

## CONTRIBUTION À LA SURVEILLANCE DU RISQUE DE CONTAMINATION RADIOACTIVE PAR INHALATION

J. ROSAY<sup>1</sup>, P. LE GUEN<sup>1</sup>, M. PHILBERT<sup>2</sup>, P. HADENGUE<sup>2</sup>  
et C. HONTARÈDE<sup>1</sup>

*Service Médical du Travail, Centre d'Etudes Nucléaires, Fontenay-aux-Roses<sup>1</sup> et  
Consultation de Pathologie Professionnelle, Hôpital Cochin, Paris<sup>2</sup>, France*

### RÉSUMÉ

Une nouvelle méthode de surveillance du personnel exposé à la contamination radioactive par inhalation, a été étudiée au Centre d'Etudes Nucléaires de Fontenay aux Roses.

Il s'agit du prélèvement systématique et quotidien du mucus nasal par mouchage dans des mouchoirs en ouate de cellulose qui seront ensuite calcinés puis comptés: 30 300 prélèvements ont été analysés en 3 ans, 20% étaient positifs et 2% avaient un comptage supérieur à 10 pCi.

D'autres prélèvements ont été pratiqués au moment d'incidents. Leur comparaison avec le comptage des fèces des trois premiers jours a montré une bonne corrélation en cas de résultats positifs du prélèvement nasal, par contre sa négativité ne doit pas faire éliminer une possibilité de contamination mineure.

L'étude de la répartition journalière a montré un maximum de prélèvements fortement positifs le mercredi, il pourrait correspondre au jour où sont effectués les travaux présentant le plus grand risque de contamination.

Par ailleurs une étude des incidents a confirmé que la période biologique d'épuration pour le plutonium 238 était comprise entre 40 et 60 jours.

Les avantages essentiels de la méthode du prélèvement nasal par mouchages sont un prélèvement et un comptage faciles et quotidiens permettant de mieux cerner les contaminations ou même de dépister certains incidents mineurs moins bien détectés par les méthodes actuellement utilisées.

Dans un Centre d'Etudes Nucléaires, de nombreux travaux exposent à un risque de contamination radioactive. Parmi ces contaminations, peu nombreuses en comparaison des tâches effectuées, l'une des plus importante est, sans conteste, la contamination respiratoire.

Les voies respiratoires supérieures sont, en particulier, les premiers lieux de déposition des poussières radioactives. Or, les seuls examens biologiques utilisés pour dépister une possibilité de contamination interne étaient les examens des fèces et des urines des travailleurs exposés.

Il vient donc logiquement à l'esprit que la récupération d'une fraction des poussières déposées dans le nasopharynx peut donner des indications

intéressantes. A partir de cette idée, des prélèvements du mucus nasal ont été pratiqués de façon systématique depuis 1974 au Centre d'Etudes Nucléaires de Fontenay-aux-Roses.

Le bilan porte sur trois années de prélèvements (1974-1976) et est présenté ici.

#### PRINCIPE GENERAL DE SURVEILLANCE

La grande majorité des contaminations se fait par inhalation d'aérosols radioactifs. Les particules inhalées se déposent tout au long du tractus respiratoire, de différentes façons: par sédimentation, par impaction par inertie par mouvement brownien et, à un degré moindre, par agrégation des particules, par impaction aux bifurcations des conduits respiratoires et par effet électrostatique.

Le pourcentage du dépôt, à chaque étage du tractus respiratoire dépend essentiellement de la granulométrie de l'aérosol (Fig. 1). Ainsi, pour une granulométrie constante, le dépôt se retrouvera toujours dans des proportions définies à chacun des niveaux. En particulier, au niveau des fosses nasales, premier obstacle à la pénétration des aérosols, le dépôt est d'environ 42% des particules inhalées, pour une granulométrie moyenne de  $1 \mu\text{m}$ . Le mucus nasal est donc un site de déposition particulièrement intéressant.

