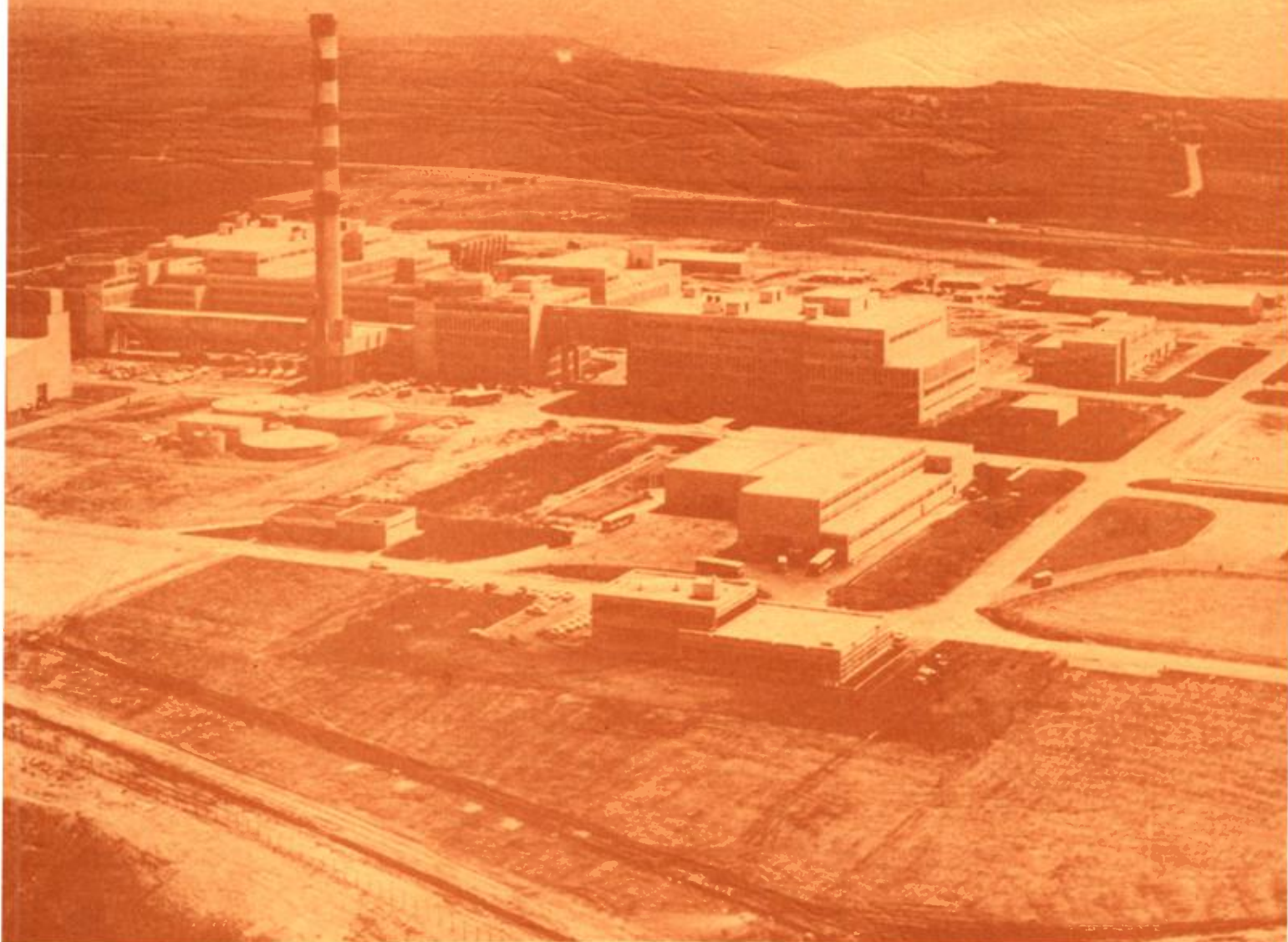


Informations

SURETE NUCLEAIRE

Laboratoires
Usines
Transports



**INFORMATION SURETE
LABORATOIRES - USINES
TRANSPORTS**

CE DOCUMENT EST DESTINE
A L'INFORMATION INTERNE DU C.E.A.
ET NE PEUT ETRE COMMUNIQUE
A L'EXTERIEUR

En couverture

La HAGUE

Usine UP2 Vue generale

SOMMAIRE

EDITORIAL	par Y. SOUSSELIER	1
ETUDES		
- Contrôle de l'efficacité des filtres à poussières	par J. PRADEL et J. DUPOUX	7
- Le principe de la double éventualité en sûreté-criticité	par L. MAUBERT	25
REGLEMENTATION		
- La réglementation des transports	par G. COHENDY	31
DOCUMENTATION		
- Gestion des déchets aux U.S.A.		43
- Documents reçus		45
COMPTES RENDUS D'INCIDENTS		
- Analyse, sur le plan de la sécurité, des accidents d'irradiation ou de contamination radioactive survenus au C.E.N.-SACLAY en 1973	par H. VIALETES et J.C. MOREAU	59
- Autre fuite à Hanford	par P. MANOUKIAN	69
ECHANGES		
- Enquête auprès des lecteurs		73

EDITORIAL

L'analyse des problèmes de sûreté a été tellement poussée à tous les stades du cycle du combustible nucléaire, les accidents - et même les incidents - ont été si peu nombreux qu'on a pu s'interroger sur l'utilité de ce "Bulletin de Sûreté Nucléaire". Cependant, les éditoriaux des premiers numéros ont bien souligné certains points d'intérêt et il n'est pas inutile de revenir sur ce sujet qui permet de mieux voir la contribution que ce bulletin peut apporter pour que soit maintenu le très haut niveau de sûreté.

Ce bulletin est un élément complémentaire d'information réciproque entre les trois Commissions qui éditent ce bulletin. Ces commissions ont des champs d'action bien définis, complémentaires mais distincts. Leurs travaux se complètent et elles sont souvent amenées à collaborer dans l'étude de certains dossiers de sûreté, mais elles pourraient souvent travailler très indépendamment. Leur travail les amène à analyser très en détail un domaine particulier et à l'examiner de leur point de vue propre et certes cette analyse est nécessaire, indispensable et on ne peut travailler autrement. Mais ceci peut être la source d'un certain risque dans le travail des commissions : d'être trop polarisées sur leur propre point de vue. Essayer de prendre aussi celui des autres - sans bien sûr que cela veuille dire se substituer à elles- réfléchir à l'expérience des autres, à leur façon d'analyser un problème ne peut être qu'un facteur supplémentaire pour assurer la validité de ses propres études, de sa propre analyse.

Ce bulletin peut aussi être un facteur permettant d'éviter la routine. On sait que c'est le principal écueil à éviter et que c'est peut-être même le seul risque qui soit un peu à craindre. Les mesures de sécurité sont si strictes, les analyses des problèmes si poussées qu'elles ne laissent pratiquement aucune probabilité à ce qu'un accident arrive mais à condition que les consignes continuent non seulement d'être appliquées mais étudiées et remises à jour avec la même rigueur. Le développement considérable de l'énergie atomique et le fonctionnement sans incidents des installations - grâce justement à des mesures de sécurité adéquates - peut conduire à une certaine routine dans les études de sûreté, à une certaine automatisation dans l'établissement des dossiers et des autorisations. La meilleure façon de pallier ce risque est certainement une réflexion continuelle, une remise à jour constante - la multiplication des échanges et des informations - assurée par ce bulletin concourt à cet objectif.

