

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية  
REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

5/85

MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

16x

ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

DEPARTEMENT : GENIE DE L'ENVIRONNEMENT

## PROJET DE FIN D'ETUDES

SUJET : Etude préliminaire sur la dispersion des polluants  
fluorés émis par le complexe ASMIDAL de ANNABA

Proposé par :  
Mr. Si Ahmed

Etudié par :  
Melle DJELAL  
Hayat - Fattoum

Dirigé par :  
Melle BENSADOK Kenza  
Mr. Si Ahmed



Promotion : Juin 1985

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية  
REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

DEPARTEMENT : GENIE DE L'ENVIRONNEMENT

## PROJET DE FIN D'ETUDES

SUJET : Etude préliminaire sur la dispersion des polluants  
fluorés émis par le complexe ASMIDAL de ANNABA

Proposé par :  
Mr. Si Ahmed

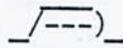
Etudié par :  
Melle DJELAL  
Hayat - Fattoum

Dirigé par :  
Melle BENSADOK Kenza  
Mr. Si Ahmed



Promotion : Juin 1985





/)/)\_ES PARENTS, FRERES ET SŒURS

--o0o--

/-)\_ TOUTS CEUX QUI AIMERAIENT QLE CE

--o0o--

PETIT TRAVAIL LEUR SOIT DEDIE

--oo00o-0-o00oo--

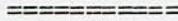
REMERCIEMENTS -

---

Seule, il m'aurait été impossible de mener à bien ce travail. C'est pourquoi, je tiens à remercier tous ceux qui m'ont aidée tant moralement que matériellement et parmi eux :

- Melle BENSADOK Kenza : ENSEIGNANTE(M A S ) à E N P
  - Mr. SI AHMED : du Vice Ministère de l'environnement et des forêts.
  - Mr. NAMANE : Chef du Département de Génie de l'Environnement.
  - LE CAPITAINE SAOUTHY : Docteur d'Etat en sciences Pharmaceutiques.
  - Mr. SEMMADI : Directeur de l'Institut Sciences de la terre à ANNABA.
  - Mr. AOUADI : Sous Directeur de l'Environnement et des forêts à ANNABA.
  - Les employés du Complexe d'Engrais Phosphatés d'ANNABA.
  - Mr. HAMMA, Mme BENDJELLOUL ... de l'Agence CNAN à ANNABA
  - MM. BENSALFIR et TIFAHI : de la Station Météorologique de DAR EL BEIDA.
  - Les employés de la Bibliothèque Centrale de l'I.N.A.
  - Mr. BENSMINA : du Ministère de l'Energie et de l'Industrie Pétrochimique.
  - MM BABA Ahmed et ZIDANE : Responsables du Parc National d'EL KALA.
  - Mr. AOUDIA : Professeur à l'E.N.P.
- 
- Mr. ALLALI : de la station météorologique d'ANNABA
-

P L A N



- Introduction.....1
- Objectif de l'étude.....2

PARTIE THEORIQUE

- Origine du Fluor.....6
- Diffusion des polluants dans l'air
  - A- Facteur intervenant dans la diffusion des polluants.....9
  - B- Calcul théorique de la diffusion des gaz émis par une cheminée industrielle .....20
- Analyse qualito - qualitative des polluants atmosphérique.....25
- Impact du Fluor et de ses composés sur l'environnement .....30
- Lutte et prévention .....35

PARTIE EXPERIMENTALE

- Le complexe ASMIDAL.....39
- Mesure des retombées de Fluor autour du complexe ASMIDAL.....48
- Corrélation entre les mesures expérimentales de Fluor et les conditions météorologiques de ANNABA.....63
- Comparaison entre les résultats expérimentaux et les prévisions théoriques..73
  
- Dosage du Fluor dans des plantes prélevées aux alentours du complexe et interprétation.....80
- Effet du Fluor sur des enfants de Annaba.....83
- Conclusion .....84
- Suggestion .....85

## INTRODUCTION

L'accroissement rapide de la population dans le monde, l'augmentation des déchets de tous genre, les progrès et la complexité croissante des techniques industrielles, la multiplication et le gigantisme des Entreprises font que le monde a atteint un stade où toutes les pollutions constituent une menace - pour l'homme.

La pollution de l'air est l'une des préoccupations majeures des spécialistes de l'environnement.

La Commission du Conseil de l'Europe a adopté en 1967, la définition suivante de la pollution atmosphérique:

"L'air étant indispensable à la vie, sa qualité naturelle doit être maintenue afin de protéger la santé et le bien être de l'homme, et de protéger son environnement".

" Cette qualité naturelle de l'air peut être altérée par l'introduction d'une substance étrangère ou par une variation importante dans la protection de ces composants".

" Il y a pollution de l'air lorsque la présence d'une substance étrangère ou une variation importante dans les proportions de ses composants est susceptible compte-tenu des connaissances scientifiques du moment, de provoquer un effet nocif ou de créer une nuisance ou une gêne".

La pollution de l'air par l'homme a débuté avec l'usage du feu. Son accroissement a suivi le développement de l'humanité avec un bond spectaculaire à partir de la révolution industrielle, dès le milieu du 18ème siècle. Le développement des villes a entraîné la multiplication des foyers de chauffage et de production d'énergie. Puis est venue l'automobile et avec elle, les gaz d'échappement.

La lutte contre la pollution atmosphérique n'a que récemment intéressé le monde contrairement aux autres pollutions. Cela doit être dû au fait que ses effets ne se font généralement sentir qu'à plus long terme

Du fait de l'inexistence d'une réglementation régissant les rejets de polluants, dans notre pays, l'environnement a commencé à se dégrader. Mais depuis peu; il a été pris conscience du mal et une loi portant sur la protection de l'environnement a été adoptée.

Depuis peu, l'agence nationale pour la protection de l'environnement a été créée. Elle est chargée d'évaluer tout risque qui menace notre entourage et assure le contrôle des opérations d'élimination et le traitement des effluents de toutes natures.

La lutte contre la pollution de l'air est l'un des objectifs des responsables de l'environnement.

La région d'Annaba est l'une des plus importantes de l'ALGERIE avec ses 636.303 habitants et ses 3.489km<sup>2</sup>, tant du point de vue économique que touristique. (1)

Ajoutant la Tunisie, la plaine d'Annaba est la seule plaine maritime de l'Est algérien. Elle se trouve à l'embouchure de la Seybousse dont la basse vallée aux sols rouges porte de riches cultures, telles que : vigne, tabac, arbres fruitiers ...

De belles forêts s'étendent sur les pentes de la plupart des montagnes, mais on en trouve aussi de très étendues dans les plaines. L'essence principale est le chêne liège, le peuplier, l'orme, la saule et le frêne. Ils se présentent en forêts galeries le long des oueds de la région comme Oued Guergour, Oued Kebir, Oued Bsibissa, Oued Boulatha, Oued Seybouse, Oued Bounamoussa. La région d'Annaba a un taux de boisement de 54%. (1)

Le barrage de la Cheffa qui a une retenue d'eau de 170 millions de m<sup>3</sup> sert à alimenter la ville et à irriguer 20.000ha de terres agricoles. (2)

La région d'Annaba a deux parcs nationaux.

- Le Parc National de Seraïdi :

Au sommet d'une montagne, à une altitude de 1000m, il s'étend sur une superficie de 745ha, Sa beauté naturelle se distingue par :

- \* La variété de ses formations végétales ;
- \* Un excellent relief présentant un profil unique et grandiose;
- \* La présence d'une cascade et de plages .

Ce patrimoine naturel présente des intérêts scientifiques, touristiques et socio-économiques d'une grande importance ; il nécessite une protection rigoureuse visant à maintenir l'équilibre existant .

- Le Parc National d' El Kala :

Il a été classé par l'UNESCO comme zone humide d'importance internationale . Il s'étend de la Mafragh à l'Ouest à Cap Rosa à l'est sur une superficie de 80.000ha et se prolonge jusqu'en Tunisie par le parc nationale de Tabarka . Le territoire est un ensemble de sites naturels où se cotoient la mer, les lacs, et la terre pleine .

Tout ceci fait de ce parc un laboratoire naturel pour la recherche de la flore et de la faune, et un lieu de loisir inestimable .

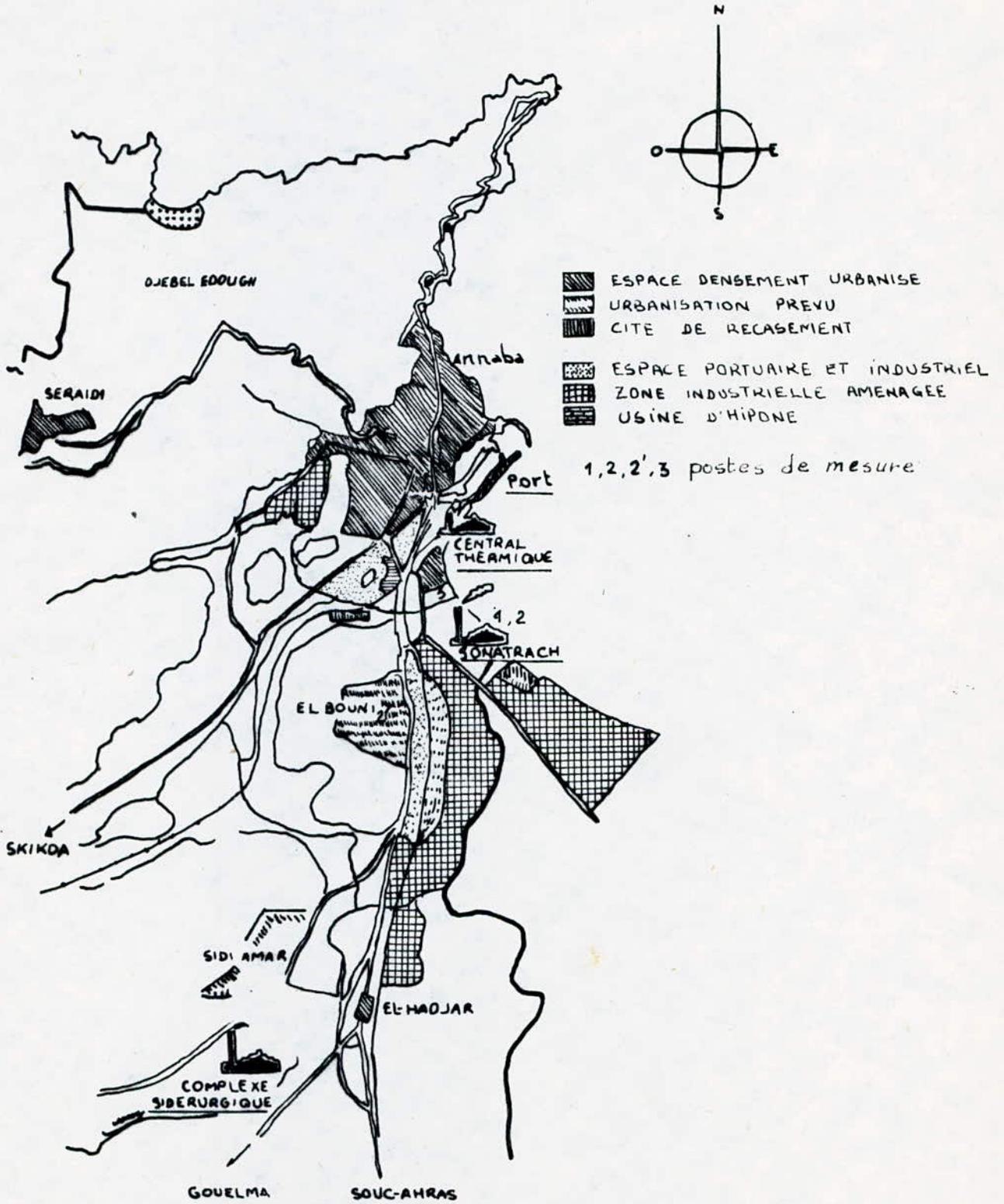
La terre plaine comme la mer; renferment des animaux rares et en voie de disparition, tels que : le phoque moine, et le cerf de bar basée qui sont classés parmi les animaux à protéger .

La région d'Annaba regroupe des unités industrielles très importantes et nécessaires au développement du pays, mais ces dernières sont des sources de pollution .

Dans le tableau I. sont récapitulés les sources et les polluants solides et gazeux;

Tout au long de ce travail, nous nous intéresserons aux gaz fluorés émis par le complexe d'engrais phosphatés ASMIDAL .

(1) , (2)



Carte de la region d'Annaba.

figure 1

## Les importants sources de pollution industrielle.

Tableau I

Lieu	Source	Polluants	
		Solide	Gaz
Annaba	Central Thermique	Fumée noire	SO <sub>2</sub> CO CO <sub>2</sub> NO <sub>2</sub>
	ASMIDAL	Poussières phosphates	Fluor SO <sub>2</sub>
	Port	Poussières: - minéral - coke - ciment - phosphate	
El-Hadjar	EN-SIDER	Poussières: - minéral - coke - agglomérée - oxyde de Fe, CaO, SiO <sub>2</sub> , MnO	CO CO <sub>2</sub> SO <sub>2</sub> H <sub>2</sub> S CH <sub>4</sub> NH <sub>3</sub> NO <sub>2</sub>
Hadjar-Soud	Cimenterie	Ciment	CO CO <sub>2</sub> SO <sub>2</sub> NO <sub>2</sub>
Wilaya	Véhicules automobiles	Plomb	CO CO <sub>2</sub> NO <sub>2</sub> SO <sub>2</sub> Hydrocarbures
El-Kala	SIPOREX	Poussières	
CO = Monoxyde de carbone		CH <sub>4</sub> = Methane	
CO <sub>2</sub> = Anhydride carbonique		NH <sub>3</sub> = Ammoniac	
NO <sub>2</sub> = Bioxyde d'azote		CaO = Oxyde de calcium /Chaux/	
SO <sub>2</sub> = Anhydride sulfureux		SiO <sub>2</sub> = Bioxyde de silicium	
H <sub>2</sub> S = Sulfure d'hydrogene		MnO = Oxyde de manganese	

PARTIE

THEORIQUE

## Origine du Fluor.

### 1. Sources du Fluor :

Le Fluor est un constituant important de l'écorce terrestre puisqu'il occupe la 17<sup>ème</sup> place par ordre d'abondance. Dans la nature, le fluor se trouve sous forme de Fluorure.

Les fluorures rentrent dans la constitution des roches volcaniques, des gaz qui s'échappent des laves, de certains minéraux naturels.

A titre d'exemple, quelques concentrations en Fluor peuvent être citées : (3)

- Argiles	:	0, 03 à 0, 15 %
- Phosphate naturel	:	3 à 4 %
- Charbon	:	0,0005 à 0, 12 %
- Minéral de fer	:	0,001 à 0, 3 %
- Dolomie	:	0, 02 %
- Bauxite	:	0, 04 %
- Spath - Fluor	:	60 %

On trouve le Fluor également dans l'eau de mer, à raison de 1 à 1, 4 mg/l, dans l'eau douce à des concentrations pouvant aller de quelques mg à 6 voire 12 mg / l. A El Oued et Timimoun - Adrar, l'eau de boisson dépasse souvent les 5 mg/l.

Alors que selon l'O.M.S la norme est 1 mg/l.

Le Fluor est présent aussi dans les fruits, légumes, poissons de mer, viandes, etc...

### 2. Emission du Fluor

L'acide Fluorhydrique est émis dans l'atmosphère chaque fois que, dans un procédé, on est amené à chauffer ou à attaquer avec un acide les minéraux contenant du fluor.

Des émissions de Fluor gazeux , se produisent donc dans :

- L'industrie de l'Aluminium et principalement celle de la première fusion de celui-ci : l'électrolyse ignée à 980° C nécessite l'addition de cryolithe ( $\text{Na}_3\text{AlF}_6$ ), qui se décompose en émettant hors du bain HF et des Fluorures solides à raison de 18 à 20 kg / t. (12)

En 1967, une étude tchécoslovaque avance le chiffre de 1130 mcg F/m<sup>3</sup> d'air au voisinage d'une usine d'aluminium. (12)

En France, a été constaté une émanation de 5 à 30 ug F gazeux / % d'air près d'une usine d'Aluminium. (12)

Dans la vallée de la Maurienne , les émissions des usines péchiney ont complètement ravagé le paysage. Les vaches de la vallée sont édentées. Le total des émissions pour l'ensemble des usines de la Maurienne est de 500 t F/an .

- Industrie des engrais phosphatés. Le niveau annuel d'émission pour les usines d'engrais phosphatés est de 0,35 million de tonnes de matières particulaires et de fluorures (D. Ross)

- Cuisson de l'Argile et de la Céramique
- Combustion du charbon

En 1951 en Angleterre et aux pays de galles, la combustion du charbon a libéré 25 000 t de F dans l'atmosphère.

D'autres émetteurs de Fluor sont, avant épuration éventuelle, et exprimés en Fluor total par tonne de produit : (3)

- Les Briquetteries	:	0,5 kg / t
- Les fabriques de fibres de verre	:	0,01 % 6 kg / t
- Les fabriques d'émaux		2,5 kg / t
- Aciérie à l'oxygène		0,1 kg / t
- Agglomération de minérai		0,2 kg / t
- Aciérie à l'oxygène		0,01 % 0,1 kg/t

(3), (12)

Limitation des émissions de fluor dans l'air

Tab. II

	concentration mg/Nm <sup>3</sup>	durée d'exposition	autorisation de pas- sage	remarques
Italie 1971	0,06	30 mn		
en F	0,02	24 h	1 fois sur 8 h	
Pologne	0,03	20 mn		
(composés solubles inorganiques)	0,01	24 h		zones spéciales
	0,01	20 mn		
	0,003	24 h		
R. D.A. 1974				
IW2	0,004	1 an		
IW1	0,002			
1979				
IW2	0,003	1 an		
IW1	0,001			
Roumanie	0,02	30 mn		
	0,005	24 h		
Tchécoslovaquie	0,03	30 mn		
en F	0,01	24 h		
U.R.S.S.	0,02	20 mn		
HF, S.F <sub>4</sub>	0,005	24 h		

valeurs réglementaires en vigueur en 1980 dans les principaux pays industrialisés.

D'après P. Jarrault dans : normes de qualité d'air.

DIFFUSION DES POLLUANTS DANS L'AIR

A/ - FACTEURS INTERVENANT DANS LA DIFFUSION DES POLLUANTS :

Du fait des propriétés physiques des fluides, les gaz émis dans l'air vont se déplacer et se diluer dans l'atmosphère.

La dispersion des gaz dépend de trois facteurs principaux :

1/ - Facteurs météorologiques :

a) - Le vent : il est dû à la circulation des masses d'air de différentes températures. L'air chaud de plus faible densité que l'air froid a tendance à s'élever. Celui-ci est caractérisé par sa direction et son intensité.

Direction du vent : la particule d'air en mouvement dans le plan horizontal est soumise à des forces de pression  $F_p$ , à la force de coriolis  $F_{co}$ , près du sol il s'ajoute une force de frottement opposée à la vitesse du vent.

Vitesse du vent : elle augmente avec l'augmentation de la variation de pression et avec l'altitude. Les vents de surface sont généralement plus forts le jour, et les vents en altitude la nuit.

b) - La température de l'air :

Tout déplacement vertical est supposé suivre un processus adiabatique. Le taux de refroidissement d'une molécule d'air s'élevant dans l'atmosphère est " le gradient adiabatique sec ". Il est d'environ  $1^\circ / 100 \text{ m}$ .

Dans les conditions réelles, nous sommes en présence de trois types de stabilité de l'atmosphère :

\* Indifférence : la décroissance verticale de la température est égale au gradient adiabatique sec. La particule dans l'air aura la même température que l'atmosphère. Elle ne pourra donc se déplacer et sa position finale sera déterminée par les conditions initiales de déplacement. (fig 10c)

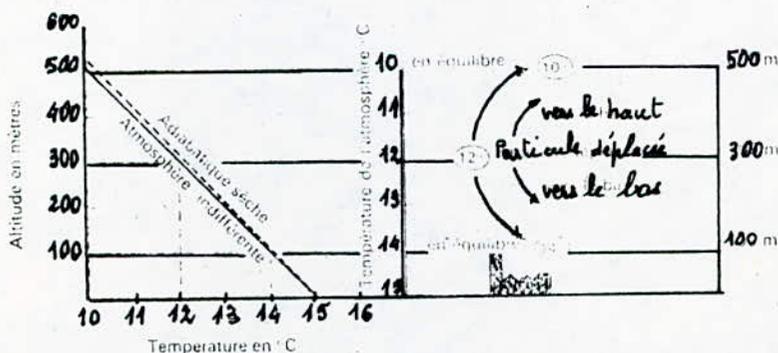


FIG. 2 — Indifférence.

\* Instabilité : Dans ce cas, la décroissance verticale de la température est supérieure au gradient adiabatique sec; l'atmosphère est dite suradiabatique. Une particule ayant un mouvement ascendant, sera plus chaude que l'air ambiant et pourra continuer son mouvement vers le haut. Inversement, une particule ayant un mouvement descendant, sera plus froide que l'air ambiant et continuera son mouvement vers le bas. (fig 10a, 10d)

Dans ce cas, la diffusion des polluants est importante.

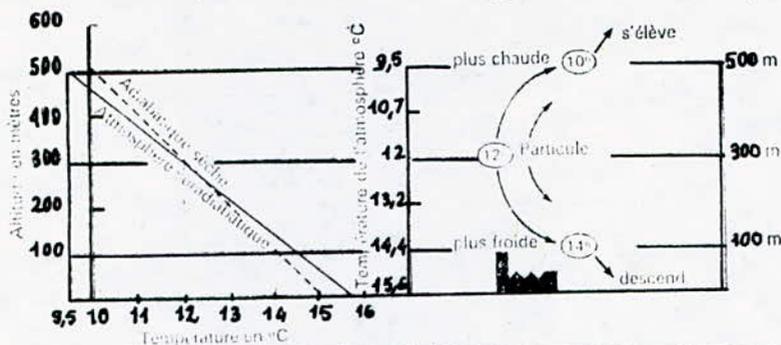


fig 3

\* Stabilité : la décroissance verticale de température est inférieure au gradient adiabatique sec, l'atmosphère est dite sous-adiabatique. Une particule ayant un mouvement ascendant sera plus froide que l'air ambiant et redescendra. Inversement, une particule ayant un mouvement descendant sera plus chaude que l'air ambiant et montera. (fig 10b)

La stabilité atmosphérique, va à l'encontre d'une bonne diffusion.

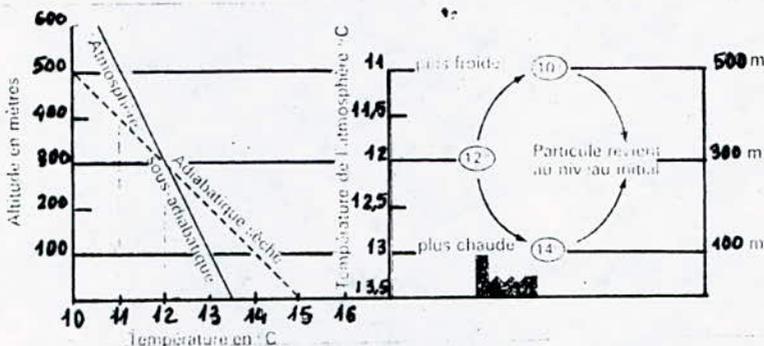


fig 4

Une des principale causes de la stabilité atmosphérique est "l'inversion de surface" : par temps clair, le soleil réchauffe fortement le sol, la répartition verticale des températures est proche du suradiabatique. Après le coucher du soleil, le sol se refroidit rapidement ainsi que les très basses couches de l'atmosphère. On a donc une stabilité des basses couches de l'atmosphère. Dès l'apparition du soleil, l'inversion se brise.

