

## TRAITEMENT EN TEMPS RÉEL DES INFORMATIONS FOURNIES PAR LES DÉTECTEURS DE CONTAMINATION ATMOSPHÉRIQUE

Ph. LÉBOULEUX\*

(Manuscrit reçu le 3 juillet 1969)

### RÉSUMÉ

Les résultats attendus d'un système de traitement des informations fournies par les détecteurs de la contamination atmosphérique sont d'abord rappelés. L'auteur détermine ensuite le nombre d'impulsions délivrées par le détecteur pour lequel un signal est envoyé vers le calculateur. Ce comptage préréglé correspond à une exposition élémentaire à la contamination atmosphérique d'environ un millième de la limite maximale admissible moyenne hebdomadaire.

L'analyse de l'organisation du système est concrétisée par l'organigramme du traitement pour les détecteurs à bande de papier filtre en déplacement continu et pour les détecteurs à filtre fixe.

On montre qu'il est souvent possible d'effectuer un traitement en temps réel permettant d'exprimer directement la mesure du taux de contamination atmosphérique en Ci/m<sup>3</sup> et de l'exposition à la contamination atmosphérique en C.M.A.h.

### I - INTRODUCTION

Les contrôles permanents de la contamination atmosphérique auprès des installations nucléaires sont actuellement effectués par deux types principaux de détecteurs : les détecteurs à bande de papier-filtre en déplacement continu et les détecteurs à filtre fixe. Ces détecteurs sont exploités à l'aide d'un icromètre, généralement logarithmique connecté à un enregistreur.

Le traitement en temps réel de l'information fournie par ces appareils a déjà été réalisé dans quelques installations. L'information est prise à la sortie de l'icromètre logarithmique; le système fonctionne en temps préréglé; la cadence de scrutation est de l'ordre de la minute. L'édition du résultat se produit une fois par heure, une augmentation de la fréquence d'édition se produisant au franchissement d'un seuil prédéterminé.

Des possibilités supplémentaires se présentent dans l'utilisation d'un système fonctionnant en nombre d'impulsions préréglé. Le présent rapport a pour but d'étudier l'organisation du traitement correspondant.

(\*) Service de Protection contre les Radiations - Centre d'Etudes Nucléaires de Saclay - B.P. n° 2, 91-Gif-sur-Vvette.

Le système étudié est adapté aux appareils de prélèvement actuellement en service pour exploiter au mieux les renseignements qu'ils sont capables de fournir. Néanmoins, dans les conclusions, on pourra préciser dans quels domaines ces appareils sont à perfectionner.

## II - RÉSULTATS ATTENDUS D'UN SYSTÈME DE TRAITEMENT DE L'INFORMATION

Les grandes lignes de l'architecture du système de traitement des informations de radioprotection ont été étudiées dans la référence [1]. Les aspects spécifiques de la détection de la contamination atmosphérique sont précisés ci-après :

1) Dans la mesure où l'on connaît la nature du contaminant, on cherche à obtenir directement le taux de contamination exprimé en Ci/m<sup>3</sup> ou en nombre de C.M.A. et l'exposition à la contamination exprimée en C.M.A.h ou en curies.

Néanmoins, on se limite à sortir les résultats en imp./s lorsqu'un traitement plus élaboré ne peut être envisagé.

2) La fréquence des appels vers le calculateur et l'édition des résultats doivent suivre l'évolution du taux de contamination. Ceci est facilement obtenu par un fonctionnement en comptage préréglé.

3) Edition de la date, de l'heure ou du niveau des dépassements de seuils d'alerte.

4) Totalisation des expositions pour l'élaboration des documents réglementaires.

5) Le calcul en temps réel du taux de contamination atmosphérique et de l'exposition à la contamination atmosphérique nécessite, comme indiqué ci-après, la prise en compte de données de base par le calculateur. L'analyse en laboratoire de prélèvements d'aérosols peut montrer que ces données ne correspondent pas aux conditions réelles. Ceci impose de pouvoir effectuer, en temps différé, toutes les corrections nécessaires. Le calcul, en temps différé, est toujours utilisé si les résultats sont donnés en imp./s.