Ce bulletin peut aussi être un stimulant d'imagination. Les résultats obtenus démontrent bien qu'on a réussi jusqu'à maintenant à tout préciser. Si on veut encore accroître la sûreté, il reste à prévoir l'imprévisible, à imaginer l'inimaginable. Il faut faire preuve d'imagination pour pouvoir être sûr d'avoir décelé et étudié toutes les causes possibles d'incident. Dans les domaines de sûreté industrielle classique non nucléaire, ce sont surtout les accidents et l'étude de leurs causes qui font progresser cette sûreté. Dans l'énergie nucléaire, où il n'y a eu jusqu'à présent pratiquement pas d'accident et même très peu d'incidents, il n'en faut que davantage examiner et réfléchir à tout ce qui a risqué de se produire et faire preuve pour cela de beaucoup d'imagination, étudier avec beaucoup d'attention aussi les domaines voisins de ceux sur lesquels on travaille.

Tout ceci n'est d'ailleurs que des aspects différents d'une même idée : faire travailler son imagination permet d'éviter la routine, éviter celle-ci permet d'empêcher d'être entraîné vers une première étape de diminution de la sûreté et un moyen d'arriver à l'éviter est de renforcer

ses connaissances, ce qu'on obtient en particulier par l'échange d'informations qui permet de faire travailler son imagination.

Tout ceci ne veut-il pas dire qu'on ne peut arriver à un haut niveau de sûreté et à s'y maintenir que par un effort et un travail continu et ce bulletin est à la fois une preuve que nous l'avons fait jusqu'ici et un gage que nous continuerons à le faire dans l'avenir.

Y. SOUSSELIER

Etudes

CONTROLE DE L'EFFICACITE DES FILTRES A POUSSIERES

1 - MECANISMES DE LA FILTRATION

EFFICACITE MINIMALE D'UN FILTRE

J. PRADEL et J. DUPOUX (*)

I - INTRODUCTION

Les filtres à poussières qui épurent l'air extrait des enceintes ou des locaux sont un élément important dans la sûreté d'une installation. Or, la qualité de ces filtres peut se trouver réduite, parfois dans de grandes proportions, par des causes multiples : éléments défectueux, montage incorrect, détériorations consécutives au colmatage, etc ... Il apparaît donc nécessaire d'assurer le contrôle systématique des filtres installés. En outre, afin d'éliminer les éléments défectueux avant leur montage et de distinguer les défauts de l'élément de ceux du montage tout en améliorant la sensibilité des mesures, on doit contrôler les éléments eux-mêmes. Enfin, pour des raisons analogues, il est souhaitable de contrôler le papier filtre qui est le principal constituant de l'élément. On est donc amené à contrôler diverses caractéristiques des filtres comme la perte de charge, le colmatage, la tenue à la flamme, à l'air chaud et aux aérosols liquides, la résistance mécanique, l'efficacité, etc ...

(*) Service Technique d'Etudes de Protection et de Pollution Atmosphérique.

La caractéristique la plus importante est l'efficacité car c'est elle en définitive qui doit être conservée lorsque le filtre est exposé à la flamme, à l'air chaud, à la pression, etc ... C'est pourquoi, deux articles successifs seront exclusivement consacrés aux mesure de cette caractéristique.

II - RAPPEL SUR L'EFFICACITE D'UN FILTRE

II.1 - DEFINITIONS

Pour exprimer l'efficacité d'un filtre vis-à-vis d'un aérosol donné, on considère trois quantités :

- a) la quantité d'aérosol incidente,
- b) la quantité d'aérosol retenue par le filtre,
- c) la quantité d'aérosol émergente.

A partir de ces trois quantités dont la première est la somme des deux autres, on peut exprimer trois rapports :

- 1) Le rendement (ou pouvoir d'arrêt) qui est le rapport de la quantité d'aérosol retenue par le filtre à la quantité d'aérosol incidente.
- 2) La perméabilité (ou perméance) qui est le rapport de la quantité d'aérosol émergente à la quantité d'aérosol incidente.
- 3) Le coefficient d'épuration (ou coefficient de dépoussiérage) qui est le rapport de la quantité d'aérosol incidente à la quantité d'aérosol émergente.

On voit que rendement + perméabilité = 1
et que perméabilité = $\frac{1}{\text{coefficient d'épuration}}$

Lorsque le terme "efficacité" désigne la grandeur caractéristique, il peut indifféremment être synonyme de "rendement" ou de "coefficient d'épuration".

Des trois rapports caractéristiques définis ci-dessus, rendement, perméabilité, coefficient d'épuration, le premier, quoique le plus usité, est le moins significatif, surtout pour exprimer une efficacité élevée.

Soit, par exemple, deux filtres dont l'un a un rendement de 98 % et l'autre un rendement de 99,95 %. La comparaison des deux rendements ne permet pas de mettre en évidence le fait que le deuxième est 40 fois plus efficace que le premier puisqu'il laisse passer 40 fois moins d'aérosol, ce qui apparaît immédiatement à la comparaison des coefficients d'épuration, respectivement 50 et 2 000.

Il est bien évident que ces rapports n'ont aucune signification si on ne précise pas l'aérosol pour lequel ils ont été déterminés et le principe de mesure de cet aérosol, c'est-à-dire si on n'indique pas la méthode d'essai employée.

II.2 - CARACTERISATION DES METHODES DE MESURES D'EFFICACITE

Une méthode de mesure d'efficacité est donc principalement caractérisée par un aérosol d'essai et par le procédé de mesure des quantités d'aérosol.

A priori, on peut penser que l'aérosol serait bien défini par sa nature, son spectre granulométrique et sa concentration. En pratique, cette définition est difficile et généralement insuffisante. Il est plus satisfaisant d'indiquer la source de l'aérosol (poussières, solution ou suspension) et de décrire le dispositif de génération.

De même, il ne suffit généralement pas d'indiquer le principe de mesure des quantités d'aérosol (mesure en nombre de particules, mesure en masse ou mesure de toute autre grandeur liée à la quantité d'aérosol), il faut en outre préciser l'appareillage utilisé.

Il existe des méthodes dont les aérosols d'essai sont du même type, mais qui diffèrent par leurs procédés de mesure, et d'autres méthodes qui appliquent le même procédé de mesure à des aérosols d'essai différents.

Le circuit d'essai est généralement constitué des éléments suivants :

- une section d'injection de l'aérosol d'essai,
- un dispositif d'homogénéisation amont (par exemple chambre de diffusion ou obstacle provoquant une turbulence),
- une section de prélèvement amont,
- un caisson destiné à recevoir le filtre à contrôler,
- un dispositif d'homogénéisation aval,
- une section de prélèvement aval,
- un ventilateur de circulation,
- des accessoires tels que débitmètre et vannes.