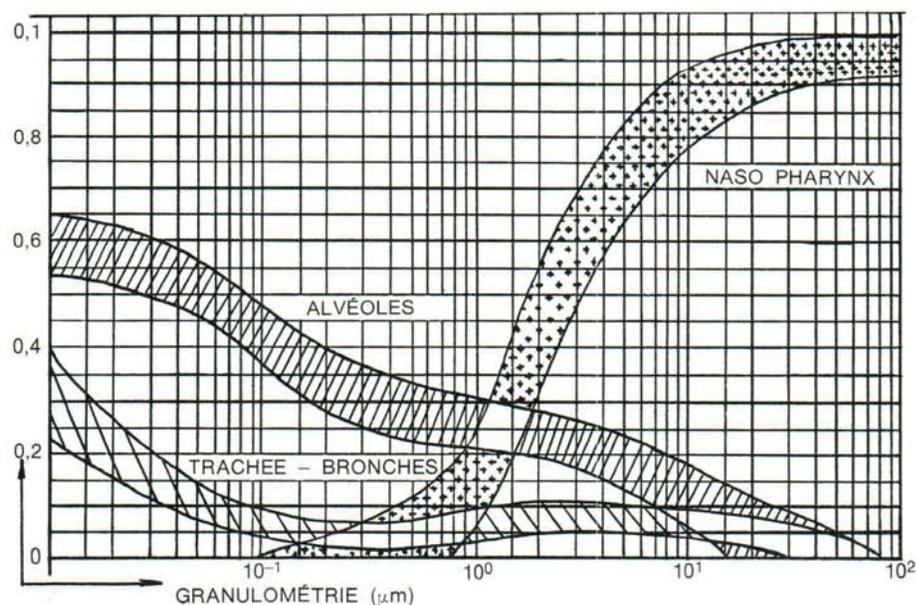


FIG. 1 - Dépôt dans les voies respiratoires. D'après Morrow et coll.: Task group on lung dynamics.

Le comptage de ce mucus nasal était déjà pratiqué en cas d'incident avant 1974. Le prélèvement était fait avec un papier filtre monté sur une allumette soufrée appelé "drapeau". Ce mode de prélèvement présentait deux inconvénients majeurs: d'une part, la manipulation et le comptage ne pouvaient pas être pratiqués à grande échelle, ni tous les jours, d'autre part, le prélèvement ne pouvait porter que sur la partie antérieure des narines, et n'intéressait que les particules de gros calibre arrêtées par les poils.

Le gros intérêt du mouchage est justement de remédier à ces deux inconvénients.

La recherche d'une nouvelle méthode de surveillance est due également à certains points faibles des méthodes actuellement utilisées pour la détection des contaminations radioactives. Par exemple, et compte tenu des mouvements de convection de l'air des laboratoires, une contamination atmosphérique de faible importance ne se trouvera pas nécessairement détectée intégralement par un détecteur d'ambiance. Ce type d'appareil ne prélèvera donc pas réellement l'air respiré par le travailleur.

L'appareil portatif de prélèvement individuel, type Casella, a remédié en grande partie à cet inconvénient, mais il présente également des points faibles. Porté au revers de la blouse, sur la poitrine, il prélève à distance (20 ou 30 cm) des narines. Etant donné le diamètre de l'orifice d'aspiration (2-3 cm), il n'y a pas, obligatoirement, de volumes communs de prélèvement avec les narines.

Mais le principal inconvénient du Casella se trouve dans le comptage du filtre; pour des raisons techniques et de sensibilité de détection, il n'est réalisé qu'une fois par semaine. Ainsi, dans le cas d'une contamination mineure, non détectée par la surveillance collective, le dépistage immédiat ne sera pas possible. Cette contamination ne pourra être soupçonnée qu'en fin de semaine, et une administration thérapeutique éventuelle de DTPA (acide diéthyl triamino pentacétique sel monocalcique trisodique) appliqué comme aérosol ou intra veineuse, ne pourra être faite qu'avec un certain retard.

La connaissance précise de la granulométrie des aérosols inhalés serait un élément très précieux, malheureusement cela n'a pas encore été pratiqué pour des raisons techniques.

#### MÉTHODE DE PRÉLEVEMENT ET TECHNIQUE DE COMPTAGE DU MUCUS NASAL

Les poussières sont prélevées à l'aide de mouchoirs cellulosiques qui sont calcinés puis comptés.

Les personnes intéressées par cet examen sont celles qui travaillent dans les ateliers et laboratoires en zone contrôlée, avec risque de contamination par le plutonium 238 et les radioéléments transplutoniens. Actuellement, la participation est tout à fait libre.

A côté de cette étude systématique, des prélèvements de mucus nasal ont été faits après des incidents. Ils permettent ainsi de faire une comparaison avec les

autres examens biologiques, notamment avec le comptage des excreta (féces, urines) qui représente l'examen de référence.