6) Archivage des mesures.

7) Visualisation possible des mesures d'une ou plusieurs voies. La visualisation en temps légèrement différé est acceptable.

## III - CHOIX DU COMPTAGE PRÉRÉGLÉ CORRESPONDANT A UNE EXPOSITION ÉLÉMENTAIRE

L'examen des possibilités techniques de transmission des données, effectué dans la référence [1], a conduit à préconiser une division par 1 000 du nombre d'impulsions fournies par le détecteur. Dans la majorité des cas, cette division est possible et il est même souvent souhaitable de prendre une valeur supérieure pour le comptage préréglé.

3.1. DÉTERMINATION DU COMPTAGE PRÉRÉGLÉ (*P*) POUR LES DÉTECTEURS A FILTRE MOBILE

Il a été montré [2] que le taux de comptage d'un détecteur à filtre mobile est donné par l'expression (\*) :

$$\tau = 3,1.10^{10} R_f D \frac{R}{V} y R_d C = y G R_d C \quad (1)$$

avec les notations données en annexe I et en posant  $G = 3,1.10^{10} R_f D \frac{R}{V}$ . *y* est fonction de la constante radioactive  $\lambda$  et de paramètres liés à la géométrie et à la dynamique de l'appareil. Pour un type donné d'appareil, les différents paramètres sont des constantes et l'on peut considérer que *y* est seulement fonction de  $\lambda$  [2]. Dans le cas particulier d'un radionucléide de période longue devant la durée de passage d'un point du filtre sous le compteur,  $y = 1$ . Autrement, *y* est plus petit que 1.

Considérons maintenant le nombre d'impulsions délivrées par le compteur entre deux interruptions envoyées vers le central :

$$N_i = y G R_d C (t_i - t_{i-1})$$

On voit que  $N_i$  est proportionnel à  $C (t_i - t_{i-1})$  qui représente l'exposition moyenne à la contamination atmosphérique entre  $t_i$  et  $t_{i-1}$  exprimée en Ci.s/m<sup>3</sup>. En posant  $C (t_i - t_{i-1}) = K$  et en exprimant *K* en C.M.A.h, la relation devient :

$$C (t_i - t_{i-1}) = K C_a 3 600$$

En choisissant une exposition élémentaire égale au millième de la limite maximale admissible moyenne hebdomadaire [1], on est conduit à prendre pour *P*, comptage préréglé, un nombre d'impulsions correspondant à  $K = 0,04$  C.M.A.h. *P* pourra prendre des valeurs différentes suivant la valeur de la C.M.A. et du rendement de détection  $R_d$ . Le tableau I donne les valeurs de *P* pour différents cas d'espèce que l'on rencontre habituellement au C.E.N.S. ( $R_f = 0,75$ ,  $D = 100$  l/mn,  $R = 1,7$  cm,  $V = 0,8$  mm/mn).

TABLEAU I  
VALEURS DE *P* POUR DIFFÉRENTS RADIONUCLÉIDES

Radionucléide	<i>y</i>	C.M.A.	$R_d$	<i>P</i>
		Ci/m <sup>3</sup>		impulsions
Produits de fission (temps de désactivation supérieur à 100 jours).....	1	10 <sup>-8</sup>	0,2	1,5.10 <sup>4</sup>
Cobalt-60 .....	1	10 <sup>-8</sup>	0,2	1,5.10 <sup>4</sup>
Strontium-90 .....	1	10 <sup>-9</sup>	0,4	3.10 <sup>3</sup>
Produits de filiation des gaz de fission.....	0,7	10 <sup>-8</sup>	0,4	2.10 <sup>7</sup>

(\*) Valable dans l'hypothèse d'une contamination homogène et constante durant le temps de défilement du papier-filtre devant la fenêtre d'aspiration; cette durée est d'au moins 45 mn.