II.3 - PRINCIPALES METHODES DE MESURE DE L'EFFICACITE DES FILTRES A HAUTE EFFICACITE (*)

Ces méthodes sont résumées dans le tableau ci-après.

De nombreux rapports ayant été publiés sur ces diverses méthodes, il n'est pas de notre intention dans cet article de les comparer, mais de voir le rôle que joue la vitesse de filtration et la dimension des particules constituant l'aérosol dans le phénomène d'épuration. Plus précisément, on va montrer qu'il existe des valeurs particulières de ces deux paramètres pour lesquelles l'efficacité d'un filtre est minimale.

III - MINIMUM DE L'EFFICACITE D'UN FILTRE

III.1 - MECANISMES DE FILTRATION

L'épuration par une couche filtrante de l'air chargé de poussières n'a pas jusqu'alors fait l'objet d'une théorie complète vérifiable par l'expérience.

En effet, de nombreux facteurs jouent un rôle dans l'efficacité de ces couches filtrantes et ceux-ci sont souvent difficiles à mesurer.

(*) Nota : Seul le cas des filtres à haute efficacité est traité dans cet exposé.

PRINCIPALES METHODES DE MESURE DE L'EFFICACITE DES FILTRES A HAUTE EFFICACITE

Désignation de la méthode	Caractéristiques de l'aérosol d'essai		Procédé de génération Concentration	Principe de mesure	Type de filtre auquel la méthode s'applique
	Nature chimique Etat physique	Dimensions			
Au bleu de méthylène (G.B.)	Chlorure double de zinc et de méthylthionine solide.	0,02 à 2 μm	Pulvérisation de solution et évaporation. $0,5 \text{ mg/m}^3$	id.	Filtres à haute efficacité.
Au bleu de méthylène (F)	id.	moyenne : 0,1 μm	Pulvérisation de solution et évaporation. $30-45 \text{ mg/m}^3$	Photométrie sur solution de lavage des filtres de prélèvement.	id.
Au D.O.P. (U.S.A.)	Phthalate de dioctyle liquide.	0,3 μm (monodispersé)	Vaporisation et condensation. $50 \text{ à } 100 \text{ mg/m}^3$	id.	id.
Au spectrophotomètre à aérosols (F)	Acide stéarique solide	0,5 μm (monodispersé)	Pulvérisation liquide, vaporisation et condensation de l'ordre de 10 000 particules par cm^3 .	Spectrophotométrie sur l'aérosol (effet Tyndall).	Filtres à très haute efficacité.
Radioactive (D - U.S.A. - F)	Aérosol atmosphérique marqué au dépôt actif du radon.	$< 1 \mu\text{m}$	Balayage d'une source de radon par de l'air atmosphérique.	Radioactivité des filtres de prélèvement.	id.
A la flamme de sodium (G.B.)	Chlorure de sodium solide.	0,02 à 2 μm	Pulvérisation de solution et évaporation. 20 mg/m^3	Photométrie de flamme sur l'aérosol.	Filtres à haute efficacité.
A la fluoréscéine sodée (F)	Sel sodé de la fluoréscéine solide.	$< 0,5 \mu\text{m}$ moyenne : 0,15 μm	Pulvérisation de solution et évaporation. $0,2 \mu\text{g/m}^3 \text{ à } 2 \text{ mg/m}^3$	Fluorimétrie sur solutions de lavage des filtres de prélèvement.	Filtres à très haute efficacité.

On peut distinguer les facteurs attachés :

- à l'aérosol comme le facteur de forme, en particulier les dimensions, la masse volumique, les facteurs physico-chimiques comme l'état solide ou liquide, les états de charge électrique, etc ... ;
- au gaz porteur comme la viscosité cinématique, la vitesse de passage et la direction à travers la couche filtrante, la masse volumique, etc ... ;
- à la couche filtrante comme l'épaisseur et la densité de remplissage, le spectre granulométrique des fibres, les états de charge électrique, l'état de colmatage, etc ...

Enfin, le résultat de la mesure du coefficient d'épuration dépend de la méthode utilisée.

Seules des théories établies pour des systèmes simplifiés constitués de fibres unitaires ou d'un arrangement géométrique de fibres identiques, ou de couches filtrantes fines à pores, ont été établies (1) (2) (3) (4).

Il faut retenir que l'efficacité de captation résulte essentiellement des cinq mécanismes d'arrêt suivants :

- la sédimentation,
- la rétention par effets électrostatiques,
- l'arrêt par inertie,
- l'arrêt par diffusion,
- l'arrêt par interception.

En supposant que l'aérosol est constitué de fines particules sans charge et que les fibres du filtre en fonctionnement ne sont pas électriquement chargées, seuls les trois derniers mécanismes sont à prendre en considération. Ils conduisent au résultat global qui apparaît sur la figure 1, à savoir l'influence de la vitesse de filtration et de la dimension des particules sur l'efficacité. On constate que l'efficacité passe par un minimum pour des valeurs précises du couple vitesse de filtration et diamètre des particules.

III.2 - PRINCIPE DE L'EXPERIMENTATION

On a utilisé un aérosol de fluorescéine sodée $C_{20} H_{10} O_5 Na_2$ dont les particules sphériques de densité voisine de 1,5 ont des diamètres compris entre 0,03 et 0,3 micromètre. Le spectre granulométrique est représenté sur la figure 2.

La mesure par photométrie de flamme de la masse de sodium contenue dans chaque particule de l'aérosol permet, après un étalonnage préalable, de connaître la masse et le diamètre de cette particule.

Pour déterminer l'efficacité, on compte donc par intervalle de dimensions le nombre de particules en amont et en aval du filtre à contrôler.

III.3 - METHODE DE MESURE

III.3.1 - Banc d'essai

Le banc d'essai dont le schéma est représenté sur la figure 3 comprend :

- un circuit d'essai 1 avec air en pression et concentration stable de l'aérosol, comprenant un filtre d'entrée 2, un ventilateur 3, un filtre d'épuration 4 et deux points de prélèvement 5 et 6 ;
- un générateur d'aérosol de fluorescéine sodée 7 ;
- un porte-filtre 8 contenant le filtre à contrôler avec vanne de réglage de débit donc de la vitesse de filtration 9, compteur volumique de précision 10 et point de prélèvement en aval du filtre 11 ;
- un dispositif de dilution 12 raccordé au point de prélèvement 6 avec ventilateur 13 et filtre d'entrée 14 ;
- un compteur de particules 15 qui est un spectrophotomètre de flamme.

III.3.2 - Mesure du nombre et de la dimension des particules de l'aérosol

Les prélèvements en amont (12) et en aval (11) du filtre à contrôler sont faits par un compteur de particules du type SM 16716 fabriqué par la société allemande SARTORIUS. Il s'agit d'un spectrophotomètre de flamme. L'aérosol de fluorescéine sodée est envoyé dans une flamme provenant de la combustion d'un mélange air-hydrogène. Pour chaque particule portée à la température de $2\ 100^{\circ}\text{ K}$, il y a émission de lumière qui est proportionnelle à la masse de sodium contenue dans la particule. Cette lumière est captée, après sélection par un filtre interférentiel, par un photomultiplicateur. Celui-ci délivre alors une impulsion de tension qui est classée selon son amplitude dans un dispositif de comptage à 10 intervalles de mesure. L'appareil est étalonné avec des particules monodispersées de fluoréscéine sodée. Pour ces particules sphériques le diamètre minimal mesurable est égal à 0,06 micromètre.