En hiver du fait du refroidissement nocturne intense, le soleil ne peut briser l'inversion qui peut persister plusieurs jours.

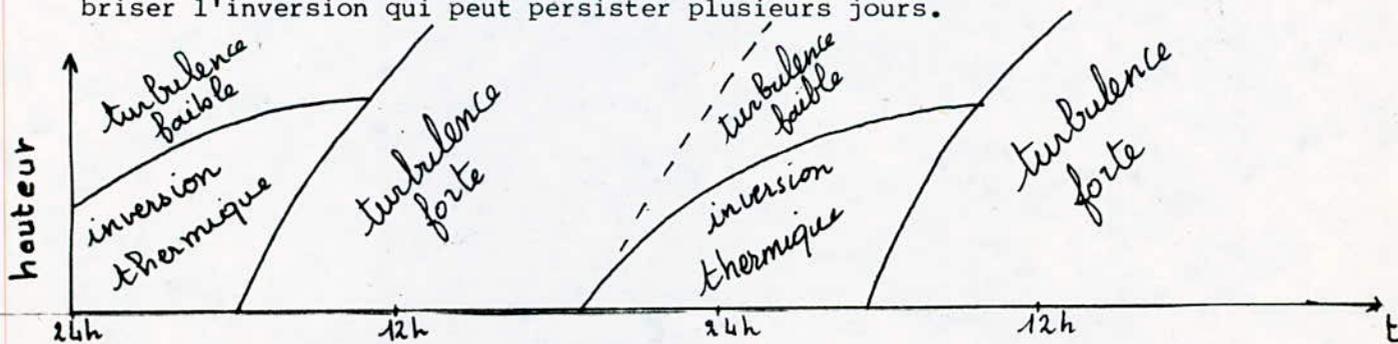


fig 5

cycle nycthemeral par temps clair

Dans le cycle diurne de l'échauffement du sol par le soleil, a lieu une oscillation alternative, avec une baisse rapide de la température à l'approche du coucher du soleil. Ayant une inertie thermique plus grande, depuis une certaine altitude, l'air se maintient plus chaud que le sol qui se refroidit déterminant aussi en même temps le refroidissement de la couche d'air inférieure avoisinante. De cette manière se produit l'inversion thermique qui s'accroît au cours de la nuit, étant maximum le matin. Avec la réapparition du soleil et l'échauffement du sol, l'air de la couche inférieure de l'atmosphère s'échauffe, commence à produire de nouveau le phénomène de convection verticale. Par l'ascension de l'air chaud, la couche d'inversion se brise.

L'inversion thermique peut aussi se produire par superposition dans les hauteurs d'une masse d'air chaud pendant qu'au sol il existe une masse d'air froid.

L'inversion thermique est fréquente dans les vallées et dans le voisinage des massifs montagneux, du fait de l'écoulement de l'air froid sur les versants et de la faible durée de l'ensoleillement.

Le rayonnement de chaleur du sol qui joue un rôle prépondérant dans la répartition verticale des températures dépend de la nature du sol.

La température de l'air et la turbulence des basses couches de l'atmosphère dépend aussi des masses d'air nettement chaudes ou froides se déplaçant au dessus d'une zone donnée.

La stabilité de l'air peut être augmentée lorsqu'une couche d'air subit un affaissement d'ensemble appelé " subsidence ", le mouvement descendant comprime toute la couche. Si l'amplitude de l'affaissement est suffisante, il peut se former une inversion de température.

c) - La turbulence de l'air :

L'agitation et le mélange des différentes portions des masses d'air ayant des caractères différents, sous forme de tourbillons qui s'interpénètrent ont été nommés turbulence. Plus cette dernière est importante, plus la dispersion des polluants est grande.

On distingue une turbulence dynamique et une turbulence thermique vu l'intervention des facteurs thermiques et du relief.

d) - Les précipitations :

La pluie, la neige réalisent le lavage, l'absorption et l'entraînement vers le sol des impuretés de l'air.

e) - L'humidité :

Les vapeurs d'eau empêchent la diffusion des impuretés, peuvent réagir avec celle-ci pour donner des impuretés plus nocives, absorbent le rayonnement solaire favorisant l'inversion de surface.

f) - Les nuages :

L'existence d'un plafond compact et stagnant de nuages à une altitude peu élevée crée un espace fermé dans lequel la dilution des impuretés ne se produit plus dans les conditions satisfaisantes.

g) - Le Brouillard :

La présence de brouillard épais peut contribuer à prolonger la stabilité des basses couches de l'atmosphère, le rayonnement solaire est absorbé partiellement dans la couche de brouillard.

2/ - FACTEURS TOPOGRAPHIQUES :

a) - Brise de pente, brise de vallée :

La brise de pente est due à la différence de température entre le sol incliné d'un relief quelconque et l'air libre au même niveau.

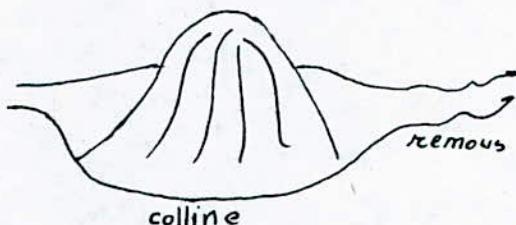
La brise de vallée provient de la variation inégale des températures de l'air dans la vallée et au dessus de la plaine.

b) - Brise de mer, brise de terre :

Le mécanisme de ces deux phénomènes est dû au fait que la température de la mer n'a qu'une variation insignifiante, alors que celle de la terre peut varier de plus de  $50^{\circ} \text{C}$ . entre le jour et la nuit. (fig 13)

c) - Lorsque le vent se heurte à un obstacle, son écoulement se trouve perturbé et certains filets d'air contournent la barrière qui leur est opposée, tandis que d'autres tendent à la franchir.

fig 6

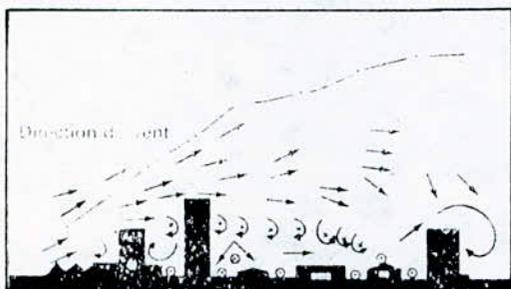


Panache contournant une colline

d) - Effet des bâtiments adjacents ou "down draught" :

si, près d'une cheminée se trouvent des bâtiments, des tourbillons se forment pouvant rabattre la fumée au sol.

Les effets se font sentir à une altitude d'environ 2,5 fois la hauteur du bâtiment et s'étendent sous le vent à une distance d'environ neuf fois la hauteur, à moins que la largeur du bâtiment soit inférieure à la hauteur.



☉ Tourbillon dirigé vers l'arrière

○ Tourbillon dirigé vers l'avant

--- Effets des bâtiments adjacents « down draught »

fig 7

3/ - FACTEURS EN RAPPORT AVEC LA NATURE DES EMISSIONS :a) - Nature de l'émission :

Les particules de diamètre supérieures à  $20\mu$  se séparent des fumées et sédimentent près de la source d'émission. Les particules plus fines et les gaz se dispersent dans l'air.

Profil de concentration des gaz

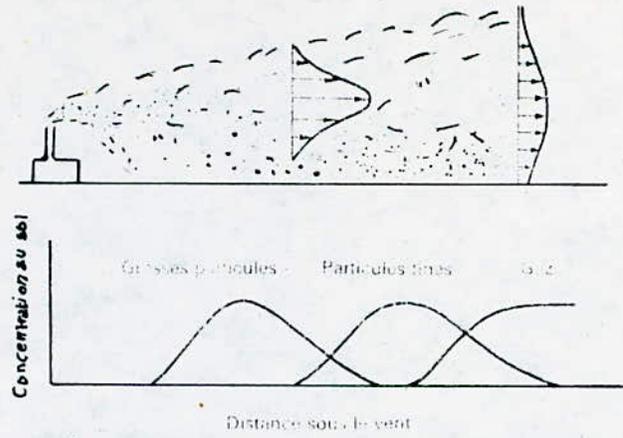


FIG. 8 - Comparaison de panaches gazeux et particulaires pour une vitesse du vent donnée.

b) - Température des gaz :

Les gaz s'échappant des cheminées ont généralement une température supérieure à celle de l'air ambiant. CELà permet une surélévation des panaches importantes en période d'inversion et de vents faibles : effet thermique de la diffusion.

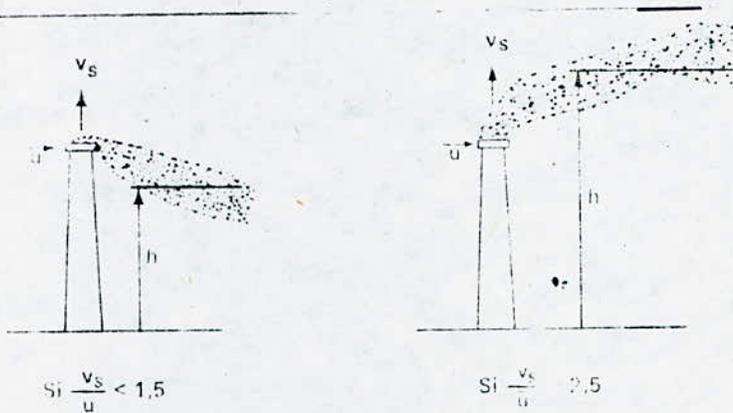


FIG. 9 - Influence de la vitesse de sortie des gaz.

c) - Vitesse de sortie des gaz :

Pour que le panache ne soit pas rabattu sur le sol, il est important que le rapport :  $\frac{\text{vitesse de sortie des gaz}}{\text{vitesse du vent}} = \frac{VS}{U}$  soit supérieure à 2,5.

A cette vitesse correspond l'effet dynamique de la diffusion.

d) - Hauteur de la cheminée :

Une haute cheminée permet de :

- éviter le phénomène de down draught.
- dépasser la couche d'inversion à basse altitude.



FIG. a Cas d'une atmosphere instable.

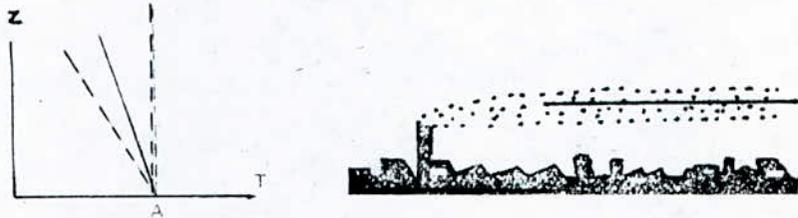


FIG. b Cas d'une atmosphere stable (fanning)

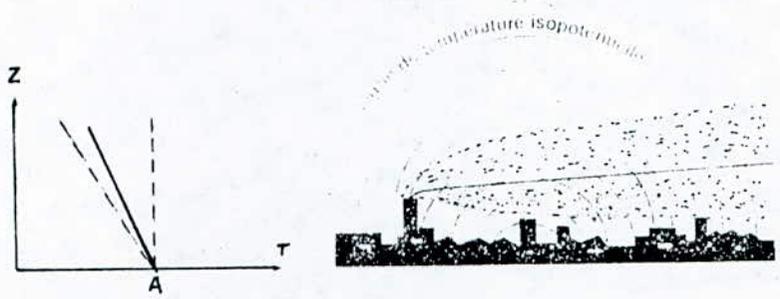


FIG. c Cas d'une atmosphere indifferente (coning)



FIG. d Cas d'une atmosphere instable (looping)

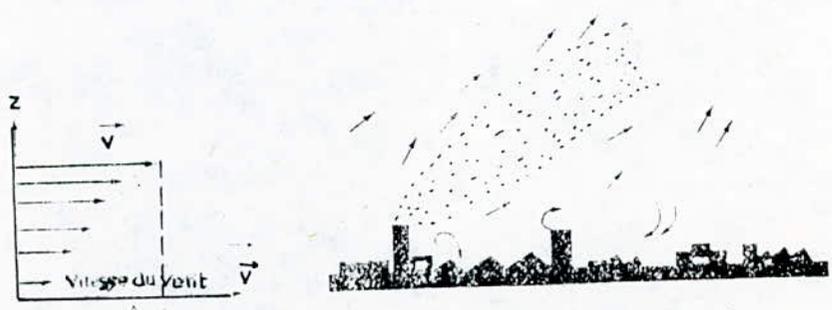


FIG. e Cas où l'action s'exerce par entrainement simple et par entrainement turbulent du vent.

Fig 10 comportement du panache en fonction de la stabilité

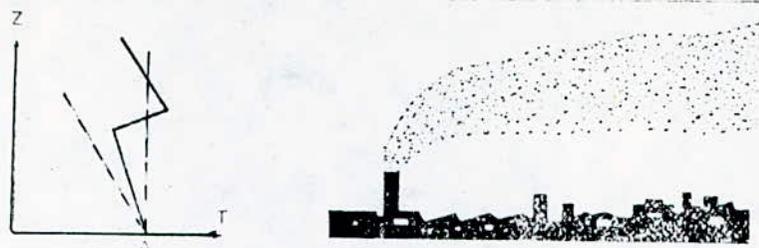


FIG. f — Cas d'une couche d'inversion de température en altitude (lofting)

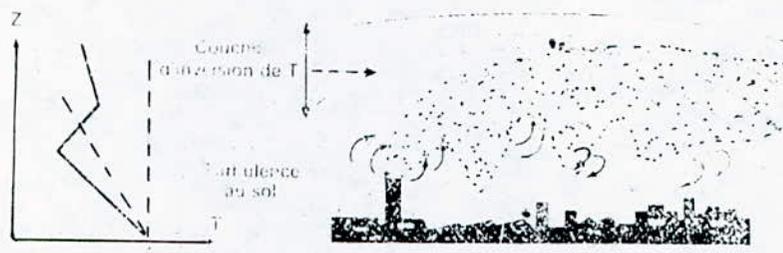


FIG. g — Cas d'une couche d'inversion de température en altitude (enfumage)



FIG. h — Cas d'une forte stabilité dynamique avec inversion de température débutant au sol et dépassant le niveau d'éjection.

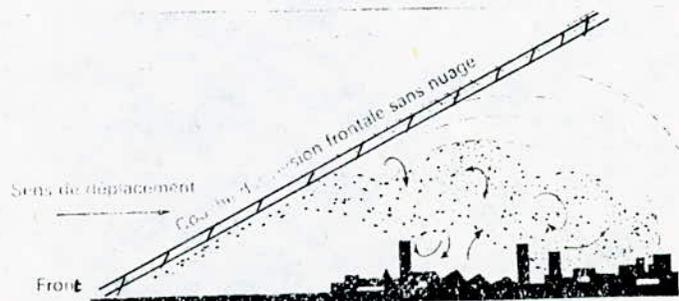


FIG. i — Cas où il y a passage d'une limite entre deux masses d'air.

fig: 10 comportement du panache en fonction de la stabilité atmosphérique.

LA POLLUTION ATMOSPHÉRIQUE

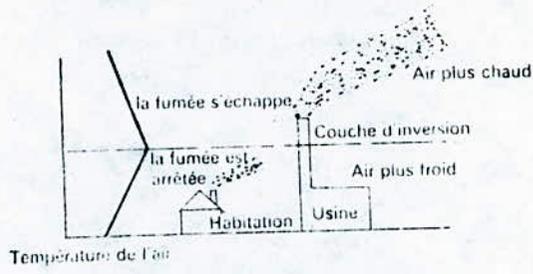
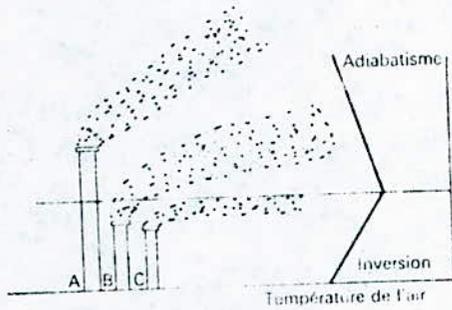
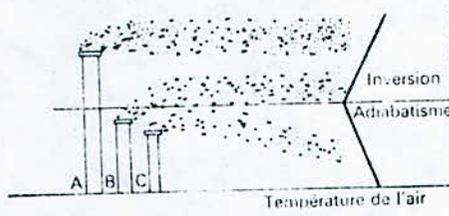


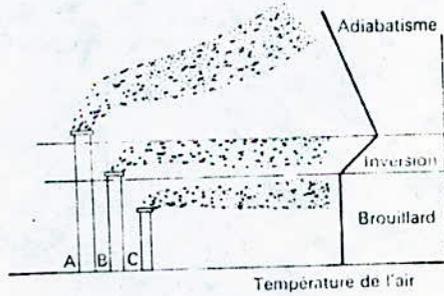
FIG. 11 — Effet de la couche d'inversion.



(a)

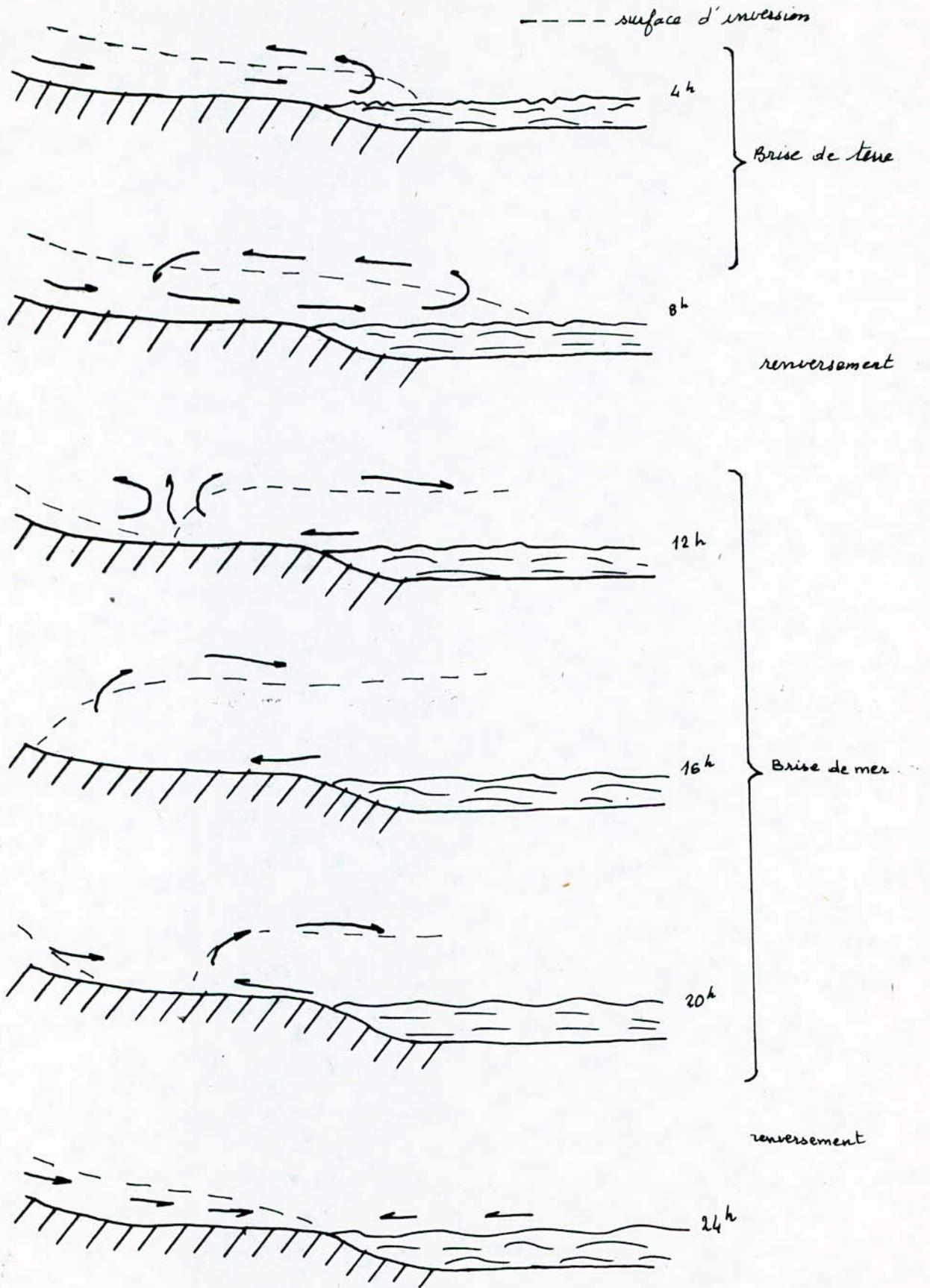


(b)



(c)

FIG. 12 — Effets de divers types d'inversion sur des cheminées de hauteur différente.



: Evolution de la circulation cotière (d'après Vadot)

figure : 13

Ayant les conditions topographiques et les prévisions météorologiques, il est possible de prévenir les épisodes aigus de pollution. Cette prévision sera encore plus précise si on place dans la région considérée, un réseau automatique de surveillance continue de la pollution atmosphérique.

Il est alors possible, dans les cas les plus défavorables de demander au responsable de l'Industrie polluante de prendre les mesures nécessaires.

(3), (4), (5)

B- Calcul théorique de la diffusion des gaz émis par une cheminée

Industrielle:

B 1 CALCUL DE LA DISPERSION DES POLLUANTS

Une cheminée est une source ponctuelle de gaz émis de façon continue. Le problème est de connaître les propriétés du panache et en particulier la concentration moyenne de gaz polluants en tous points de l'espace en fonction de l'état de l'atmosphère.

Le panache visible est toujours inscrit dans un cône d'axe sensiblement horizontal et de sommet s'appelé " source virtuelle" .