#### Prélèvement

Le mouchage se fait, à la sortie du poste de travail, dans un ou deux mouchoirs en papier cellulosique. Les mains de l'agent doivent être propres, sans traces de contamination radioactive.

#### Technique d'analyse

Les échantillons à analyser, placés dans des béchers, sont mis au four à 580 °C. La porte est fermée 10 minutes et ouverte 7 minutes pour obtenir une combustion complète, puis refermée à nouveau pour achever la calcination. La durée totale de l'opération est 1 heure. Après calcination, l'activité alpha, beta et gamma des cendres est comptée pendant 10 minutes à l'aide d'un détecteur à scintillation avec passeur automatique d'échantillons type "RA 15 Inter-technique".

La sensibilité est de l'ordre de 0,5 pCi (soit  $3.10^{-13}$  gramme), le comptage est considéré comme positif à 1 pCi ( $6.10^{-13}$  gramme). Les résultats chiffrés des prélèvements, ou l'absence de prélèvement, sont ensuite enregistrés chaque jour.

#### Validité de la méthode

Toute cause d'erreur provenant de l'appareillage peut être écartée. En effet: les appareils servent à d'autres mesures, 5 appareils sont utilisés indifféremment pour éliminer toute erreur systématique. Ils sont vérifiés régulièrement; enfin, les plaques où sont disposés les prélèvements sont contrôlées avant leur utilisation.

En fait, la principale source d'erreurs se trouve au niveau du mouchage: malgré le lavage des mains, de petites particules radioactives peuvent persister et souiller le mouchoir, d'où une source possible d'erreur par excès. Une seconde cause d'erreur vient des sujets enrhumés. Leur frottis, en fin de journée, n'est pas significatif, car une partie des particules déposée pendant le travail a été éliminée lors des mouchages antérieurs. Enfin, il faut souligner que tout mouchage incorrect ou d'une seule narine modifie les résultats de façon importante.

Malgré ces sources d'erreurs, en réalité très peu fréquentes, cette méthode est extrêmement simple et très bien acceptée par le personnel exposé.

## RESULTATS ET DISCUSSION

#### Résultats des prélèvements quotidiens

L'étude a porté sur les prélèvements quotidiens et sur les prélèvements pratiqués après des incidents.

Des comparaisons ont été faites: avec les résultats des examens des féces pratiqués après les incidents et avec les résultats des comptages des filtres de

l'appareil individuel de prélèvement atmosphérique, tant en surveillance de routine que lors d'un incident. Entre janvier 1974 et décembre 1976, 30 300 prélèvements de routine ont été recueillis, ils représentent 53% des prélèvements demandés, 20 % des prélèvements analysés sont positifs à des doses diverses (Fig. 2 et 3).