La figure 7 représente le banc d'essai avec générateur d'aérosol et compteur de particules.

III.4 - PAPIERS FILTRES CONTROLES

On a mesuré en fonction de la vitesse de filtration et de la dimension des particules, l'efficacité de deux papiers filtres utilisés par les industriels français pour la fabrication des filtres absolus. Il s'agit :

- du papier type rose constitué de fibres d'alfa et d'amiante, fabriqué par la société BERNARD DUMAS et utilisé entre autres par la société AIR INDUSTRIE ;
- du papier à fibres de verre type X 1039 fabriqué par la société américaine DEXTER et utilisé notamment par la société SOFILTRA.

III.5 - RESULTATS

Les résultats se trouvent sur les figures 5 et 6.

III.6 - CONCLUSIONS

III.6.1 - Minimum de l'efficacité

L'efficacité est minimale pour un diamètre de particules de fluor-escéine sodée de l'ordre de 0,1 à 0,15 micromètre. Dans cet intervalle, l'efficacité dépend peu de la dimension des particules. Plus la vitesse de filtration est élevée, plus le minimum a lieu pour des petits diamètres de particules. On peut donc dire que pour les vitesses de filtration généralement utilisées, le contrôle de l'efficacité des filtres le plus sévère a donc lieu pour de telles dimensions des particules et non pas pour un diamètre de 0,3 micromètre comme cela a été signalé. Une conclusion identique a été trouvée par J. DYMENT (5). Il faut noter au passage que l'efficacité dépend notablement de la vitesse de filtration.

III.6.2 - Minimum de l'efficacité pour un autre aérosol

On a, par la même méthode de spectrophotométrie de flamme, mesuré la variation de l'efficacité en fonction de la dimension des particules et de la vitesse de filtration du papier filtre à fibres d'amiante fabriqué par la société BERNARD DUMAS en avril 1973, en employant un aérosol de chlorure de sodium émis par le même générateur et dont la répartition granulométrique se trouve sur la figure 7. On a utilisé cet aérosol car le rendement de photométrie de flamme étant plus élevé avec cet aérosol, on peut compter des particules cubiques dont l'arête est égale à 0,02 micromètre et ainsi mieux mettre en évidence le rôle joué par la diffusion dans l'arrêt des particules. Les résultats se trouvent sur la figure 8. La dimension de chaque particule est la longueur de l'arête du cube. On observe que le minimum de l'efficacité a lieu pour des dimensions de particules de 0,07 à 0,12 micromètre. Si l'on tient compte du fait que le diamètre d'une particule sphérique "équivalente" à une particule cubique, c'est-à-dire pour laquelle le pouvoir d'arrêt est le même, est égal à environ 1,4 fois l'arête du cube de la particule cubique (5), le minimum de l'efficacité du papier filtre pour les particules sphériques se produit pour des diamètres de particules compris entre 0,1 et 0,15 μm .

Qu'il s'agisse donc de particules de chlorure de sodium ou de fluorescéine sodée, le minimum de l'efficacité a lieu pour un diamètre de particules de l'ordre de 0,15 micromètre.

III.6.3 - Minimum d'efficacité pour des particules de densité élevée

Dans le cas des installations nucléaires, il s'agit parfois de retenir sur le filtre des particules de densité élevée comme par exemple les oxydes d'uranium et de plutonium.

La théorie pour des systèmes simplifiés prévoit que, toutes choses étant égales par ailleurs (même vitesse de filtration, même diamètre de particules, filtre identique) l'arrêt par inertie de ces particules va augmenter de sorte que d'une part l'efficacité globale résultant des trois mécanismes déjà décrits va augmenter et d'autre part que le minimum va se déplacer dans le sens des diamètres décroissants.

On en conclut donc que la mesure de l'efficacité d'un filtre faite avec un aérosol étalon constitué de particules de densité de l'ordre de 1,5 et d'une dimension voisine de 0,15 micromètre va dans le sens de la sécurité maximum.

Il est prévu de vérifier expérimentalement la théorie sur une série de filtres industriels.

III.6.4 - Importance du spectre granulométrique de l'aérosol dans le choix d'une méthode de mesure de l'efficacité des filtres

L'expérimentation de laboratoire qui vient d'être décrite a donc montré l'intérêt d'utiliser pour la mesure de l'efficacité des filtres à poussières un aérosol, soit constitué de particules d'un diamètre de 0,15 micromètre, soit dont le spectre granulométrique comporte un pourcentage élevé de petites particules conduisant à un diamètre médian volumique de 0,15 micromètre. C'est précisément le cas de l'aérosol polydispersé de

fluorescéine sodée, celui-là même utilisé pour des raisons pratiques dans l'expérimentation, mais qui en fait, est utilisé au C.E.A. pour le contrôle des filtres à haute efficacité et dont la méthode de génération et de mesure a fait l'objet de la norme AFNOR NFX 44 011.

Il était donc intéressant de comparer les résultats de mesures d'efficacité effectuées dans les mêmes conditions (mêmes vitesses de filtration, papiers filtres de même type) avec cet aérosol pour lequel on mesure par fluorimétrie la masse totale des particules en amont et en aval du filtre, à ceux trouvés dans l'expérimentation décrite dans ce rapport pour des particules d'une dimension voisine de 0,15 micromètre.

Une identité de résultats a été trouvée de sorte que l'on peut affirmer que la méthode normalisée (NFX 44 011) est un test des plus sévères.

Il est prévu dans un second article de décrire en détail cette méthode et d'exposer les raisons supplémentaires (grande sensibilité, absence de colmatage des filtres contrôlés, utilisation aux divers stades de fabrication et d'utilisation des filtres, ...) qui l'ont fait choisir.