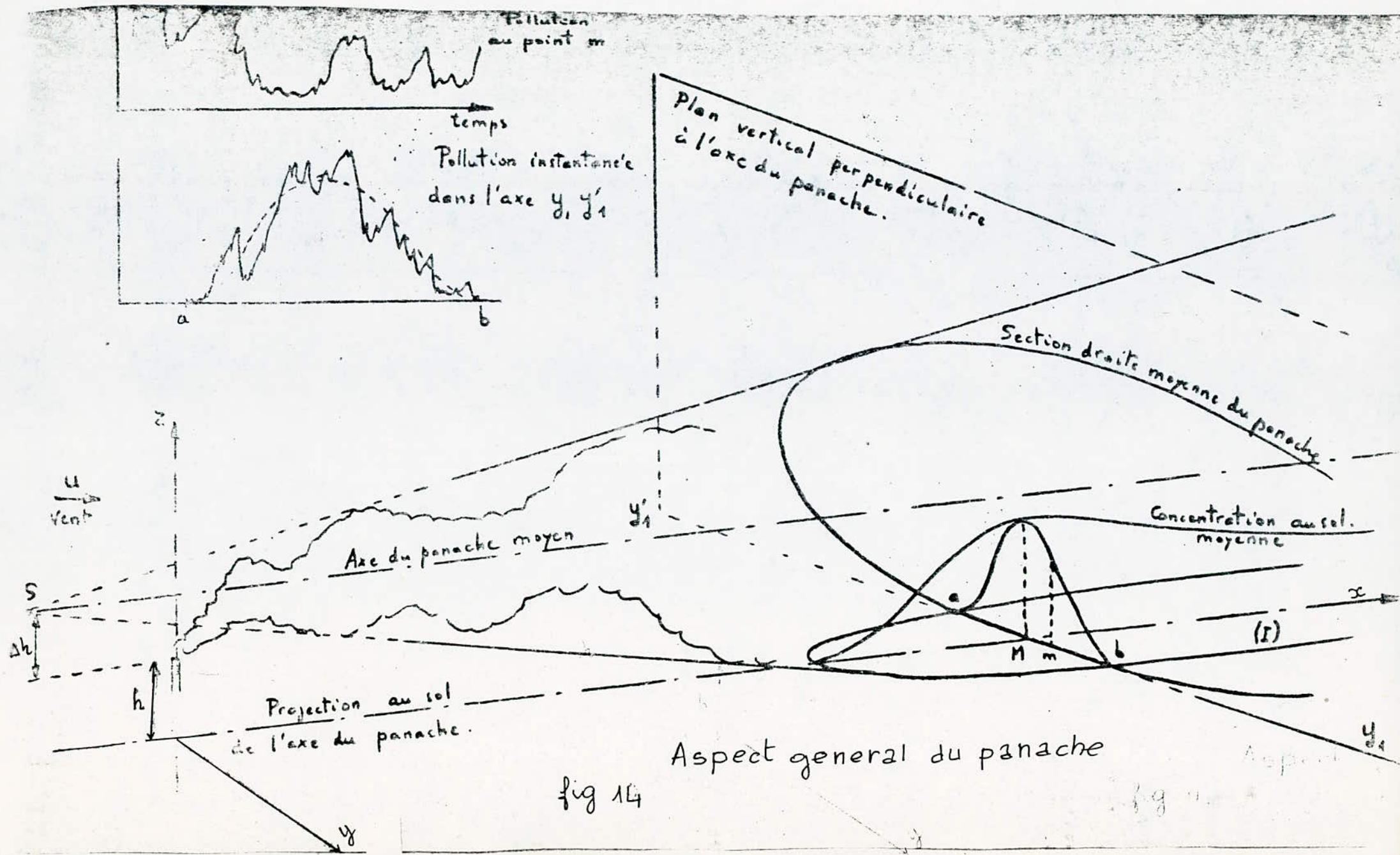


fig 14

fig 11

Bosanquet et Pearson donnent une solution en utilisant les théories de transfert et Sutton les théories statistiques.

1 - Formule de Bosanquet - Pearson :

Dans le cas d'une source ponctuelle de débit constant  $Q$ , située à la hauteur  $H$  dans un vent moyen  $U$  constant avec l'altitude, l'équation de diffusion s'écrit :

$$u \frac{\partial \psi}{\partial x} = \frac{\partial}{\partial y} \left( k_y \frac{\partial \psi}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left( k_z \frac{\partial \psi}{\partial z} \right)$$

Bosanquet et Pearson intègrent cette équation en considérant successivement l'effet de la diffusion verticale et de la diffusion horizontale et en supposant que :

$$k_z = p u z \quad \text{et} \quad k_y = q^2 u x$$

où  $p$  et  $q$  sont deux paramètres sans dimensions déterminés expérimentalement.

La concentration moyenne au sol au point  $(x, y)$  est alors donnée par la formule :

$$\psi_0 = \frac{Q}{\sqrt{2\pi} p q u x^2} \exp \left( -\frac{H}{p x} - \frac{y^2}{2 q^2 x^2} \right)$$

La concentration maximale  $\psi_{0m}$  au niveau du sol est trouvée par dérivation de l'expression précédente par rapport à  $x$  en supposant  $p$  et  $q$  constants.

Par raison de symétrie, le maximum a lieu le long de  $ox$ , au point d'abscisse  $x_{0m}$

$$x_{0m} = \frac{H}{2p}$$

$$\psi_{0m} = \frac{4Q}{\sqrt{2\pi} e^2 u H^2} \left( \frac{p}{q} \right)$$

avec :

$u$  : vitesse du vent en m/s

$Q$  : débit massique en kg/s

$H$  : hauteur effective de la cheminée en m

$$H = h + \Delta h$$

$h$  : hauteur de la cheminée en m

$\Delta h$  : surélévation du panache en m

2 - Formule de Sutton

Sutton applique le théorème de Taylor au cas de la diffusion dans la basse atmosphère .

Au point  $(x, y, z)$ , pour une hauteur  $H$  de cheminée, la concentration moyenne est :

$$\psi(x, y, z) = \frac{2Q}{\pi C_y C_z U x^{2-n}} \exp \left[ -\frac{1}{x^{2-n}} \left( \frac{y^2}{C_y^2} + \frac{(z-H)^2}{C_z^2} \right) \right]$$

pour  $z = 0$ , on a la concentration au sol

$$= \frac{2Q}{\pi C_y C_z U x^{2-n}} \exp \left[ -\frac{1}{x^{2-n}} \left( \frac{y^2}{C_y^2} + \frac{H^2}{C_z^2} \right) \right]$$

La concentration au sol est maximale au point  $y = 0$ ,  $x = x_{om}$

$$x_{om} = \left( \frac{H}{C_z} \right)^{\frac{2}{2-n}}$$

$$\psi_{om} = \frac{2Q}{e U H^2} \left( \frac{C_z}{C_y} \right)$$

où  $0 < n < 1$

on a la relation suivante :

$$\frac{U}{U_1} = \left( \frac{z}{z_1} \right)^{\frac{n}{n-2}}$$

où

$U$  est la relation du vent à l'altitude  $z$

$U_1$  est la vitesse du vent à l'altitude  $z_1$

Lorsque  $n$  augmente, on passe des turbulences fortes aux turbulences faibles .

$C_z$  et  $C_y$  dépendent de la turbulence du milieu

$$C_y^2 = \frac{4 \nu^n}{(1-n)(2-n) U^n} \left( \frac{y^2}{U^2} \right)^{1-n}$$

$$C_z^2 = \frac{4 \nu^n}{(1-n)(2-n) U^n} \left( \frac{w'^2}{U^2} \right)^{1-n}$$

où  $\nu$  est la viscosité cinématique de l'air  $w'$  et  $v'$  sont les fluctuations de la vitesse turbulence verticale et perpendiculaire au vent .

\* B2 : calcul de la surélévation du panache  $\Delta h$ 

Pour le calcul de  $\Delta h$  plusieurs formules empiriques ou semi-empiriques sont utilisées .

a) Formule de Bosanquet :

$$\Delta h = \frac{4,77}{1+0,43 \frac{U}{V_s}} \frac{QVS}{U} + 6,33g G \frac{Qs}{U^3 T1} (\ln j^2 + \frac{2}{j} - 2)$$

AVEC

$$j = \frac{U^2}{QVS} (0,43 \frac{T1}{gG} - 0,28 \frac{Vs}{g} \frac{T1}{\Delta}) + 1$$

où

Q : Débit des gaz mesuré à la température T1 en m<sup>3</sup>/s

T1 : Température à laquelle le poids spécifique des gaz à celui de l'air ambiant en °K

Vs : vitesse de sortie des gaz en m/s

$\Delta$  : différence entre la température des gaz et T1 en °K

g : l'accélération de la pesanteur en m/s<sup>2</sup>

G : gradient vertical de température potentielle

C'est la formule la plus complexe, mais le plus représentative .

B) Formule de Holland :

$$\Delta h = \frac{1,5Vs d + 4,1 \cdot 10^{-2} Qh}{U}$$

d : diamètre interne du sommet de la cheminée en m

Qh : débit calorifique en kcal/s

γ) Formule de Lucas :

$$\Delta h = \frac{24 Qh^{1/4}}{U}$$

Qh en cal/s

δ) Formule de Concawe :

$$\Delta h = 0,047 \frac{Qh^{0,58}}{U^{0,7}}$$

Qh en cal/s

Ces formules sont loin d'être complètes car elles ne prennent pas en compte divers facteurs, tels que la topographie, la stabilité de l'atmosphère etc...

Elles ne sont donc utilisées qu'avec beaucoup de réserve . Mais elles sont très utiles pour connaître l'ordre de grandeur des concentrations.

(3), (4)

## Analyse qualito - quantitative des polluants atmosphérique

### (1) Choix de l'emplacement d'un réseau de mesure et de surveillance.

Une fois que le ou les polluants à mesurer sont connus, il est pris en considération la situation et l'importance de la source, l'étendue du secteur concerné, la densité de la population, le microclimat et le relief du sol. La durée d'exploitation d'un tel réseau doit être d'au moins un an afin de tenir compte de l'ensemble des conditions météorologiques.

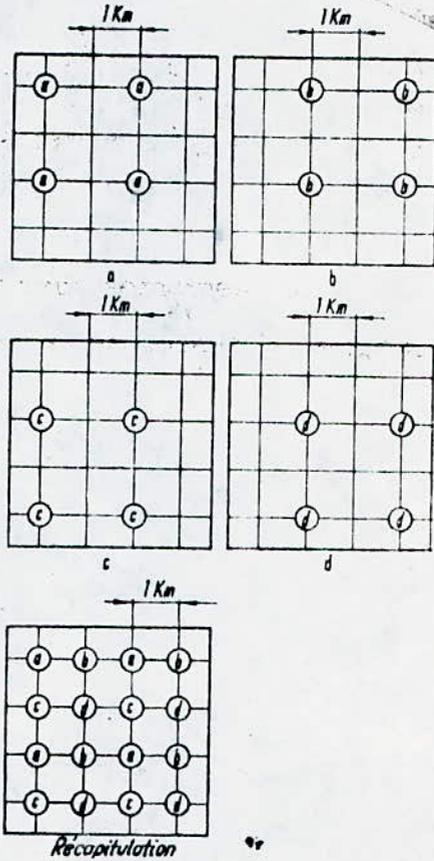
Le quadrillage du terrain se fera sous les vents dominants. Les appareils ne doivent pas être placés sous le vent près d'un bâtiment en raison des tourbillons rabattants causés par ce dernier.

Une fois, les premiers résultats obtenus, il est possible de vérifier si la position des appareils est correcte.

Afin que les pointes de pollution soient représentées, il faut que la durée de prélèvement soit courte.

Des appareils de mesures doivent être placés dans les quartiers résidentiels.

En R. F. A., les réseaux de prélèvement sont composés de points d'enregistrement, placés à des distances de 1km environ. Ils permettent des prélèvements fréquents, de façon que l'on puisse surprendre les fluctuations de la productions aussi bien que celles des factures météorologiques. Mais la répétition des essais se fait seulement 26 fois par an au même point.



Réseau des points de prélèvement des échantillons (R. F. Allemande):  
 a — jour I; b — jour II; c — jour III; d — jour IV  
 L'opération est répétée toutes les deux semaines

*Les dispositions des points de prélèvement des échantillons pour la mesure de la sédimentation*

fig 2

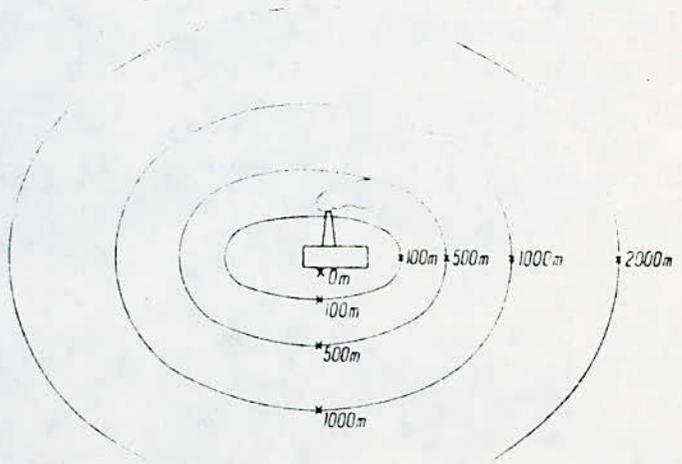
L'opération est répétée toutes les deux semaines.

Dans de nombreux pays, les appareils de mesures sont placés de la façon suivante:

*La disposition des points de prélèvement des échantillons par sédimentation*

(U. R. S. S.)

fig 3



Le choix des emplacements est dicté par la direction dominante du vent et par le rapport entre l'usine et les quartiers habités.

## 2) MESURE A L'EMISSION/

En plus du réseau de surveillance, il est important de faire des mesures à l'émission. Ces mesures consistent en des prélèvements et analyses d'échantillons aux différents points du circuit des gaz jusqu'à leur évacuation dans l'atmosphère et particulièrement dans les conduits où passent ceux-ci avant d'entrer dans les installations d'épuration et après leur sortie de celle-ci. Ainsi, nous pouvons préciser, d'une part l'efficacité de l'épuration et d'autre part, le volume et la concentration des polluants évacués dans l'air. Les mesures ont aussi pour but la surveillance et l'amélioration du fonctionnement des installations technologiques.

## 3) METHODE DE CAPTAGE/

Les gaz sont captés soit par absorption dans un liquide, soit par adsorption par un solide.

L'absorption consiste en la mise en contact du gaz pollué avec un liquide eau ou solution d'un réactif, en réalisant un contact intime par la formation d'interfaces importantes gaz liquide.

### L'ABSORPTION DEPEND DE /

La dimension des bulles de gaz en contact avec le liquide,

La teneur en réactif de la solution absorbante,

La durée de contact,

La vitesse de réaction

On utilise les appareils barboteurs classiques, l'impacteur...

L'adsorption consiste en la rétention des gaz, des vapeurs ou des corps en solution par la surface de certains solides qui sont généralement : Le charbon actif, le gel de silice et l'alumine activée. Les produits captés peuvent être désorbés par chauffage et balayage par un gaz inerte, ou par déplacement par un autre corps plus fortement adsorbé que le premier.

L'adsorption est généralement mise en jeu dans le principe de l'appareil Draeger: une pompe à main permet d'aspirer une quantité donnée de gaz, qui passe dans un tube contenant l'adsorbant, en général du gel de silice avec un réactif, celui-ci variable suivant le polluant permet par la variation de sa coloration d'évaluer la teneur du prélèvement en gaz incriminé.

Cet appareil peut être utilisé pour des teneurs élevées à l'émission ET POUR DES FAIBLES teneurs dans l'environnement, grâce à une gamme étendue de tube de dosage.

#### 4) DOSAGE DU FLUOR/

Il existe plusieurs méthodes de dosage du FLUOR, notamment:

Titrimétrie avec une solution de nitrate de thorium et un indicateur qui produit un changement de couleur de la solution lorsque tous les ions Fluor ont disparu par formation d'un complexe avec les cations thorium.

Cette méthode est applicable à partir de teneur en ion  $F^-$  d'au moins 5 à 10 UG/m<sup>3</sup>.

Fluorométrie: Pour le dosage de l'acide Fluorhydrique et des Fluorures un appareil enregistreur opérant sur des prélèvements de 15 à 30 minutes utilise un ruban de papier imprégné du sel de magnésium de l'hydroxyquinoline. Ce dernier corps illumine en ultraviolet, est fluorescent, mais de très faibles concentrations de  $H F$  diminuent la Fluorescence. L'air est préalablement passé dans un four chemisé de platine qui décompose les fluorures, puis il est filtré sur le papier imprégné du réactif. La diminution de la Fluorescence est fonction de la teneur en ion  $F^-$  de l'air.

Photométrie spectrale: à l'aide du complexan de lanthane alizarine après distillation acide à la vapeur d'eau. La méthode est valable pour des concentrations en Fluor allant de 0,5 à 2 mg/l.

Le Fluorure est d'abord concentré, ensuite soumis à distillation acide à la vapeur d'eau et absorbé avec de la lessive de soude 0,1 N. Il est déterminé par photométrie à 600- 620 nm en tant que complexe bleu de Fluorure complexan d'alizarine lanthane. La réaction de coloration qui est à la base de cette méthode consiste en ce que la solution de couleur orange du complexan d'alizarine forme avec l'ion de lanthane (III) un chélate rouge qui donne, si on ajoute de petites quantités de Fluorures, le complexe ternaire bleu dont l'intensité de coloration est proportionnelle à la concentration du Fluorure.

METHODE BIOLOGIQUE:

La concentration en Fluorures d'une zone peut être connu, en étudiant la sensibilité des plantes et des animaux s'y trouvant.

Ionométrie avec électrode spécifique à l'ion Fluorure: voir annexe .

(4), (5)

1 - ACTION SUR LES VEGETAUX

L'intoxication fluorée provoque chez les plantes des troubles caractéristiques et ceci spécialement autour des centres d'émission . Cela est dû au fait que les gaz fluorés pénètrent par les stomates et s'accumulent (le fluor n'étant pas métabolisable) dans le système foliaire où il peut atteindre 200mg/kg de tissu sec.

Puis il y a apparition de nécrose, du parenchyme foliaire, de couleur d'abord grise ou gris-vert, puis marron qui s'entendent de l'apex vers la base du limbe et affectent sans distinction parenchyme et nervure .

La pollution fluorée, en agissant sur les hormones de croissance de la plante, particulièrement sur l'auxine perturbe de façon visible le développement de la feuille .

Les cellules marginales ne se multiplient plus normalement par rapports à celle du limbe central et des déformations anatomiques souvent spécifiques apparaissent : enroulement en étui pour le cerisier gaufrures pour le pêcher et l'amandier .

Les dégâts causés aux fleurs se remarquent sur les pétales, les stigmates, les étamines qui avortent et se dessèchent .

La concentration du F dans les feuilles des végétaux prélevées en zone polluée est d'autant plus grande que ces organes sont plus âgées; signe indiscutable de l'effet cumulatif de l'intoxication fluorée .

Mais toutes les plantes ne réagissent pas de la même façon, certaines sont beaucoup plus sensibles que d'autres .

Ainsi les plantes possédant un parenchyme lâche sont sujettes aux attaques, tandis que celle qui ont une cuticule épaisse ou des poils abondants présentent moins de prises de contact et sont par conséquent plus résistantes .

Des facteurs extérieurs peuvent aussi intervenir tel l'élévation de température qui accentue les nécroses .

D'autre part, de longues périodes pluvieuses et froides provoquent un abaissement de la teneur des végétaux en fluor, par suite d'une part du lessivage de l'atmosphère et du feuillage des plantes d'autre part de la diminution de la transpiration .

Par contre, des pluies légères ou des rosées pouvant intervenir au cours d'une période chaude et sèche provoquent l'accumulation des substances toxiques agissent par infiltration dans la membrane cellulaire .

La nécrose des feuilles est tout à fait caractéristique et atteint principalement les arbres fruitiers à noyaux, la vigne, le maïs, les fleurs à bulbes (les glaïeuls, l'iri, la tulipe) le mille pertuis la gentiane, l'oseille, les épicéa, les pins sylvestre, les sapins.

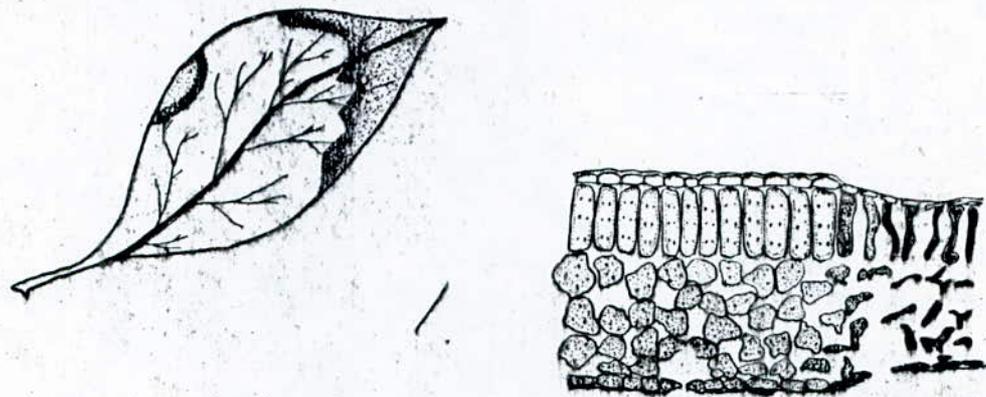


Fig. 15. — Dommages causés par la pollution fluorée.

En s'alimentant au sol au moyen de leurs racines, les plantes absorbent du fluor mais rarement en quantités toxiques. Il a été toutefois observé que certains engrais combinés boriqués complexes obtenus par attaque directe et simultanée de phosphates bruts et de borax par l'acide fort ( $H_2SO_4$ ,  $P_2O_5$ ) <sup>Provoquent des nécroses</sup> analogues à ceux que déterminent les fluorures atmosphériques, l'ion fluorure s'y trouvant lié sous la forme de fluoroborate, relativement stable.

Des concentrations de l'ordre de 0,0001 ppm dans l'air ambiant peuvent selon des expériences de fumigation effectuées aux U.S.A., provoquer des dégâts sur les plantes très sensibles. L'association des ingénieurs allemands a adopté en 1971 les concentrations d'immissions maximales suivantes :

- 0,1mg HF/m<sup>3</sup> d'air en moyenne pour 24 heures
- 0,2mg HF/m<sup>3</sup> d'air en moyenne pour 1/2 heure

Généralement l'on considère que des concentrations  $> 10$  ppm dans la matière sèche des plantes signifient qu'une action extérieure s'est manifestée.

## 2 - ACTION SUR LES ANIMAUX .

De tous les polluants atmosphériques, le fluor est celui qui cause les accidents les plus fréquents chez les animaux domestiques .

En effet, le fluor est un élément important de la structure des os et des dents dans lesquels il se trouve à la concentration de 0,02 à 0,05% mais une absorption trop importante cause divers troubles caractéristiques. On dit alors que l'animal est atteint de "fluorose" ,

Dans la plupart des cas, l'intoxication n'a pas lieu par inhalation mais par voie indirecte . C'est par la contamination des chaînes trophiques que le fluor empoisonne lentement les bovins, ovins qui paissent dans les zones polluées ,

Les premiers symptômes sont de nature dentaire ou l'émail présente des taches allant du jaune au brun foncé, et gagnant la totalité de la dent . La calcification rapide de l'ivoire entraîne une usure rapide et prématurée de la denture se traduisant par des ébréchures et des déviations. La douleur empêche les animaux de mastiquer normalement les aliments, ce qui détermine des troubles de la digestion

TABLEAU III — Effets du fluor sur les dents des mammifères

Intensité des signes dentaires	Normal 0-1	2	3	4	5
Fluor (mg/kg)					
dans la ration...	5-20	20-40	30-50	40-100	60-250
dans les os ...	100-1 000	1 376-3 775	2 375-3 805	3 025-6 100	4 420-15 000
dans les urines.	10	5-15	10-20	10-25	15-100
Effets pathologiques	nuls	nuls	douteux	certain	certain

Les 4% du fluor ingéré se répartissent en parties égales dans les dents et les tissus mous . Au niveau du sang, il remplace le calcium et perturbe l'hémostase, ainsi le sang ne peut se coaguler .

