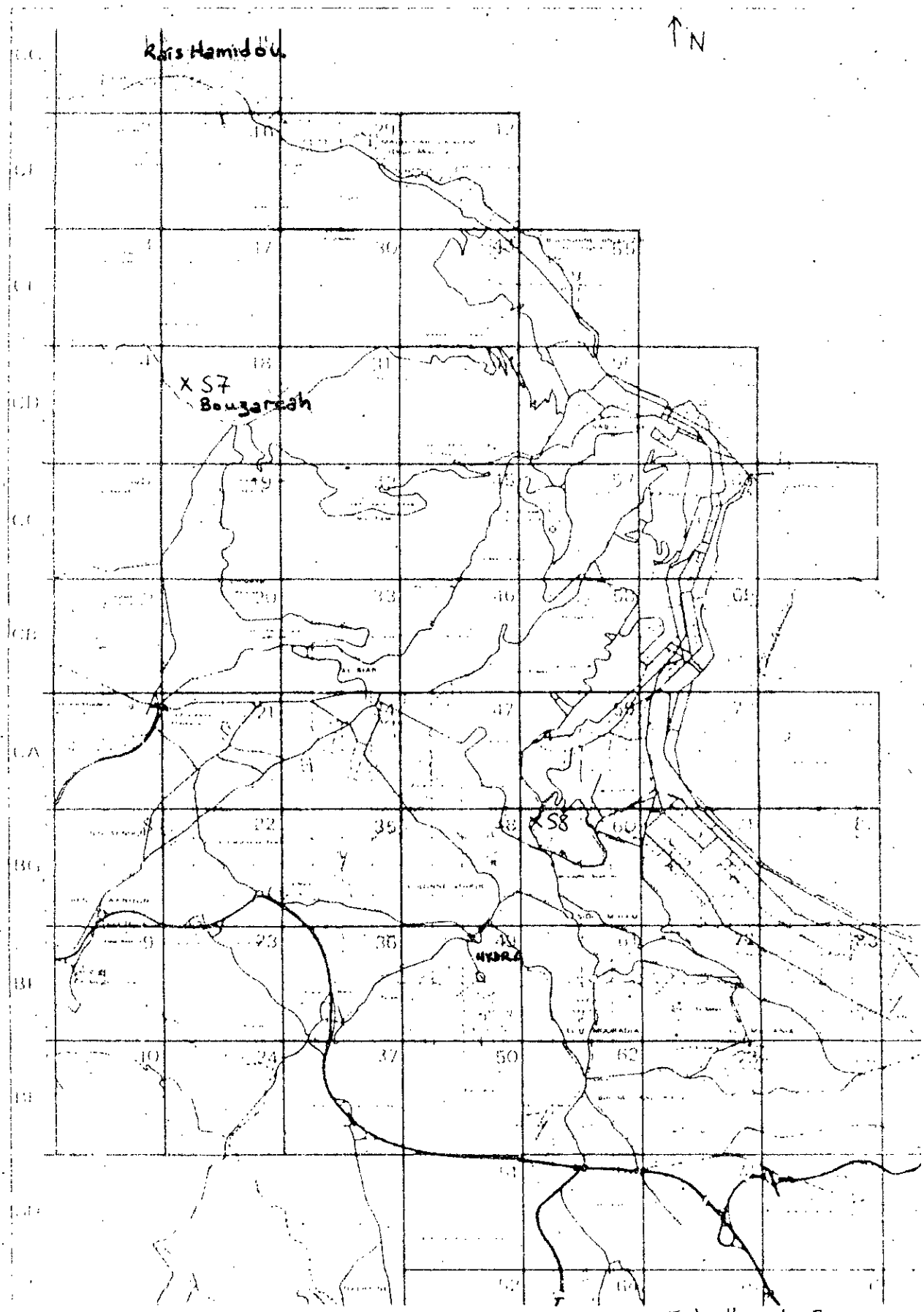


Figure X

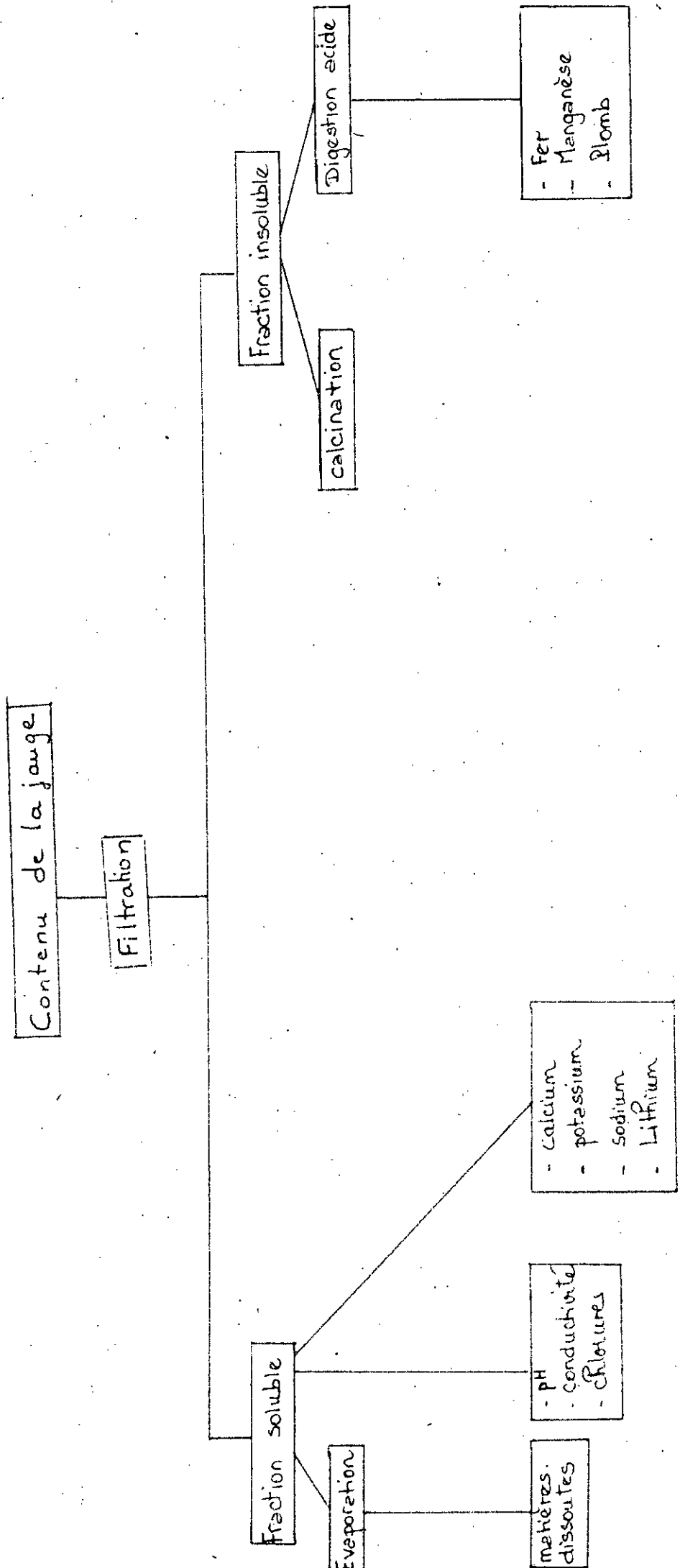


FIGURE N° XI : organigramme des différentes étapes de traitement et d'analyse du dépôt.

VII - RESULTATS ET INTERPRETATIONS :

VII-1- LES RETOMBÉES PARTICULAIRES :

La collecte bimensuelle des particules sédimentables au niveau de la ville de Raïs-Hamidou et ses environs a porté sur une période de six quinzaines de jours s'étalant du mois de Mars au mois de Juin de l'année 1993.

L'étude gravimétrique que nous avons effectuée a porté sur la fraction de poussières solubles et la fraction insoluble. L'ensemble de ces deux fractions constitue alors le dépôt total. A partir de la fraction insoluble, nous avons déterminé, après calcination, le taux de matières volatiles. Les résultats des différents dépôts enregistrés durant la campagne de mesures sont exprimés en grammes/m²/quinzaine.

La figure N° XII résume les résultats des retombées totales recueillies dans les jauges de précipitation au niveau des différents sites pendant les 6 quinzaines.

La figure N° XIII résume l'évolution dans le temps des retombées solubles enregistrées au niveau des divers sites. La moyenne des trois dépôts soluble, insoluble et total est illustrée pour chaque site en figure N° XIV.

Les résultats montrent qu'à l'exception du site S8, situé au palais du peuple (Alger centre), toute la zone de Raïs-Hamidou, y compris le côté Sud où se trouve Bouzareah, fait l'objet d'une pollution particulière très élevée, parfois même, hyper-excessive.

La comparaison avec les normes requises dans certains pays que nous présentons au tableau N° IX met clairement en évidence l'ampleur de cette pollution particulière.

Pays	Retombées g/m ² /mois	Références
Allemagne	10,5	[21]
Suisse	6,0	[19]
Canada (Quebec)	7,5	[18]
Espagne	9	[18]

**TABLEAU N° IX : VALEURS MAXIMALES DES DEPOTS TOTAUX DE
POUSSIÈRES AUTORISÉES DANS CERTAINS PAYS**

Dépôts (g/m²/quinzaine)

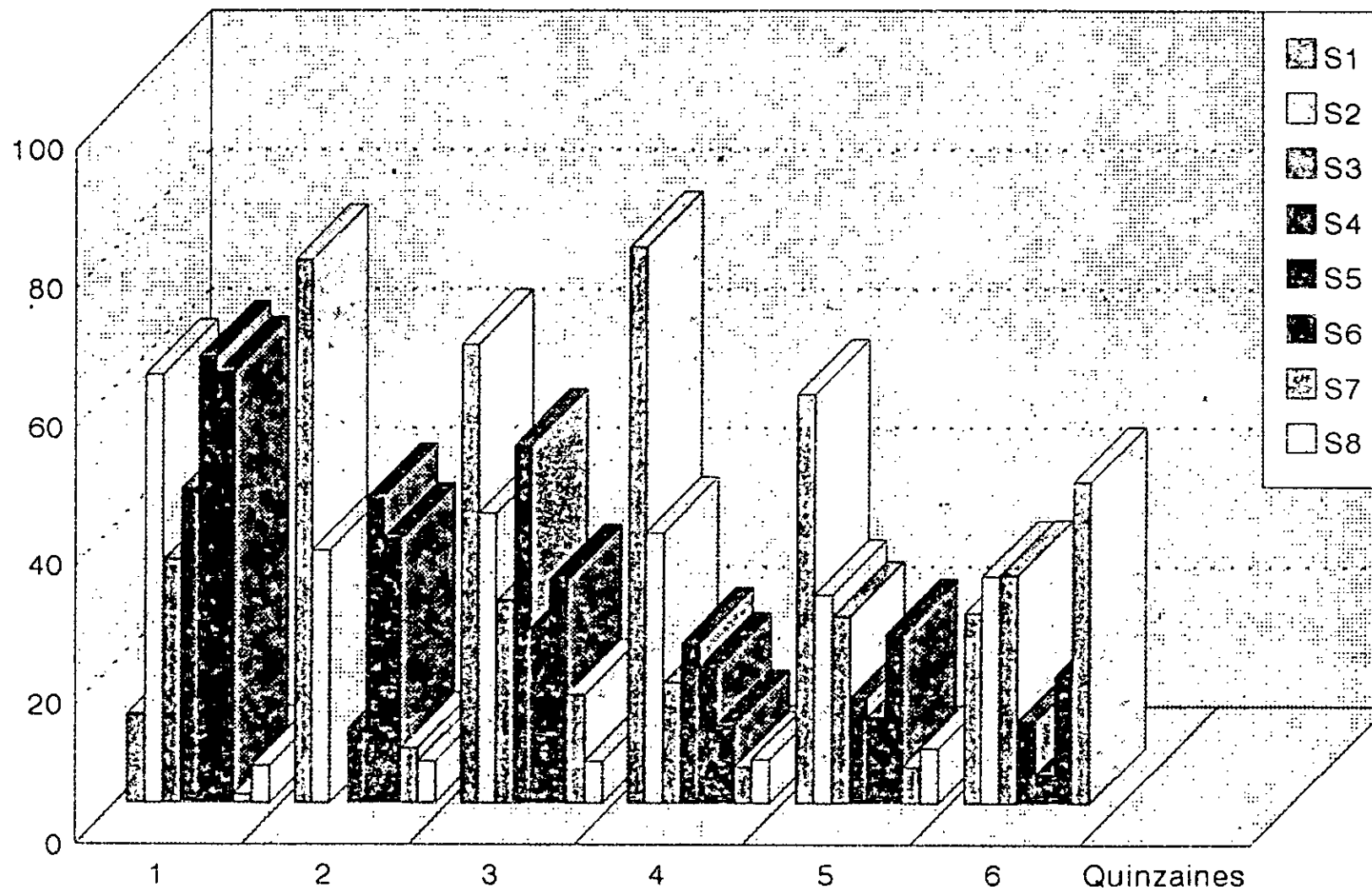


Figure XII : Retombée Totales Recueillies sur les Divers Sites:
 Sites: 1,2,3,4,5,6 et 8 du 07 Mars au 30 Mai
 Site : 7 du 16 Mars au 08 Juin

Dépôts Solubles (g/m²/quinzaine)