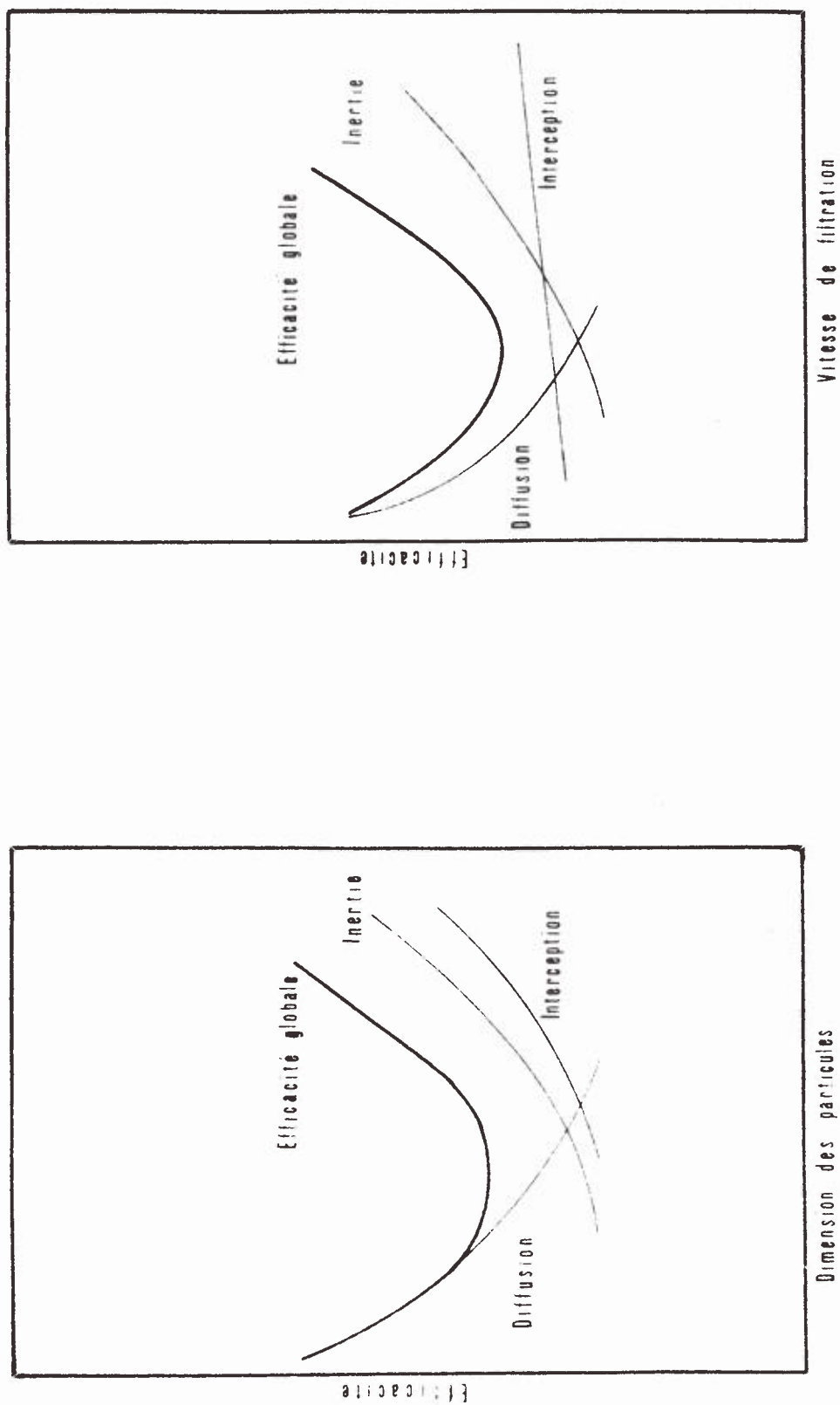


Figure 1

Variation théorique de l'efficacité d'une couche filtrante en fonction de la dimension des particules et de la vitesse de filtration.

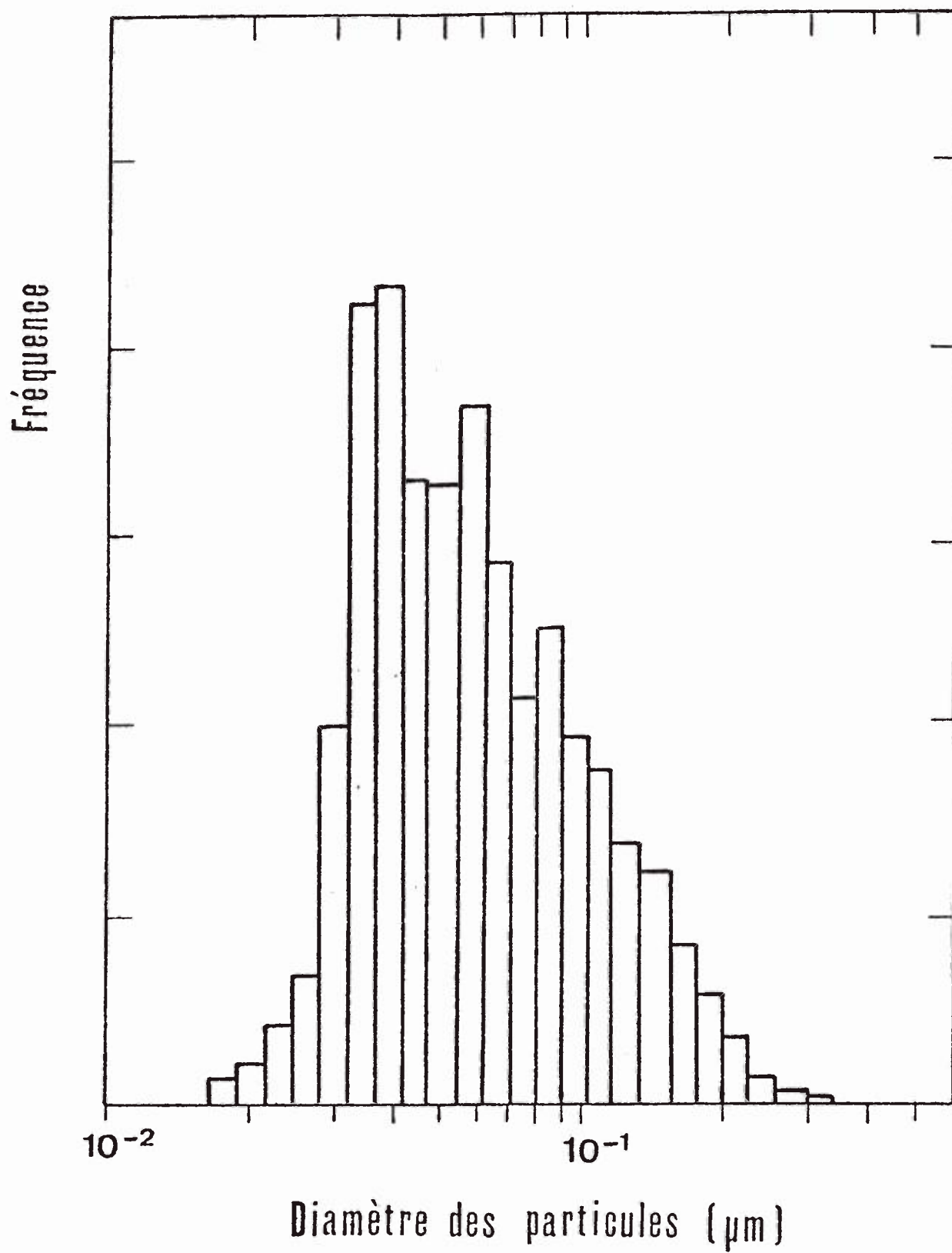


Figure 2

Spectre granulométrique de l'aérosol de fluorescéine
sodée (uranine)