Les 96% restant se retrouvent dans les os ; des lésions osseuses apparaissent donc . L'os s'alourdit par fixation de fluorure de calcium et d'apatite, puis se déforme .

Les animaux intoxiqués ont une fourrure terne, une peau sèche adhérente aux os, un poil hérissé et des sabots démesurément long .

Le fluor entraîne une inhibition de divers enzymes tel que la phosphatase, et l'énolase.

Les animaux atteints perdent l'appétit, maigrissent et la lactation disparaît. Il apparaît aussi des troubles dans la démarche, des lésions thyroïdiennes du type goitreux et une asthénie générale même chez les plus jeunes bêtes.

Les principales voies d'élimination sont les reins, l'intestin, et les glandes. Ceci se fait très lentement et s'étend sur plusieurs années.

Les bovins supportent 50ppm de HF dans leur alimentation.

Les poules supportent 300ppm de HF dans leur alimentation.

La dose létale pour les singes est de 1000mg/m<sup>3</sup> pendant 30 minutes.

Les vers à soie se nourrissent de feuilles de murier cueillies dans des régions soumises à des gaz fluorés. Ils ont leurs glandes séricigènes s'atrophier ainsi que des anomalies morphologiques et un retard de croissance. Les teneurs en fluor des feuilles de murier responsable étant 20 fois supérieures à celle des feuilles analysées dans des zones non polluées.

Dans les zones polluées, les abeilles mortes de florose ont un taux de fluor de 30 à 35  $\mu$  au lieu de 1  $\mu$ . Cela est dû au fait que les fleurs mellifères ont des teneurs en fluor 70 fois plus élevées qu'en région normale, le pollen 119mg au lieu de 2 à 4mg, le miel 44mg/kg au lieu de 1 à 3mg. L'évolution de la maladie chez l'abeille se traduit par une paralysie neuro-musculaire.

Les animaux atteints perdent l'appétit, maigrissent et la lactation disparaît. Il apparaît aussi des troubles dans la démarche, des lésions thyroïdiennes du type goitreux et une asthénie générale même chez les plus jeunes bêtes.

Les principales voies d'élimination sont les reins, l'intestin, et les glandes. Ceci se fait très lentement et s'étend sur plusieurs années.

Les bovins supportent 50ppm de HF dans leur alimentation.

Les poules supportent 300ppm de HF dans leur alimentation.

La dose létale pour les singes est de 1000mg/m<sup>3</sup> pendant 30 minutes.

Les vers à soie se nourrissant de feuilles de murier cueillies dans des régions soumises à des gaz fluorés voient leurs glandes séricigènes s'atrophier ainsi que des anomalies morphologiques et un retard de croissance. Les teneurs en fluor des feuilles de murier responsable étant 20 fois supérieures à celle des feuilles analysées dans des zones non polluées.

Dans les zones polluées, les abeilles mortelles de florose ont un taux de fluor de 30 à 35  $\mu$  au lieu de 1  $\mu$ . Cela est dû que les fleurs mellifères ont des teneurs en fluor 70 fois plus élevées qu'en région normale, le pollen 119mg au lieu de 2 à 4mg, le miel 44mg/kg au lieu de 1 à 3mg. L'évolution de la maladie chez l'abeille se traduit par une paralysie neuro-musculaire.

3 - ACTION SUR L'HOMME :

L'homme est moins sensible que les plantes et les animaux au fluor et ses dérivés gazeux, et les vapeurs d'acide fluorhydrique qui sont de puissants caustiques . Ils causent un oedème de poumon nécessitant un traitement urgent . La concentration maximale supportable est de 0,1ppm pour le fluor et de 3ppm pour HF . Ses dérivés minéraux (HF, NaF, Fluosilicate) entraînent en cas d'intoxication aiguë, une hypocalcémie et un blocage grave de certaines enzymes . Leur ingestion occasionne des douleurs abdominales accompagnées de vomissement des convulsions, un collapsus . Leur contact avec la peau ou les yeux provoqué des brûlures très profondes et graves . La dose mortelle de fluorure de sodium est entre 2 et 4g pour un adulte . De plus, l'acide fluorhydrique peut causer un état de choc, une perforation digestive, un oedème de la glotte et plus tard une sténose œsophagienne . L'intoxication chronique par le fluor entraîne une altération de l'état général et des atteintes osseuses s'accompagnant de douleur et de modification radiologique . De très légers symptômes dentaires apparaissent chez l'homme lors d'une ingestion quotidienne d'environ 0,1mg de fluor par kg de poids de l'individu .

(3), (4), (6), (7), (8), (9), (10)

LUTTE ET PREVENTION

La prévention de toute forme d'atteinte à l'environnement engendrée par un quelconque projet doit susciter l'attention et l'intérêt à différents niveaux .

1) LES ETUDES D'IMPACT : la procédure du déroulement de celle-ci peut-être décrite comme suit :

a) analyse de l'état initial du site et de son environnement en tenant compte de la pollution de fond et comportant :

- les paramètres relatifs aux ressources et à l'occupation des sols;
- les paramètres relatifs aux conditions météorologiques
- un rapport cartographique sur l'espace prévisible que le projet va directement ou indirectement affecter .

b) une étude des modifications que le projet y engendrera sur :

- l'hygiène et la sécurité du personnel d'exploitation
- la santé publique et le cadre de vie des populations
- les ressources hydrauliques, l'agriculture et les forêts
- la faune et la flore
- les sites classés et les monuments historiques
- les risques d'accident.

c) les mesures envisagées pour supprimer et si possible compenser les conséquences dommageables pour l'environnement comportant :

- les schémas et plans des installations de traitement des effluents liquides solides et gazeux
- un programme des opérations de surveillance et de contrôle de la qualité des rejets et de l'intensité des bruits .
- les dispositions techniques relatives aux ambiances professionnelles prévues pour la protection des agents aux postes d'exposition
- la récupération et le recyclage des matériaux ou énergie
- la restauration des sites défigurés lors des aménagements .

Si l'étude montre que les modifications engendrées sur l'environnement seront importantes et qu'il sera difficile d'y remédier, il y a lieu de réétudier le projet .

## 2) PREVENTION A LA SOURCE:

Elle consiste à fabriquer un produit en émettant avant toute épuration un flux spécifique de polluant moindre que ne le ferait le procédé traditionnel.

## 3) PREVENTION PAR TRAITEMENT DE L'EFFLUENT :

On traite l'affluent pour éliminer des gaz rejetés, soit les particules, soit les gaz nocifs qu'ils peuvent contenir .

### a) DEPOUSSIERAGE :

On distingue Généralement 4 Types de dépoussiéreurs

#### DEPOUSSIEREURS MECANIQUES:

Ce sont surtout des séparateurs cycloniques ou multicycloniques dans lesquels la séparation se fait en utilisant la force centrifuge.

#### AVANTAGES:

Simplicité et fiabilité

Faible investissement

Compacité

Maintenance réduite

Perte de charge moyenne

#### INCONVENIENTS :

Risque d'érosion dû au caractère abrasif des poussières

Risque de corrosion

Efficacité faible vis à vis des poussières dont le diamètre est inférieur à 5 - 10  $\mu$

Nécessité d'obtenir une excellente répartition du flux gazeux dans les différents cyclones.

Variation possible de l'efficacité avec le débit des gaz , avec la charge de l'installation ou les entrées d'air parasites.

#### DEPOUSSIEREURS HUMIDES:

La séparation des poussières se fait par une mise en contact de celle-ci avec un liquide.

#### AVANTAGES:

Investissement relativement faible

Intérêt si l'usine possède déjà une station d'épuration

Encombrement faible

Maintenance plus faible que celle des dépoussiéreurs électriques et des dépoussiéreurs à manches ( à condition que les problèmes de corrosion aient été pris en compte dès l'étude du matériel)

Possibilité de traitement éventuel des polluants gazeux :

#### INCONVENIENTS:

Coût d'exploitation élevé ( si perte de charge élevée et forte consommation d'eau )

Coût élevé du traitement des eaux

Production de boues après traitement des eaux .

Risque de corrosion chimique.

Risque d'érosion au col du venturi

Dépoussiéreurs à couche poreuse

#### AVANTAGES:

Technique indépendante de la nature des poussières

Excellente efficacité

#### INCONVENIENTS:

Précaution à prendre vis à vis de la résistance des filtres aux acides

Risque de corrosion

Précaution à prendre vis à vis des hautes et basses température

Précaution à prendre vis à vis des risques d'incendie par projection d'escarbille incandescentes.

Coût d'investissement élevé

Coût d'exploitation élevé

#### DEPOUSSIEREURS ELECTRIQUES

##### Avantages:

efficacité excellente si l'installation est bien dimensionnée.

Faible perte de charge

Coût d'exploitation favorable

Bonne efficacité d'arrêt sur les très fines poussières.

Possibilité de traiter des effluents gazeux à température élevée et

variable

INCONVENIENTS

Efficacité dépendante de la résistivité des poussières  
 Risque de corrosion  
 Variation de l'efficacité avec la charge  
 Coût d'investissement élevé  
 Encombrement important

b) TRAITEMENT DES POLLUANT GAZEUXa) PAR LAVAGE

Dans ce cas il y a mise en contact du composé gazeux à séparer avec la phase liquide. Il est important que le composé gazeux puisse être absorbé et dissous par le liquide .

b) Par destruction thermique:

La plupart des composés gazeux carbonés peuvent être détruit lorsqu'ils sont incinérés;

ON DISTINGUE /

1'Incinération thermique dans une flamme

1'incinération catalytique,

Quelque soit le type d'incinération choisie, il se pose le problème de l'utilisation éventuelle de la chaleur produite . Lorsqu'on ne peut utiliser cette chaleur, le procédé d'épuration revient très cher.

(3), (11)

PARTIE      EXPERIMENTALE

Le complexe d'engrais phosphatés d'Annaba

se trouve au Sud Est à 3km de la ville .

Il renferme six unités :

1. Unité d'acide sulfurique
2. Unité d'acide phosphorique : 500t/j
3. Unité d'engrais

T.S.P. 0.46.0 : 880t/j

DAP 18.46.0 : 700t/j

NPK 15.15.15 : 1050t/j

DAP 20.20.0 : 700t/j

4. Unité de tripolyphosphate de sodium TPP : 120t/j

5. Unité d'acide nitrique

6. Unité nitrate d'ammonium

Les unités 2,3 et 4 émettent des gaz fluorés .

Le phosphate utilisé et provenant de Djebel Onk se présente sous une forme débourbée, dépoussiérée et calcinée . Il contient environ 3,7% de fluor .

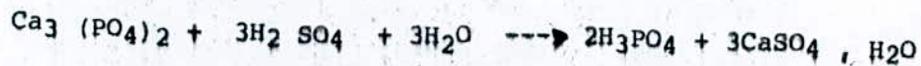
Le processus de fabrication de l'acide phosphorique, des engrais et du T.P.P. est le suivant :

- a) - L'unité 2, de l'acide phosphorique :

L'acide phosphorique est fabriqué par voie humide suivant la méthode de Pechiney Saint Gobain .

Le phosphate dépoussiéré à 28% de  $P_2O_5$  sera broyé, puis mélangé à de l'acide sulfurique ,

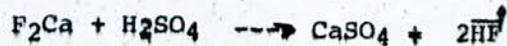
La réaction principale est la suivante :



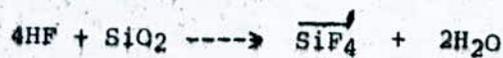
La réaction est très exothermique, et pour maintenir la température à 80°C on effectue un refroidissement sous vide .

Simultanément, les autres constituants du minéral sont attaqués par  $H_2SO_4$

Pour le fluor on a :



L'acide fluorhydrique HF réagit à son tour avec le dioxyde de silice contenue dans le phosphate pour donner :



Les gaz sortant de la cuve d'attaque sont lavés dans deux tours TCA (Turbulent Contact Absorber), on a alors :



L'acide formé par l'absorption du fluor est envoyé à l'égout en continu via un trop plein, mais 30 à 50% des gaz fluorés s'échappent par les cheminées avant d'être lavés.

La bouillie obtenue lors de l'attaque sera filtrée afin de séparer  $\text{H}_3 \text{ PO}_4$  du gypse bi-hydraté,

La filtration se fait sous vide dans un filtre circulaire

L'acide fabriqué par voie humide est un acide impur, on y retrouve une partie des impuretés contenues dans le phosphate.

Il importe donc d'épurer l'acide afin d'avoir des engrais de meilleures qualités.

Pour cela, on refroidit l'acide pour provoquer la précipitation maximum des sels de l'acide à 30% et on sépare l'acide des cristaux.

Certaines formules d'engrais nécessitent de l'acide à 50% de  $\text{P}_2\text{O}_5$ . Il faut donc concentrer l'acide.

Un bouilleur mis sous vide recevra donc de l'acide à concentrer préalablement chauffé. Il sortira de l'appareil, d'une part l'acide concentré, et d'autre part la vapeur d'eau entraînant des gaz fluorés ( $\text{HF}$ ,  $\text{Si F}_4$ ,  $\text{H}_2 \text{ Si F}_6$ ) contenus dans l'acide phosphorique.

Un laveur condenseur à mélange arrosé à l'eau condense la vapeur et absorbe le fluor.

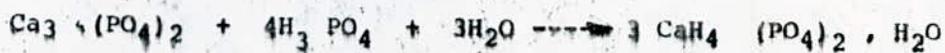
b) - L'unité 3, d'engrais phosphatés ;

La fabrication des engrais se fait aussi par la méthode de Péchiney Saint Gobain.

Le T.S.P.

La fabrication du superphosphate a pour but de transformer le phosphate naturel tricalcique insoluble en phosphate monocalcique soluble dans l'eau. Pour cela on mélange du phosphate calciné broyé avec  $\text{H}_3\text{PO}_4$  à 35%.

On a alors la réaction suivante :



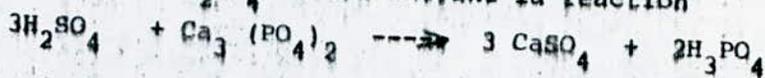
c) - L'unité 4 - des tripolyphosphates de sodium

Le tripolyphosphate de sodium a pour formule  $\text{Na}_5\text{P}_3\text{O}_{10}$ ,

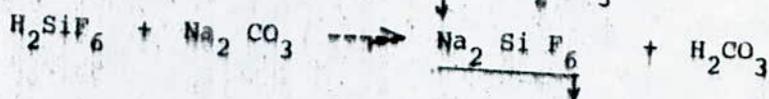
C'est un sel obtenu par polycondensation des sels d'orthophosphate de sodium dont la réaction principale est :



La matière première est l'acide phosphorique obtenue dans l'unité 2 qui doit être préalablement épuré. Pour cela, on lui rajoute du charbon actif qui attaquera les matières organiques, du phosphate minéral qui attaquera  $\text{H}_2\text{SO}_4$  libre suivant la réaction



du carbonate de sodium pour éliminer les composés fluorés, selon des réactions :

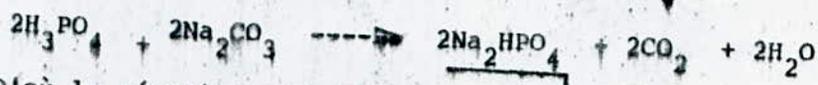
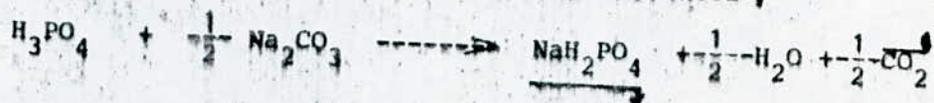


La bouillie obtenue est ensuite filtrée.

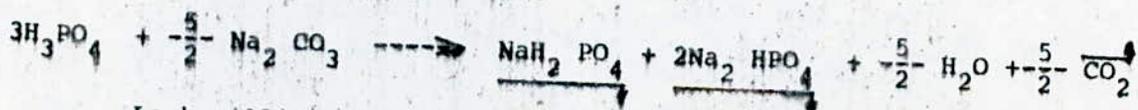
Le filtrat est envoyé à la neutralisation et les boues sont évacuées à l'égout.

Les liqueurs d'orthophosphates s'obtiennent ensuite par neutralisation de l'acide épuré au carbonate de sodium.

Les réactions de neutralisation sont les suivantes :



D'où la réaction globale :



La bouillie obtenue est alors filtrée sur un filtre rotatif et le filtrat est envoyé à la concentration puis à la calcination où la réaction principale est :



En réalité les réactions sont plus complexes, on sait que jusqu'à 280°, on a :



pyro neutre

et



pyro acide

puis ces deux pyro réagissent entre eux pour donner le T.P.P. mais avec une vitesse réactionnelle plus faible, le pyro acide continuera sa déshydratation suivant la réaction :

L'attaque a lieu avec dégagement de gaz fluorés selon les deux réactions suivantes :



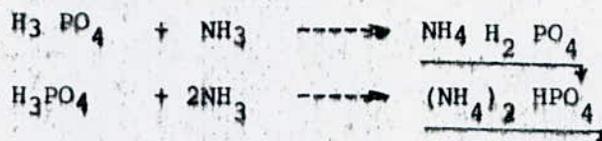
Puis la bouillie du T.S.P. formée à l'attaque sera mélangée à du produit recyclé (produit trop fin, produit broyé, excédent du produit marchand), l'engrais granulé obtenu sera ensuite séché. Le produit sec sortant du séchoir a une granulométrie très variable. On procède donc à une sélection du produit marchand en envoyant le produit sec sur des tamis. Vers le stockage ne part que la quantité voulue de produit fini, l'excédent étant envoyé sur le tapis de recyclage. Avant d'être stocké le produit est refroidi puis enrobé.

Les gaz sortant des cuves et du granulateur sont riches en fluor. Il seront lavés dans deux colonnes du type TCA.

Les gaz sortant du sécheur sont poussiéreux et fluorés. Il passent d'abord sur des batteries de cyclones avant d'être refoulés vers des tours de lavages du type TCA.

- Le Diamonium phosphaté D.A.P. 18.46.0

On mélange dans ce cas l'acide phosphorique à 30 50% de  $\text{P}_2\text{O}_5$  avec de l'ammoniac, on a alors :



A la bouillie obtenu, on ajoutera de l'ammoniac puis on effectuera une granulation, un séchage, une sélection du produit marchand et le conditionnement du produit fini.

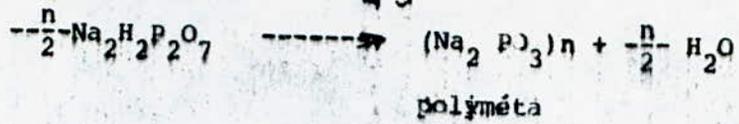
L'acide phosphorique contient du fluor qui peut réagir avec  $\text{NH}_3$  pour donner HF.

Dans ce cas, les gaz d'assainissement contiennent essentiellement de l'ammoniac qui n'a pas réagi ou qui peut se dégager du produit.

- Le N.P.K. 15.15.15.

La fabrication du NPK consiste à mélanger de l'acide phosphorique à 30 50% de  $\text{P}_2\text{O}_5$  avec de l'ammoniac et à granuler la bouillie obtenu avec le produit de recyclage, le nitrate d'ammoniac à 33% d'azote et le chlorure de potassium Kil à 60% de  $\text{K}_2\text{O}$  et le ballast.

Le produit fini est enrobé avant expédition du stock.



ce qui entraîne qu'une partie des pyro ne réagira pas . En fin de réaction on aura donc un mélange de ces différents sels .

NaF est présent dans la liqueur d'ortho, mais ne se retrouvera pas dans le produit final . On a :



On a donc un dégagement de gaz fluorés (HF, SiF<sub>4</sub>) .

Puis le produit calciné sera broyé, gralué, refroidi, et stocké .

Les processus de fabrication des unités 2,3 et 4 décrits ci-dessus sont représentés par les figures 16, 17, 18

(13)

Estimation quantitative des effluents liquides, solides  
et gazeux des unités 2, 3 et 4 de production.

Tab: IV

Unités	capacité de production	gaz: HF, SiF <sub>4</sub> H <sub>2</sub> S, F <sub>2</sub>	Rejets	
			liquides	solides
acide phosphorique	500 t/j	100 kgF/j	2500 t/j (a)	—
engrais granulé	TSP 880 t/j	100 kgF/j	14700 kg/j (b)	—
	NPK 1050 t/j	100 kgF/j	14929 kg/j (c)	—
T.P.P	120 t/j	200 kgF/j	1140 kg/j (d)	3055 kg/j (e)

(a): phosphogypse CaSO<sub>4</sub>, H<sub>2</sub>O, eau de lavage des gaz

(b), (c): eau de lavage des gaz, matières premières liquides n'ayant pas réagi

(d): eau de lavage des gaz, eau obtenu lors de la filtration de la solution neutralisée.

Les rejets liquides cités précédemment contiennent des composés fluorés

(e): boues obtenues lors de l'épuration de l'acide phosphorique contenant des composés fluorés tels que NaF, Na<sub>2</sub>SiF<sub>6</sub>.

Les chiffres regroupés dans le tableau ci-dessus sont théoriques. Ils proviennent du complexe ASMIDAL.

Schema de fabrication de l'acide phosphorique.

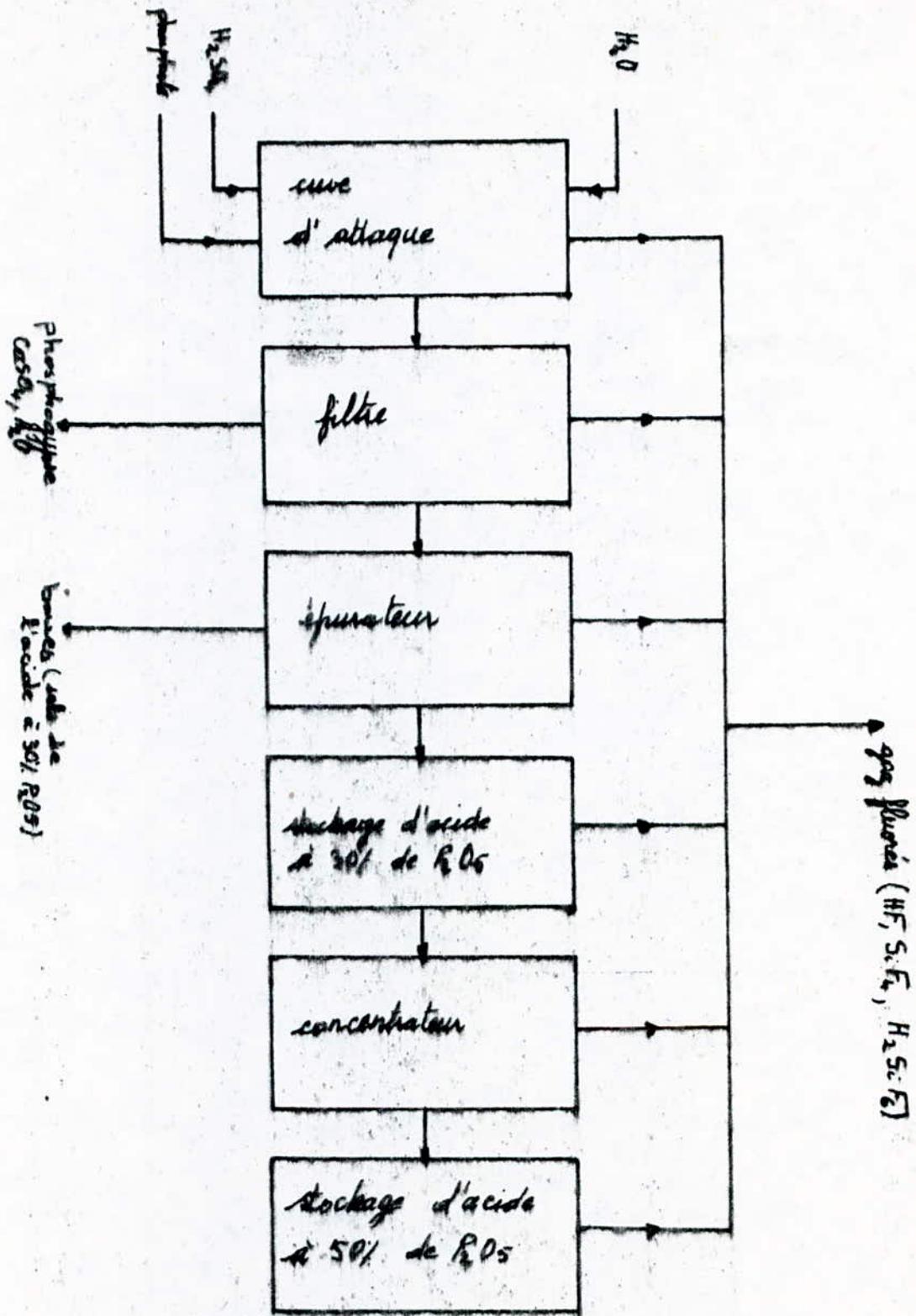


figure 0. 16

Schema de fabrication des engrais.