Il ressort de ces exemples que  $P$  est toujours supérieur à  $10^3$  et que les nécessités techniques mises en évidence dans la référence [1] ne constituent pas une limitation.

Même si le calcul donne  $P = 2.10^7$ , on évitera en pratique de prendre pour  $P$  une valeur trop élevée et ceci pour deux raisons :

- si le taux de contamination est faible, il en résulte une perte d'information,
- il est bien rare que l'on puisse affirmer a priori que l'on se trouve en présence du seul risque des produits de filiation.

Par contre, il est très intéressant de travailler avec un comptage prééglé de l'ordre de  $10^4$ , si cela est possible, car on obtient une précision statistique sur le comptage d'environ 1 % (probabilité 68 %).

### 3.2. DÉTERMINATION DU COMPTAGE PRÉÉGLÉ POUR LES DÉTECTEURS A FILTRE FIXE

Pour les détecteurs à filtre fixe, la relation entre le taux de comptage à l'heure  $t_i$  et le taux de contamination atmosphérique devient, quel que soit  $t_i$  :

$$\tau = y' G' R_d C (t_i - t_0) \quad (2)$$

$$\text{avec } y' = \frac{1 - e^{-\lambda(t_i - t_0)}}{\lambda(t_i - t_0)}$$

$$\text{et } G' = 3,7.10^{10} R_f D.$$

Cette relation montre que le *taux de comptage* est proportionnel à l'exposition à la contamination atmosphérique dans l'hypothèse des périodes longues ( $y' = 1$ ) et que c'est seulement dans le cas des périodes courtes devant la durée de prélèvement ( $e^{-\lambda t}$  négligeable) que l'on se retrouve dans des conditions voisines de celles du détecteur à filtre mobile.

Sans revenir sur ce cas particulier, il y a lieu d'examiner comment l'on peut choisir  $P$  pour les périodes longues. A partir de la relation (2), on voit que :

$$P = N = G' R_d C (t_i - t_0)^2$$

$$\text{En prenant } R_d = 0,2 \quad K = 0,04 \text{ C.M.A.h}$$

$$C_a = 10^{-8} \text{ Ci/m}^3 \text{ et } D = 25 \text{ l/mn.}$$

$$\text{On obtient : } P = 3,3 (t_i - t_0).$$

Pour  $(t_i - t_0) = 1$  heure, on a :  $P = 1,2.10^4$  impulsions, soit une valeur voisine de celle qui a été obtenue pour le détecteur à filtre mobile, ce qui est souhaitable par souci d'homogénéité.

Il reste à voir si cette valeur de  $P$ , choisie presque arbitrairement, est acceptable en cas d'évolution rapide.

En supposant que l'on compte 12 000 impulsions en 1 minute, le taux de comptage moyen est de 200 imp./s et l'exposition correspondante est, dans le cas où la C.M.A. vaut  $10^{-8}$  Ci/m<sup>3</sup>, de 2,4 C.M.A.h. Si l'on peut considérer comme

un maximum une variation du taux de comptage de 200 imp./s en 1 minute, un comptage préréglé de l'ordre de  $10^4$  est acceptable, sinon il faudra prendre  $P$  plus faible. Il faudra également prendre un comptage plus faible si la C.M.A. est inférieure à  $10^{-8}$  Ci/m<sup>3</sup>.

### 3.3. CAS PARTICULIER DE LA CONTAMINATION ATMOSPHÉRIQUE PAR LE PLUTONIUM

Ce problème ne concerne qu'un certain nombre de détecteurs à filtre fixe ou spécifiques du plutonium.