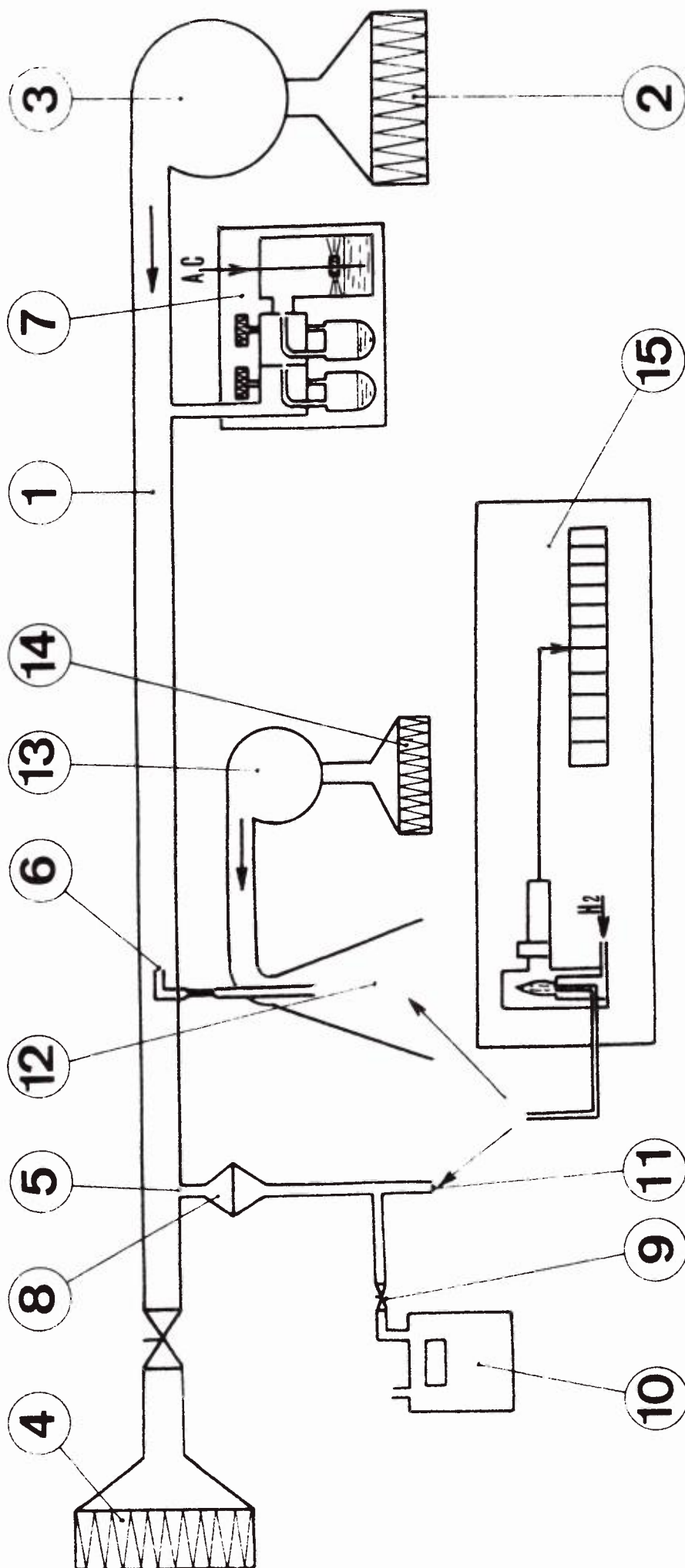


Figure 3
Banc d'essai

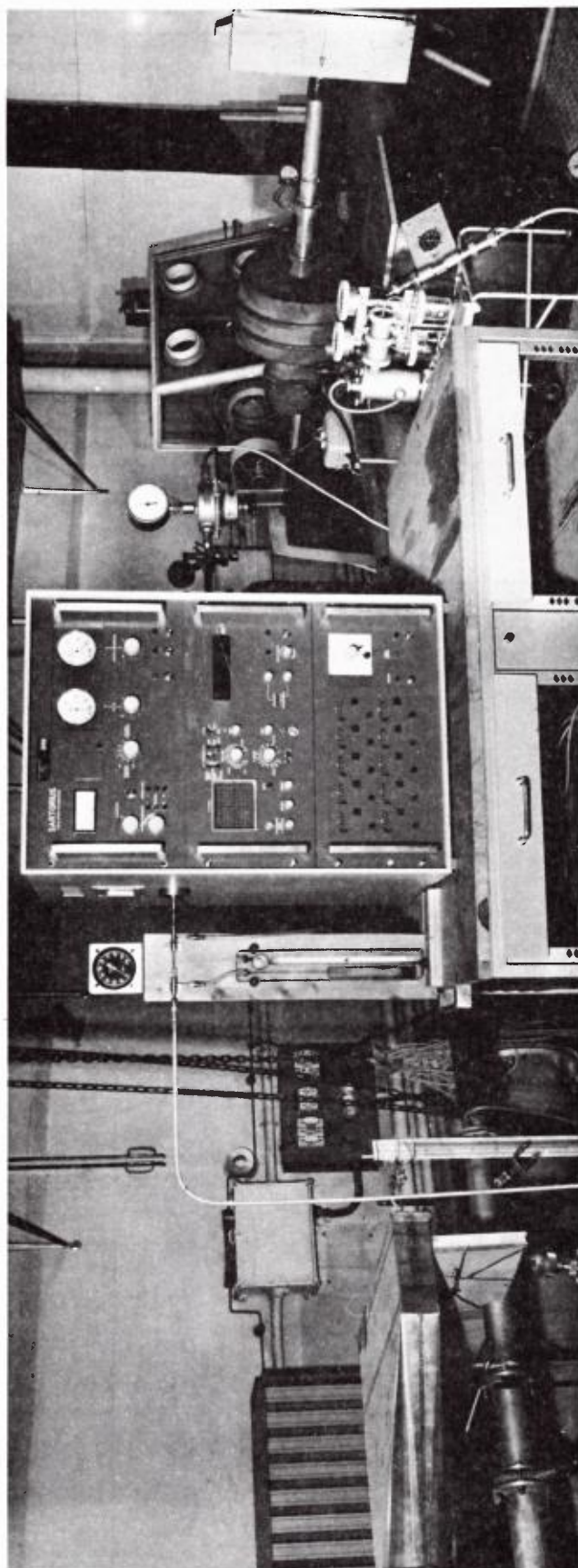


Figure 4

Banc d'essai avec générateur de fluorescéine sodée et compteur de particules Sartorius