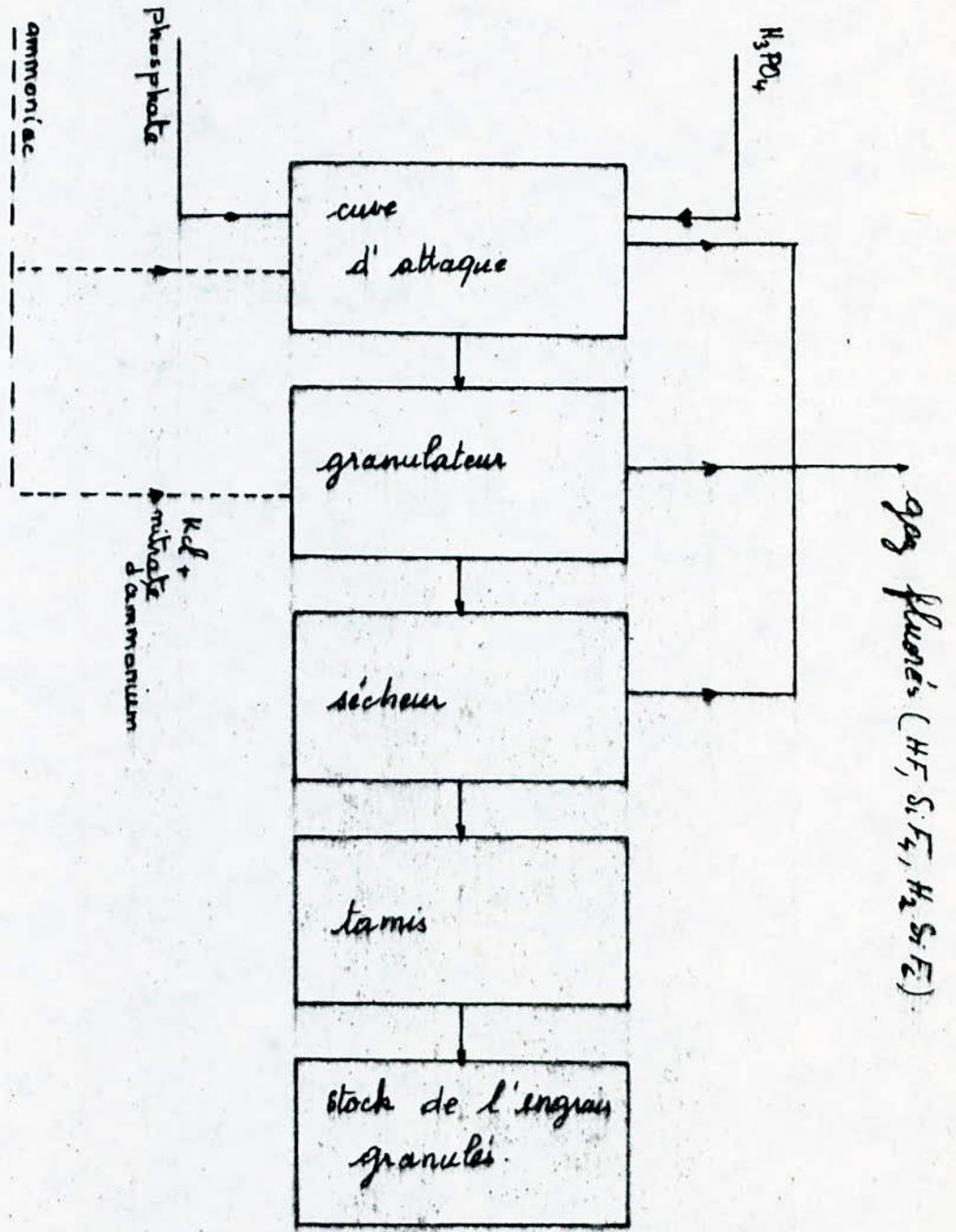
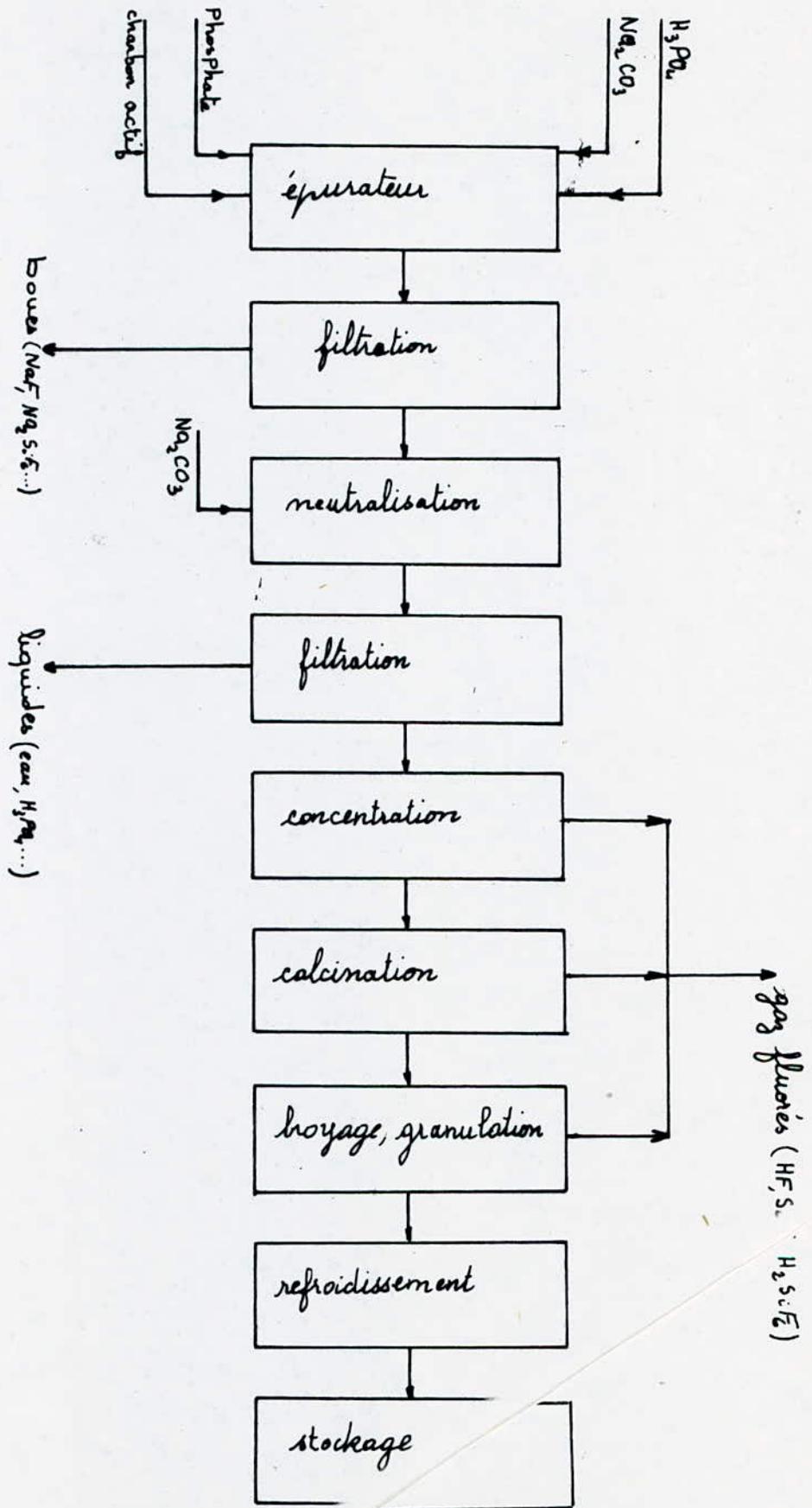


Figure ... 17

47  
Schema de fabrication du T.P.P



Le complexe d'engrais phosphatés de Annaba



### Mesures des retombées de fluor autour du complexe

En 1981, trois postes de mesure du fluor atmosphérique ont été installés à ANNABA.

Poste 1, 2 à l'Usine d'engrais phosphates,

Poste 3 à l'Ecole de garçon SEYBOUSE situé à quelques centaines de mètres au Nord West du complexe.

Poste 2' au quartier SONATIBA situé à quelques centaines de mètres au Sud West du complexe.

Les postes 1 et 2 étaient placés à l'intérieur du complexe, le poste 3 à l'école SEYBOUSE. Le poste 2 a fonctionné dans le complexe de Janvier à Juin 1981, puis de Juillet à Novembre 1981 au niveau du quartier SONATIBA (Poste 2')

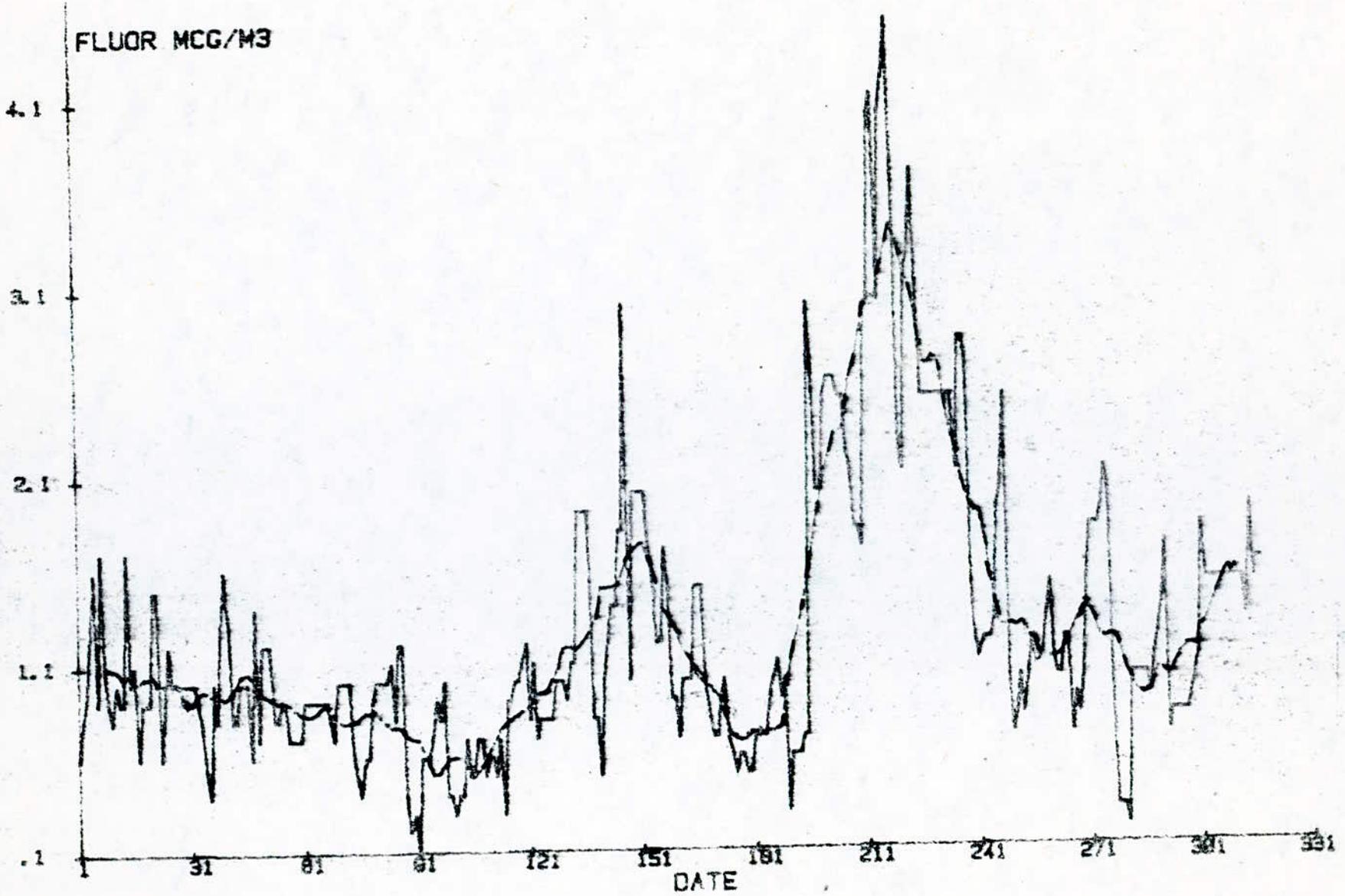
La méthode de prélèvement et le dosage du fluor atmosphérique sont donnés en annexe.

Les tableaux V, VI, VII récapitulent les résultats des mesures journalières du fluor atmosphérique, au niveau des postes 1, 2, 2' et 3. L'évolution des concentrations journalières sont reportés graphiquement sur les figures 19, 20, 21, 22 quant aux courbes en pointillées, elles représentent l'évolution des moyennes bimensuelles des concentrations en fluor.

Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre
1 0,0	1 0,0	1 0,0	1 0,0	1 0,7	1 1,9	1 1,5	1 3,0	1 2,5	1 1,1	1 0,0
2 0,0	2 0,9	2 1,0	2 0,6	2 0,5	2 1,9	2 1,5	2 2,7	2 2,5	2 1,3	2 1,1
3 0,0	3 1,7	3 1,0	3 0,5	3 0,5	3 1,9	3 1,5	3 2,0	3 2,5	3 1,3	3 1,1
4 0,0	4 1,0	4 1,0	4 0,4	4 0,7	4 1,9	4 1,0	4 2,0	4 2,5	4 1,5	4 1,1
5 0,0	5 1,1	5 0,6	5 0,6	5 0,7	5 0,8	5 0,8	5 2,5	5 2,5	5 1,1	5 1,1
6 0,0	6 0,8	6 1,4	6 0,6	6 0,5	6 0,8	6 0,7	6 2,6	6 2,5	6 1,0	6 0,0
7 0,0	7 0,9	7 0,7	7 0,9	7 0,6	7 0,5	7 0,7	7 2,6	7 2,5	7 1,0	7 0,0
8 0,0	8 0,9	8 1,2	8 1,0	8 0,6	8 1,0	8 0,9	8 2,6	8 2,5	8 1,2	8 0,0
9 0,0	9 0,9	9 1,2	9 1,0	9 0,5	9 1,2	9 1,0	9 2,5	9 2,5	9 1,2	9 0,0
10 0,0	10 1,5	10 1,2	10 1,0	10 0,7	10 1,4	10 0,7	10 2,5	10 2,1	10 0,7	10 0,0
11 0,0	11 1,5	11 0,8	11 1,0	11 0,3	11 1,4	11 0,6	11 2,2	11 2,1	11 0,9	11 0,0
12 0,0	12 0,8	12 0,8	12 1,1	12 0,9	12 1,8	12 0,5	12 2,1	12 2,8	12 0,8	12 0,0
13 0,0	13 0,9	13 0,9	13 0,8	13 0,9	13 1,8	13 0,6	13 1,8	13 2,7	13 1,0	13 0,0
14 0,0	14 1,2	14 0,9	14 1,2	14 1,0	14 3,0	14 0,6	14 1,8	14 1,5	14 1,5	14 1,1
15 0,0	15 1,0	15 0,7	15 1,2	15 1,0	15 1,0	15 0,5	15 1,7	15 1,2	15 1,5	15 1,1
16 0,0	16 1,0	16 0,7	16 0,4	16 1,4	16 1,0	16 0,5	16 3,0	16 1,1	16 1,8	16 1,1
17 0,0	17 1,0	17 0,7	17 0,2	17 1,2	17 2,0	17 0,7	17 3,3	17 1,2	17 1,8	17 1,1
18 0,8	18 1,0	18 0,7	18 0,3	18 0,8	18 2,0	18 0,7	18 4,0	18 1,2	18 1,8	18 1,1
19 0,8	19 1,0	19 0,9	19 0,1	19 1,1	19 2,0	19 0,7	19 4,1	19 1,2	19 2,1	19 1,1
20 0,9	20 1,0	20 0,9	20 0,6	20 0,7	20 1,7	20 0,7	20 3,0	20 1,2	20 2,2	20 1,1
21 1,2	21 1,0	21 0,9	21 0,6	21 0,8	21 1,6	21 0,9	21 4,0	21 1,9	21 2,0	21 1,1
22 1,6	22 0,9	22 0,9	22 0,6	22 0,8	22 1,2	22 1,0	22 4,2	22 2,0	22 1,0	22 1,1
23 0,9	23 0,8	23 0,9	23 0,7	23 0,8	23 1,2	23 1,1	23 4,5	23 2,5	23 0,3	23 1,1
24 1,7	24 0,5	24 0,9	24 0,9	24 0,8	24 1,7	24 0,9	24 3,7	24 1,0	24 0,3	24 1,1
25 1,1	25 0,4	25 0,9	25 0,8	25 1,0	25 1,5	25 1,0	25 2,2	25 0,7	25 0,2	25 1,1
26 0,9	26 1,0	26 0,8	26 1,0	26 1,0	26 0,9	26 0,3	26 2,1	26 0,8	26 1,0	26 1,1
27 0,8	27 0,8	27 0,7	27 0,4	27 1,0	27 0,9	27 0,6	27 3,1	27 1,0	27 1,0	27 1,1
28 0,8	28 0,3	28 0,7	28 0,4	28 0,9	28 0,7	28 0,6	28 3,2	28 0,8	28 1,0	28 1,1
29 1,1	29 0,6	29 1,0	29 0,3	29 1,1	29 1,0	29 0,6	29 3,7	29 1,0	29 1,0	29 1,1
30 1,3	30 1,6	30 1,0	30 0,4	30 1,1	30 1,0	30 0,7	30 3,1	30 1,2	30 1,0	30 1,1
31 0,8	31 0,8	31 0,0	31 0,3	31 1,1	31 1,0	31 0,7	31 3,1	31 1,2	31 1,0	31 1,1

50

Fig 19



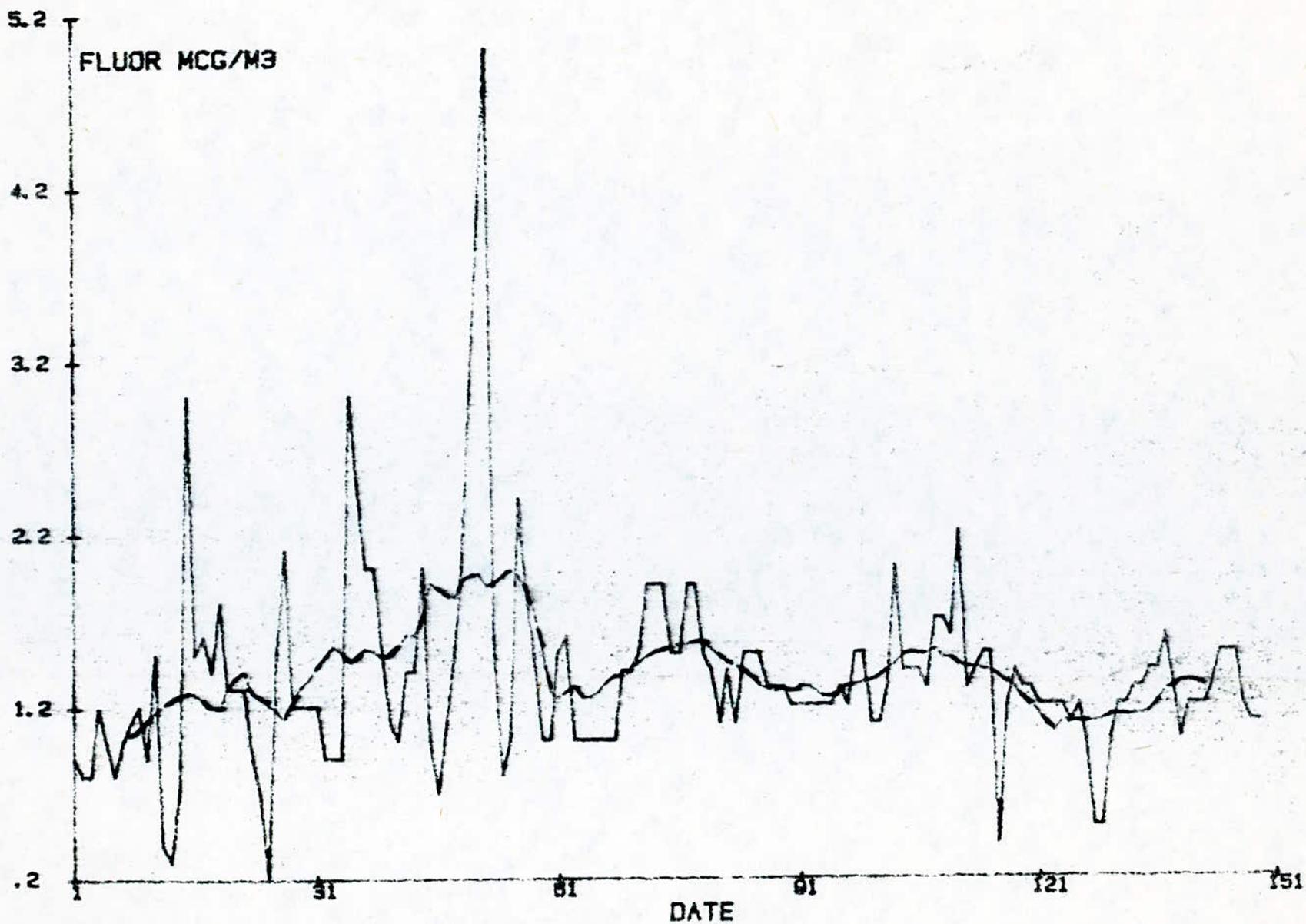
Concentration en Fluor  
Bste 1

POSTE 2 ET 2' Année 1981

Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aout	Septembre	Octobre	Novembre
1	0,0	1,5	1,4	1,1	1,2	0,0	0,9	2,0	0,0	0,0
2	0,0	0,4	1,5	1,1	1,2	0,0	0,9	2,1	0,0	0,0
3	0,0	0,3	1,9	1,3	1,3	0,0	0,9	2,2	0,0	0,0
4	0,0	0,7	1,9	2,0	1,3	0,0	1,0	2,4	0,0	0,0
5	0,0	3,0	1,9	1,4	1,4	0,0	0,5	2,2	0,5	0,5
6	0,0	1,5	1,5	1,4	1,4	0,0	0,5	2,2	0,0	0,0
7	0,0	1,6	1,5	1,4	1,6	0,0	1,0	2,0	0,0	0,0
8	0,0	1,4	1,9	1,3	1,3	0,0	1,5	2,0	0,0	0,0
9	0,0	1,8	1,9	1,7	1,0	0,0	0,6	1,0	0,0	0,0
10	0,0	1,3	1,5	1,7	1,1	0,0	0,3	2,1	0,0	0,0
11	0,0	1,3	1,4	1,6	1,2	0,0	0,2	2,2	0,0	0,0
12	0,0	1,3	1,1	2,2	1,2	0,0	0,2	2,2	0,0	0,0
13	0,0	0,9	1,4	1,3	1,3	0,0	0,2	2,2	0,0	0,0
14	0,0	0,7	1,1	1,4	1,5	0,0	0,2	2,2	0,0	0,0
15	0,0	0,2	1,5	1,5	1,5	0,0	0,2	2,0	0,0	0,0
16	0,0	1,5	1,5	1,5	1,5	0,0	0,3	2,0	0,0	0,0
17	0,0	2,1	1,5	0,4	1,2	0,0	0,6	2,0	0,0	0,0
18	0,0	1,2	1,3	1,2	1,1	0,0	0,7	2,0	2,2	2,2
19	0,0	1,2	1,3	1,4	1,1	0,0	0,5	2,0	2,0	2,0
20	0,0	1,2	1,3	1,3	1,0	0,0	0,5	2,0	1,7	1,7
21	0,0	1,2	1,2	1,3	0,0	0,9	0,5	2,1	1,5	1,5
22	0,9	0,9	1,2	1,2	0,0	1,1	0,5	2,2	2,5	2,5
23	0,8	0,9	1,2	1,2	0,0	1,2	0,5	2,1	2,4	2,4
24	0,8	0,9	1,2	1,2	0,0	1,0	0,6	2,0	2,4	2,4
25	1,2	3,0	1,2	1,2	0,0	1,0	0,4	2,0	0,8	0,8
26	1,0	2,5	1,2	1,1	0,3	0,3	0,4	2,2	0,5	0,5
27	0,8	2,0	1,3	1,2	0,0	0,6	0,4	2,4	0,5	0,5
28	1,0	2,0	1,2	1,0	0,0	0,8	0,4	2,4	1,0	1,0
29	1,1		1,5	0,5	0,0	0,9	0,4	2,4	1,0	1,0
30	1,2		1,5	0,5	0,0	2,5	0,3	2,5	0,6	0,6
31	0,9		1,4	1,0	0,0	1,0	0,3		0,6	0,6