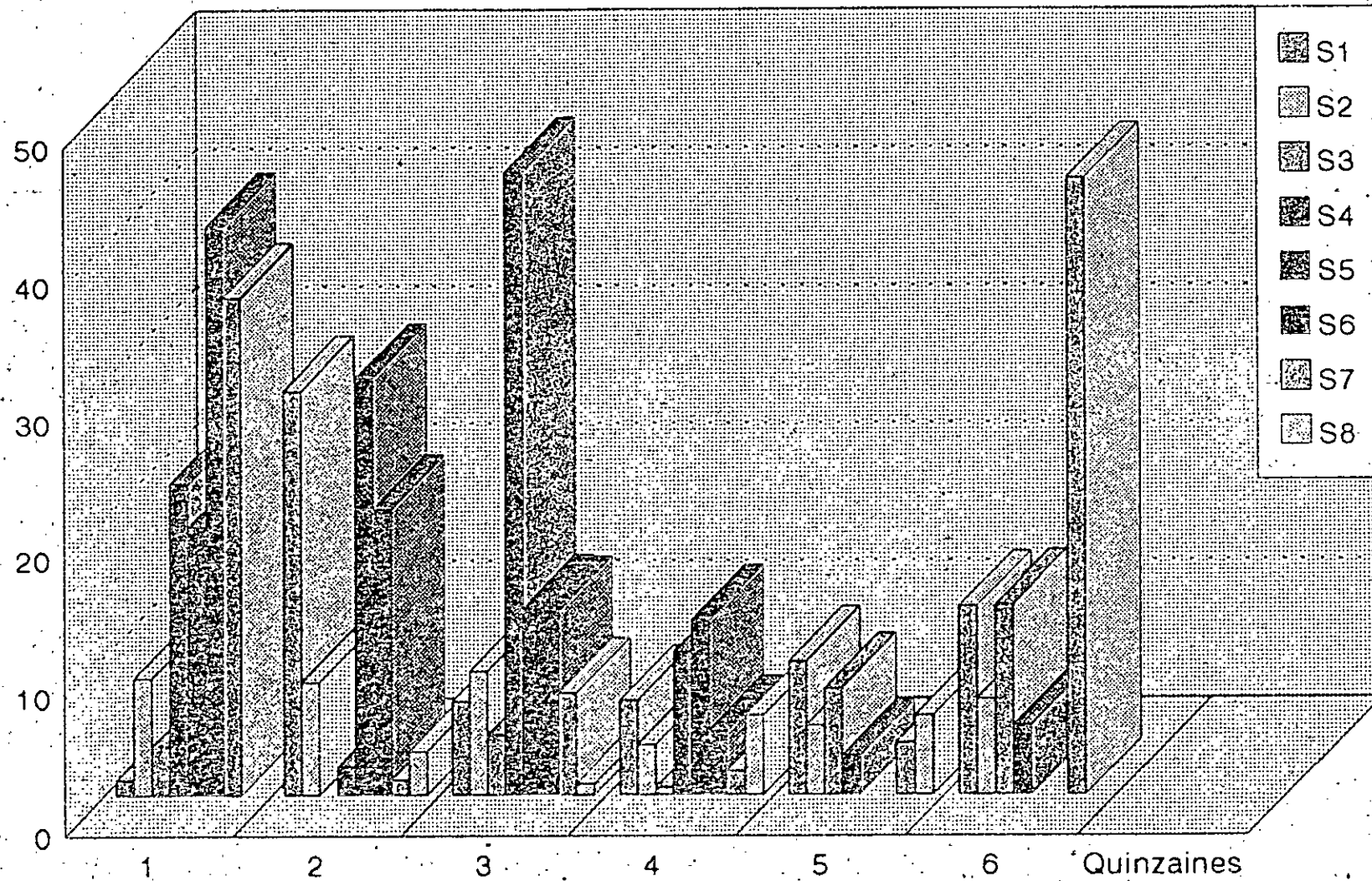


Figure XIII : Evolution dans le temps des Retombées Solubles:
 Sites: 1,2,3,4,5,6 et 8 du 07 Mars à 30 Mai
 Site 7 du 16 Mars au 08 Juin.

Dépôts (g/m²/quinzaine)

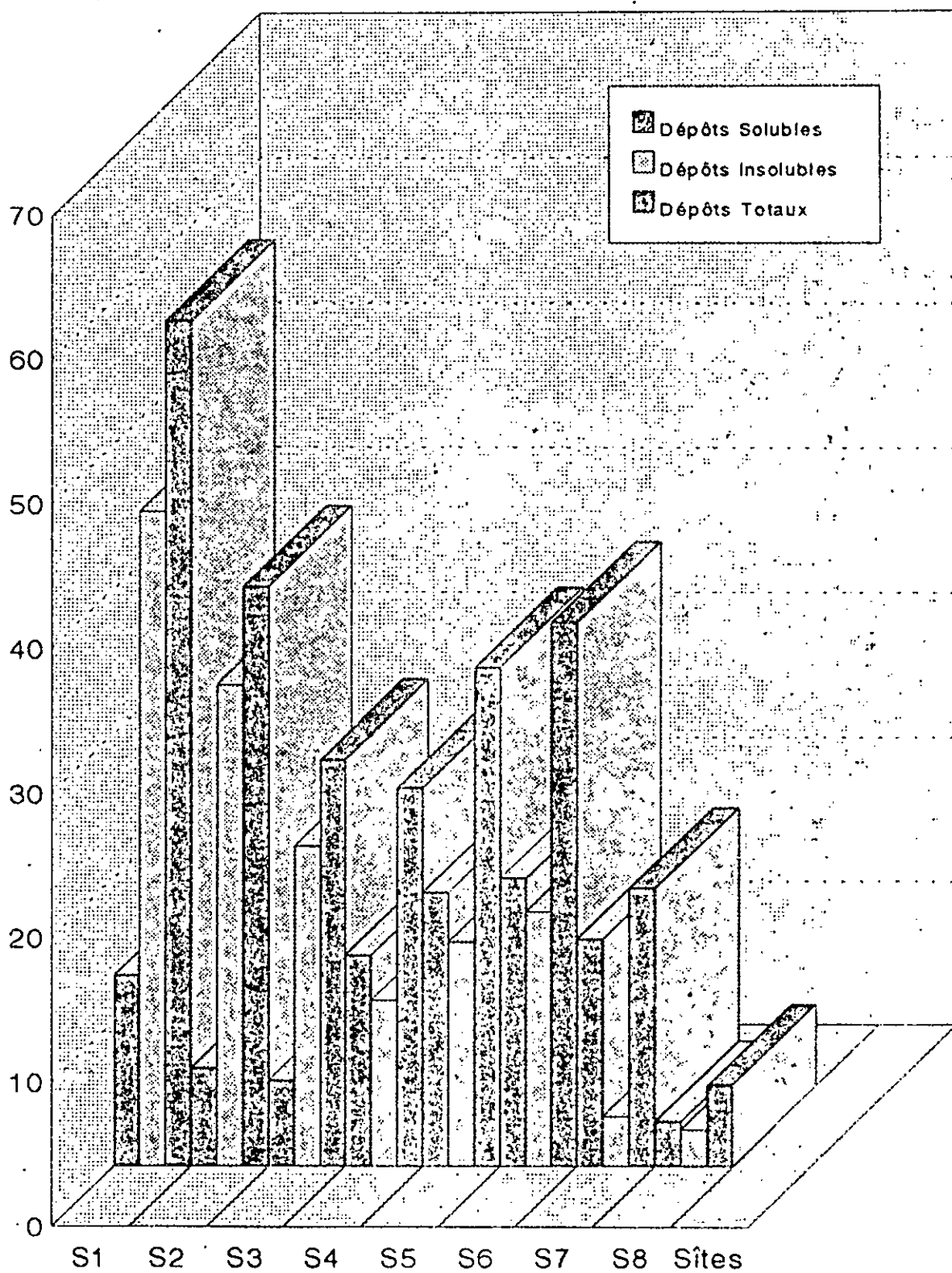


Figure XIV : Moyenne - sur 6 quinzaines - des dépôts solubles, insolubles et Totaux recueillis sur les divers sites

En considérant les intervalles limites de :

- 10g/m²/q (équivalent au double de la norme Allemande)
- 20g/m²/q (équivalent à 4 fois la norme Allemande) et
- 30g/m²/q (équivalent à 6 fois la norme Allemande),

nous obtenons le tableau N° X donnant, pour les 46 prélèvements effectués lors de cette étude, la fréquence des répartitions des dépôts.

Quinzaine	Dépôt total en g/m ² /q			
	< 10	10 - 20	20 - 30	> 30
1 ^{ère} Q.	2	1	0	5
2 ^{ème} Q.	2	1	0	4
3 ^{ème} Q.	1	1	2	4
4 ^{ème} Q.	2	3	1	2
5 ^{ème} Q.	2	2	3	1
6 ^{ème} Q.	1	2	1	3
Total	10	10	7	19

TABLEAU N° X : FREQUENCES DES DEPASSEMENTS DES NIVEAUX SPECIFIQUES DE DEPOTS

Cette analyse statistique montre que 40% des prélèvements effectués accusent des retombées au moins 6 fois plus élevées que les normes requises en Allemagne.

Les niveaux moyens des dépôts (figure N° XII) varient naturellement selon la position des sites. Le site S1, qui est le plus proche de la cimenterie (à environ 30 m) est le plus pollué.

La source émettrice elle-même (poste S2) vient en deuxième position. Les sites S3, S4 et S5 qui se trouvent à l'Ouest de la cimenterie, en pleine zone habitée, reçoivent en moyenne un dépôt d'environ 30g/m²/q.

Le site S6, qui se trouve sur la colline au Sud-Ouest de la cimenterie, est lui aussi fortement touché. En ce site, qui est très bien exposé à la brise de mer et libre de tout obstacle, on enregistre, environ, le même taux de dépôts qu'au niveau de la cimenterie. On constate ainsi clairement l'effet du phénomène de dispersion qui entraîne les particules sur une plus ou moins longue distance.

A Bouzarcah, au site S7, où le dépôt diminue sensiblement, l'influence de la cimenterie est nettement moindre.

Au palais du peuple (site S8), les retombées sont, par contre, très faibles. Il s'agit là d'une zone résidentielle "Très soignée" et le dépôt atteint des niveaux qui sont caractéristiques d'une zone semi-rurale [18] non industrialisée.

Enfin, nous présentons, à titre de comparaison, dans le tableau N° XI, les retombées enregistrées dans certaines villes du monde.

Ville	Nature du site	Dépôt (g/m ² /mois)
Gibraltar	Urbain - Industriel	3,52
Zurich	Urbain	2,74
Lugano	Urbain	3,54
Paris	Industriel	8,12
Le Caire	Urbain	30
Alger - Meftah	Industriel	242
Blida	Semi-rural	6,2
Rais-Hamidou	Urbain - Industriel	20 - 60*
Alger	Quartier résidentiel "chic"	6*

* Dépôts évalués dans ce travail et donnés en g/m²/quinzaine.

TABLEAU N° XI : DEPOTS ENREGISTRES A TRAVERS LE MONDE [18]

En comparant, d'autre part, nos résultats relatifs aux dépôts insolubles à l'étude effectuée en 1992, durant la même période, à Rais-Hamidou [2], nous constatons une étroite similitude dans les niveaux de retombées enregistrés. Nous en concluons que la cimenterie de Rais-Hamidou n'a absolument pas amélioré les performances de son système de dépoussiérage et continue à être à l'origine d'une spectaculaire pollution atmosphérique.

Cette pollution est surtout de nature minérale. Comme le montre la figure N° XV, le taux de matières volatiles représente, en général, moins de 10% du dépôt total. Le taux est légèrement plus élevé à Bouzareah et au Palais du Peuple où l'influence de la cimenterie est fortement réduite.

A cette pollution minérale, issue de la cimenterie, vient s'ajouter, surtout aux sites côtiers proches de la mer, la pollution due aux embruns marins. Ces aérosols marins participent surtout à l'augmentation de la fraction soluble des poussières, ceci est particulièrement visible aux sites S4, S5, S6 et S7 (Voir figure N° XIV) où le dépôt soluble est plus important que l'insoluble.

Taux de Matières Volatiles (%)

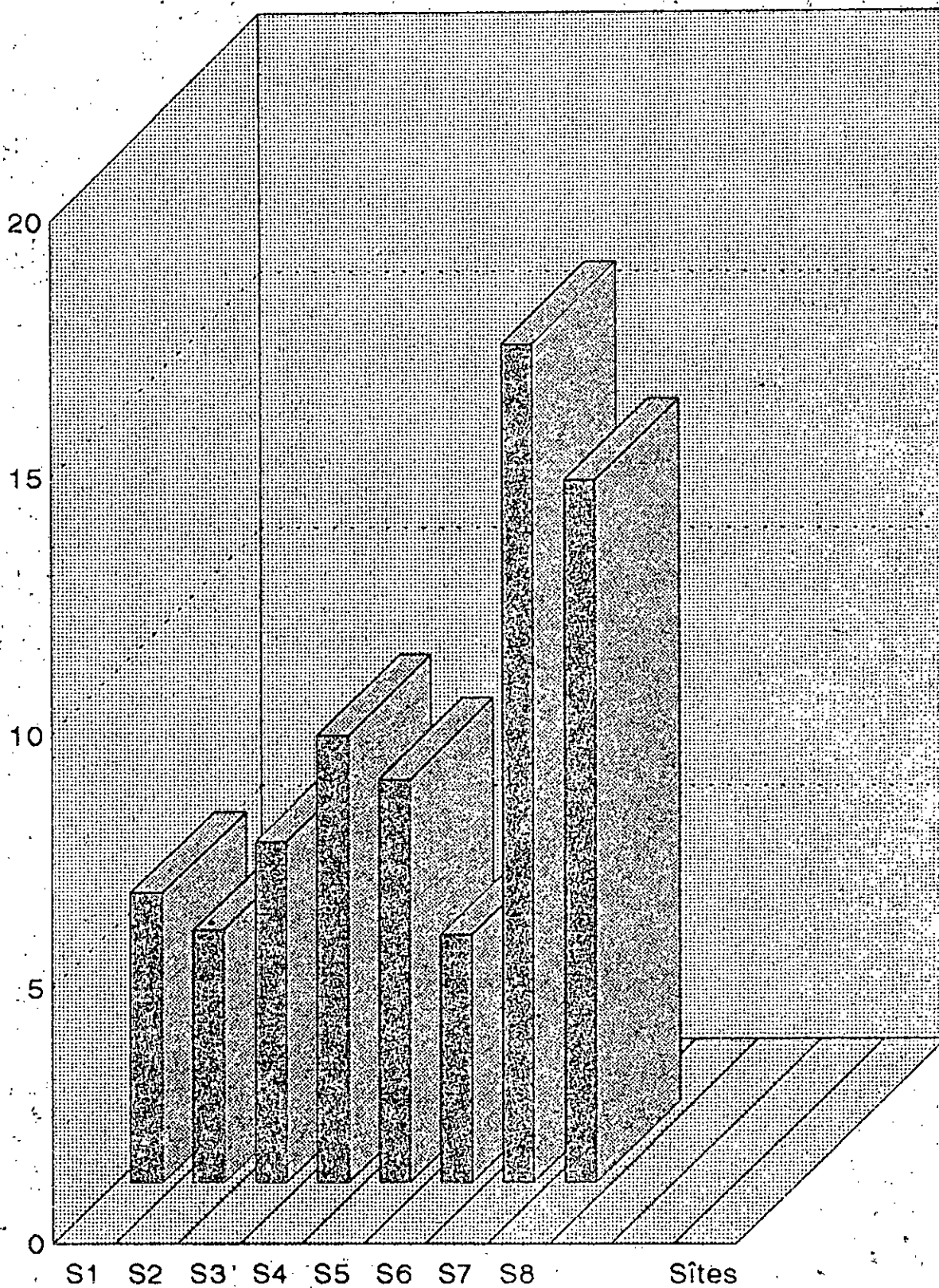


Figure XV

Taux Moyen des Matières Volatiles (%) du Dépôt Total

INFLUENCE METEOROLOGIQUE :

Les facteurs météorologiques, comme la pluie et le vent, exercent respectivement une action autoépuratrice de l'atmosphère et une dilution des particules dans des volumes d'air plus vastes.