Avec une C.M.A. aussi sévère que  $2 \cdot 10^{-12}$  Ci/m<sup>3</sup>, la valeur de  $P$  correspondant à une exposition de 0,04 C.M.A.h en 1 heure, est de 17 impulsions, ce qui est trop faible. Toutefois, un comptage préréglé de 100 impulsions, obtenues en 1 heure, correspond à une exposition à la contamination atmosphérique de 0,23 C.M.A.h. Si ce comptage est obtenu en 1 minute, l'exposition à la contamination atmosphérique est de 14 C.M.A.h, valeur en dessous de laquelle il n'est guère possible de descendre avec les moyens actuels.

$$\text{(avec } R_f = 1, R_d = 0,45, D = 60 \text{ l/mn)}$$

La présente étude ne traite pas des détecteurs spécifiques du plutonium pour lesquels l'expérience au C.E.N.S. est trop réduite.

### 3.4. CONCLUSION

Nous voyons que, d'une façon générale, un comptage préréglé de l'ordre de  $10^3$  ou  $10^4$  impulsions est à utiliser. Seule, échappe à cette règle, la détection de la contamination  $\alpha$ .

Dans ce dernier cas, un comptage préréglé de 100 impulsions est acceptable. Il a été montré, dans la référence [1], que le rapport  $\frac{\tau_{max.}}{P}$  devait être égal à  $10^2 \text{ s}^{-1}$ . On en déduit que  $\tau_{max.} = 10^4 \text{ imp./s}$ . Si  $\tau$  passe de 0 à  $10^4 \text{ imp./s}$  en moyenne en 1 minute,  $K = 8 \cdot 10^4 \text{ C.M.A.h}$ , ce qui paraît constituer une gamme de mesures suffisante.

## IV - ANALYSE LOGIQUE DES OPÉRATIONS

L'analyse a été effectuée dans deux hypothèses :

- sortie des résultats en imp./s,
- sortie des résultats en taux de contamination atmosphérique (Ci/m<sup>3</sup>) et totalisation des expositions à la contamination atmosphérique (C.M.A.h).

### 4.1. SORTIE DES RÉSULTATS EN IMP./S

Ce type d'exploitation est toujours possible quels que soient le détecteur utilisé et la nature des radionucléides contaminants. Le nombre d'impulsions

préréglé est choisi en fonction de la nature des radionucléides considérés. Très souvent, il est de l'ordre de 10 000.

L'organigramme résultant de l'analyse des opérations est donné sur la figure 1.