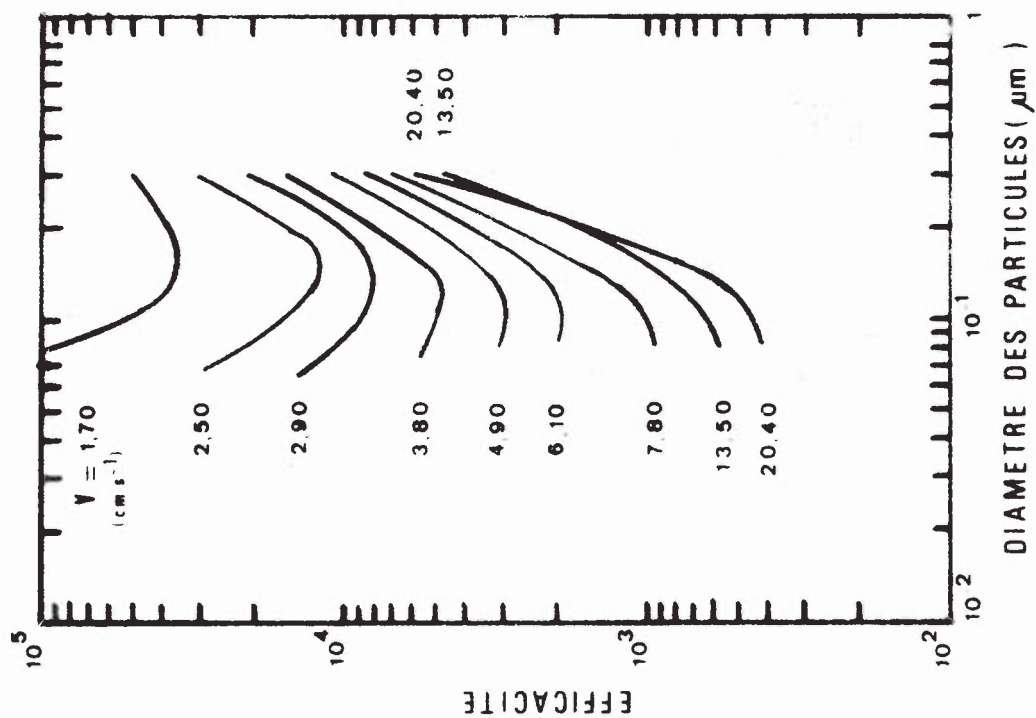


Figure 5

Efficacité à la fluorescéine sodée d'un papier filtre BERNARD DUMAS type rose

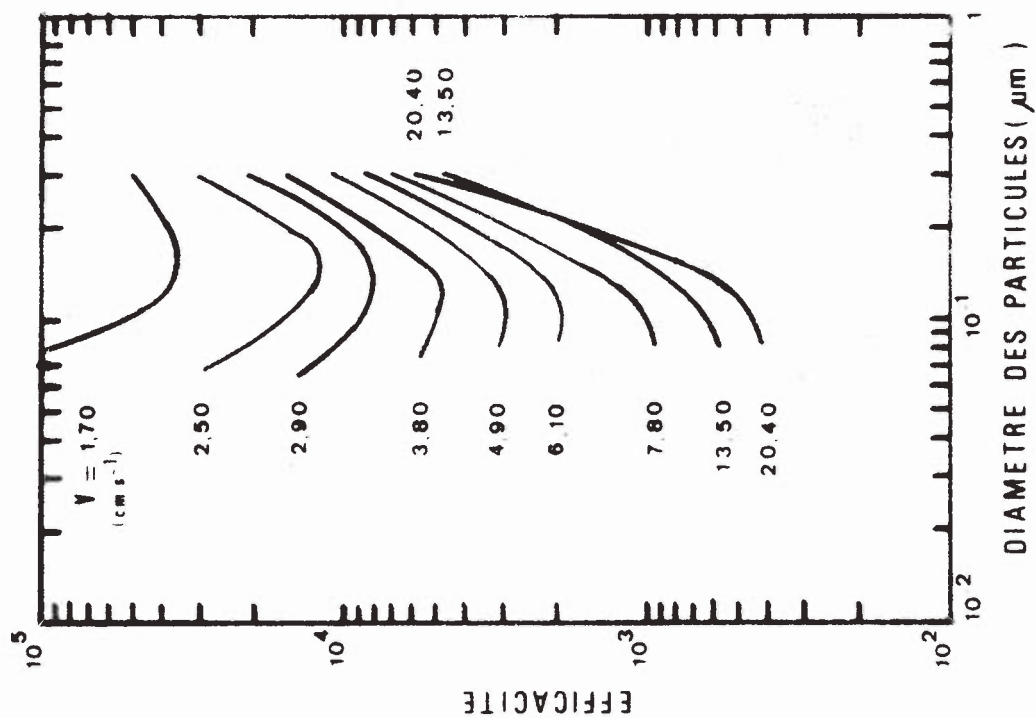


Figure 6

Efficacité à la fluorescéine sodée du papier filtre Dexter type X 1039

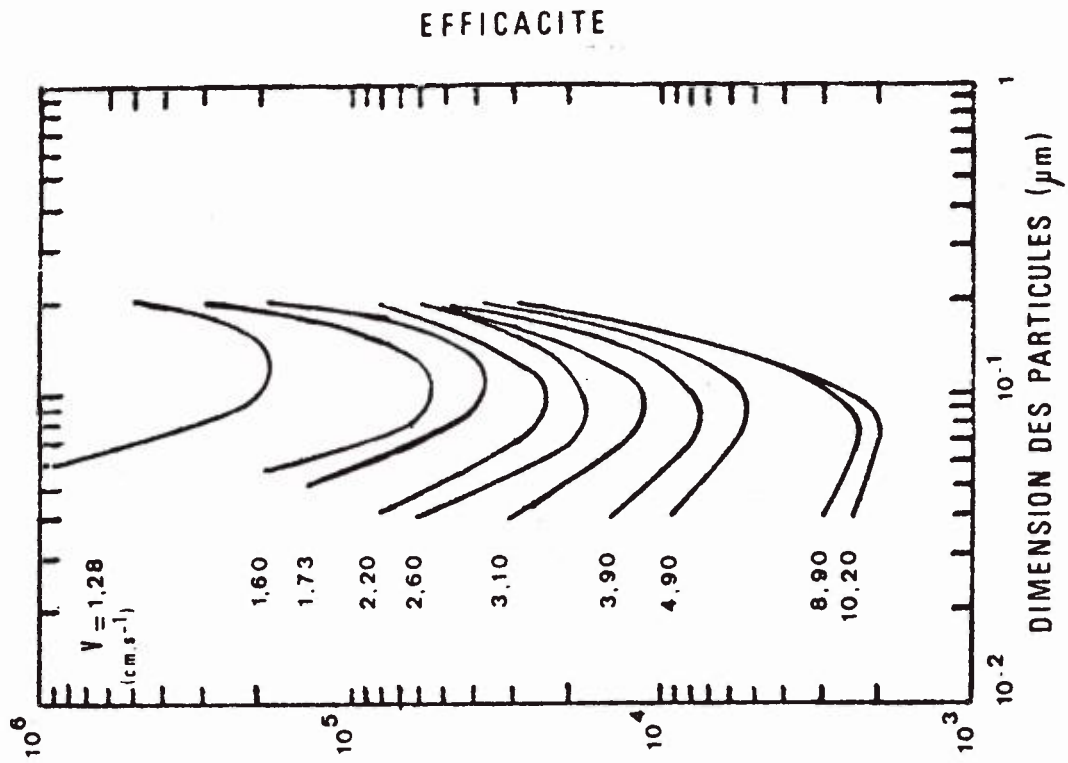


Figure 8

Efficacité à l'aérosol de chlorure de sodium du papier filtre BERNARD DUMAS à fibres d'amiant