Dans ce contexte, et en comparant les volumes des précipitations avec le taux de poussières insolubles, nous remarquons qu'il existe une étroite corrélation entre les deux paramètres.

La corrélation illustrée en figure N° XVI montre l'effet du lessivage dans lequel le taux de particules sédimentées augmente avec les précipitations.

Pour l'étude de l'influence du vent, nous avons déterminé, à partir des données fournies par l'Office Nationale de la Météo, Les fréquences donnant la direction moyenne du vent par quinzaine (voir annexe N° 2):

Les résultats peuvent être résumés comme suit :

	Nord-Est	Sud-Est	Nord-Ouest
1 ^{ère} Quinzaine	33,3 %	20 %	33,3 %
2 ^{ème} Quinzaine	40 %		53,3 %
3 ^{ème} Quinzaine	20 %		73 %
4 ^{ème} Quinzaine	20 %		53,3 %
5 ^{ème} Quinzaine	33 %		40 %
6 ^{ème} Quinzaine	36 %		45 %

TABLEAU N° XII : FREQUENCES DES VENTS

Il en ressort que, sur 5 quinzaines des 6 étudiées, les vents dominants soufflaient dans la direction Nord-Ouest, d'où l'importance des dépôts mesurés au site S1 qui se trouve sous ce vent.

Pendant la 1^{ère} quinzaine, ce sont les vents Nord-Est et Sud-Est qui dominent épargnant par là le site S1 qui accuse, en cette période, le plus faible dépôt.

Il est clair que cette étude sur les effets météorologiques ne présente que les tendances simplifiées. En réalité, les influences peuvent être beaucoup plus complexes car les paramètres direction et vitesse des vents et précipitations agissent simultanément.

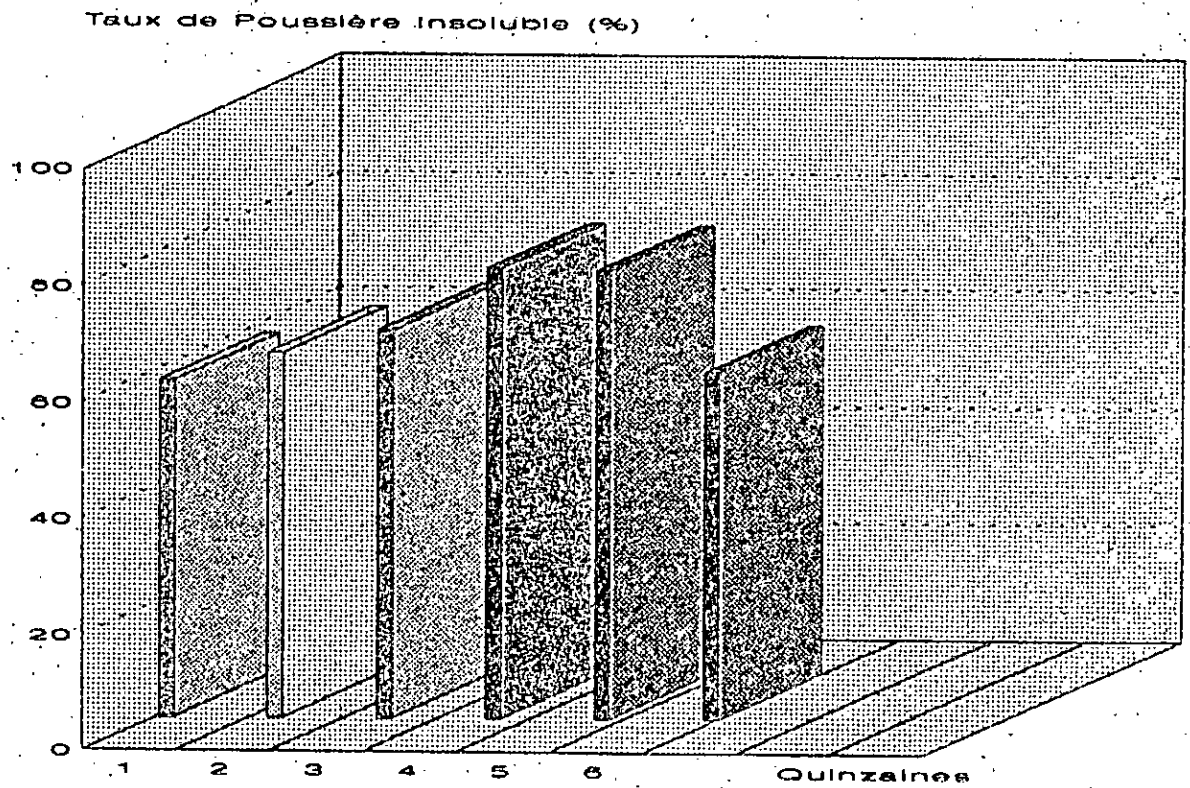
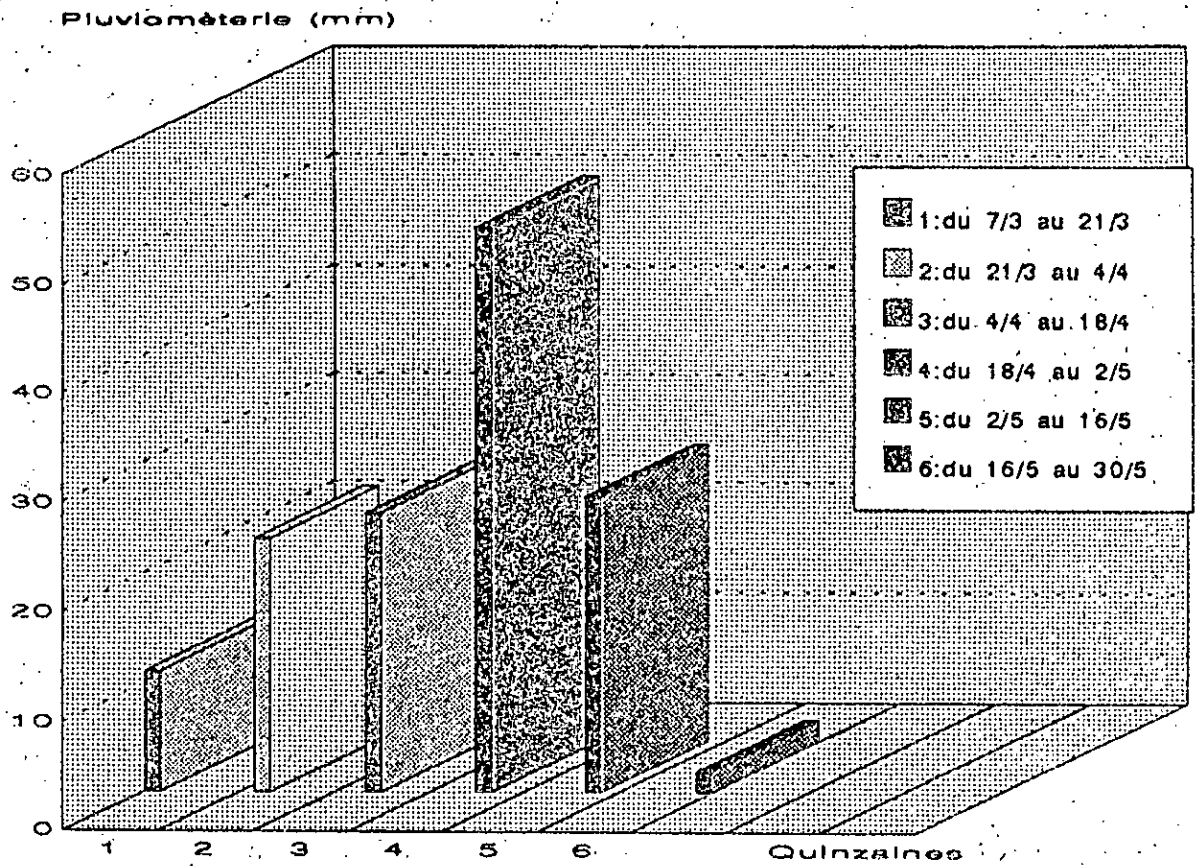


Figure XVI : Taux Moyen de Poussière Insolubles par Rapport au dépôt Total : Sites 1,2,3,4,5,6 et 8

VII-2- ETUDE CHIMIQUE DES DEPOTS :

Après avoir déterminé les niveaux de pollution particulaire atteints aux différents sites à Rais-Hamidou, nous abordons dans ce paragraphe l'étude concernant les retombées de certains éléments chimiques, en particulier quelques éléments majeurs ou d'autres rencontrés en traces.

VII-2-1 - pH DES FRACTIONS SOLUBLES :

Le pH des eaux des jauges est directement lié à la nature des particules solubilisées. Ces dernières peuvent être de nature acide ou alcaline. La variation de pH moyen que nous présentons en figure N° XVII montre qu'il évolue dans un intervalle assez étroit entre 7,4 et 8.

Ceci illustre le caractère homogène des dépôts qui proviennent d'une même source ou de sources identiques. Ce pH est légèrement alcalin et semble être caractéristique des particules provenant des cimenteries. En effet, les composés, telle que la chaux (CaO), présents dans la matière première réagissent dans l'eau de manière alcaline. Cette chaux provient, en fait, du calcaire (CaCO₃) qui, dans les fours, se transforme par élimination du CO₂. Signalons ici que les particules des aérosols marins (NaCl et autres), qui en certains sites sont très importants, ne participent pas à l'alcalinité de ces causes.

VII-2-2 - TENEURS DES RETOMBEES EN ELEMENTS CHIMIQUES :

Selon les moyens dont nous disposons, nous avons effectué une étude partielle de la composition chimique des poussières sédimentées. L'étude a permis d'accéder à la teneur de certains éléments majeurs comme le Calcium, les alcalins et les Chlorures et certains métaux lourds comme le Fer, le Manganèse et le Plomb.

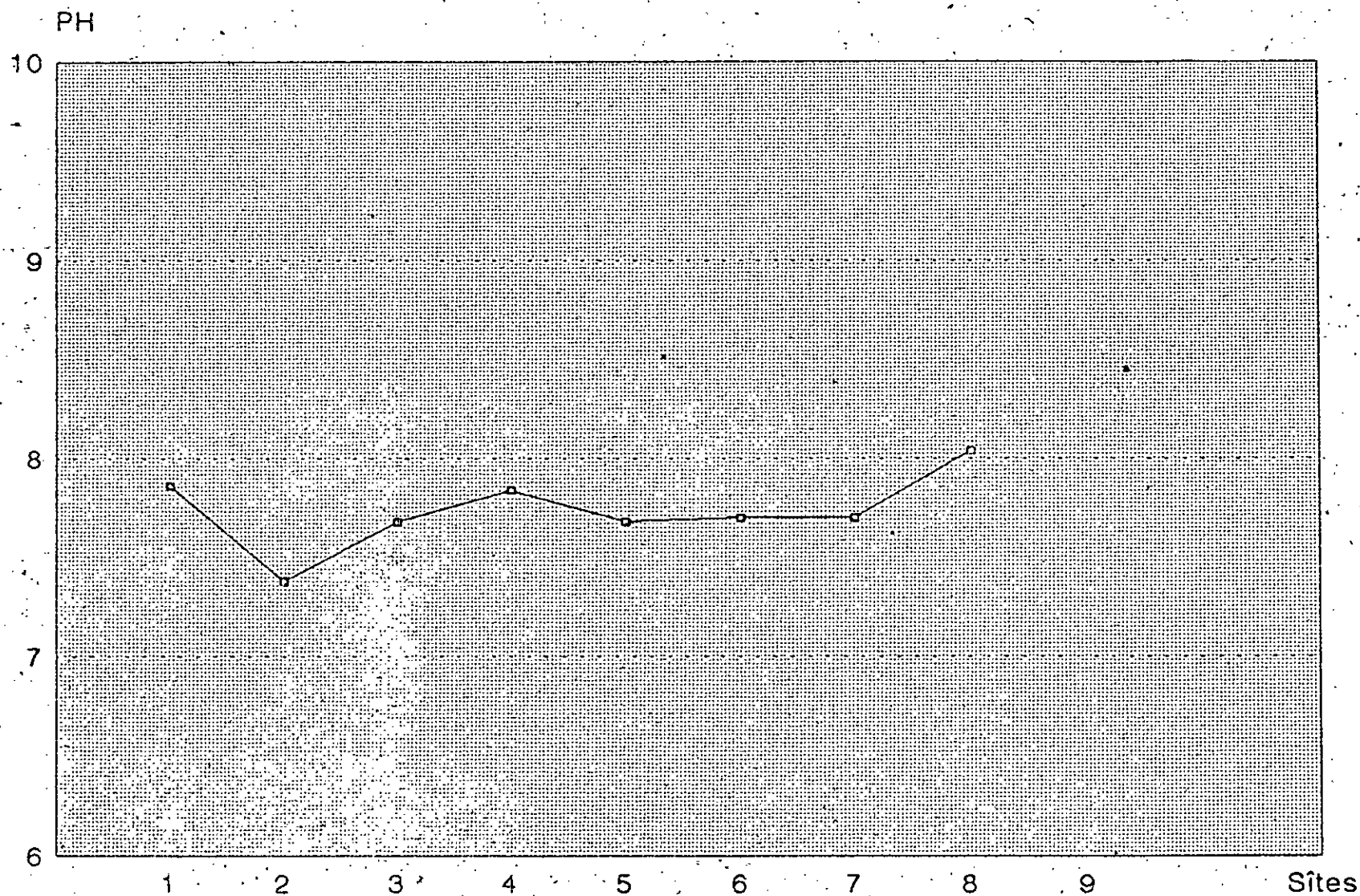
VII-2-2-1 - LES ELEMENTS MAJEURS : ALCALINS, ALCALINO-TERREUX, CHLORURES :

Sachant que les poussières de cimenterie et les embruns marins sont respectivement riches en Calcium et en NaCl, nous avons axé notre étude sur la quantification des éléments Cl⁻, Ca²⁺, Na⁺, K⁺ et Li⁺ contenus dans la fraction soluble.

Les résultats obtenus sont résumés en figures N° XVIII, XIX, XX, XXI et XXII qui donnent les dépôts par site et par quinzaines des éléments sus-cités. La figure N° XXIII résume les dépôts moyens.

Ces figures montrent que le calcium, le sodium et les chlorures prédominent dans ces dépôts. Ils ne représentent pas moins de 80% du dépôt soluble et de 20 à 60% du dépôt total.

A l'inverse des éléments Calcium, Sodium et Chlorures qui sont présents en fortes teneurs dans tous les dépôts avec les différences liées aux sites, le Potassium K⁺ et le Lithium Li⁺ ne se retrouvent qu'à des teneurs relativement très faibles.