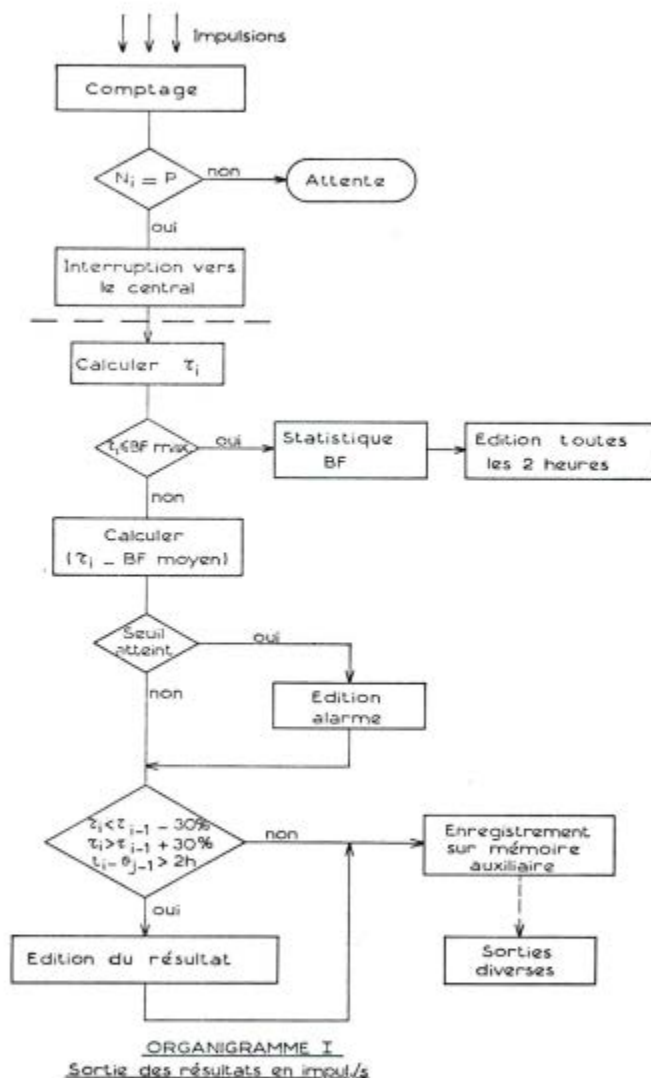


FIG. 1

Ce type d'exploitation permet d'obtenir :

- une statistique concernant la radioactivité naturelle,

- la valeur du taux de comptage, radioactivité naturelle déduite. Cette correction peut être effectuée directement par l'ordinateur à partir de la statistique élaborée au cours des heures précédentes, ou bien l'utilisateur choisit lui-même la valeur du bruit de fond qu'il introduit comme une donnée dans l'ordinateur,
- l'édition du résultat en fonction de l'évolution du taux de comptage avec une édition au moins toutes les deux heures,
- une édition des alarmes,
- l'enregistrement sur mémoire auxiliaire qui permet de reporter sur des supports d'information adéquats les résultats pour lesquels un archivage de longue durée est nécessaire ou pour lesquels un calcul en temps différé des taux de contamination et des expositions doit être effectué.

#### 4.2. SORTIE DES RÉSULTATS EN $Ci/m^3$ ET EN C.M.A.h

##### 4.2.1. Généralités :

Il est fréquent que la contamination atmosphérique des locaux soit produite par des radionucléides connus ou par un mélange de radionucléides pour lesquels il est possible de calculer les coefficients d'étalonnage des appareils.

Le traitement des informations fournies par les détecteurs de contamination atmosphérique peut alors être poussé plus avant. Néanmoins, des imprévus sont toujours possibles et il faut se garder la possibilité d'effectuer toutes les corrections ultérieurement nécessaires.

##### 4.2.2. Examen comparé des réponses des détecteurs à filtre mobile et filtre fixe

L'évolution du taux de comptage d'un détecteur à filtre mobile à une voie de mesure ne permet de faire aucune hypothèse sur la nature du contaminant. Le calculateur effectue le traitement en utilisant les données qui sont en mémoire (\*).

Le schéma général de l'évolution du taux de comptage d'un détecteur à filtre fixe est donné sur la figure 2. Cette évolution est parfaitement différenciée suivant que le contaminant est un radionucléide de période longue ou de période courte (devant la durée de prélèvement). Il sera donc possible de placer en mémoire deux séries de données correspondant à ces deux éventualités.

Dans les contrôles auprès des piles atomiques par exemple, on rencontre effectivement deux types de contaminants : les produits de fission à périodes longues, le plus souvent mélangés à des produits de corrosion ( $C_a \approx 10^{-8} Ci/m^3$  et période longue relativement à la durée de prélèvement) et les produits de filiation des gaz de fission ( $C_a \approx 10^{-5} Ci/m^3$  et  $T_{1/2} \approx 20 mn$ ).

##### 4.2.3. Organigramme

L'organigramme de la figure 3 est le résultat de l'analyse logique des opérations à effectuer, en tenant compte des remarques ci-dessus.

(\*) Dans le cas des détecteurs à filtre mobile, il faut disposer d'une deuxième voie de mesure, dite différée, pour avoir une idée de la période du radionucléide. La durée entre les deux comptages est d'au moins de 2 h 30 mn.