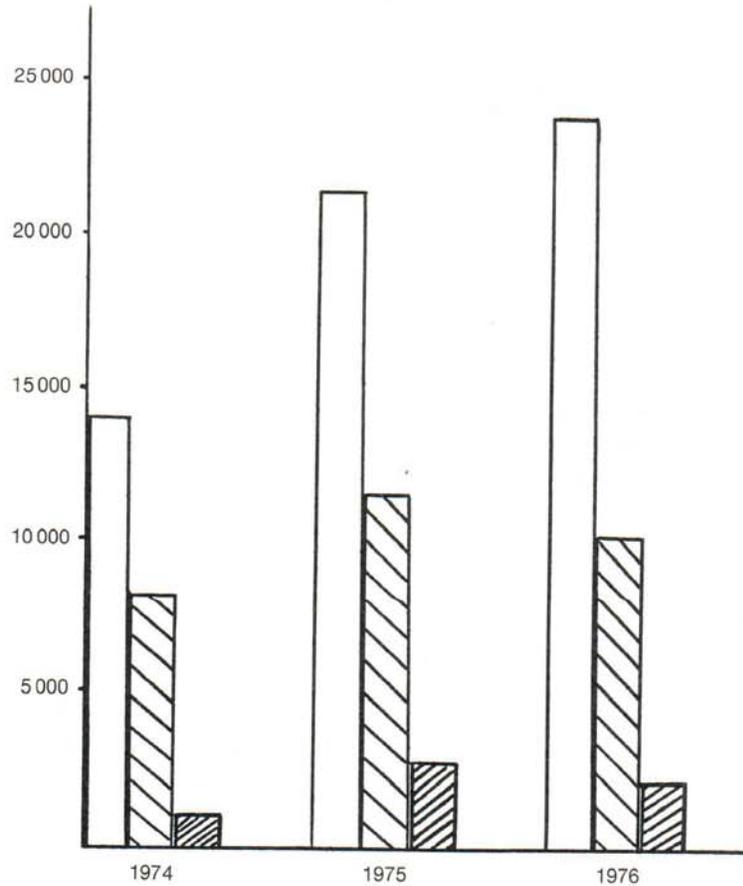


FIG. 2 - Comparaison des résultats annuels. Prélèvements: □ = demandés, ▨ = reçus et ▩ = positifs.

La répartition mensuelle est variable d'un mois à l'autre (Fig. 4) et, pour le même mois, d'une année sur l'autre.

Si l'on considère les seuls comptages positifs, 90% sont inférieurs à 10 pCi. La fréquence nettement plus faible des comptages positifs supérieurs à 10 pCi,

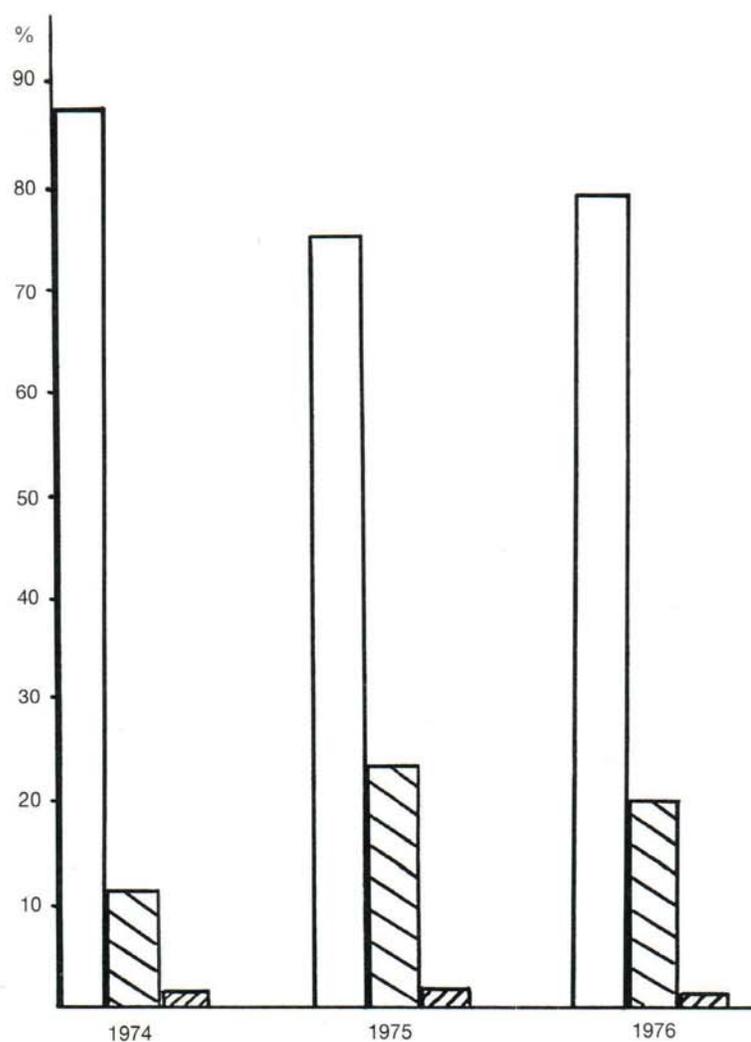


FIG. 3 - Résultats annuels des prélèvements (en%). Prélèvements:  = négatifs,  = avec comptage < 10 pCi et  = avec comptage > 10 pCi.

10% des comptages positifs, permet de penser qu'ils correspondent certainement à des contaminations atmosphériques plus importantes. Quant aux échantillons supérieurs à 100 pCi, ils représentent environ 0,1% du total des prélèvements.