52

Fug:20

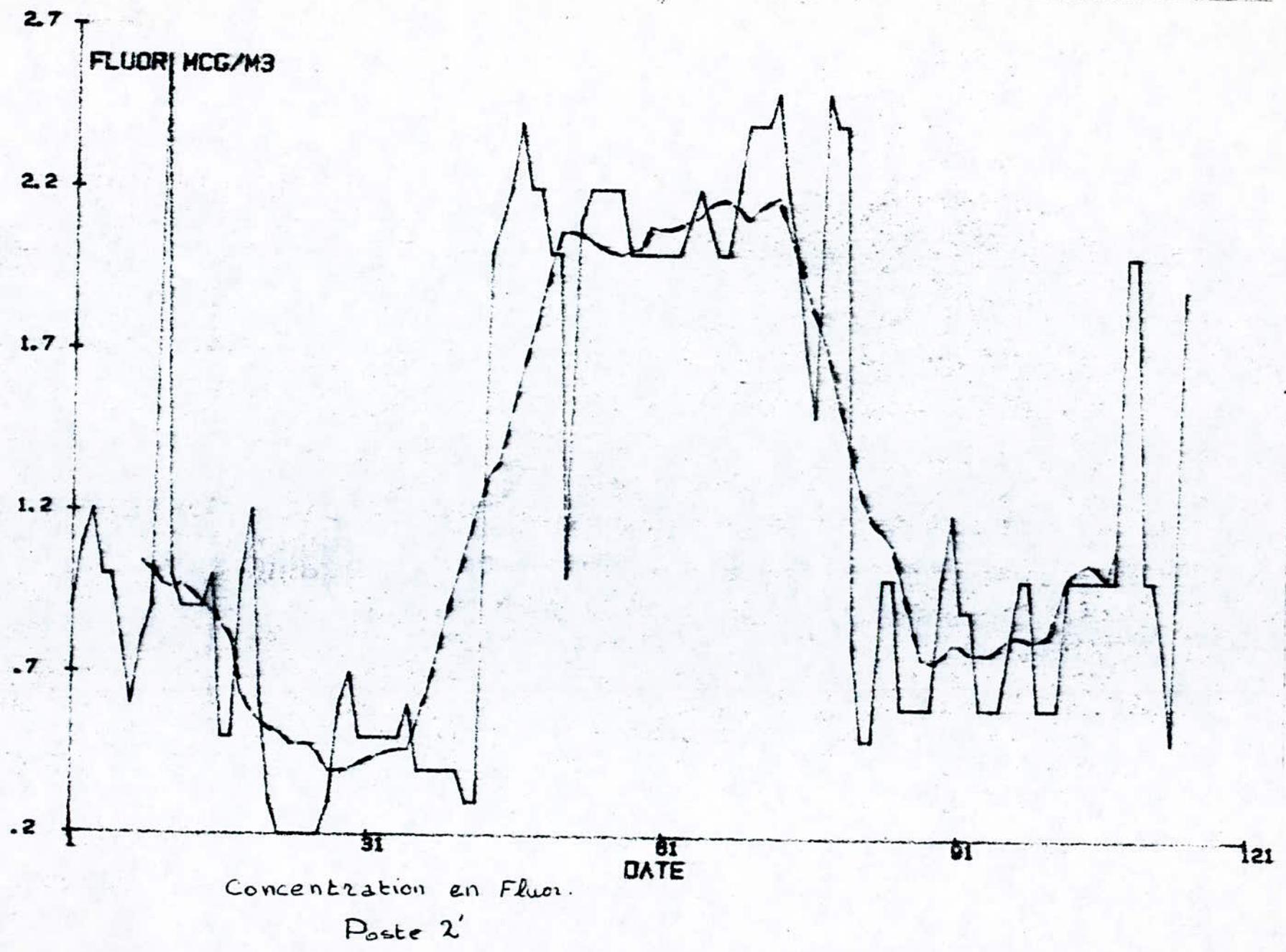


concentration en Fluor

Poste 2

53

Fig. 21



Tab: VII

CONCENTRATION DU FLUOR A ANNABA EN  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 

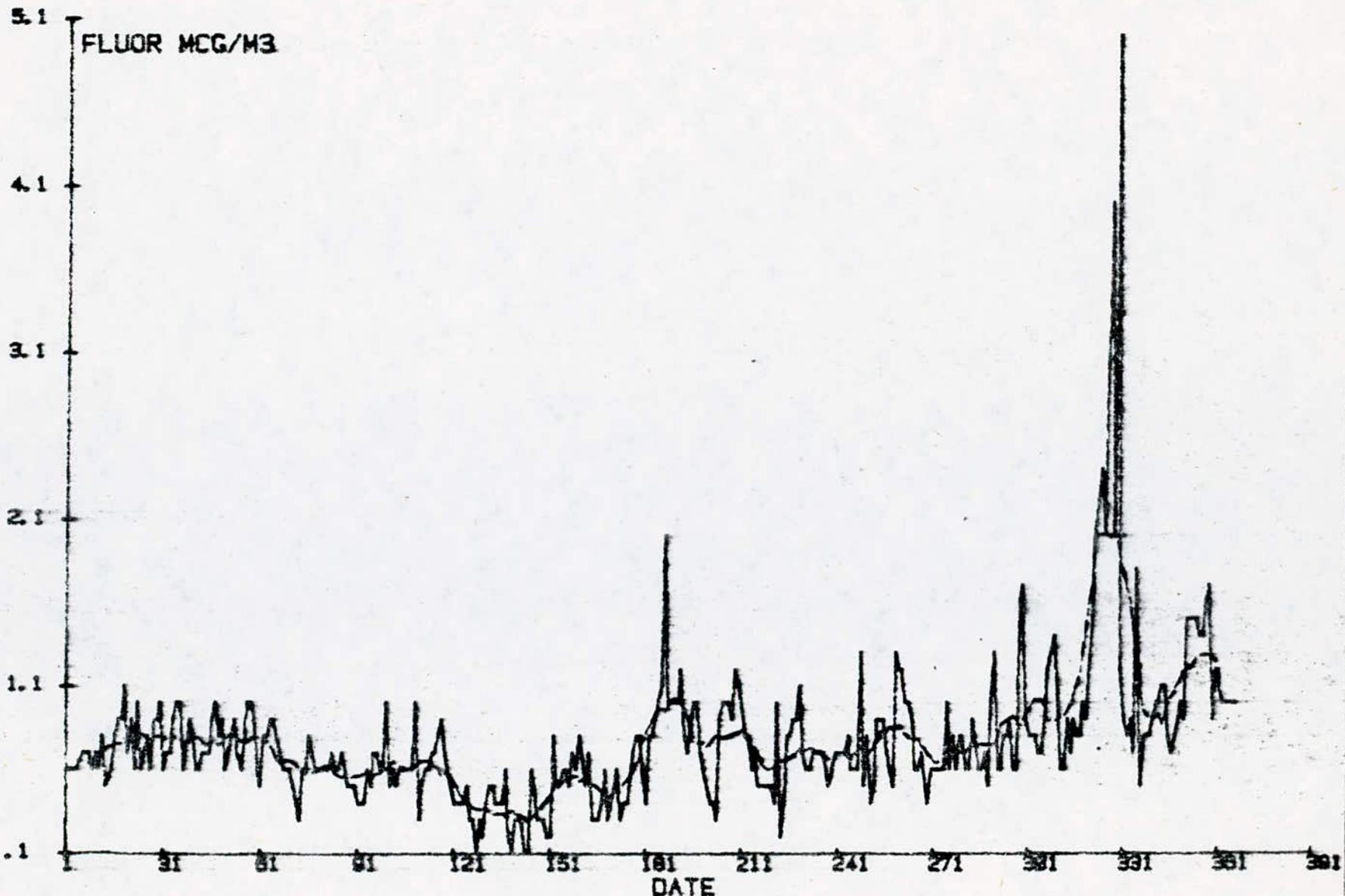
POSTE 3, ANNE 1981

Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Septembre	Octobre	Novembre	D
1 0,6	1 0,7	1 0,6	1 0,4	1 0,4	1 0,8	1 0,8	1 0,6	1 0,6	1 1,0	1 1,0	1
2 0,6	2 0,7	2 0,5	2 0,4	2 0,4	2 0,5	2 0,9	2 0,7	2 0,6	2 0,6	2 2,2	2
3 0,6	3 0,9	3 0,8	3 0,4	3 0,4	3 0,5	3 1,0	3 0,5	3 0,6	3 0,8	3 1,3	3
4 0,6	4 1,0	4 0,8	4 0,6	4 0,4	4 0,6	4 1,1	4 0,5	4 1,3	4 0,6	4 1,4	4
5 0,7	5 1,0	5 0,9	5 0,9	5 0,5	5 0,6	5 2,0	5 0,5	5 0,5	5 0,8	5 1,0	5
6 0,7	6 0,6	6 0,9	6 0,7	6 0,3	6 0,5	6 1,0	6 0,5	6 0,8	6 0,8	6 0,6	6
7 0,7	7 0,7	7 0,8	7 0,7	7 0,3	7 0,7	7 1,0	7 0,5	7 0,4	7 0,6	7 0,6	7
8 0,7	8 0,9	8 0,7	8 0,6	8 0,1	8 0,6	8 1,0	8 0,4	8 0,5	8 0,6	8 0,9	8
9 0,6	9 0,8	9 0,6	9 0,6	9 0,3	9 0,8	9 1,0	9 1,0	9 0,9	9 0,9	9 0,7	9
10 0,7	10 0,6	10 0,6	10 1,0	10 0,2	10 0,7	10 1,2	10 0,2	10 0,9	10 0,8	10 0,9	10
11 0,6	11 0,6	11 0,6	11 0,5	11 0,4	11 0,5	11 0,8	11 0,4	11 0,9	11 0,6	11 0,8	11
12 0,8	12 0,7	12 0,5	12 0,6	12 0,5	12 0,7	12 0,7	12 0,8	12 0,7	12 0,6	12 0,8	12
13 0,5	13 0,7	13 0,4	13 0,5	13 0,5	13 0,3	13 0,9	13 0,8	13 0,6	13 0,7	13 1,0	13
14 0,6	14 0,7	14 0,3	14 0,6	14 0,4	14 0,3	14 1,0	14 0,9	14 0,5	14 0,5	14 0,9	14
15 0,6	15 0,9	15 0,6	15 0,6	15 0,4	15 0,3	15 1,0	15 0,9	15 1,3	15 1,0	15 1,2	15
16 0,8	16 1,0	16 0,6	16 0,6	16 0,4	16 0,4	16 0,7	16 1,1	16 1,2	16 1,3	16 1,5	16
17 0,9	17 0,8	17 0,8	17 0,6	17 0,8	17 0,6	17 0,6	17 0,7	17 1,2	17 0,6	17 2,0	17
18 0,9	18 0,9	18 0,7	18 0,6	18 0,2	18 0,3	18 0,5	18 0,8	18 1,0	18 0,6	18 2,2	18
19 1,1	19 0,6	19 0,6	19 1,0	19 0,1	19 0,4	19 0,4	19 0,6	19 1,0	19 0,8	19 2,4	19
20 0,7	20 0,7	20 0,6	20 0,3	20 0,3	20 0,5	20 0,4	20 0,7	20 0,9	20 0,8	20 2,0	20
21 0,9	21 0,8	21 0,6	21 0,5	21 0,3	21 0,6	21 0,3	21 0,7	21 0,6	21 0,9	21 3,0	21
22 0,6	22 0,9	22 0,6	22 0,6	22 0,3	22 0,3	22 0,9	22 0,7	22 0,6	22 0,6	22 4,0	22
23 1,0	23 0,7	23 0,6	23 0,6	23 0,1	23 0,4	23 1,0	23 0,7	23 0,7	23 0,6	23 2,0	23
24 0,6	24 0,6	24 0,7	24 0,7	24 0,1	24 0,4	24 1,0	24 0,6	24 0,5	24 1,6	24 5,0	24
25 0,7	25 0,8	25 0,6	25 0,7	25 0,6	25 0,5	25 1,0	25 0,5	25 0,4	25 1,7	25 1,2	25
26 0,8	26 1,0	26 0,6	26 0,8	26 0,5	26 0,7	26 0,9	26 0,6	26 0,6	26 0,9	26 0,9	26
27 0,6	27 1,0	27 0,7	27 0,9	27 0,3	27 0,8	27 1,2	27 0,7	27 0,6	27 0,8	27 0,8	27
28 0,9	28 0,9	28 0,6	28 0,7	28 0,3	28 0,8	28 1,1	28 0,7	28 0,6	28 0,8	28 0,9	28
29 0,9		29 0,5	29 0,6	29 0,3	29 0,6	29 1,0	29 0,7	29 0,6	29 0,8	29 0,7	29
30 1,0		30 0,5	30 0,5	30 0,2	30 0,4	30 0,8	30 0,7	30 0,6	30 0,7	30 1,3	30
31 0,6		31 0,5		31 0,2		31 0,8	31 0,8		31 0,7		31

54

55

Fig: 22



Concentration en Fluor

Poste 3

Dans les tableaux **VII**, **IX**, **X**, **XI** sont récapitulés les écarts :  $E = (X_i - \bar{X})$  pour chaque jour et pour les trois postes,  $\bar{X}$  étant la moyenne mensuelle des concentrations et  $X_i$  la concentration au  $i^{\text{e}}$  jour du mois considéré.

Dans le tableau **XII** sont inscrits les moyennes des concentrations et celles des écarts pour chaque mois et cela pour les trois postes.

Calcul des écarts pour le poste 1

Tab: VIII

Jour	Fev	Mar	Avr	Mai	Jui	Juil	Aou	Sep	Oct	Nov	Dec
1		-0,1	0,0	0,3	-0,1	0,5	0,7	0,1	0,7	0,0	-0,4
2		-0,1	0,1	-0,1	-0,3	0,5	0,7	-0,2	0,7	0,2	-0,2
3		0,7	0,1	-0,2	-0,3	0,5	0,7	-0,9	0,7	0,2	-0,1
4		0,0	0,1	-0,3	-0,1	0,5	0,2	-0,9	0,7	0,4	0,1
5		0,1	-0,3	-0,1	-0,1	-0,6	0,0	-0,4	0,7	0,0	0,4
6		-0,2	0,5	-0,1	-0,3	-0,5	-0,1	-0,3	0,7	-0,1	-0,6
7		-0,1	-0,2	0,2	-0,2	-0,9	-0,1	-0,3	0,7	-0,1	-0,5
8		-0,1	0,3	0,3	-0,2	-0,4	0,1	-0,3	0,7	0,1	-0,5
9		-0,1	0,3	0,3	-0,3	-0,2	0,2	-0,4	0,7	0,1	-0,5
10		0,5	0,3	0,3	-0,1	0,0	-0,1	-0,4	0,3	-0,4	-0,5
11		0,5	-0,1	0,3	-0,5	0,0	-0,2	-0,7	1,0	-0,2	-0,5
12		-0,2	-0,1	0,4	0,1	0,4	-0,3	-0,8	1,0	-0,3	-0,4
13		-0,1	0,0	0,1	0,1	0,4	-0,2	-1,1	0,9	-0,1	-0,3
14		0,2	0,0	0,5	0,2	1,6	-0,2	-1,1	-0,3	0,4	-0,2
15		0,0	-0,2	0,5	0,2	0,4	-0,3	-1,2	-0,6	0,4	0,5
16		0,0	-0,2	-0,3	0,3	0,6	-0,3	0,1	-0,7	0,7	0,2
17		0,0	-0,2	-0,5	0,4	0,6	+0,1	0,1	-0,6	0,7	0,2
18	-0,3	0,0	-0,2	-0,4	0,0	0,6	+0,1	1,1	-0,6	0,7	0,2
19	-0,3	0,0	0,0	-0,6	0,3	0,6	0,1	1,2	-0,6	1,0	0,2
20	-0,2	0,0	0,0	-0,1	-0,1	0,3	0,1	0,1	-0,5	0,9	0,2
21	0,1	0,0	0,0	-0,1	0,0	0,2	0,1	1,1	0,1	-0,1	0,2
22	0,5	-0,1	0,0	-0,6	0,0	-0,2	0,2	1,3	0,2	-0,8	0,2
23	-0,2	-0,2	0,0	0,0	0,0	-0,2	0,3	1,6	0,7	-0,8	0,2
24	0,6	-0,5	0,0	0,2	0,0	0,3	0,1	0,8	-0,8	-0,8	0,2
25	0,0	-0,6	0,0	0,1	0,2	0,1	0,2	-0,7	-1,1	-0,9	0,2
26	-0,2	0,0	-0,1	0,3	0,2	-0,5	-0,5	-0,8	-1,0	-0,1	0,2
27	-0,3	-0,2	-0,2	-0,3	0,2	-0,5	-0,2	0,2	-0,8	-0,1	0,0
28	-0,1	0,3	0,1	-0,3	0,1	-0,7	-0,2	0,3	-1,0	-0,1	0,6
29		0,6	0,1	-0,4	0,3	-0,4	-0,2	0,8	-0,8	-0,1	0,2
30		0,3	0,1	-0,3	0,3	-0,4	-0,1	0,2	-0,6	-0,1	0,3
31		-0,2		-0,4		-0,4	-0,1		-0,6		0,3

Calcul des écarts pour le poste 2.