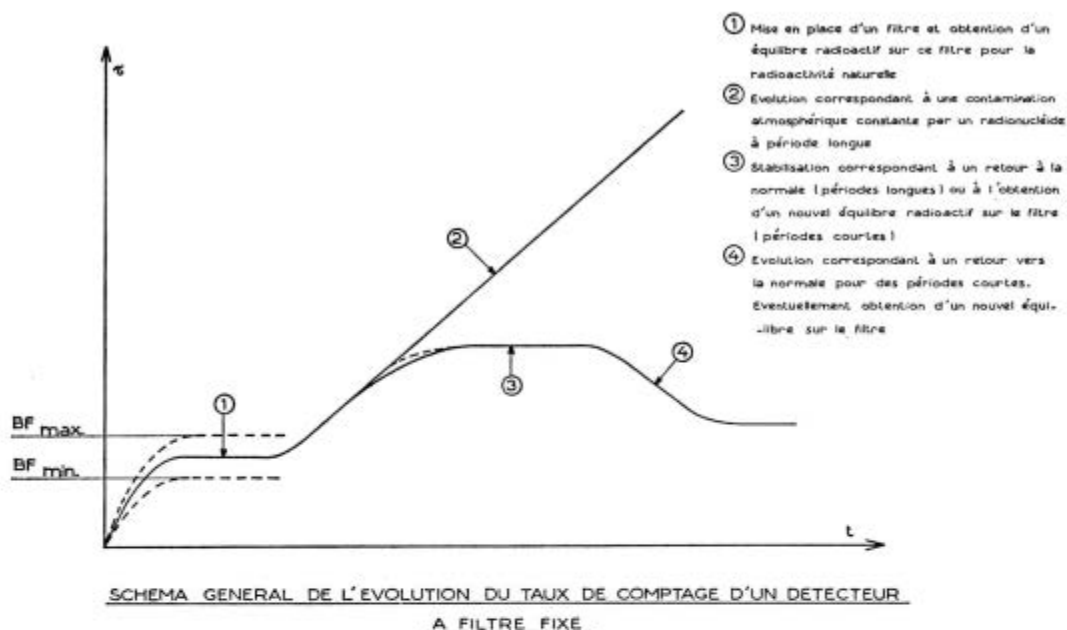


FIG. 2

Les opérations concernant le bruit de fond sont identiques à celles prévues en 4.1.

Sur cet organigramme, volontairement plus élaboré que le précédent, on a prévu l'attente si la valeur du bruit de fond n'atteint pas un seuil minimal. Ceci est indispensable pour les détecteurs à filtre fixe après le changement du filtre (voir fig. 2).

Ensuite, le programme est différencié suivant qu'il s'agit d'un détecteur à filtre mobile ou fixe.

S'il s'agit d'un détecteur à filtre mobile, l'ordinateur lit les données (\*) placées en mémoire et calcule le taux de contamination et l'exposition.

S'il s'agit d'un détecteur à filtre fixe, il examine d'abord l'évolution du taux de comptage avant de choisir les données (\*) à lire.