34 Figure : PH Moyen des Solutions de Jauges - sur 6 quinzaines - sur les Différentes Sites
XYII

Chlorures (g/m²/quinzaines)

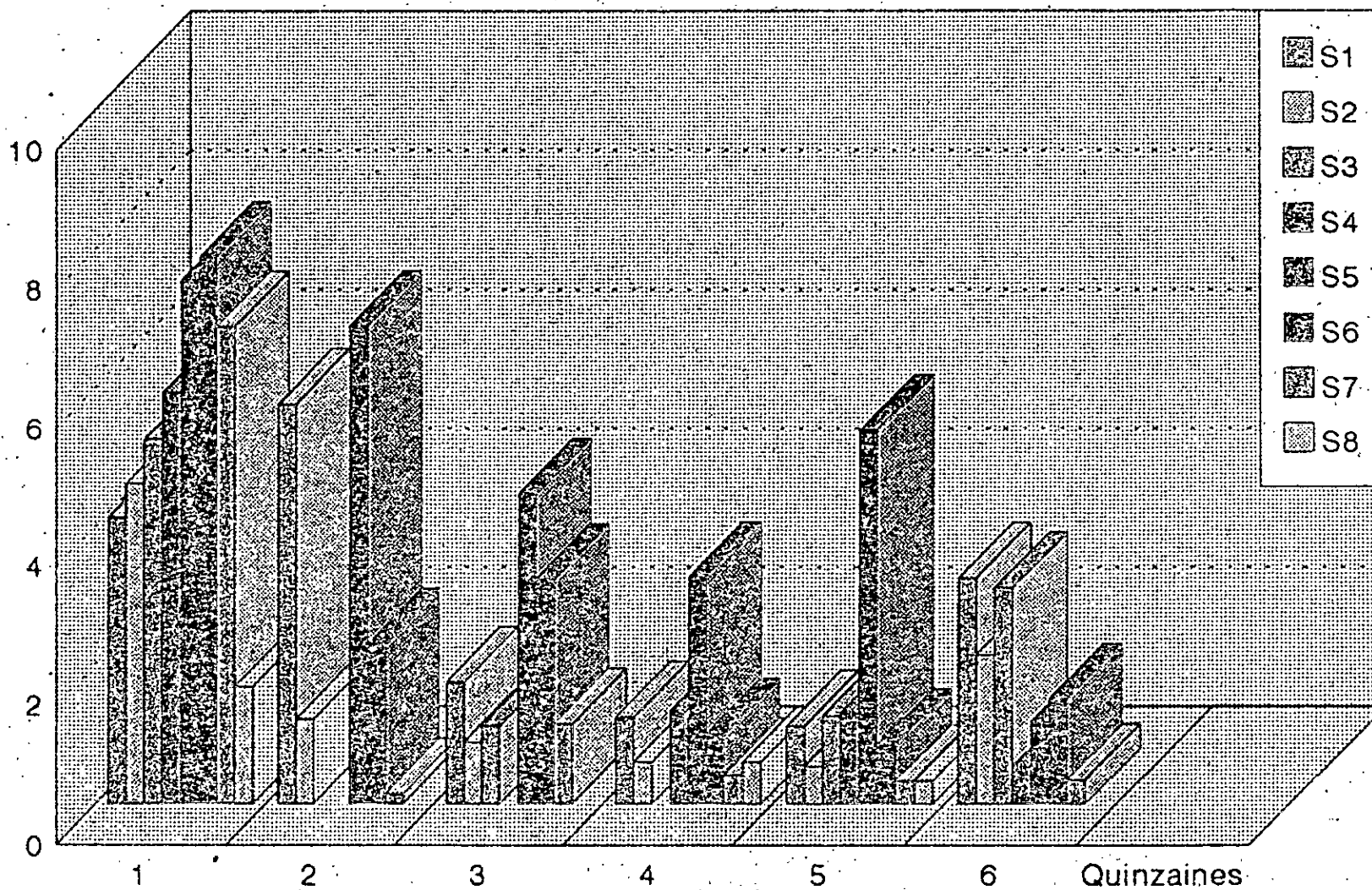


Figure XVIII : Teneurs en Chlorures en Solution :
Du 07 Mars au 30 Mai pour les Sites 1,2,3,4,5,6 et 8
Du 16 Mars au 08 Juin pour le Site 7

477

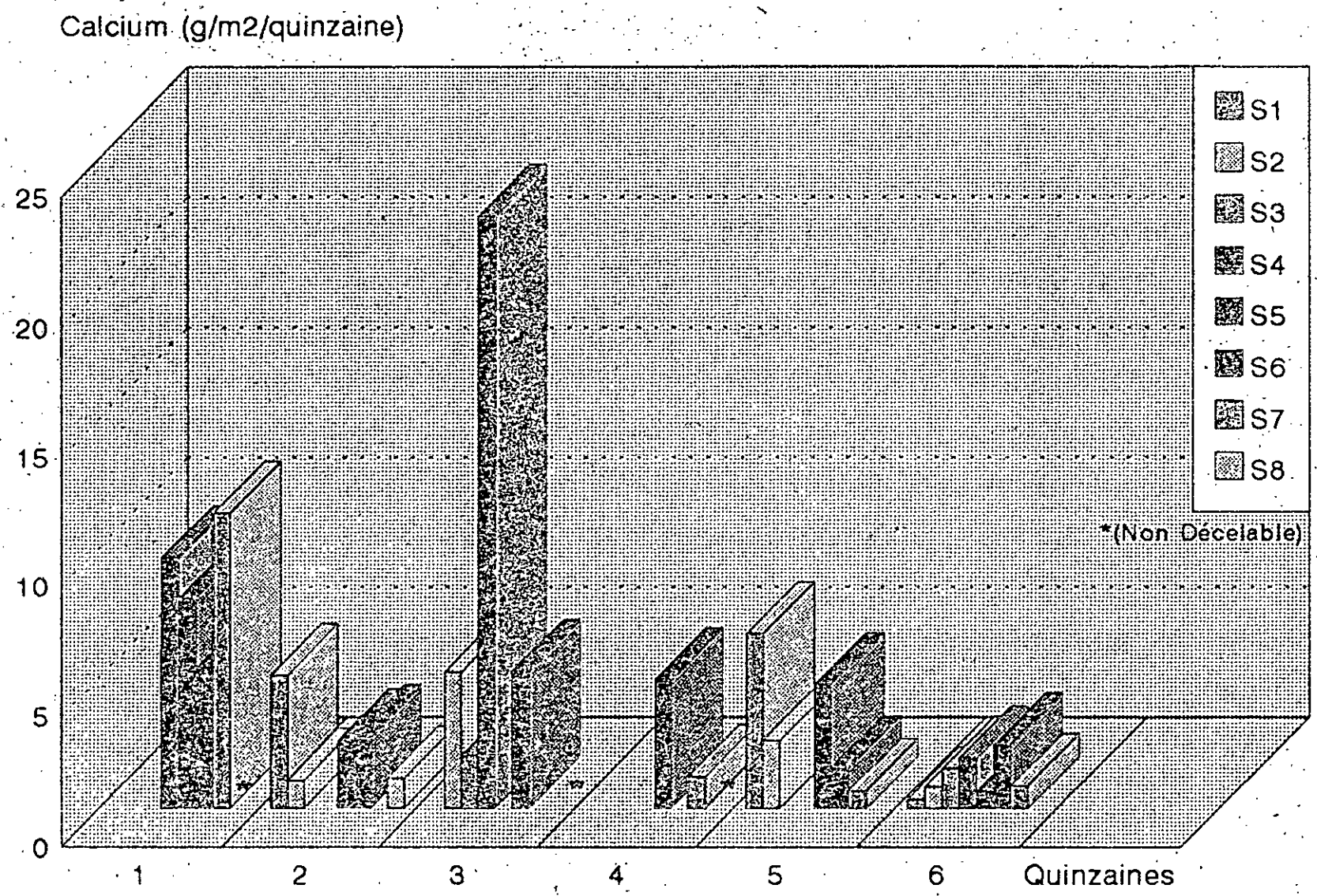


Figure xx : Teneurs en Calcium Soluble:
 Sites 1,2,3,4,5,6 et 8 du 07 Mars au 30 Mai
 Site 7 du 16 Mars au 08 Juin

Sodium (g/m²/quinzaine)

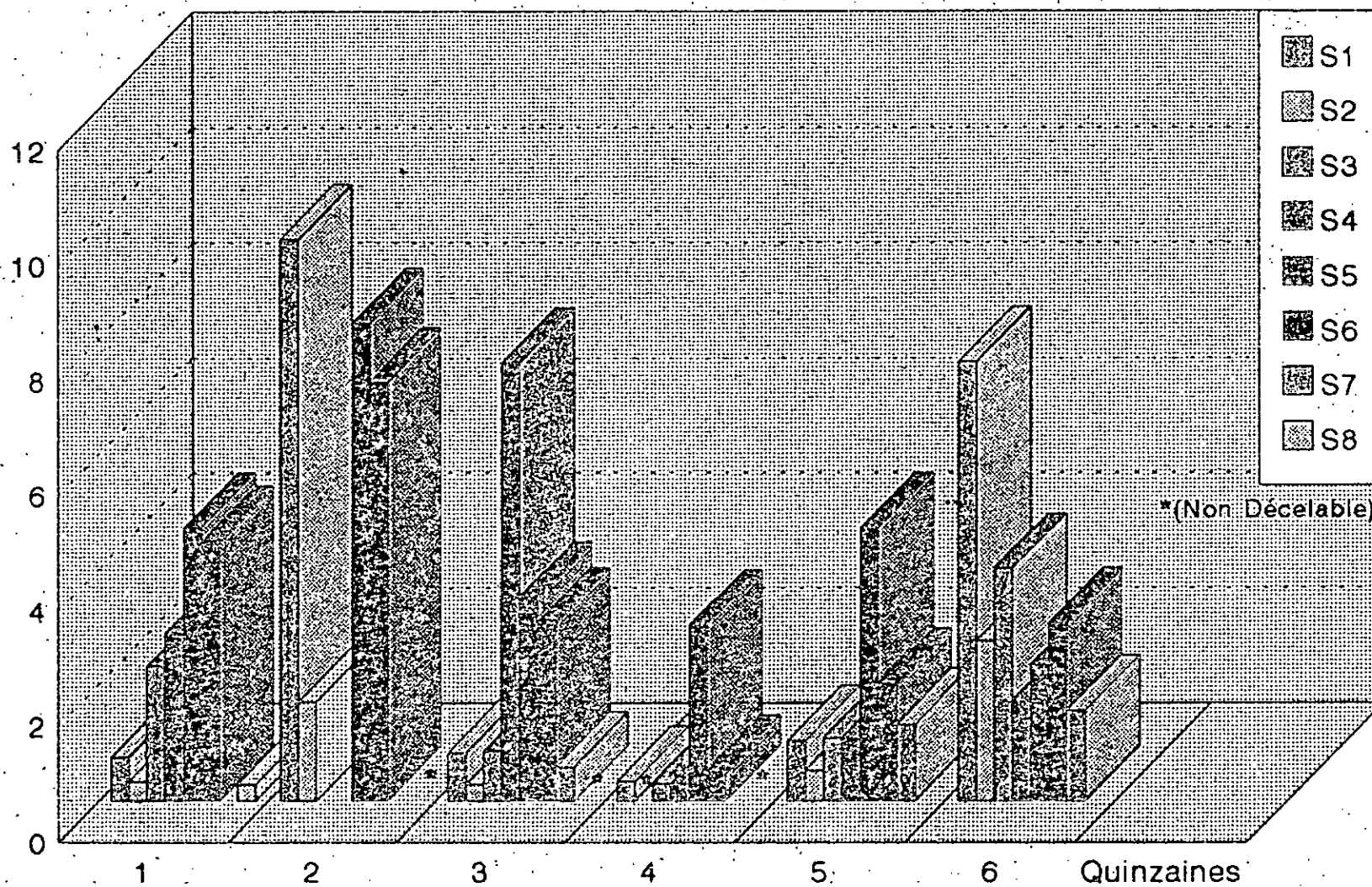


Figure XX : Teneurs en Sodium Soluble sur 6 quinzaines :
 Sites 1,2,3,4,5,6 et 8 du 07 Mars au 30 Mai
 Site 7 du 16 Mars au 8 Juin

Potassium (mg/m²/quinzaine)

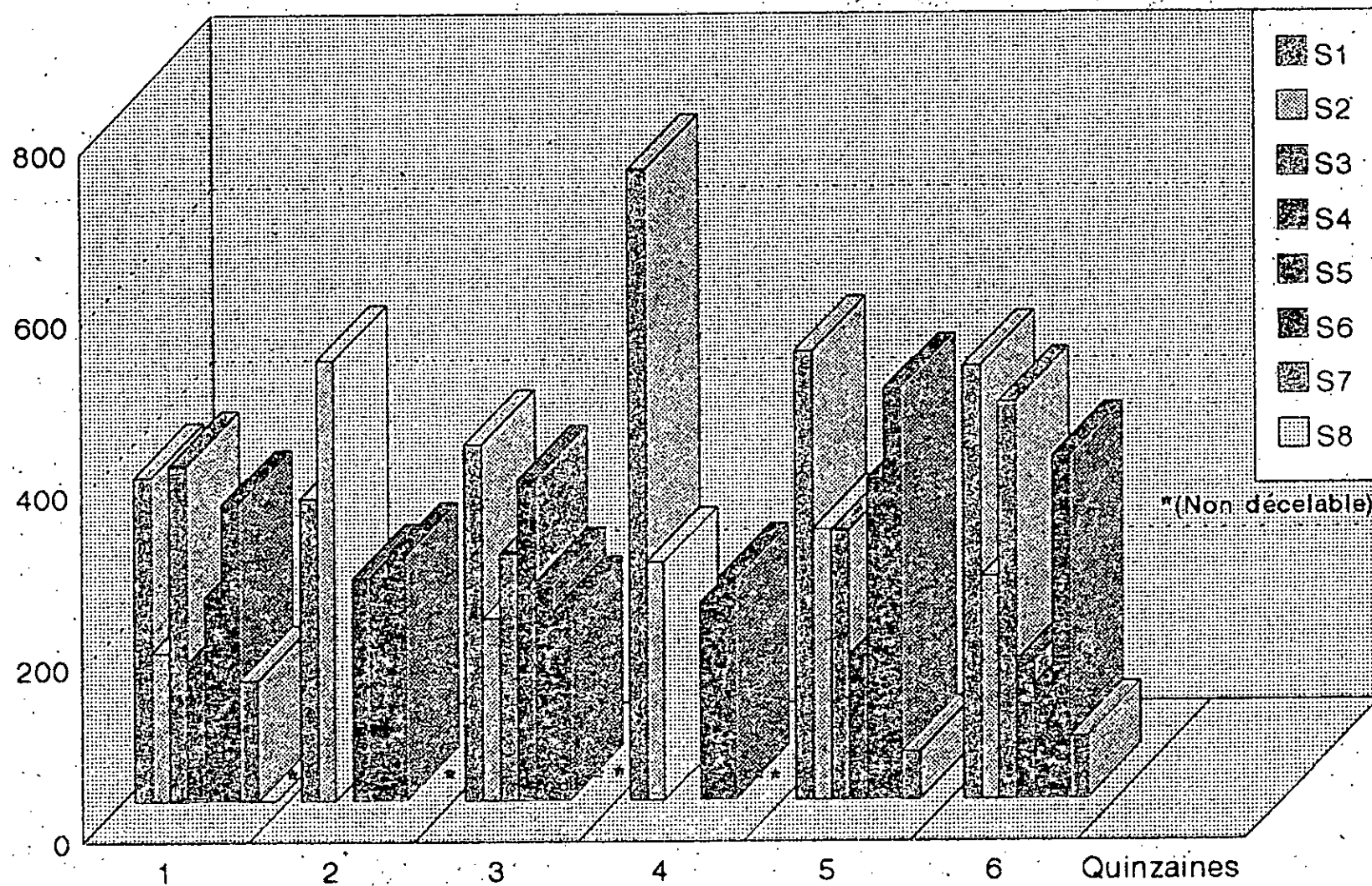


Figure XXI : Teneur en Potassium Soluble:
Sites: 1,2,3,4,5,6 et 8 du 07 Mars au 30 Mai,
Site 7 du 16 Mars au 08 Juin