Tableau: IX

Jour	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Jui
1		0,1	0,3	0,0	-0,2	-0,1
2		-1,0	-0,1	0,1	-0,2	-0,1
3		-1,1	-0,2	0,5	0,0	0,0
4		-0,7	0,2	0,5	0,7	0,0
5		1,6	0,2	0,5	0,1	0,1
6		0,1	0,8	0,1	0,1	0,1
7		0,2	-0,2	0,1	0,1	0,3
8		0,0	-0,5	0,5	0,0	0,0
9		0,4	-0,1	0,5	0,4	-0,3
10		-0,1	0,4	0,1	0,4	-0,1
11		-0,1	0,8	0,0	0,3	-0,1
12		-0,1	-0,9	-0,3	0,9	-0,1
13		-0,5	-0,8	0,0	0,0	0,0
14		-0,7	-0,7	-0,3	0,1	0,2
15		-1,2	0,4	0,1	0,2	0,2
16		0,1	-0,4	0,1	0,2	0,2
17		0,7	-0,2	0,1	-0,9	-0,1
18		-0,2	1,2	0,1	-0,1	-0,2
19		-0,2	0,7	-0,1	0,1	-0,2
20		-0,2	0,3	-0,1	0,0	-0,3
21		-0,2	-0,2	-0,2	0,0	
22	-0,1	-0,5	-0,2	-0,2	-0,1	
23	-0,2	-0,5	0,3	-0,2	-0,1	
24	-0,2	-0,5	0,4	-0,2	-0,1	
25	0,2	1,6	-0,2	-0,2	-0,1	
26	0,0	1,1	-0,2	-0,2	-0,2	
27	-0,2	0,6	-0,2	-0,1	-0,1	
28	0,0	0,6	-0,2	-0,2	-0,3	
29	-0,1		+0,2	0,1	-0,8	
30	0,2		-0,2	0,1	-0,8	
31	-0,1		-0,2		-0,3	

Calcul des écarts pour le poste 2'

Tableau: X

Jour	Juil	Aou	Sep	Oct	Nov
1		0,4	-0,1		-0,3
2		0,4	0,0		-0,3
3		0,4	0,1		0,1
4		0,5	0,3		0,3
5		0,0	0,1		0,0
6		0,0	0,1		0,0
7		0,5	-0,1		-0,3
8		0,7	-0,1		-0,3
9		0,1	-1,1		-0,3
10		-0,2	0,0		-0,1
11		-0,3	0,1		0,1
12		-0,3	0,1		0,1
13		-0,3	0,1		-0,3
14		-0,3	0,1		-0,3
15		-0,3	-0,1		-0,3
16		-0,2	-0,1		0,1
17		0,1	-0,1		0,1
18		0,2	-0,1	0,8	0,1
19		0,0	-0,1	0,6	0,1
20		0,0	-0,1	0,3	0,1
21	-0,2	0,0	0,0	0,1	0,1
22	0,1	0,0	0,1	1,1	1,1
23	0,2	0,0	0,0	1,0	1,1
24	0,0	0,1	-0,1	1,0	0,1
25	-0,0	-0,1	-0,1	-0,6	0,1
26	-0,2	-0,1	0,1	-0,9	-0,1
27	-0,4	-0,1	0,3	-0,9	-0,4
28	-0,2	-0,1	0,3	-0,4	1,0
29	-0,1	-0,1	0,3	-0,4	
30	1,5	-0,2	0,5	-0,8	
31	0,0	-0,2		-0,8	

## Calcul des écarts pour le poste 3

Tab: XI

Jour	Jan	Fer	Mar	Avr	Mai	Jui	Juil	Aou	Sep	Oct	Nov	Dec
1	-0,1	-0,1	0,0	-0,2	0,1	0,3	-0,1	0,0	-0,1	0,2	-0,5	-0,6
2	-0,1	-0,1	-0,1	-0,2	0,1	0,0	0,0	-0,1	-0,1	-0,2	-0,3	-0,3
3	-0,1	-0,1	-0,2	-0,2	0,1	0,0	0,1	-0,1	-0,1	0,0	-0,2	0,3
4	-0,1	0,2	-0,2	0,0	0,1	0,1	0,2	-0,1	0,6	-0,2	-0,1	-0,3
5	0,0	0,2	0,3	-0,1	0,2	0,1	1,1	-0,1	-0,2	0,0	-0,5	-0,2
6	0,0	-0,2	0,3	0,1	-0,1	0,0	+0,1	-0,1	0,1	0,0	-0,9	-0,1
7	0,0	-0,1	0,2	0,1	-0,1	0,2	0,1	-0,1	-0,3	-0,2	-0,9	-0,1
8	0,0	0,1	0,1	0,0	-0,2	0,1	0,1	-0,2	-0,2	-0,2	-0,7	0,0
9	-0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,3	0,1	0,4	0,2	-0,2	-0,8	0,0
10	0,0	-0,2	0,0	0,4	-0,1	0,2	0,3	-0,4	0,2	0,0	-0,6	-0,3
11	-0,1	-0,2	0,0	-0,1	0,1	0,0	-0,1	-0,2	0,2	-0,2	-0,7	-0,4
12	0,1	-0,1	-0,1	0,0	0,2	0,2	-0,2	0,2	0,0	-0,2	-0,7	-0,3
13	-0,2	-0,1	-0,2	-0,1	0,2	-0,2	0,0	0,2	-0,1	-0,1	-0,5	-0,2
14	-0,1	-0,1	-0,3	0,0	0,1	-0,2	0,1	0,3	-0,2	-0,3	-0,6	-0,1
15	-0,1	0,1	0,0	0,0	0,1	-0,2	0,1	0,3	0,6	0,2	-0,3	-0,2
16	0,1	0,2	0,0	0,0	0,1	-0,1	-0,2	0,5	0,5	0,5	0,0	0,4
17	0,2	0,0	0,2	0,0	0,5	0,1	-0,3	0,1	0,5	-0,2	0,5	0,4
18	0,2	0,1	0,1	0,0	-0,1	-0,2	-0,4	0,0	0,3	-0,2	0,7	0,4
19	0,4	0,2	0,0	0,4	-0,2	-0,1	-0,5	0,0	0,3	0,0	0,9	0,4
20	0,0	-0,1	0,0	-0,3	0,0	0,0	-0,5	0,1	0,2	0,1	0,5	0,3
21	0,2	0,0	0,0	-0,1	0,0	0,1	-0,6	0,1	-0,1	0,1	1,5	0,3
22	-0,1	0,1	0,0	0,0	0,0	-0,2	0,0	0,1	-0,1	-0,2	2,5	0,5
23	0,3	-0,1	0,0	0,0	-0,2	-0,1	0,1	0,1	-0,1	-0,2	0,5	0,6
24	-0,1	-0,2	0,1	0,0	-0,2	-0,1	0,1	0,0	0,0	0,8	3,5	0,2
25	-0,1	0,0	0,0	0,1	0,3	0,0	0,1	-0,1	-0,2	0,7	-0,3	0,1
26	0,1	0,2	0,0	0,1	0,2	0,2	0,0	0,0	-0,3	0,1	-0,6	0,1
27	-0,1	0,2	0,1	0,2	0,0	0,3	0,3	0,1	-0,1	0,0	-0,7	-0,1
28	0,2	0,1	0,0	0,3	0,0	0,3	0,2	0,1	-0,7	0,0	-0,6	-0,1
29	0,2		-0,1	0,1	0,0	0,1	0,1	0,1	-0,1	0,0	-0,8	-0,1
30	0,3		-0,1	0,0	-0,1	-0,1	-0,1	0,1	-0,1	-0,1	0,3	-0,1
31	-0,1		-0,1		-0,1		-0,1	0,2		-0,1		0,1

Calcul de moyennes de concentrations, des moyennes  
des échantillons pour les postes 1, 2, 2', 3

Tab: XII

MOIS	POSTE 1		POSTE 2		POSTE 2'		POSTE 3	
	$\bar{x}$	$\bar{e}$	$\bar{x}$	$\bar{e}$	$\bar{x}$	$\bar{e}$	$\bar{x}$	$\bar{e}$
Jan	1,1	0,2	1,0	0,4			0,7	0,1
Fev	1,0	0,2	1,4	0,5			0,8	0,1
Mar	0,9	0,1	1,2	0,4			0,6	0,1
Avr	0,7	0,3	1,4	0,2			0,6	0,1
Mai	0,8	0,2	1,3	0,2			0,3	0,1
Jui	1,4	0,4	1,3	0,1			0,5	0,1
Juil	0,8	0,2			1,0	0,3	0,9	0,2
Aou	2,9	0,6			0,5	0,2	0,6	0,1
Sep	1,8	0,7			2,1	0,2	0,7	0,2
Oct	1,1	0,4			1,4	0,7	0,8	0,2
Nov	1,3	0,3			0,9	0,3	1,5	0,7
Dec							1,1	0,2

Tableau:

Nous constatons d'après le tableau XII que les concentrations moyennes mensuelles sont les plus élevées pour les postes 1 et 2 et les plus faibles pour le poste 3.

L'étude des tableaux VII, VIII, IX, X, XI nous permet de repérer les pics de pollution. En effet, si l'écart est grand et positif cela signifie qu'il y a un pic de pollution, au contraire, si l'écart est négatif et grand, la concentration en fluor est en deçà de la moyenne des concentrations  $\bar{X}$ .

D'après le tableau XII, les moyennes des écarts mensuelles sont les moins significatives pour le poste 3, donc pour ce poste là, les concentrations journalières sont proches les unes des autres.

Cela peut être dû au fait, que le poste 3 est le poste le moins soumis aux variations de directions et d'intensités du vent.

La détermination du fluor a également été réalisée à Alger la même année. La concentration moyenne était de l'ordre de 0,03  $\mu$ g/m<sup>3</sup>. Alger peut donc être considérée comme zone témoin. Par conséquent nous pouvons affirmer qu'il y a apport de fluor atmosphérique dans la zone d'Annaba. Cet apport ne peut provenir que du complexe ASMIDAL.

(12)

Corrélation entre les mesures expérimentales de fluor et les conditions météorologiques de la Wilaya de Annaba.

Les données météorologiques ont été prises à la station météorologique de Annaba - les - salines.

Dans les tableaux XIII, XIV, XV, XVI, XVII ont été reportés les vitesses et directions du vent, les précipitations, la température de l'air sous abris et les jours de brouillard et de brume pour l'année 1981.

Il nous a été impossible d'avoir la fréquence des inversions de températures et les gradients de températures du fait de l'inexistence de radio - sondage à Annaba - les - salines.

Toutefois, les météorologues interrogés estiment que les inversions de températures y sont fréquentes et que la base des couches d'inversion se situe à faible altitude ( 100 — 200 m).

De plus, la brume et le brouillard provoque une inversion de température sauf s'il y a pluie, car cette dernière brise la couche d'inversion.

Vitesses moyennes du vent, en m/s  
pour l'année 1981.

Tableau: XIII

Jour	Janv	Fevr	Mar	Avri	Mai	Juin	Juil	Août	Sept	Oct	Nov	Dec
1	4,6	3,9	1,6	6,1	4,3	2,1	4,9	2,5	3,8	3,5	3,8	7,3
2	5,5	3,0	2,8	4,3	3,8	3,6	3,5	3,0	4,1	1,6	4,1	5,0
3	3,1	3,8	2,8	3,9	5,4	3,4	2,8	3,3	3,4	2,8	3,1	1,3
4	5,3	3,8	3,8	3,4	4,3	2,5	3,9	3,4	2,6	2,0	2,8	6,0
5	5,8	7,5	2,6	3,6	5,8	5,0	3,9	2,5	3,3	2,3	2,9	5,1
6	5,6	7,6	2,6	2,0	4,5	3,1	3,4	2,3	3,8	2,1	2,6	6,5
7	9,4	4,1	2,3	3,5	3,6	2,9	5,1	2,0	4,3	2,9	1,4	1,8
8	10,5	2,8	2,6	3,5	3,1	2,8	4,4	2,5	3,5	2,0	3,3	3,4
9	7,5	3,0	2,5	3,4	4,3	3,3	2,9	2,8	3,3	2,3	3,1	2,9
10	4,4	2,4	1,3	3,0	3,1	3,0	3,9	3,8	2,5	1,9	0,8	4,6
11	2,4	1,9	1,3	3,8	2,4	3,8	4,6	3,6	3,8	3,8	2,3	3,5
12	3,3	2,3	2,9	3,8	3,8	3,0	5,1	2,8	2,8	2,9	2,3	4,8
13	4,8	5,0	2,6	4,9	4,4	4,0	5,5	2,6	3,3	4,1	2,1	5,0
14	6,8	2,4	1,8	2,5	3,9	5,3	5,6	3,8	2,8	4,4	2,6	6,1
15	8,6	1,5	2,5	3,1	4,1	3,5	5,5	3,8	2,8	2,4	4,6	6,4
16	8,4	1,8	3,3	2,5	4,0	3,0	5,1	3,1	2,3	2,3	4,9	5,3
17	5,0	3,0	4,3	4,6	3,3	2,8	4,8	2,9	2,4	2,6	3,6	7,5
18	6,0	4,1	5,3	3,9	2,8	2,9	3,1	3,3	2,4	2,0	2,9	4,0
19	4,8	2,9	5,8	3,8	3,0	4,5	4,9	3,0	1,6	3,8	1,6	4,1
20	7,5	3,9	1,6	3,1	3,4	3,0	6,1	3,0	3,0	2,0	1,5	7,1
21	17,3	5,4	1,6	3,6	2,4	3,1	4,6	3,1	2,3	2,0	1,4	4,5
22	10,9	3,9	4,5	3,8	2,4	2,8	5,6	3,4	2,4	2,6	3,3	3,3
23	7,1	3,4	4,9	4,9	4,0	3,8	3,3	2,4	1,8	4,3	2,0	5,1
24	3,9	3,1	1,9	4,3	3,3	3,8	2,6	5,4	4,3	2,9	1,2	5,0
25	3,6	4,6	2,9	3,9	2,8	4,0	2,1	3,9	3,6	1,6	2,1	3,5
26	3,9	3,3	2,8	3,9	3,4	5,3	5,0	3,9	2,0	4,5	3,8	5,0
27	3,8	0,6	2,9	5,8	4,1	3,1	3,1	3,4	1,6	3,3	5,0	4,4
28	3,5	2,6	2,1	3,8	3,6	3,5	4,6	3,9	2,4	4,5	4,3	3,5
29	4,1		2,6	4,0	3,8	4,4	4,0	3,1	5,4	4,0	5,4	3,9
30	4,8		5,1	4,4	3,1	3,4	2,9	3,0	4,0	4,0	4,9	3,4

65

Température de l'air sous abris en  
degré celsius et dixième, pour l'année 1981

Tableau: XIV

Jour	Jan	Fev	Mär	Avr	Mai	Juin	Juil	Août	Sep	Oct	Nov	Dec
1	12	10	14	13	17	20	23	27	25	20	17	14
2	12	09	15	14	16	20	26	24	24	23	18	12
3	12	08	15	16	16	20	24	25	24	21	17	10
4	12	10	14	14	17	20	22	25	23	21	17	08
5	12	10	12	14	17	19	22	25	22	27	17	13
6	11	12	13	15	15	19	22	27	22	26	17	13
7	10	12	12	18	18	19	22	24	22	21	17	12
8	06	12	13	21	18	21	25	26	22	21	17	12
9	06	13	13	16	19	23	27	25	23	23	14	13
10	07	12	12	17	16	22	24	25	27	22	14	14
11	09	12	15	18	16	22	23	24	24	22	14	16
12	11	12	19	16	18	24	23	24	23	21	14	17
13	08	15	16	17	16	25	23	24	23	22	15	17
14	07	12	14	17	16	22	23	23	24	21	16	18
15	10	10	15	16	17	23	24	23	23	21	17	17
16	13	12	14	16	16	24	22	23	22	21	14	18
17	12	11	12	16	17	24	22	23	22	25	13	16
18	12	10	11	14	17	23	25	24	24	23	12	15
19	11	11	12	14	19	21	23	24	25	21	12	09
20	12	10	11	16	20	21	22	25	25	21	12	11
21	11	08	14	17	20	20	22	24	29	21	13	09
22	11	09	16	18	20	22	22	25	27	21	12	12
23	10	10	15	16	19	21	25	24	27	19	13	15
24	09	10	15	15	18	21	25	23	23	17	13	15
25	11	10	16	15	23	20	23	24	23	15	16	13
26	09	08	18	16	21	21	21	22	25	15	15	11
27	09	09	15	13	17	24	22	21	23	14	14	11
28	09	15	15	14	17	23	23	22	22	17	14	14
29	09		17	16	19	22	22	22	21	17	13	17
30	05		15	17	23	23	23	25	20	18	12	17

Directions des vents en degrés, jour  
l'année 1981

Tableau: XV

Jour	Janv	Fevr	Mars	Avri	Mai	Juin	Juil	Aout	Sept	Oct	Nov	Dec
1	320	200	300	260	360	360	340	360	360	020	340	240
2	280	340	360	360	240	360	340	360	360	280	020	340
3	340	220	260	340	360	020	360	020	360	020	020	240
4	240	240	360	360	260	360	360	360	360	020	020	260
5	340	280	040	020	320	360	360	360	360	220	360	280
6	280	320	360	020	360	040	360	020	340	340	340	240
7	300	220	360	020	360	360	360	360	360	360	020	240
8	340	360	020	260	340	360	340	020	020	020	260	220
9	340	260	360	340	340	020	360	020	360	240	020	240
10	260	240	360	040	040	360	040	360	340	360	200	240
11	240	020	260	340	260	020	340	020	360	360	340	260
12	260	360	140	360	260	360	340	020	020	020	260	280
13	280	220	020	020	360	320	340	360	360	020	260	280
14	300	340	180	340	340	360	340	360	360	020	280	280
15	260	360	360	020	020	020	360	360	360	020	320	260
16	340	040	360	240	360	020	340	360	360	020	220	240
17	260	060	360	260	360	340	360	360	360	040	360	020
18	340	260	280	280	360	340	020	360	360	360	360	160
19	220	240	300	020	360	020	020	020	360	040	020	260
20	300	240	360	020	360	340	340	360	040	360	020	300
21	320	260	360	360	360	360	320	020	040	020	040	220
22	340	320	260	320	340	340	360	360	200	360	040	220
23	320	260	340	360	360	360	020	340	360	280	020	280
24	240	240	360	360	360	360	360	240	020	260	240	260
25	300	340	020	360	360	360	360	020	240	260	220	260
26	360	080	020	360	340	340	020	360	260	240	260	240
27	260	020	360	020	360	040	340	340	340	260	360	240
28	320	240	020	340	360	340	340	020	300	220	260	220
29	360		360	360	360	360	360	020	340	240	260	040
30	260		340	340	280	360	360	360	360	280	360	220





1 - LE VENT :

La figure 23 Shématise la fréquence des vents dont la vitesse est supérieure ou égale à 5m/4 en fonction de leur direction.

On constate que , durant la période Novembre , Mars, les vents dominants sont orientés W à E.

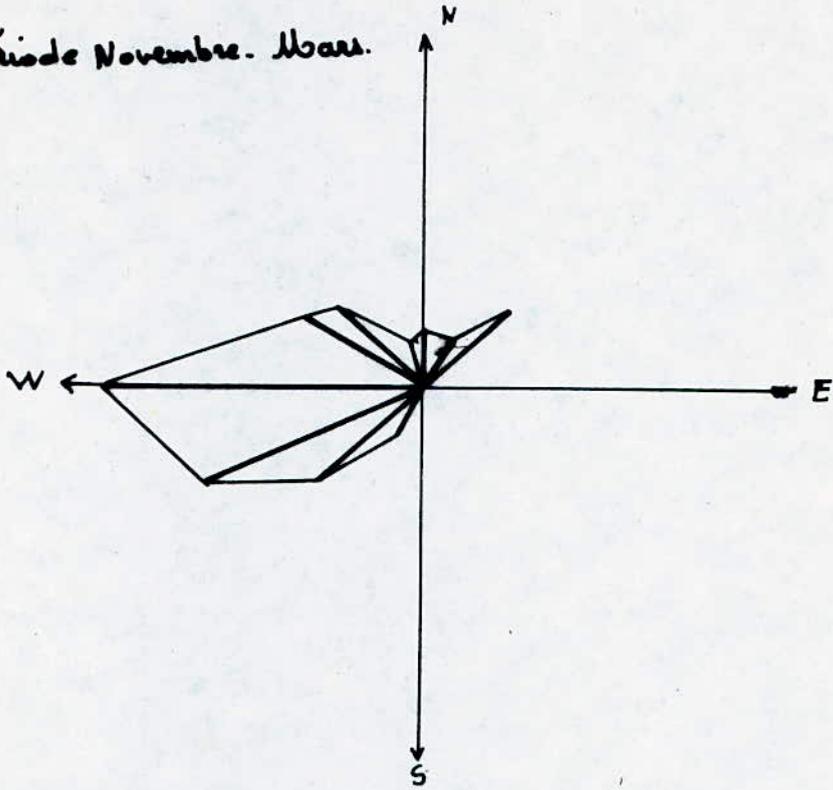
Par contre, au cours de la période Avril Octobre, les vents dominants sont orientés N à E à SS W . Dans ce cas le panache du complexe ASMIDAL aura approximativement la direction de la cité SONATIBA où a été placé le poste 2 !.

Donc le panache aura rarement la direction de la cité Seybousse où a été placé le poste 3 , Ceci permet d'expliquer, les faibles concentrations Fluor sur ce poste.

70

# Ros des vents

Période Novembre. Mars.



Période Avril. Octobre.

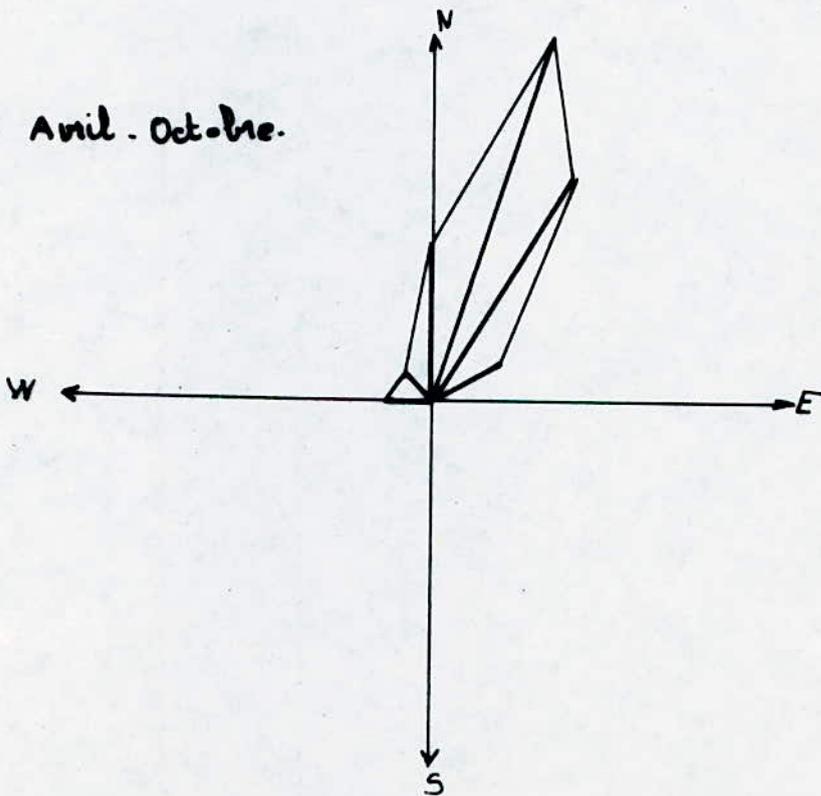


Figure : 23

## 2 - Hygrométrie :

A Annaba, le degré hygrométrique est élevé, la moyenne annuelle est de 69 %, ce qui favorise l'absorption des polluants par les végétaux.

## 3 - Pluviométrie :

Les mois de Janvier, Février et Décembre sont des mois très pluvieux. Donc durant cette période, il y a lessivage de l'air. Ceci permet d'expliquer le peu de pic de pollution enregistré au cours de ces mois.

## 4 - La Température :

Les mois les plus froids sont ceux de Janvier, février et décembre. Or plus la température de l'air est basse et plus la concentration en polluant le sera aussi. Ceci confirme le peu de pic de pollution enregistré durant ces 3 mois.

## 5 - Brise de terre et brise de mer :

La Wilaya d'Annaba est une zone côtière, on y observe donc le phénomène de brise de mer, brise de terre.

## 6 - Topographie :

Annaba est une ville à collines et à hautes montagnes qui font obstacle aux panaches.

Les conditions météorologiques et topographiques citées précédemment vont à l'encontre d'une bonne diffusion des gaz et tout particulièrement les jours de stabilité atmosphérique.

Nous illustrons ceci par l'exemple ci-après :

Sur le poste 2, entre le 10 et le 14 MARS on constate des pointes de pollution qui peuvent s'expliquer par le fait que le 10, 11 et 14, il y a eu de la brume et du brouillard sans pluie, ce qui a engendré une inversion de température. Le 16 du mois, la concentration a

diminué par le fait du lessivage de l'air par les pluies des deux journées précédentes .

Mais parfois d'autres facteurs interviennent comme l'illustre exemple ci-après : le 5 Juillet 1981, sur un poste 3 nous passons d'une concentration de 1,1 à ~~2~~ 2<sup>1</sup>g/m<sup>3</sup> alors que les conditions météorologiques ne laissaient pas prévoir ce brusque changement .

Nous supposons donc que ce jour là, il y a eu soit une augmentation de la production donc des gaz émis, soit que les appareils d'épuration n'ont pas fonctionné correctement .

Comparaison entre les résultats expérimentaux et les prévisions théoriques:

Nous avons pensé qu'il serait intéressant de comparer les modèles décrits dans le chapitre IV avec les résultats expérimentaux.