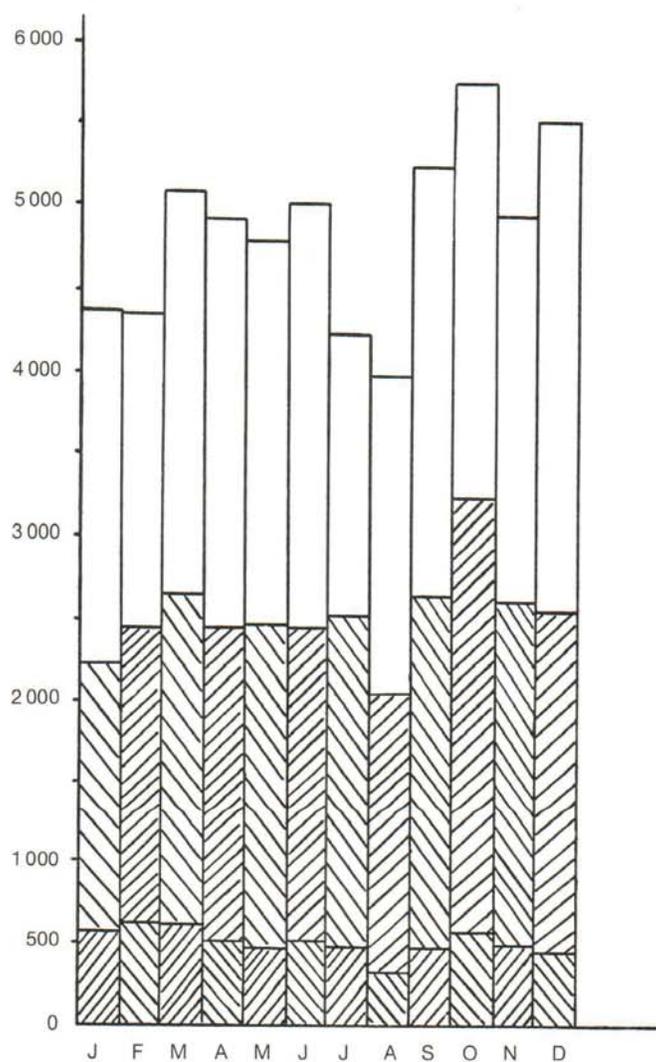


FIG. 4 - Repartition mensuelle des prélèvements (1974, 1975, 1976). Prélèvements:  = demandés,  = reçus et  = positifs.

#### Confrontation des résultats

En ce qui concerne la surveillance de routine, la comparaison Kleenex-Casella n'est possible qu'avec les résultats du prélèvement atmosphérique individuel, seul pratiqué.

Pour que cette comparaison soit indiscutable, elle n'a porté que sur les agents remettant plus de 90% de leurs prélèvements. Malgré cette régularité, il n'y a pratiquement aucune corrélation entre les deux types de résultats. On peut seulement noter que les comptages les plus élevés du prélèvement nasal correspondent généralement aux comptages les plus élevés du Casella (Tableau 1). Comme nous l'avons déjà dit, l'appareil de prélèvement individuel et les narines prélèvent dans des volumes voisins mais non communs, d'où une possibilité de résultats différents si la source de contamination est ponctuelle, et donc très limitée dans l'espace.

TABLEAU 1  
Comparaison des comptages Kleenex-Casella. Résultats en picocuries.

|         |       |       |     |     |     |     |     |     |     |    |    |    |     |    |     |
|---------|-------|-------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|----|----|----|-----|----|-----|
| Kleenex | 1 914 | 1 300 | 414 | 276 | 251 | 184 | 141 | 120 | 102 | 94 | 80 | 80 | 74  | 69 | 65  |
| Casella | 46    | 650   | 52  | 58  | 36  | 24  | 22  | 104 | 36  | 34 | 42 | 0  | 190 | 42 | 164 |

La comparaison lors des cas d'incidents est intéressante, car l'on dispose, grâce au comptage des fèces des trois premiers jours, d'une donnée indiscutable sur la réalité et l'importance de la contamination. Cette comparaison avec les résultats du prélèvement individuel montre une certaine concordance, meilleure que dans le cadre de la surveillance de routine.

L'examen des fèces porte sur les trois jours qui suivent la contamination. Il est particulièrement intéressant car il contient la totalité de ce qui a été déposé dans le tractus respiratoire supérieur. Il renferme également le dépôt trachéobronchique, ainsi que 40% du dépôt alvéolaire (Tableau 2). L'excrétion fécale est beaucoup plus importante que l'excrétion urinaire. Celle-ci ne représente en effet qu'une faible fraction de la quantité de radioéléments présents dans le sang. Elle est, de ce fait, moins représentative que l'excrétion fécale d'une contamination respiratoire.