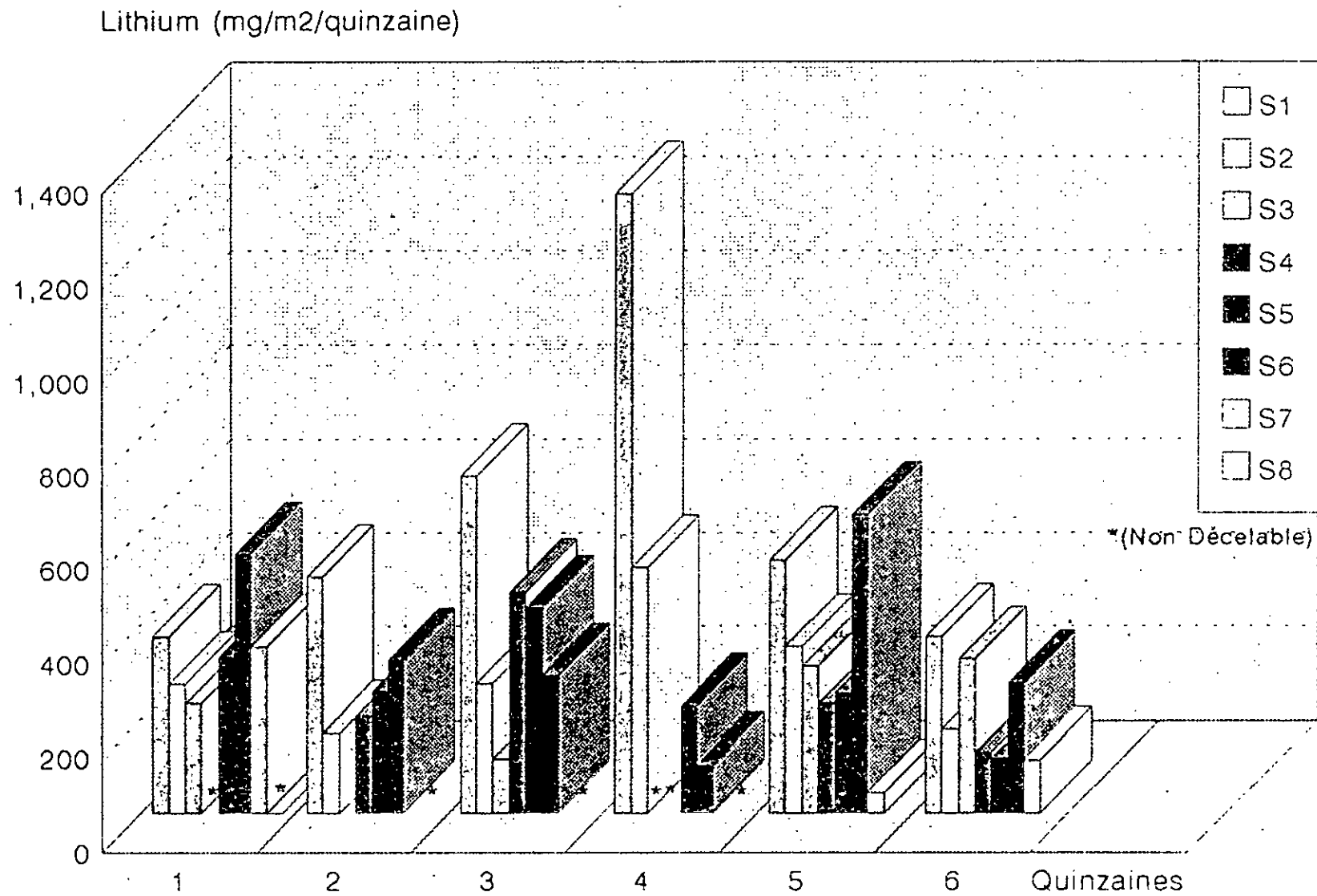


Figure : Teneurs en Lithium Soluble:
 XXII Sites: 1,2,3,4,5,6 et 8 du 07 Mars au 30 Mai
 Site : 7 du 16 Mars au 08 Juin

Cl⁻, Ca²⁺, Na⁺, K⁺, Li⁺ (g/m²/quinzaine)

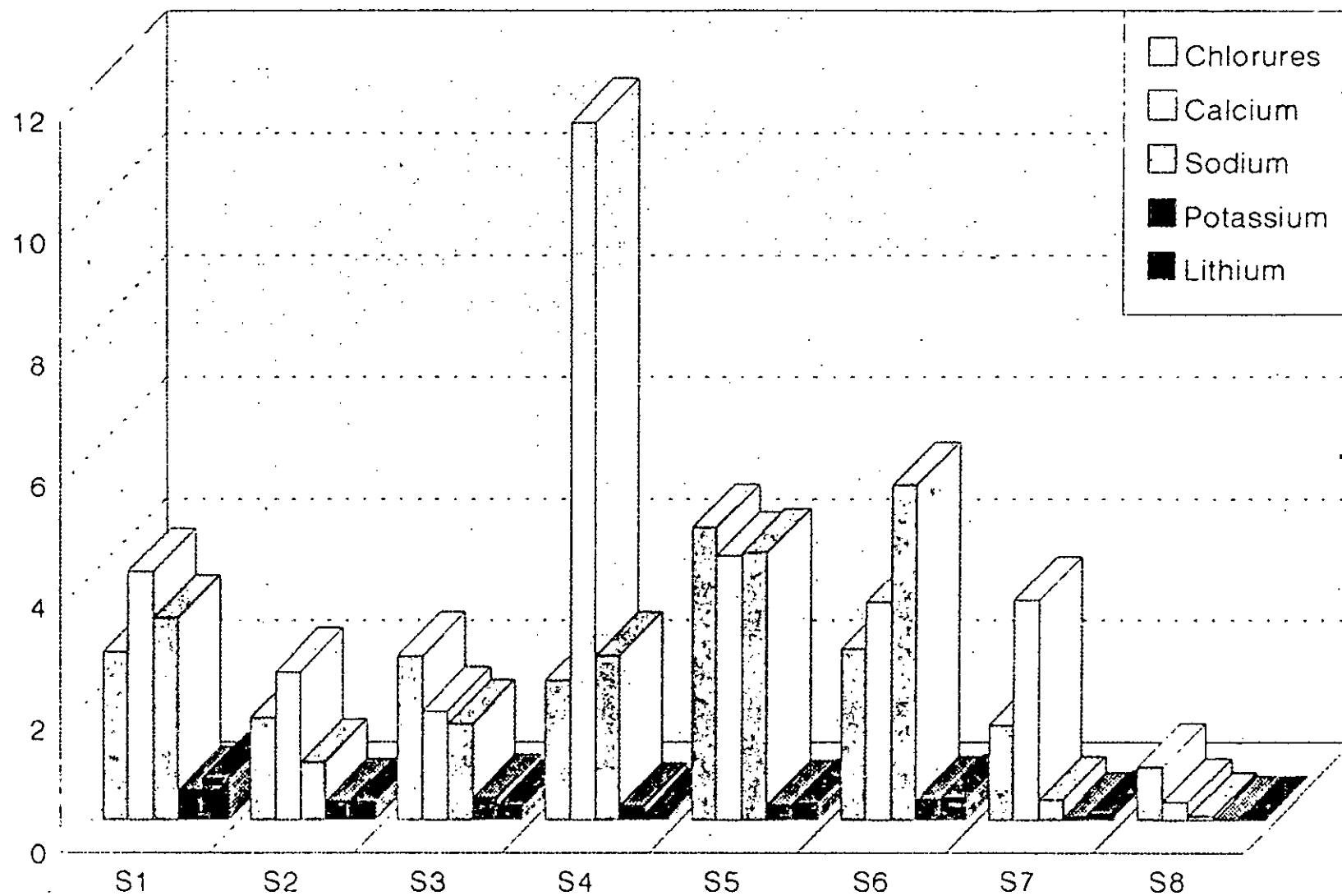


Figure XXIII. Moyennes, sur les différents sites, des chlorures, Calcium, Sodium, Potassium et Lithium solubles déposés sur 6 quinzaines

Les Chlorures sont, en général, en étroite relation avec le Sodium. En effet, selon la valeur du rapport $[Cl^-]/[Na^+]$, on peut avoir une idée sur l'origine de leur émission. Dans le cas des embruns marins, ce rapport est de l'ordre de 1,8. L'étude de ce rapport est illustrée en figure N° XXV.

Les rapports obtenus pour les différents sites de Rais-Hamidou sont globalement plus faibles que le rapport des embruns marins purs.

Ces rapports montrent qu'il existe, selon les sites, un plus ou moins fort enrichissement en Sodium. Cet enrichissement est dû au fait qu'en plus des embruns marins, le Sodium provient de la cimenterie où il se retrouve sous forme d'oxyde (Na_2O).

VII-2-2-2 - LES RETOMBEES EN METAUX LOURDS :

Les retombées métalliques du Fer, Manganèse, et Plomb ont été étudiées sur la fraction insoluble dans l'eau.

Les résultats obtenus sont résumés dans les figures N° XXV, XXVI et XXVII qui illustrent respectivement l'évolution des dépôts de Fer, de Manganèse et de Plomb.

La figure N° XXVIII présente les moyennes enregistrées au niveau de chaque station de mesure.

On constate que parmi les métaux étudiés, c'est surtout le Fer qui est émis en abondance par la cimenterie.

Sur les six sites situés à Rais-Hamidou, le Fer se retrouve en moyenne à des teneurs dix (10) fois plus élevées que dans les dépôts urbains de Bouzareah ou du Palais du Peuple à Alger centre. Son origine est donc clairement mise en évidence.

Le Manganèse qui possède en général la même source que le Fer, et qui se retrouve à des teneurs plus faibles, suit en général l'évolution du Fer.

Les dépôts les plus riches en Fer le sont aussi en Manganèse. L'étude du Plomb (figure N° XXVIII) montre, par contre, que les émissions issues de la cimenterie sont moins importantes que celles provenant du trafic routier. Les dépôts de plomb les plus élevés sont en effet enregistrés à Bouzareah et, à un degré moindre, à proximité de la route nationale qui traverse Rais-Hamidou (Site S4).

VII-2-3 - NORMES DES RETOMBEES METALLIQUES DANS D'AUTRES PAYS :

Les normes concernant les retombées métalliques existent surtout pour les métaux lourds toxiques, à savoir les Plomb et Cadmium. Pour ces deux éléments les normes préconisées en Suisse et en Allemagne s'élèvent à [20],[21]

- Suisse	: Plomb	100 $\mu g/m^2/jour$
	: Cadmium	2 $\mu g/m^2/jour$
- Allemagne	: Plomb	250 $\mu g/m^2/jour$
	: Cadmium	5 $\mu g/m^2/jour$

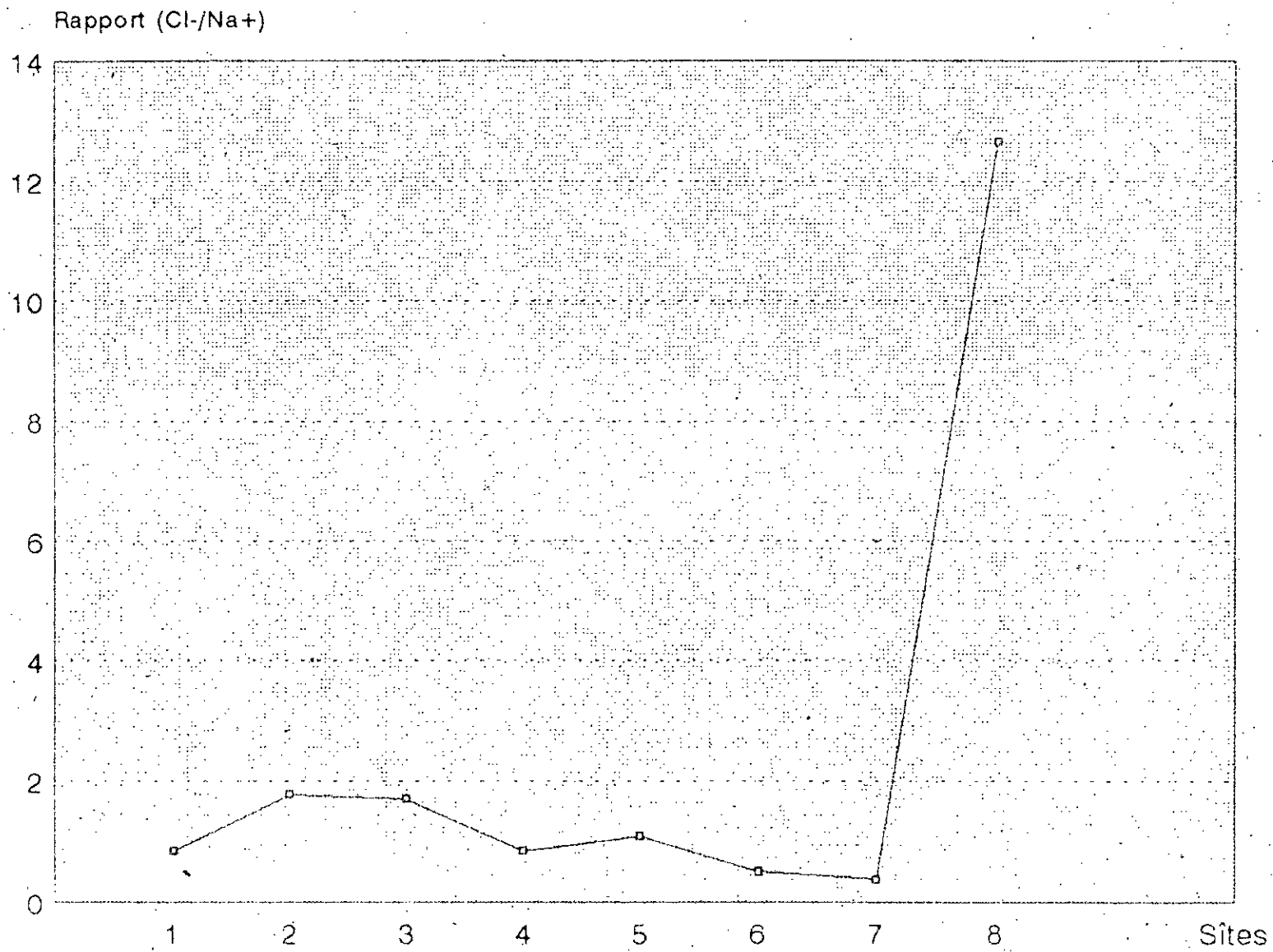


Figure XXIV Evolution du rapport moyen (sur 6 quinzaines) Chlorure/Sodium sur les différents sites