Nous rappelons que les modèles permettant de déterminer les concentrations au sol; les concentrations maximales ainsi que les distances leur correspondant sont au nombre de deux

- modèle de Bosanquet - Pearson:

$$\psi_0 = \frac{Q}{\sqrt{2\pi} P q u x^2} \exp\left(-\frac{H}{Px} - \frac{y^2}{2q^2 x^2}\right)$$

$$\psi_{0m} = \frac{4Q}{\sqrt{2\pi} e^2 u H^2} \frac{P}{q}, \quad x_{0m} = \frac{H}{2P}$$

- modèle de Sutton:

$$\psi_0 = \frac{2Q}{\pi C_y C_z u x^{2-n}} \exp\left[-\frac{1}{x^{2-n}} \left(\frac{y^2}{C_y^2} + \frac{H^2}{C_z^2}\right)\right]$$

$$\psi_{0m} = \frac{2Q}{e\pi u H^2} \frac{C_z}{C_y}, \quad x_{0m} = \left(\frac{H}{C_z}\right)^{2/2-n}$$

Ces deux modèles font appel à la hauteur effective  $H = h + \Delta h$

Or  $\Delta h$  peut être déterminé au moyen de quatre modèles :

- Bosanquet:

$$\Delta H = \frac{4,77}{1 + 0,43 \frac{u}{V_s}} \frac{\sqrt{Q V_s}}{u} + 6,33 g \frac{Q \Delta}{u^3 T_1} \left(\ln J^2 + \frac{2}{J} - 1\right)$$

avec

$$J = \frac{u^2}{\sqrt{Q V_s}} \left(0,43 \sqrt{\frac{T_1}{g G}} - \frac{0,28 V_s T_1}{g \Delta}\right) + 1$$

- Holland

$$\Delta h = \frac{1,5 v_e d + 4,1 \cdot 10^{-2} qh}{U}$$

- Lucas

$$\Delta h = \frac{24 qh}{U^{1/4}}$$

- Concawe

$$\Delta h = 0,047 \frac{qh}{U^{0,7}} \quad 0,58$$

Tout aussi bien pour  $\psi_0$ ,  $\psi_{0m}$  et  $X_{0m}$ , il existe 2 X 4 possibilités de calcul.

Sans le recours de l'ordinateur, les calculs auraient été fastidieux.

Les résultats ont été édités sur imprimante .

Comme nous l'avons déjà vu, les unités 2, 3 et 4 émettent des gaz fluorés.

Ces unités sont très proches les unes des autres, c'est pourquoi nous avons, assimilé ces 3 sources à une source " résultante"

fictive située au centre de gravité de celle-ci

Les caractéristiques de cette source ( hauteur de la cheminée h, vitesse de sortie des gaz, débit Q et température de sortie des gaz) ont été calculées comme la moyenne des caractéristiques de chaque unité.

Les résultats sont récapitulés dans le tableau suivant :

Unités	nombre de cheminées $n_i$	hauteur de cheminée $h_i$ en m	Débit des gaz $Q_i$ en $m^3/s$	Diamètre des cheminées $D_i$ en m	Vitesse de sortie des gaz, $V_{si}$ en $m/s$	température de sortie des gaz, $T_{si}$ en $^{\circ}C$
2) $H_2PO_4$	6	32	27	2	1,44	50
3) d'engrais	8	35	14	5	0,09	50
4) T. P. D	2	30	2	2	0,35	50
source résultante fictive	1	32	43	3	0,62	50

$$V_{si} = \frac{Q_i}{S_i \cdot n_i}$$

$$V_s \text{ source résultante fictive} = \frac{\sum V_{si}}{3}$$

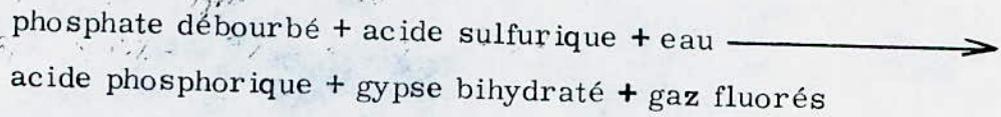
$$D \text{ source résultante fictive} = \left( \frac{4 Q_{\text{source}}}{\pi V_{s, \text{source}}} \right)^{1/2}$$

$$h \text{ source résultante fictive} = \frac{\sum h_i}{3}$$

$$Q \text{ source résultante fictive} = \sum Q_i$$

La teneur en fluor des gaz a été calculée comme suit :

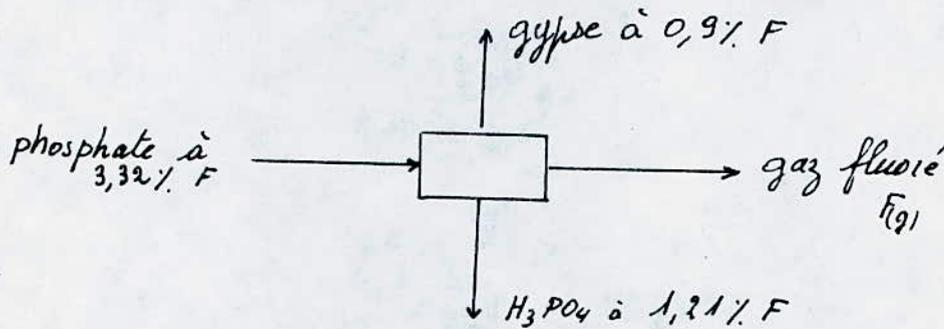
Pour l'unité d'acide phosphorique, la réaction principale est :



Le phosphate utilisé contient environ 3,32 % de fluor, le gypse obtenu en contient 0,9 % et l'acide phosphorique 1,21 %.

La quantité de fluor entrante doit se retrouver dans les produits obtenus suivant :

$$F_p = F_{\text{gypse}} + F_{\text{acide}} + F_{(g)}$$

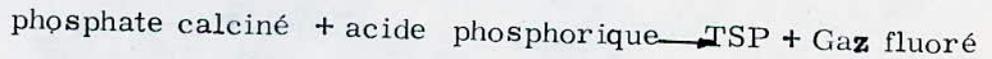


d'où  $F_{(g)} = F_p - F_{\text{gypse}} - F_{\text{acide}}$

$$F_{(g)} = 3,32\% - 0,9\% - 1,21\% = 1,21\%$$

Donc la teneur des gaz en fluor est de 1,21 %

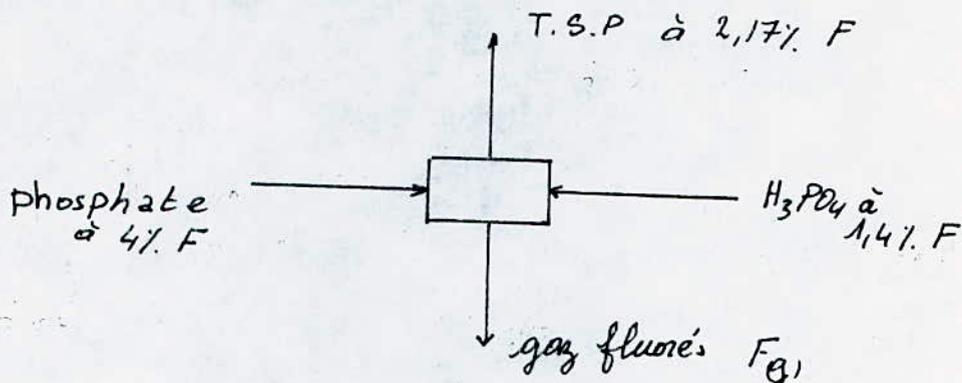
Pour l'unité d'engrais, c'est la fabrication du TSP qui produit la majeure partie des gaz fluorés, nous avons :



La phosphate utilisé contient environ 4% de fluor, l'acide phosphorique 1,4 % et le T.S.P obtenu 2,17 %.

77

$$F_p + F_{acide} = F_{TSP} + F_{(g)}$$

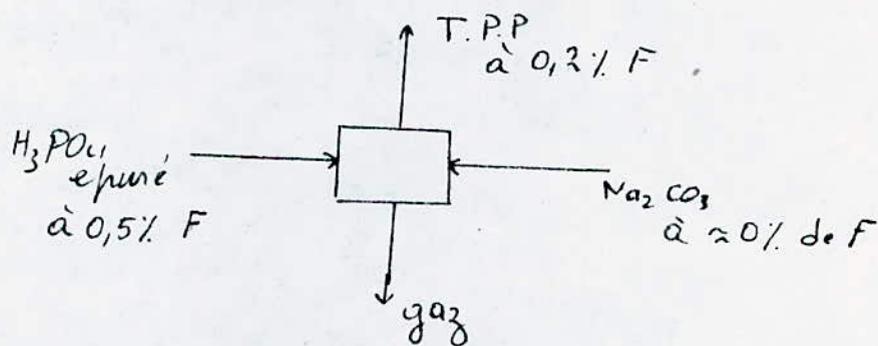


d'où  $F_{(g)} = F_p + F_{acide} - F_{T.S.P}$

$$F_{(g)} = 4\% + 1,4\% - 2,17\% = 3,23\%$$

Donc la teneur des gaz en fluor pour l'unité 3 est de 3,23%.

Pour l'unité de T.P.P, nous la réaction:



d'où

$$F_{acide} = F_{T.P.P} + F_{(g)}$$

donc  $F_{(g)} = F_{acide} - F_{T.P.P} = 0,5\% - 0,2\% = 0,3\%$

Donc la teneur des gaz en fluor pour l'unité 4 est de 0,3%.

Donc la teneur T en fluor des gaz de la source fictive est:  $T = 1,21\% + 3,23\% + 0,3\% = 4,74\%$

$$T = 4,74\%$$

Par manque de données sur la stabilité atmosphérique, nous avons pris pour les paramètres de Bosanquet et de Sutton des valeurs moyennes.

$P= 0,05, q= 0,08, n=0,25, c_y = 0,12, c_z= 0,21$  le gradient vertical de la température  $G$  a été pris égal à  $0,02$ .

La densité des gaz émis par le complexe a été assimilée à celle de l'air ambiant.

Le modèle de Sutton ne permet le calcul des concentrations que pour des  $x$  positifs.

Ainsi , nous n'avons obtenus les concentrations journalières que lorsque les postes de mesures se trouvaient en avant du panache.

Les résultats obtenus ont été regroupé dans l'annexe.

Nous constatons d'après les résultats obtenus que:

Les concentrations théoriques au niveau des trois postes sont nulles

Les concentrations maximales théoriques selon le modèle de Bosanquet-Pears sont de l'ordre du  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  d'air

Les concentrations maximales théoriques selon le modèle de Sutton sont de l'ordre du  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ .

Les distances correspondantes aux concentrations maximales varient entre 600 et 7000 m.

Pour la surélévation du panache, le modèle de Lucas donne les valeurs les plus optimistes, tout comme celui de Sutton.

Rappelons que les concentrations expérimentales au niveau des 3 Postes varient entre 0,1 et  $5\ \mu\text{g}/\text{m}^3$ .

Nous en concluons que les modèles de Sutton et Lucas s'adoptent le mieux à la région considérée, mais avec quelques réserves.

(4), (5), (13)

Dosage du fluor dans des plantes prélevées aux alentours du complexe et interprétation :

Une série de 13 échantillons a été prélevée le 10 Mars 1985 et le dosage s'est effectué par ionométrie (voir annexe). Le tableau suivant récapitule les noms, les lieux de prélèvement et les concentrations des plantes en fluor :

Echantillons	Noms	Lieu de prélèvement	Concentration en mgF/kg de poids sec.
(1)	Acacia Melanoxylon	cloture du complexe	6, 10
(2)	Peuplier	50m du Complexe	4, 50
(3)	Picris échinode	4 km du Complexe	0, 30
(4)	Malva sylvestris	2 km du complexe	0, 54
(5)	Acacia Cyano	Cloture du Complexe	2, 50
(6)	FRENE	50m du Complexe	0, 80
(7)	Rubus	50m du complexe	11, 00
(8)	Médicago	2km du Complexe	0, 70
(9)	Picris Echinoide	2km du Complexe	0, 45
(10)	Burago officinale	4 Km du complexe	0, 20
(11)	Malva Sylvestris	4km du Complexe	0, 45
(12)	Frêne	2km du complexe	0, 20
(13)	Médicago	20m du complexe	3, 00

Dans le tableau ci-après sont regroupés les échantillons qui ont été prélevé en deux endroits différents

ECH.	Noms	Lieux de prélèvement	Concentration en mg. F/ poids sec
(3)	Picris échinoïde	4km du complexe	0,30
(9)	Picris échinoïde	2km du complexe	0,45
(8)	Médicago	2km du complexe	0,70
(13)	Medicago	20m du complexe	3,00
(6)	Frêne	50m du complexe	0,80
(12)	Frêne	2Km du complexe	0,20

Nous constatons que la concentration en fluor des plantes est lié au lieu de prélèvement. Plus celui-ci est près de la source, et plus la concentration sera importante.

Le tableau ci-dessous regroupe deux plantes de même genre, mais pas de même espèce.

ECH.	Noms	Lieu de prelevement	concentration en mg F/ Kg poids sec
(1)	Acacia mélanoxylon	Cloture du complexe	6,10
(5)	Acacia Cyano	Cloture du complexe	2,50

Bien que prélevé au même endroit et appartenant au même genre, les deux plantes n'ont pas la même concentration en fluor.

Donc les plantes concentrent différemment le fluor

Dans le tableau ci-après sont représentés deux échantillons l'un, le frêne à ~~des~~ feuilles jeunes, contrairement à celles du peuplier.

ECH.	Noms	Lieu de prélèvement	concentration en mg F/ kg poids sec
(2)	Peuplier	50m du complexe	4,50
(6)	Frêne	50m du Complexe	0,80

La concentration en fluor des feuilles du peuplier est supérieure à celle des feuilles du frêne.

En effet, elles ont eu le temps d'accumuler le fluor.

Donc la concentration en Fluor est également liée à l'âge de la plante: phénomène d'accumulation.

EFFET DU FLUOR ATMOSPHERIQUE SUR DES ENFANTS DE ANNABA/

En 1981, une enquête sur l'influence du Fluor inhalé et /ou ingéré sur la croissance d'enfant de 6 à 13 ans a été réalisée à ANNABA et Alger. Comparativement à la zone témoin d'Alger, les enfants de ANNABA de la tranche d'âge 8-9 ans étaient d'une taille plus petite, alors que les plus jeunes ne présentaient pas de différence significative.

Cette constatation est aussi valable pour le retard d'ossification ( croissance osseuse) qui dépasse 12 mois à ANNABA . Ce retard semble s'accroître encore pour les enfants plus âgés.

Au niveau du périmètre crânien, la différence dans le couple Alger- Annaba est significative dès l'âge de 6-7ans et qui se confirme dans le groupe des 8 -9 ans . Le périmètre crânien des enfants d'ANNABA est supérieur à ceux des Algérois.

Aucun cas de fluorose n'a été décelé dans les deux villes.

Nous en concluons que des doses aussi minime que  $14\mu\text{g}/\text{m}^3$  de Fluor inhalé et/ ou ingéré pendant plusieurs années, fait apparaître chez des enfants des différences significatives par rapport à des enfants non exposés.

CONCLUSION /

Ce travail n'est qu'une première contribution à l'étude de la dispersion des polluants Fluorés émis par le complexe ASMIDAL de ANNABA . Mais dès à présent nous savons que le complexe ASMIDAL émet des gaz Fluorés qui se retrouvent au niveau des zones résidentielles. Les concentrations mesurées sont d'autant plus élevées que les conditions météorologiques et topographiques vont à l'encontre d'une bonne diffusion.

Ces résultats expliquent les doses importantes de Fluor trouvées dans les végétaux ainsi que les malformations chez les enfants de la région.

Quant au côté modélisation de la dispersion, faute de temps il ne nous a pas été possible d'en élaborer un répondant exactement aux conditions de la zone étudiée . Cependant , nous pouvons avec une certaine réserve, considérer que le modèle de SUTTON est celui qui s'adopte le mieux pour la région considérée.

SUGGESTIONS/

Suite aux conclusions émises , il serait souhaitable qu'une étude pluridisciplinaire soit entreprise pour compléter ce travail.

Une première équipe serait chargée, par exemple, de rassembler les données manquantes telles que: les inversions thermiques, les gradients thermiques, la stabilité de l'atmosphère, la vitesse et la sortie des gaz de sortie, la densité des gaz, etc.... Des mesures doivent donc être effectuées avec précision.

Une deuxième équipe s'occuperait de mettre en place un réseau de surveillance, pour cela il faudrait déterminer avec exactitude, les lieux et appareils de prélèvements les plus adéquats, ainsi que le principe du dosage du <sup>7</sup> Fluor. La dose se ferait quotidiennement.

Une troisième équipe s'occuperait de l'étude approfondie d'une modélisation répondant le mieux aux conditions réelles de dispersions des polluants dans l'atmosphère de la zone étudiée

Enfin , une équipe , dont le travail consisterait plutôt en de l'engineering, s'occuperait des problèmes de prévention et de lutte contre la pollution, en l'occurrence l'étude d'un projet de lavage des gaz avant leur rejet dans l'atmosphère, mais aussi à leur bonne dilution , c'est à dire à un calcul sérieux de la hauteur de cheminée.

BIBLIOGRAPHIE.

(1) Direction de la santé de la Wilaya de ANNABA.

Determination des concentrations des poussières sédimentables dans l'air ambiant de la Wilaya de ANNABA(1984)

(2) Les guides bleus, l'ALGERIE (1981).

(3) R. Bouscaren pollution atmosphérique .OMS(1982)

(4) J.P. Détrie. La pollution atmosphérique, les industries, leurs productions , leurs nuisances. DUNOD(1969)

(5) M.BARNEA,P.URSU. Pollution et protection de l'atmosphère. Cyrolles.(1974)

(6) Cours post gradué de l'IGE de Lausanne; Dr Ernest Bovay . La pollution industrielle et l'agriculture.

(7) J . DERIVAUX, F Liegeois. Toxicologie vétérinaire.

(8) E. KOLB.PHYSIOLOGIE des animaux domestiques.

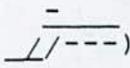
(9) F.Ramade. Elément d'écologie, écologie appliquée .

(10) Nouveau Larousse Médical,( 1981).

(11) Ministère de l'hydraulique, de l'environnement et des forêts. Rapport des travaux effectués par le sous groupe chargé des études d'impact. ( FEVRIER 1985).

(12) Saouthi, thèse de docteur es sciences pharmaceutique. Etude de l'influence du Fluor inhalé ou ingéré sur la croissance d'enfants Algériens de 6 à 13 ans .(1982) .

(13)Pechiney ( constructeur du complexe ASMIDAL) . Livres techniques du complexes ASMIDAL. ( 1972.).

 N N E X E

DETERMINATION DU FLUOR ATMOSPHERIQUE- Description du poste de prélèvement :

L'atmosphère est aspiré à travers un filtre imprégné de soude (Millipore AP 100 4700) placé dans un support en matière plastique hermétiquement fermé (Millipore SWINEX 47) grâce à une pompe aspirante reliée à un compteur permettant de lire le volume d'air passant le filtre ce qui nous permettra d'exprimer le fluor atmosphérique par mètre cube d'air.

Nous avons utilisé une pompe aspirante à membrane du type KNF.

- le compteur est un compteur à gaz sec
- la tuyauterie est en téflon
- le dosage du fluor atmosphérique est réalisé au moyen de l'électrode spécifique. Nous décrirons la méthode plus loin mais voyons tout de suite la préparation des filtres pour le fluor atmosphérique.

- Spécificité du dosage.

Elle est basée sur l'utilisation de l'électrode combinée (électrode spécifique et électrode de référence en une seule) qui est branchée <sup>sur</sup> un appareil digital de mesure d'activité ionique basé sur le principe de potentiométrie sélective d'ions. Ceci offre une haute qualité, une haute sensibilité et une grande précision.

Nous avons apprécié la rapidité d'obtention des résultats directement exprimés en concentration.

### - Principe.

Pour mesurer l'activité spécifique d'un ion en solution on peut connecter un voltmètre à haute impédance à deux électrodes immergées dans la solution.

L'électrode spécifique contient une membrane sensible à l'ion mesuré.

L'électrode de référence sert uniquement à compléter le circuit électrique.

Electrode de référence + électrode spécifique sont combinées en une seule qui plongée dans la solution provoque un mouvement des ions à l'interface entre la membrane de l'électrode spécifique et la solution. Ce mouvement est de courte durée, car la charge électrique cumulative des ions déplacés forme un potentiel électrique qui empêche toute migration à

travers l'interface. Ce potentiel d'équilibre est fonction du niveau de l'activité ionique particulière à la solution mesurée.

Chaque électrode du système de mesure mentionné présente un certain nombre de composants et un potentiel électrique est présent à l'interface.

C'est pourquoi les deux électrodes (electrode de référence et l'électrode spécifique) peuvent être appelées une "CHAINE D'ELECTRODES".

La réponse de l'électrode suit la loi de NERNST.

$$E(T) = -E + \frac{nRT}{F} \log(F^-)$$

- $n RT/F$  est un facteur de la chaîne d'électrode c'est-à-dire le rapport entre le changement du potentiel de la membrane et le changement d'activité de l'ion correspondant. Il s'agit de la "pente de réponse".
- $E$  est caractéristique de l'électrode.
- la mesure du potentiel  $E$  étant très liée à la température on a donc intérêt à opérer lors de la détermination des essais et de la gamme d'étalonnage, à des températures de même ordre de grandeur.

(12)

DOSAGE DU FLUOR DANS LES VEGETAUX

Principe : le dosage se fait ionométrie avec électrode spécifique à l'ion fluorure .

Les réactifs utilisés sont :

- l'acide perchloridrique (0,1N) : prendre 8,6ml d'acide perchlorique à 70% et compléter avec 1l avec l'eau distillée .
- Solutions standards de fluor :
  - 1/ - 1.000 Ng/ml : peser 2,21g de Naf et compléter à 1l avec de l'eau distillée
  - 2/ - 100 Ng/ml : peser 0,221 g de Naf et compléter à 1l avec de l'eau distillée.
  - 3/ - 1 Ng/ml : prendre 10ml de la solution standard 2, ajouter 8,6ml d'acide perchlorique à 70% et compléter à un litre avec l'eau distillée .
  - 4/ - 5Ng/ml : prendre 5ml de 2 et ajouter 8,6ml d'acide perchlorique à 70% et compléter à un litre avec de l'eau distillée .

Le mode opératoire est le suivant :

- peser 0,5g d'un échantillon végétal bien broyé dans un tube - ajouter 25ml d'acide perchlorique à 0,1N .
- fermer les tubes et mélanger .
- préparer 2 ou 3 séries de tubes contenant les échantillons .
- procéder à 3 contrôles, un blanc et en dernier deux répétitions .
- placer les séries de tubes dans un bain-marie à 80° C pendant 4 heures
- ajouter 25ml d'acide perchlorique en même temps qu'un barreau magnétique au contenu de chaque tube .
- placer les tubes sur un agitateur magnétique et tremper l'électrode dans la solution .
- On procédera au même travail pour les solutions 3 et 4. On obtiendra ainsi les forces électromotrices correspondantes aux solutions 3 et 4. On pourra ainsi déterminer la pente de réponse et la caractéristique de l'électrode .

$$E (T) = E + \frac{RT}{F} \text{Log } (F^-)$$

Il sera facile, ensuite de déterminer les concentrations des autres solutions . Elles seront obtenues en ug/ml qu'il faudra convertir en ug F/Kg de poids sec .