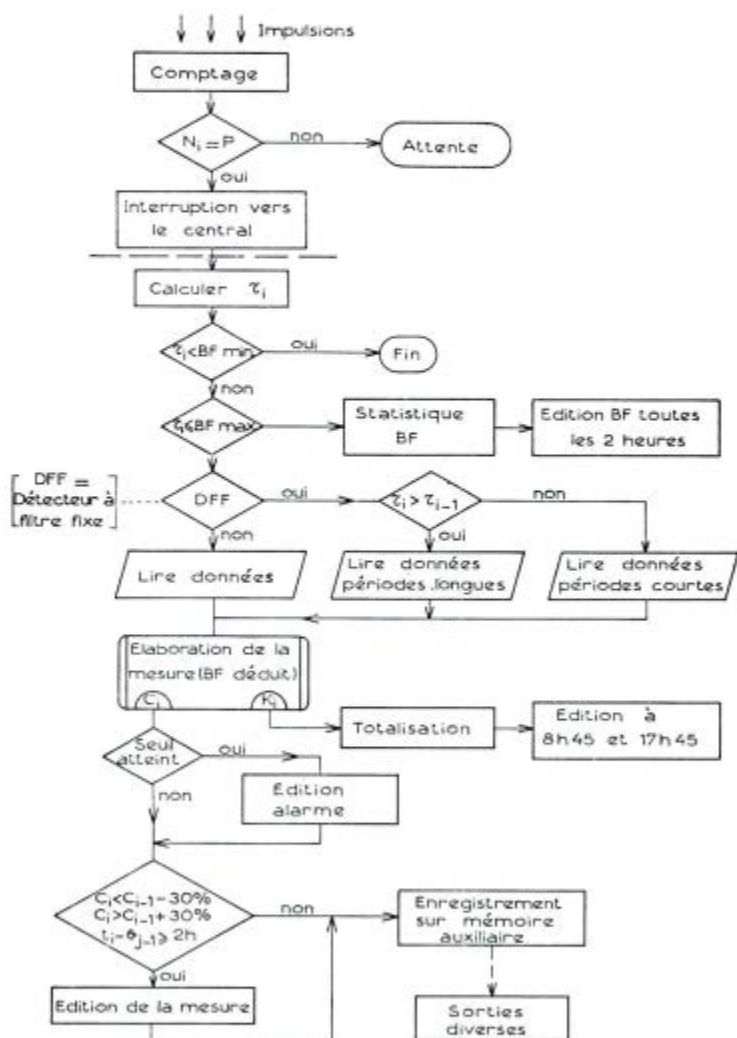
Le calcul est toujours fait dans l'hypothèse la plus défavorable (sécurité). Tant qu'il y a augmentation, il peut s'agir de périodes longues ou courtes, donc on effectue le calcul pour des périodes longues. Lorsqu'il y a stabilisation, on peut choisir entre une contamination atmosphérique par des périodes courtes et la disparition d'une contamination par des périodes longues. On choisira d'effectuer le calcul pour des périodes courtes.

Le calcul du taux de contamination est effectué pour la variation du taux de

(\*) Ces données sont constituées par les paramètres utilisés dans la 3<sup>e</sup> partie ci-dessus. Le détail du calcul à effectuer est donné en annexe II.



comptage moyen entre les deux dernières interruptions envoyées vers le central. Nous voyons ici l'intérêt de prendre un comptage préréglé  $P$  aussi grand que possible, de façon à avoir une précision aussi bonne que possible. En prenant  $P = 10\ 000$ , on peut donner une signification à une variation du taux de comptage de quelques pour cent avec une précision suffisante.



ORGANIGRAMME II  
Sortie des résultats en  $C_i/m^3$  et en CMA h.

Fig. 3

Ceci est un grand avantage par rapport aux icitomètres logarithmiques exploités à l'aide d'un enregistreur. Avec les icitomètres, il est, en effet, pratiquement impossible d'apprécier une variation du taux de comptage inférieure à 30 % de la valeur indiquée.

La fin du programme est identique à celle déjà donnée au paragraphe précédent. L'exploitation des détecteurs à filtre fixe permet, en plus, de corriger les signaux d'alerte dès que l'on arrive à une stabilisation du taux de comptage.

## V - CONCLUSION

Le traitement des informations fournies par les détecteurs de la contamination atmosphérique permet une utilisation optimale du matériel, en fonctionnant en comptage préréglé. Dans bien des cas, il est possible de réaliser un traitement complet en temps réel avec des corrections éventuelles faites en temps différé. Le détecteur à filtre fixe s'adapte particulièrement bien au traitement préconisé.

Les progrès à réaliser sur ce type de détecteur devraient tendre, d'une part à diminuer la fréquence des interventions au niveau du bloc de prélèvement et d'autre part à éviter, le plus souvent possible, l'envoi au laboratoire d'échantillons prélevés. Le premier objectif est assez facile à atteindre : il suffit de réaliser un dispositif mécanique capable de faire progresser le filtre par bonds, la commande du déplacement pouvant être réalisée systématiquement ou asservie au résultat de la mesure. La réalisation du second objectif, sans doute beaucoup plus difficile et lointaine, nécessiterait de faire bénéficier les dispositifs de contrôle continu de la contamination atmosphérique des techniques de la spectrométrie  $\gamma$ . L'exploitation par ordinateur permettrait de choisir, à coup sûr, les coefficients d'étalonnage pour le calcul des taux de contamination.