Fer (g/m²/quinzaine)

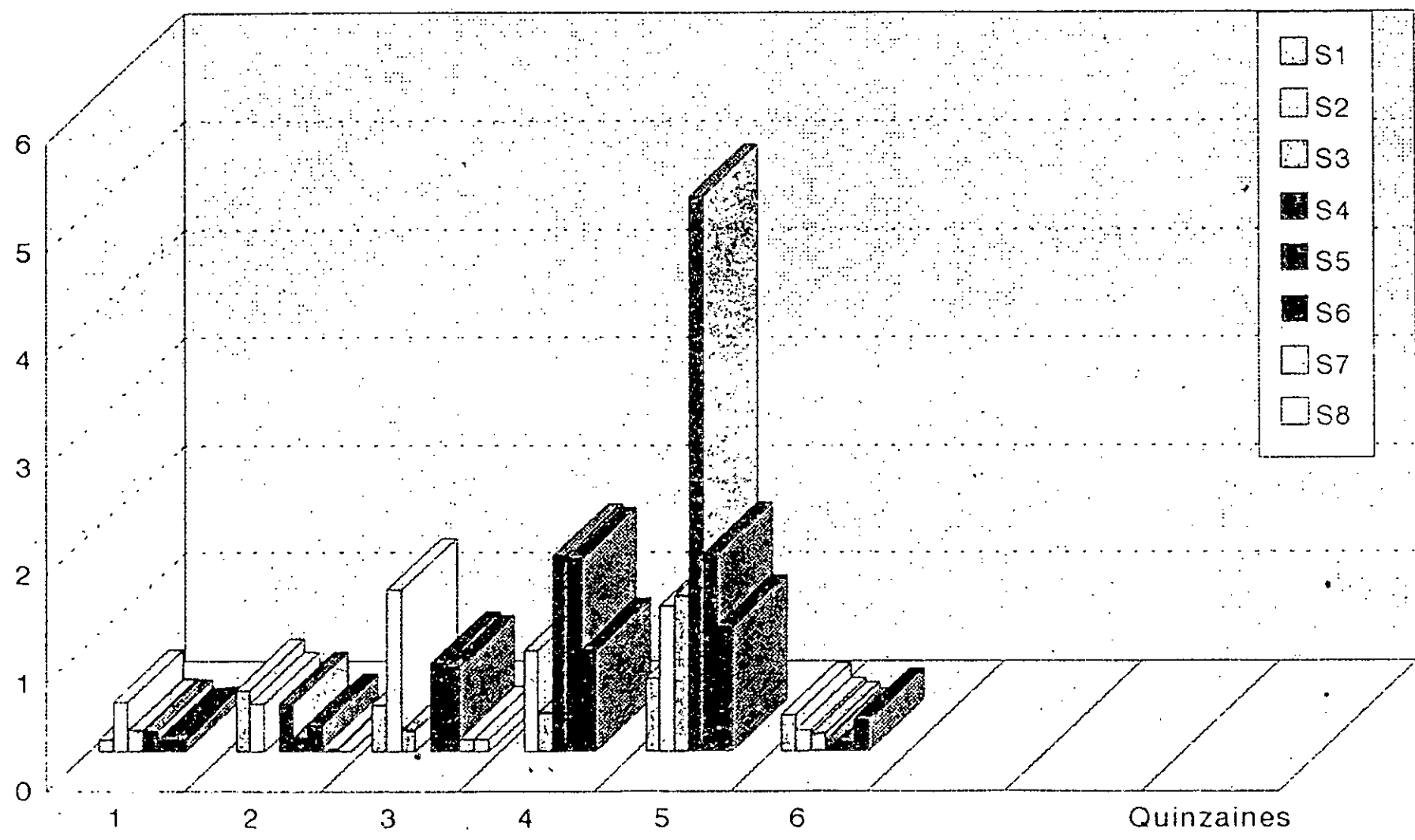


Figure XXV Teneurs en Fer Insoluble sur les Différents Sites:
Sites S1, S2, S3, S4, S5, S6 et S8 du 07 Mars au 30 Mai
Site S7 du 19 Mars au 08 Juin

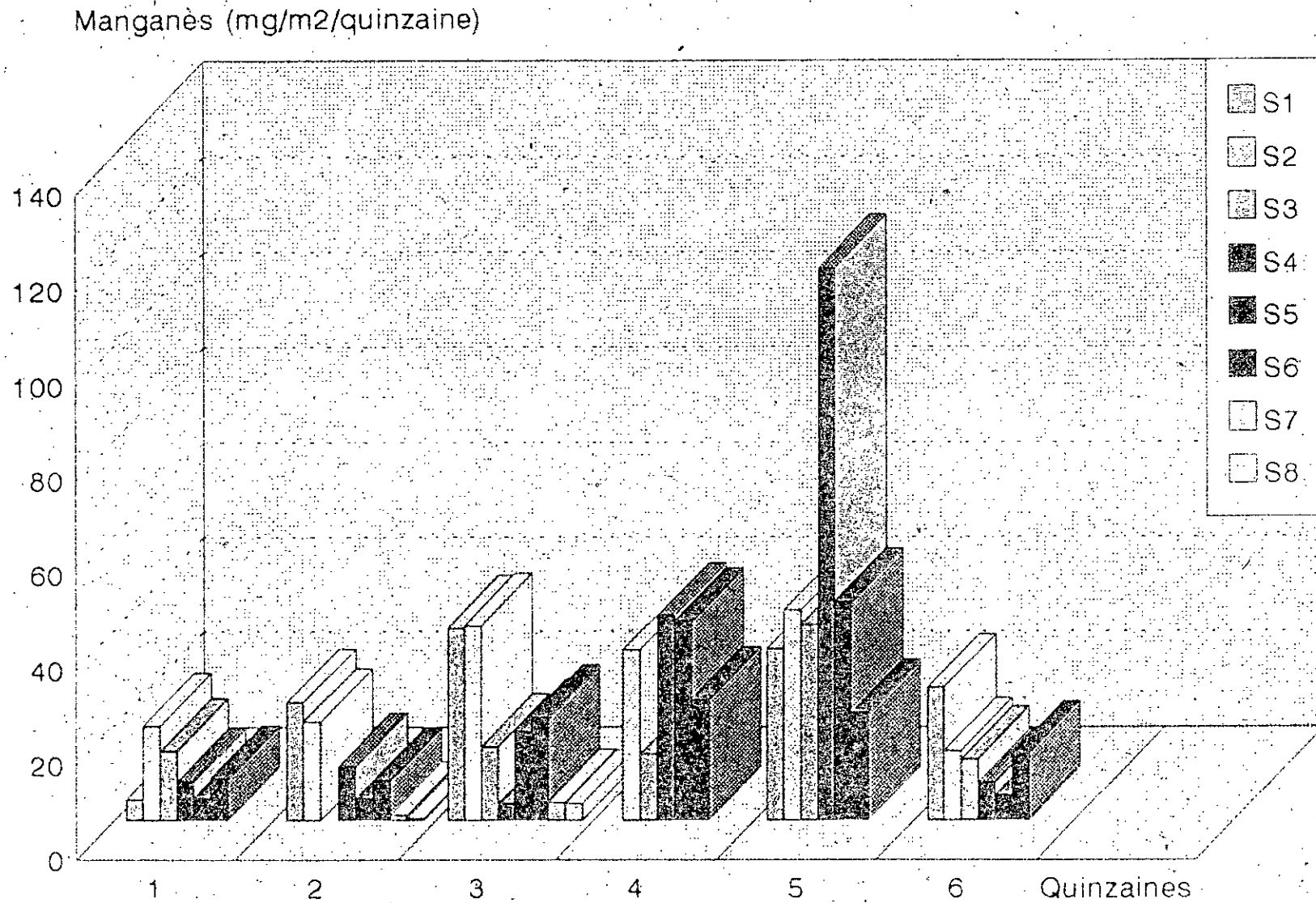


Figure XXVI : Teneur en Manganèse Insoluble sur les Différents Sites:
 Sites 1, 2, 3, 4, 5, 6 et 8 du 7 Mars au 30 Mai
 Sites 7 du 16 Mars au 8 Juin

Plomb (mg/m²/quinzaine)

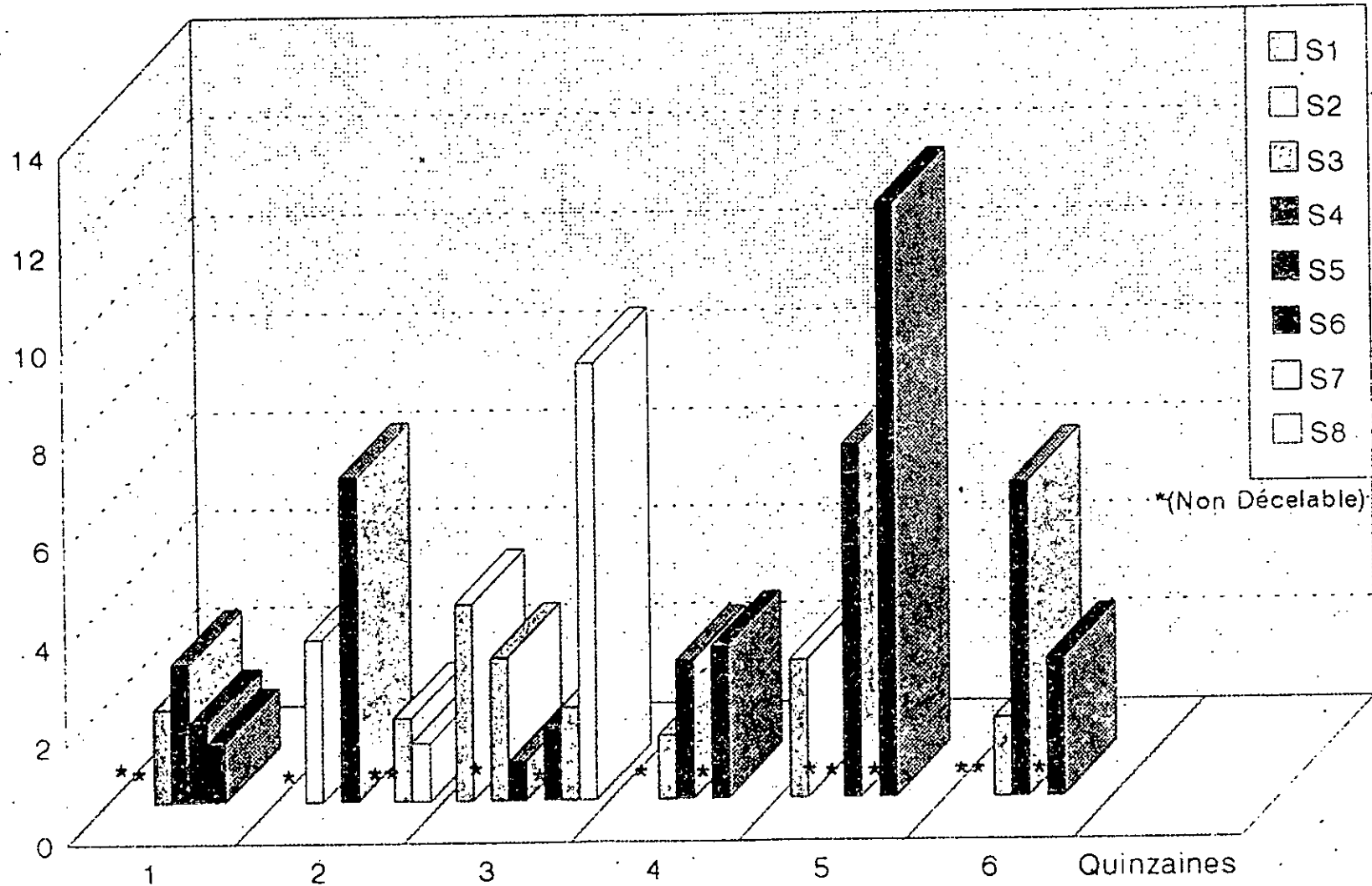


Figure
XXV II

Teneurs en Plomb dans la Fraction Insoluble
 Sites: 1,2,3,4,5,6 et 8 du 7 Mars au 30 Mai
 Sites: 7 du 16 Mars au 8 Juin

Fe, Mn, Pb (mg/m²/quinzaine)