TABLEAU 2  
Épuration des voies respiratoires après contamination radioactive\* (granulométrie 1 µm).

| Dépôt pulmonaire | %  | Épuration %   |           |      |                 |                                       |
|------------------|----|---------------|-----------|------|-----------------|---------------------------------------|
|                  |    | Tube digestif | Ganglions | Sang | Période (jours) | Fèces des 3 premiers jours            |
| Exhalés          | 25 |               |           |      |                 |                                       |
| Naso-pharynx     | 42 | 99            |           | 1    | 1/10            | 50 à 60%<br>de la quantité<br>inhalée |
| Trachée-bronches | 8  | 99            |           | 1    | 1/4             |                                       |
|                  |    | 40            |           |      | 1               |                                       |
| Alvéoles         | 25 | 40            |           |      | 10 à 500        |                                       |
|                  |    |               | 20        | 100  | 10 à 500        |                                       |

\* Ce modèle de l'épuration pulmonaire n'est valable que pour une contamination respiratoire par des radioéléments non transférables.

Une première comparaison a été faite entre les prélèvements par "drapeau" pratiqués avant 1974 et les examens de fécès. L'ancienne méthode de prélèvement narinaire était susceptible de donner des résultats négatifs malgré des excréctions fécales très positives.

Une deuxième comparaison des résultats du prélèvement par mouchage avec ceux de l'excrétion fécale montre aussi des prélèvements négatifs au niveau des narines, avec des fécès contaminées, mais la distorsion dans les résultats est beaucoup moins importante qu'avec l'ancienne méthode.

Par contre, en cas de prélèvement nasal positif, il y a une bonne corrélation dans 84% des cas. Ainsi un prélèvement négatif du mucus nasal ne signifie pas que le sujet n'a pas été contaminé, mais il y a de fortes chances pour que la contamination, si elle existe, soit faible, un prélèvement positif doit faire suspecter fortement une contamination respiratoire.

Cette étude a porté uniquement sur les prélèvements quotidiens. Le but recherché était surtout de voir si les résultats positifs étaient plus fréquents en fin de semaine. Cette hypothèse ne s'est pas avérée exacte.

Si on étudie l'ensemble des résultats positifs aucun pic n'est mis en évidence, par contre, si l'on ne s'intéresse qu'aux comptages supérieurs à 10 pCi (Tableau 3) on remarque un maximum très net pour le mercredi. Il représente en moyenne 25% des comptages supérieurs à 10 pCi, phénomène d'autant plus frappant que le jeudi est le jour le plus faible avec 15%. L'explication n'est pas évidente, il se pourrait que ce maximum corresponde au jour où sont effectués les travaux présentant le plus grand risque de contamination.

TABLEAU 3  
Répartition journalière des résultats (%) positifs (A) et des résultats positifs > 10 pCi (B).

| Jour     | 1974 |      | 1975 |      | 1976 |      | Total |      |
|----------|------|------|------|------|------|------|-------|------|
|          | A    | B    | A    | B    | A    | B    | A     | B    |
| Lundi    | 16,4 | 21,7 | 16,6 | 14,6 | 17,5 | 17,4 | 16,7  | 17,0 |
| Mardi    | 19,5 | 17,5 | 20,0 | 22,2 | 19,3 | 21,5 | 19,6  | 20,9 |
| Mercredi | 20,8 | 26,7 | 22,0 | 26,9 | 20,7 | 21,5 | 21,3  | 25,3 |
| Jeudi    | 22,8 | 10,0 | 21,1 | 17,9 | 21,3 | 17,4 | 21,5  | 15,9 |
| Vendredi | 21,6 | 24,2 | 20,3 | 18,4 | 21,3 | 22,2 | 20,9  | 20,9 |

La période d'épuration a pu être évaluée à partir des incidents. Elle est actuellement fixée à 50 jours pour le plutonium 238, mais certains cas ont donné l'impression qu'elle pouvait être plus courte.

Les incidents retenus pour cette étude ont au minimum trois prélèvements étalés dans le temps. Aucune contamination n'a eu lieu entre les prélèvements. Les agents choisis manipulent le même radioélément dans des conditions identiques. De cette façon, on peut penser que les aérosols inhalés ont sensiblement la même granulométrie.