## BIBLIOGRAPHIE

- [1] TARDY-JOUBERT Ph. Système de télégestion en temps réel des informations relatives à la sécurité et à la radioprotection du CEN-S. *Radioprotection*, vol. 4, n° 2 (1969).
- [2] CHRÉTIEN L., CLUCHET J., JOFFRE H. Données théoriques et expérimentales sur les appareils de détection des aérosols sur bande filtre en déplacement continu. Rapport CEA n° 2449 (1964).

**ANNEXE I**  
**LISTE DES NOTATIONS UTILISÉES**

$N$	Nombre d'impulsions	impulsions
$N_t$	Nombre d'impulsions entre $t_t$ et $t_{t-1}$	impulsions
$\tau$	Taux de comptage	imp./s
$\tau_t$	Taux de comptage moyen entre $t_t$ et $t_{t-1}$	imp./s
$t_0$	Heure du début de prélèvement	
$t_t$	Heure de la $i^{\text{e}}$ interruption vers le central	
$P$	Valeur du comptage prééglé	impulsions
$P_t$	Valeur du comptage prééglé à $t_t$	impulsions
$C$	Taux de contamination	Ci/m <sup>3</sup>
$C_t$	Taux de contamination moyen entre $t_t$ et $t_{t-1}$	Ci/m <sup>3</sup>
$C_a$	Valeur numérique de la CMA	Ci/m <sup>3</sup>
$K$	Exposition à la contamination atmosphérique	C.M.A.h
$K_t$	Exposition à la contamination atmosphérique entre $t_t$ et $t_{t-1}$	C.M.A.h
$BF$	Taux de comptage dû à la radioactivité naturelle	imp./s
$\theta_j$	Heure de la $j^{\text{e}}$ édition de résultats de mesure	
$R_d$	Rendement de détection	
$R_f$	Rendement de filtration	
$T_{1/2}$	Période radioactive du radionucléide	s
$\lambda$	Constante radioactive du radionucléide	s <sup>-1</sup>
$D$	Débit d'aspiration	m <sup>3</sup> /s
$R$	Rayon de la fenêtre d'aspiration	mm
$V$	Vitesse de défilement du papier-filtre	mm/s

**ANNEXE II**

CALCUL de  $C_t$  et  $K_t$

1) Détecteurs à filtre en déplacement continu

$$K_t = \frac{P}{y G R_d} \cdot \frac{1}{C_a} \cdot \frac{1}{3600}$$

$$C_t = \frac{\tau_t}{y G R_d} \quad \text{avec} \quad \tau_t = \frac{P}{t_t - t_{t-1}}$$

2) Détecteurs à filtre fixe

2.1. Cas général

$$K_t = \frac{\Delta\tau}{y' G' R_d} \cdot \frac{1}{C_a} \cdot \frac{1}{3600} \approx \frac{\tau_t - \tau_{t-1}}{y' G' R_d} \cdot \frac{1}{C_a} \cdot \frac{1}{3600}$$

$$C_t = \frac{\Delta\tau}{y' G' R_d} \cdot \frac{1}{t_t - t_{t-1}} \approx \frac{\tau_t - \tau_{t-1}}{y' G' R_d} \cdot \frac{1}{t_t - t_{t-1}}$$

avec 
$$\tau_t = \frac{P}{t_t - t_{t-1}}$$

2.2. Périodes courtes

La formulation est analogue à celle donnée au paragraphe 1.

$$K_t = \frac{\lambda P}{G' R_d} \cdot \frac{1}{C_a} \cdot \frac{1}{3600}$$

$$C_t = \frac{\lambda \tau_t}{G' R_d}$$

avec 
$$C_t = \frac{P}{t_t - t_{t-1}}$$