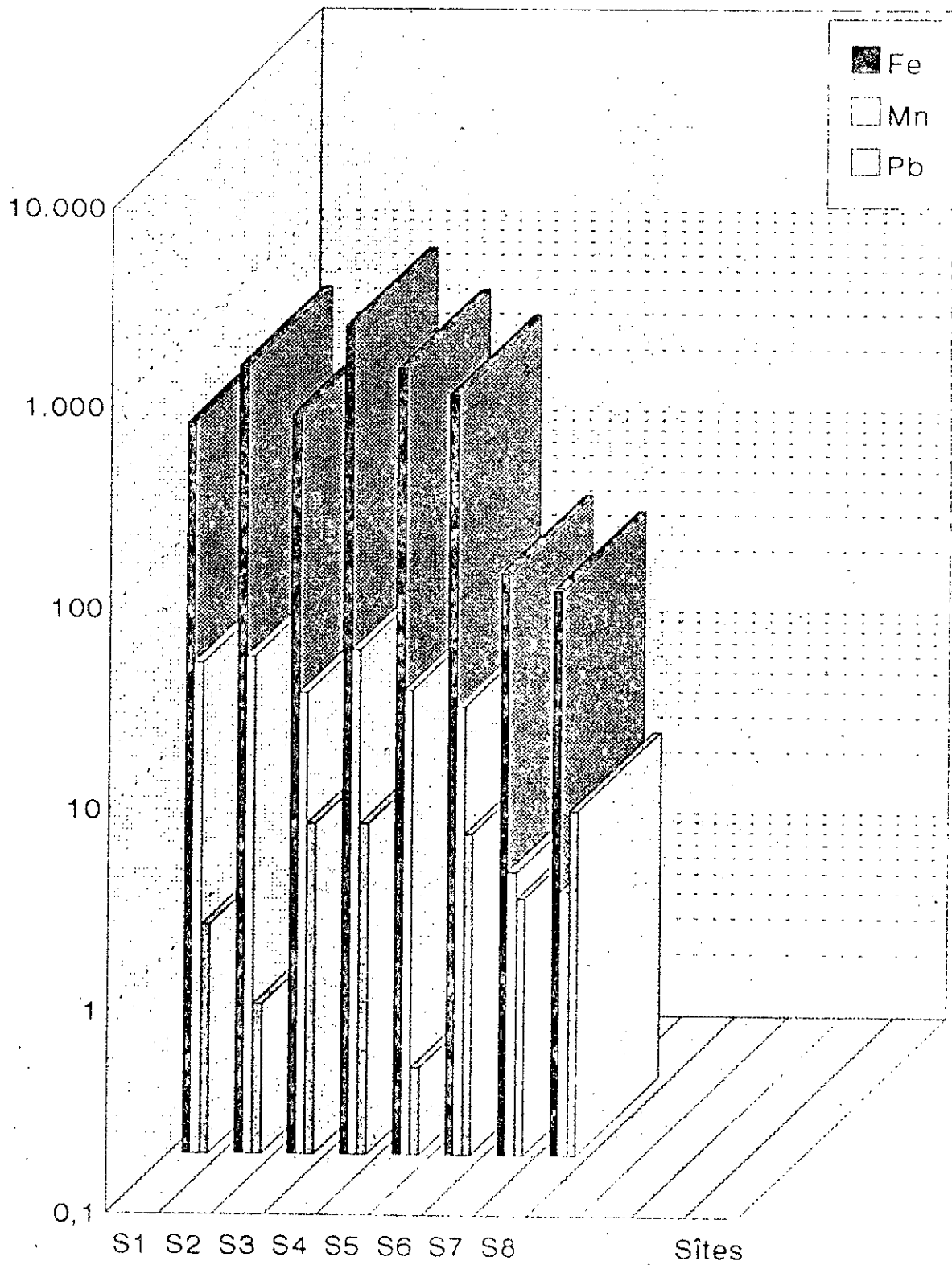


Figure xxvii : Teneurs Moyennes des Métaux Lourds Fe, Mn et Pb Mesurées au Niveau des Divers Sites

Rapporté à une quinzaine, cela signifie, pour le Plomb, des valeurs limites de 1,5 mg/m³/quinzaine (Allemagne).

Une comparaison montre que les dépôts enregistrés pour certains sites de Rais-Hamidou dépassent les normes préconisées dans ces pays. Il faut toutefois rappeler que ces normes représentent des moyennes annuelles et qu'il faudrait effectuer des études sur une plus longue période pour tirer des conclusions définitives.

Il serait d'autre part intéressant de comparer les teneurs des éléments de Rais-Hamidou avec ceux enregistrés dans d'autres pays.

Le tableau N° XIII résume à cet effet quelques retombées dans d'autres régions du monde.

	RAIS-HAMIDOU	BELGIQUE	GIBRALTAR	SEVILLE
Ca	9220	/	457,8	441
Na	3050	45	481,5	150
K	320	27	58,2	75
Fe	735	30	162	207
Mn	24	/	3	1,5
Pb	2	0,7	3,5	7,8
Cl	2780	/	900	530

**TABLEAU N°13 : RETOMBÉES METALLIQUES ENREGISTRÉES
DANS LE MONDE (mg/m²/Mois) [18]. [22].**

Cette comparaison illustre clairement l'ampleur de la pollution particulière par les métaux alcalins et alcalino-terreux et certains métaux lourds comme le Fer et le Manganèse.

CONCLUSION

L'étude des retombées particulières effectuée à Rais-Hamidou a révélé la présence d'une importante pollution. Les dépôts enregistrés au niveau des divers sites montrent que toute l'agglomération de Rais-Hamidou est fortement touchée par cette pollution. Le périmètre contaminé s'étend à l'ouest jusqu'à la sortie et au delà de la ville, et au Sud jusqu'aux collines surplombant la ville. Le flanc Est de la ville de Rais-Hamidou en direction d'Alger, qui n'a pas été examiné dans cette étude, devrait être protégé naturellement par le relief de la région.

L'étude a permis en outre de déterminer la fraction soluble des poussières qui peut être plus nuisibles aux plantes, aux eaux de surfaces et au sol.

Le caractère minéral des dépôts a été mis en évidence par l'étude de la fraction des matières volatiles.

L'examen de l'influence des facteurs météorologiques a montré que la pluie augmente le taux des dépôts insolubles, et que les directions des vents conditionnent l'ampleur du dépôt aux divers sites.

L'étude analytique que nous avons effectuée sur les différents dépôts montre le caractère basique de ces poussières et leur richesse en éléments alcalins et alcalino-terreux. Les autres éléments comme les métaux lourds (Fer, Manganèse, et Plomb) se retrouvent dans les dépôts à des teneurs anormalement élevées.

La comparaison des retombées de Rais-Hamidou avec celles d'autres pays montre clairement l'état de contamination de l'atmosphère de Rais-Hamidou par les émissions de la cimenterie qui est implantée dans la région.

Avec ces résultats on comprend mieux la gêne que constitue cette cimenterie et il est grand temps que les autorités compétentes prennent les décisions qui s'imposent.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] : J.P. Detrie - La pollution atmosphérique. Dunod. Paris 1969.
- [2] : S. Anguel - Pollution par les retombées particulaires à Alger. Cas de la région de Rais-Hamidou. Projet de fin d'études. E.N.P. 1992.
- [3] : J.D. Butler - Air pollution chemistry. Academic Press. London. PP 51, 52, 85. 1979.
- [4] : F. Ramade - Ecotoxicologie. Masson. Paris. 1979.
- [5] : R. Kerbachi - Cours de pollution atmosphérique. 5^{ème} Année génie de l'environnement. E.N.P. 1992 - 1993.
- [6] : A.C. Stern - Fundamentals of air pollution. 2nd Edition. Academic press. London.
- [7] : M. Barnea - Pollution et protection de l'atmosphère
- [8] : C. Dang, G.P. Fontelle, R. Leygonie - Les émissions de poussières et généralités sur leurs mesures à l'émission. Revue Pollution Atmosphérique N° 125. Paris. 1990.
- [9] : W.H. Shroeder et Al - The fate of toxic airborne pollutants. Environmental Science and technology N° 3. Vol.22.1988.
- [10] : M. Duriez et J. Arrambide - Nouveau traité de matériaux de construction. Tome 1. 2^{ème} Edition. Dunod. Paris. 1961.
- [11] : Laarabi - Cours de matériaux de construction. 3^{ème} Année génie civil. E.N.P. 1990-1991.
- [12] : F. Petit-Coviaux; A. Person; Y. Le Moullec - Connaissance des particules atmosphériques en milieu urbain. Revue Pollution Atmosphérique N° 125. Paris. 1990.
- [13] : O.M.S. - Manuel de gestion de la qualité de l'air des villes. Publication régionale. Série Européenne N° 1. O.M.S. Copenhague. 1978.
- [14] : J. Remil - Procédés de dépoussiérage des gaz dans l'industrie. Revue Pollution Atmosphérique N° 125. Paris. 1990.
- [15] : M. Neuberger et M. Kundi - Gesundheitsrisiken Beruflicher Stanbbelastung, STAUB REIN HALTUNG. Der luft N° 45 (3) P 135. 1985.
- [16] : S. Abdelrezak - Cours d'hygiène et sécurité industrielle. 5^{ème} Année Génie de l'environnement. E.N.P. 1992-1993.
- [17] : Rapport de Landesanstalt für immissionschutz (N.W.) Um Weltbelastung. Durch Thallium. 1980.
- [18] : M. Boughedaoui - Contribution à l'étude de la pollution gazeuse et particulaire dans le grand Alger. Thèse de Magister. E.N.P. 1993.

- [19] : Cahier de l'environnement N° 180 (Air) - La signification des valeurs limites d'immisions de l'ordonnance sur la protection de l'air. Office fédérale de l'environnement, des forêts et du paysage (O.F.E.F.P.). Berne. Juillet 1992.
- [20] : T.A. LUFT. - Bundesimmissions-Schutzgesetz von 27.2. 1986. Dusseldorf.
- [21] : Eidg. Département des innen - Luftrein-Halte. Verordnung (LRV). Bern. März 1986.
- [22] : 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.
- [23] : J. Rodier - L'analyse de l'eau - Eaux naturelles, Eaux résiduaires, Eaux de mer. Dunod. Paris. 1984.

ANNEXE 1

DETERMINATION DE LA TENEUR EN CHLORURES :

La teneur des poussières dissoutes dans l'eau [23] en chlorures est déterminée par la méthode volumétrique de Mohr explicitée ci-dessous :

200 ml de l'eau récupérée sont dosés, après mesure du pH (qui doit être neutre) et de la conductivité, grâce à du nitrate d'argent (AgNO_3) 0,1N.

L'indicateur de virage est le chromate de potassium K_2CrO_4 qui colore la solution à doser en jaune. Le virage se fait par un changement de couleur du jaune au rouge-marron.

1ml de AgNO_3 0,1N correspond à une quantité de 3,545mg de chlorures. Le résultat obtenu est rapporté, d'abord en milligramme par litre puis au volume total d'eau récupérée sur le site et enfin par unité de surface.

DETERMINATION DES IONS CALCIUM, LITHIUM, SODIUM, ET POTASSIUM :

Elles se font par photométrie de flamme. Des courbes d'étalonnage de l'appareil sont tracées grâce à la préparation de solutions-filles de concentrations différentes. L'ensemble de ces solutions représente les solutions d'étalonnage. Le principe de la méthode est basé sur le fait que les atomes alcalins et alcalino-terreux s'excitent facilement à basse température en émettant des raies intenses (Doublets) situées dans la zone visible du spectre.

DETERMINATION DE LA MATIERE ORGANIQUE (OU MATIERES VOLATILES) :

Une partie des poussières est pesée puis calcinée dans un four à 550°C pendant 2 heures. Une fois ces poussières sorties du four et refroidies, elles sont à nouveau pesées. La masse obtenue est inférieure à la première. La différence entre ces deux masses représente la matière volatile. Le rapport entre cette différence de masse et la masse de poussière avant calcination donne la fraction (ou pourcentage) de matières volatiles (ou organiques) contenue dans les poussières.

ANALYSES DES FER, MANGANESE ET PLOMB :

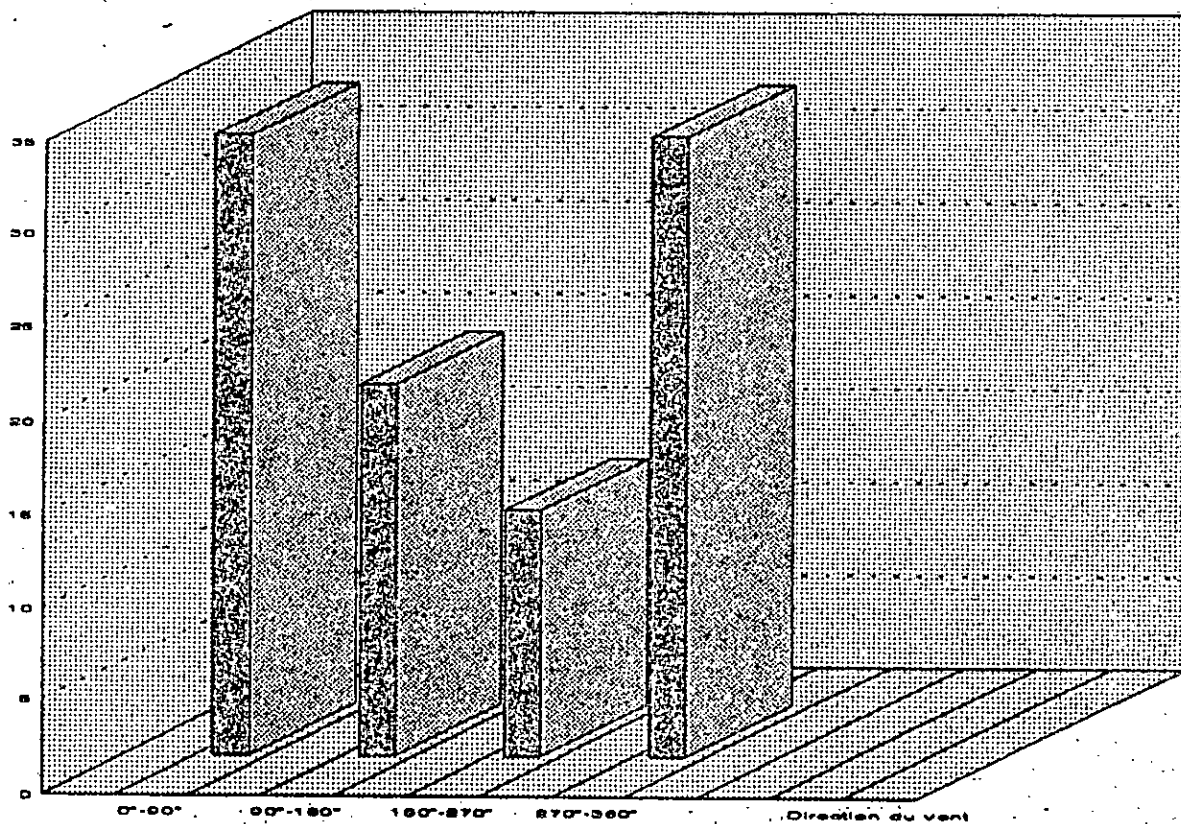
Les dosages du fer, du manganèse et du plomb sont effectués par spectrométrie d'absorption atomique.

Les longueurs d'onde des éléments sont :

Fer	: 248,3nm,
Manganèse	: 285,2nm,
Plomb	: 283,3nm.