La période radioactive est pratiquement, dans tous les cas, comprise entre 40 et 60 jours, donc tout à fait en accord avec la période prise pour les calculs théoriques des doses engagées (Fig. 5 et 6).

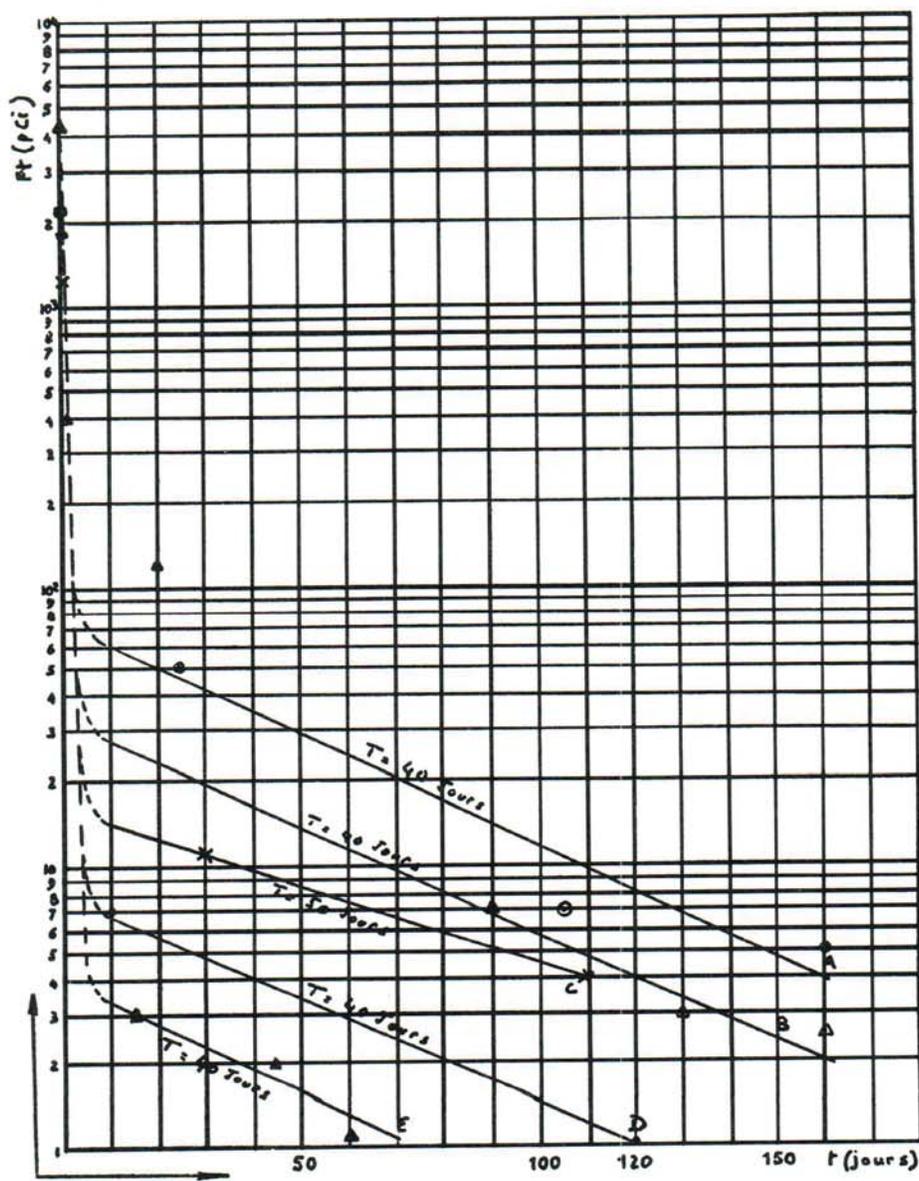


FIG. 5—Excretion fécale pour 5 incidents.