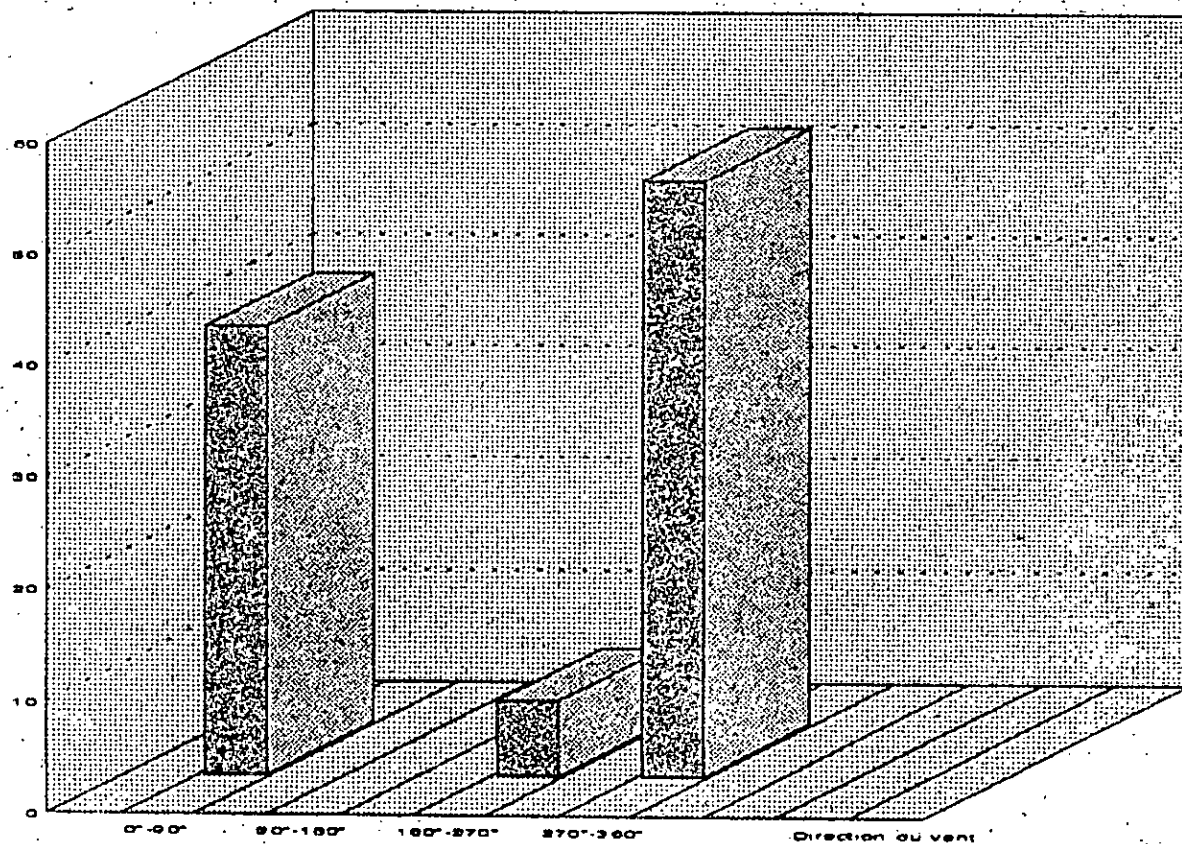
ANNEXE 2

% Fréquence des Vents



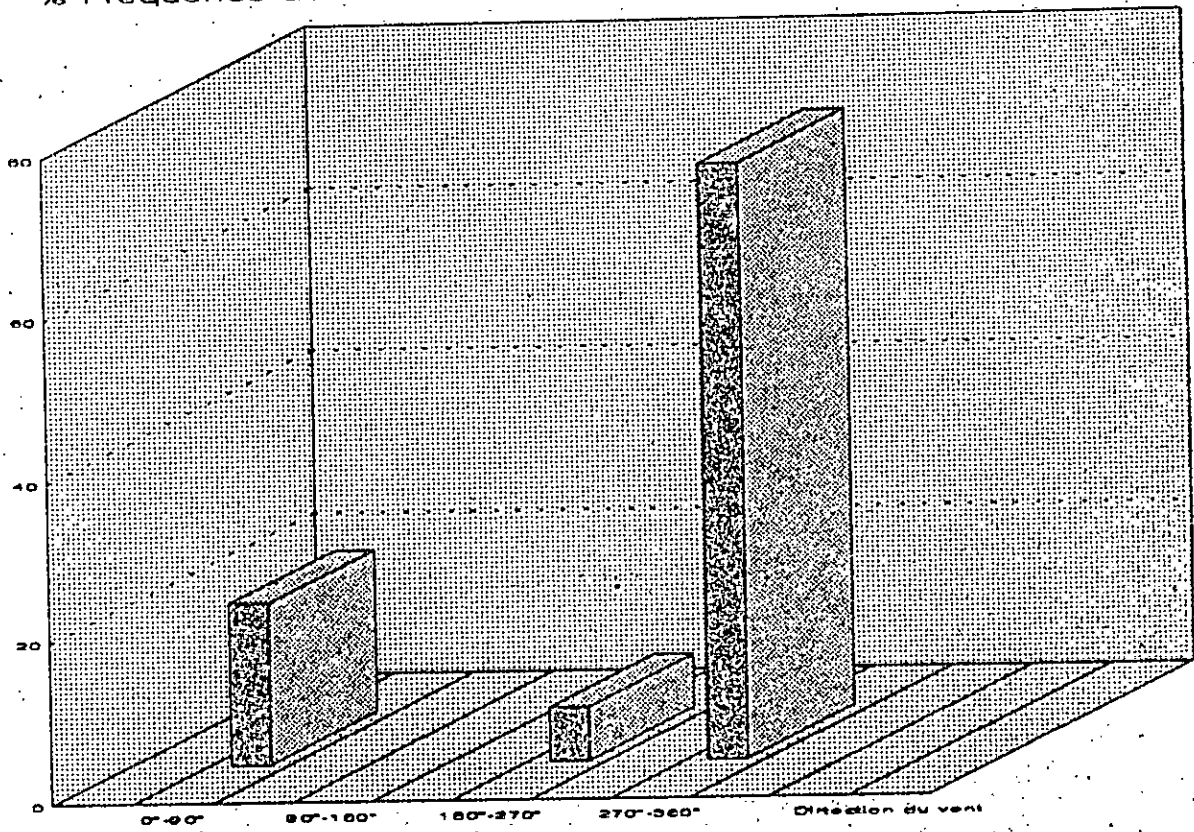
Fréquences des Vents: 1er quinzaine du 7/3 au 21/3

% Fréquence des vents



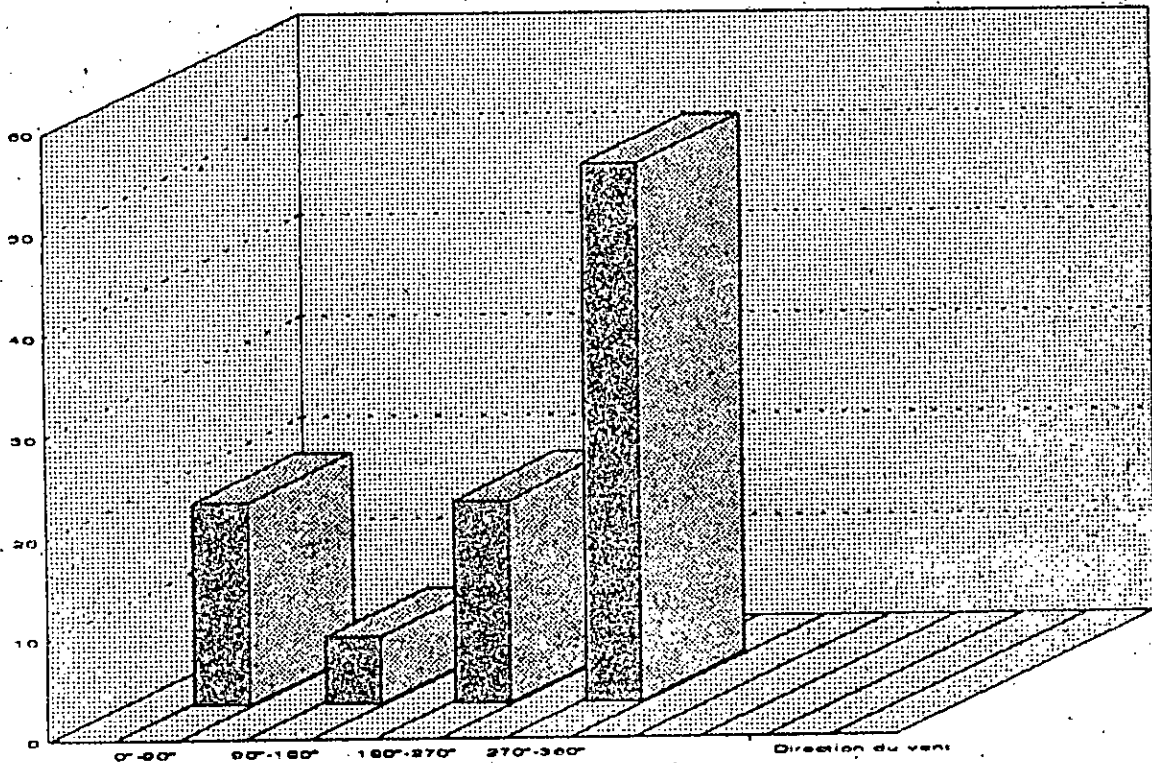
Fréquence des Vents du 21/3 au 4/4

% Fréquence du vent



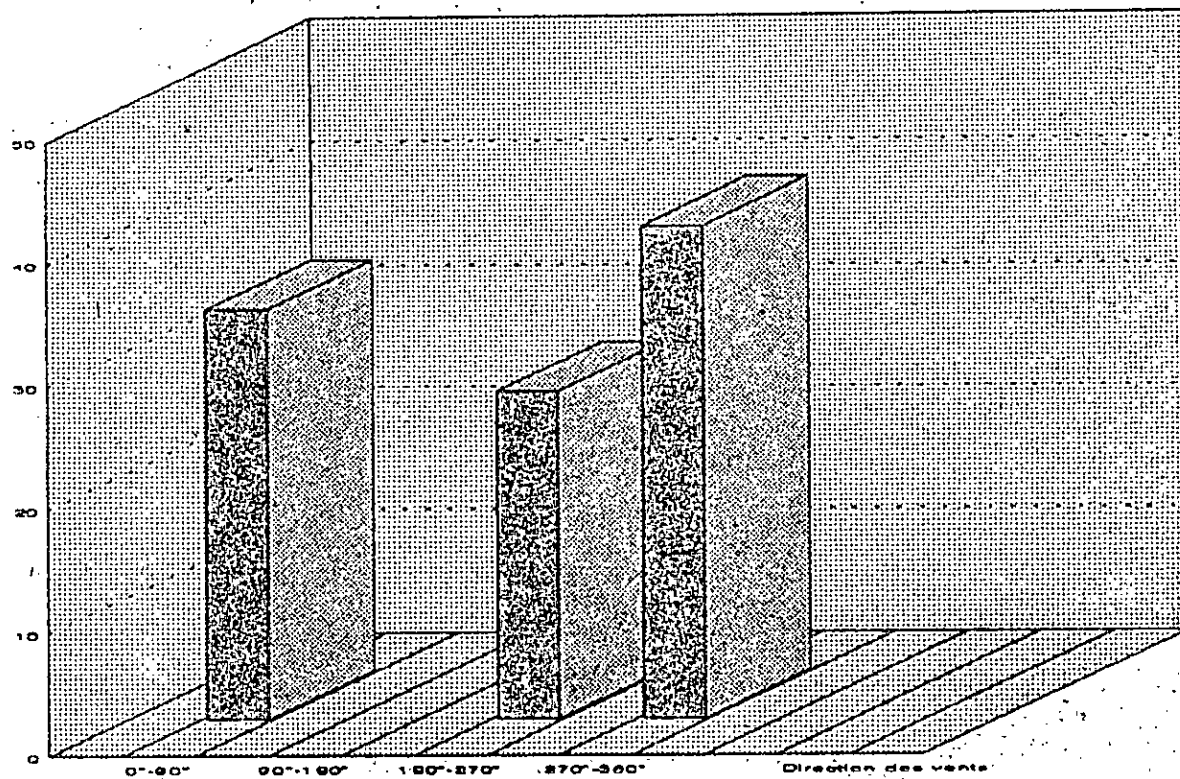
Fréquence des Vents: 3ème quinzaine du 4/4 au 18/4

% Fréquence des vents



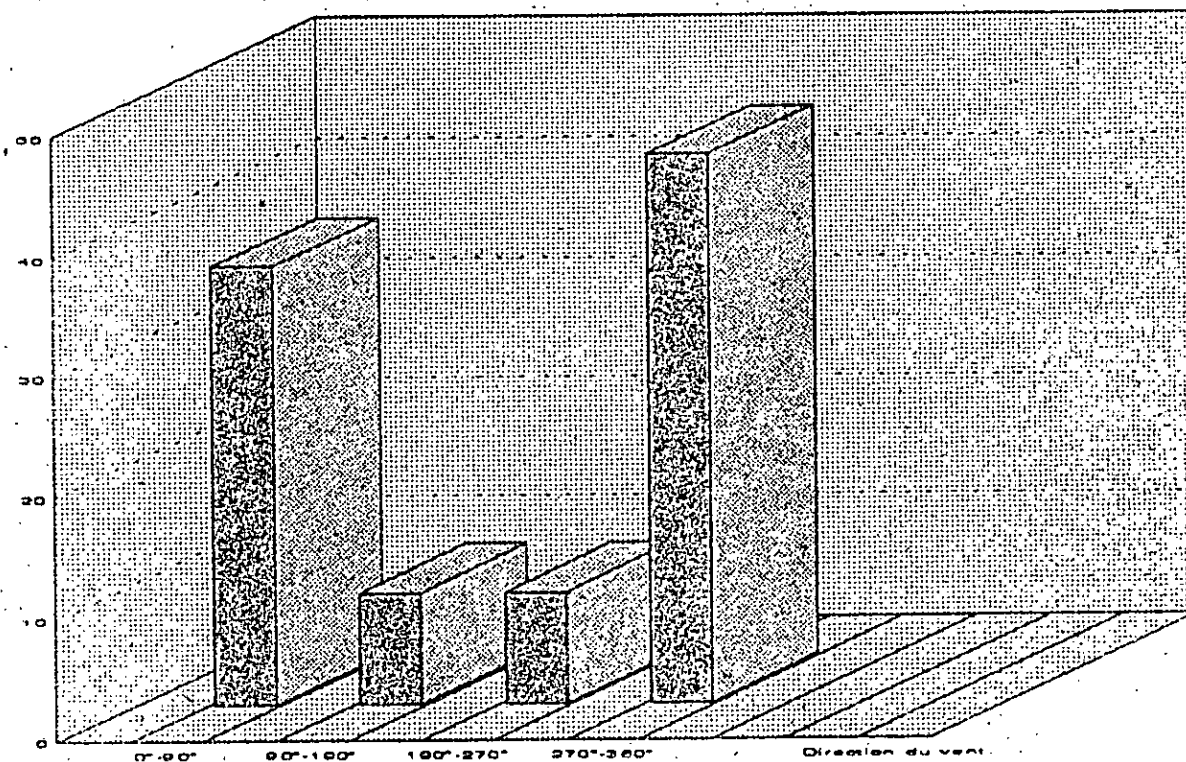
Fréquence des Vents 4ème quinzaine du 18/4 au 2/5

% Fréquence des vents



Fréquence des Vents 5ème quinzaine du 2/5 au 19/5

% Fréquence des vents



Fréquences des vent 6ème quinzaine du 16/5 au 30/5