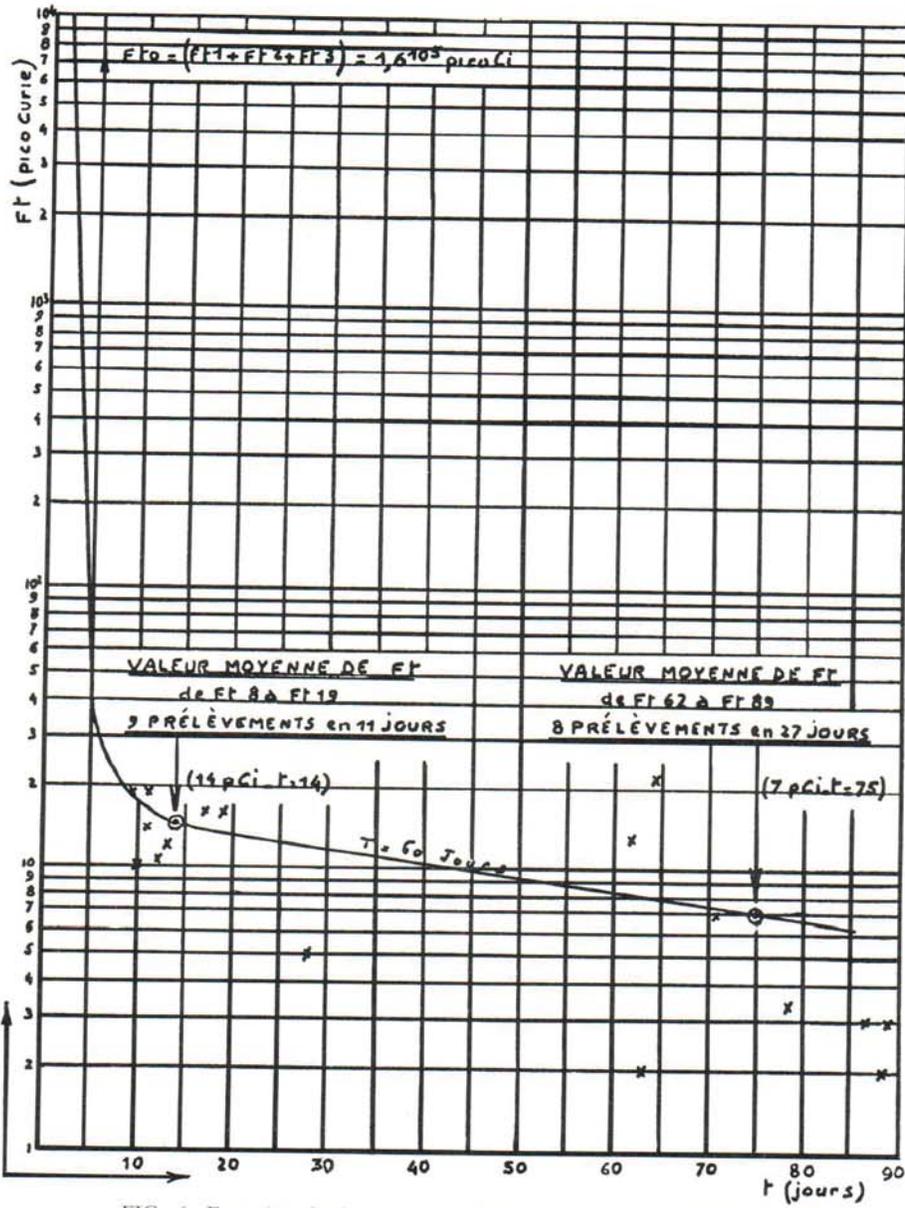


FIG. 6—Excretion fécale a la suite d'une contamination importante.

En conclusion, on peut donc dire que le bilan de ces trois années d'utilisation du prélèvement du mucus nasal comme moyen de surveillance est très favorable à sa mise en place définitive.

Les points essentiels sont: sa simplicité, sa fréquence quotidienne et sa valeur, déduite de la comparaison avec les résultats fécaux. C'est une méthode qui ne prétend pas en remplacer une autre, mais elle doit être confrontée avec les autres moyens de surveillance, notamment avec le prélèvement atmosphérique individuel. Ainsi, si on est alerté par un comptage de filtre anormalement élevé, le prélèvement nasal peut confirmer cette éventuelle contamination, en même temps qu'il en précisera le jour. Par contre, si on trouve d'emblée un prélèvement nasal très positif, la contamination est presque certaine et les autres examens doivent être mis en route pour la confirmer.

Ainsi, l'association de la méthode de prélèvement quotidien de mucus nasal au prélèvement atmosphérique individuel (Casella), apporte une amélioration très sensible à la surveillance du personnel exposé à l'inhalation des poussières radioactives. Elle permet de mieux cerner les contaminations ou même de dépister certains incidents mineurs moins bien détectés par les méthodes actuellement utilisées.