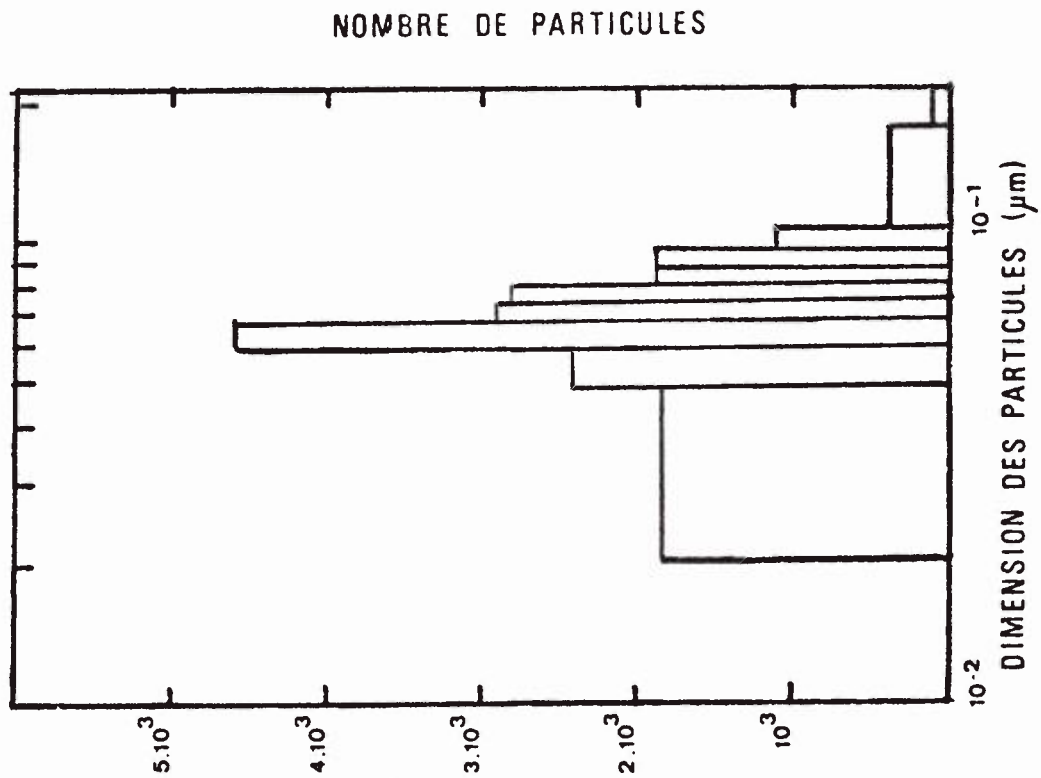


Figure 7

Spectre granulométrique de l'aérosol de chlorure de sodium

BIBLIOGRAPHIE

- (1) - R.G. DORMAN (1966) "Filtration", Aerosol Science, edited by C.N. DAVIES, Academic Press London, Chapter 8.
- (2) - N.A. FUCHS (1964), The mechanics of aerosols, Pergamon Press, New York.
- (3) - H.L. GREEN, W.R. LANE (1964), Particulate clouds, dusts, smokes and mists, E. and F.N. SPON Ltd, London, Chapter 7.
- (4) - J. PICH (1966), Theory of aerosol filtration by fibrous and membrane filters, Aerosol Science, Edited by C.N. DAVIES, Academic Press London, Chapter 9.
- (5) - J. DYMENT (1969), The penetration of glass fibre media by aerosols as a function of particule size and gaz velocity, UKAEA, AWRE Report N° 05/69.

LE PRINCIPE DE LA DOUBLE EVENTUALITE EN SURETE-CRITICITE

L. MAUBERT (*)

Avec la découverte de la réaction de fission en chaîne vers 1940, l'industrie nucléaire s'est trouvée en face de risques potentiels nouveaux et mal connus qui s'ajoutaient aux autres risques classiques mécaniques et chimiques. Il semblait alors que ce risque nucléaire pouvait présenter des conséquences incalculables et les responsables mondiaux ont eu la sagesse d'imposer de tout mettre en oeuvre pour éliminer pratiquement tout incident.

Il faut noter que, depuis, de nombreuses études théoriques et expérimentales ont permis d'avoir une connaissance relativement précise, des phénomènes de divergence, des conséquences d'un accident de criticité et des dégâts biologiques créés par une irradiation externe ou interne. (Rappelons qu'un accident de criticité est une réaction en chaîne incontrôlée se produisant accidentellement dans une installation contenant de la matière fissile).

Il est bien évident que la sûreté absolue n'existe pas ; dans l'étude de la prévention en matière de criticité (analyse de sûreté-criticité) où doit-on se limiter ? La réponse est donnée par le principe fondamental de la double éventualité qui s'énonce ainsi : On doit concevoir un système contenant un matériau fissile de façon telle que, pour qu'un accident critique soit possible sinon probable, il faudrait que deux éventualités au moins indépendantes et improbables se produisent simultanément. (Une défaillance humaine peut être rarement considérée comme

* Département de Sûreté Nucléaire
Service d'Etudes de Criticité.

une éventualité improbable).

Cet énoncé apparaîtra, pour un mathématicien ou un staticien, trop qualitatif. Est-ce souhaitable et possible qu'il soit formulé en termes de probabilités ? Par exemple : on doit concevoir un système contenant un matériau fissile de façon telle que la probabilité d'un accident critique soit inférieure à 10^{-12} . Ce serait sans aucun doute souhaitable car plus satisfaisant pour l'esprit, mais il resterait à fixer arbitrairement la limite supérieure de probabilité.

Mais est-ce bien possible ? Il semble, actuellement, extrêmement difficile de chiffrer les probabilités d'événements retenus en sûreté-criticité ; en effet, on ne possède pas de données statistiques suffisantes pour les multiples appareillages des installations étudiées et, de plus, le facteur humain a son importance.

La question est posée mais elle n'a pas encore reçu de réponses probantes et satisfaisantes ; un débat entre tous les intéressés serait peut-être fructueux.

Donnons un exemple pour illustrer l'application du principe de la double éventualité.

On considère deux milieux, l'un fissile l'autre aqueux, séparés par deux parois distinctes, tels que le passage du milieu aqueux dans le milieu fissile ou réciproquement pourrait conduire à un accident de criticité. C'est le cas, dans une usine de diffusion gazeuse, des échangeurs ou des cristallisoirs constitués par un faisceau de doubles-tubes à l'intérieur desquels circule de l'eau comme fluide caloporteur et à l'extérieur desquels se trouve le circuit procédé UF_6 . Le percement simultané des deux tubes constituant deux "parois indépendantes" est une hypothèse hautement improbable relevant du principe de la double éventualité ; cette hypothèse n'est donc pas retenue dans l'étude de la sûreté-criticité.

Par contre, le percement non simultané des deux tubes est plus probable ; aussi, pour respecter le principe de la double éventualité, il est nécessaire de pouvoir contrôler l'espace intermédiaire entre les deux tubes (par exemple, en remplissant cet espace d'azote et en faisant un contrôle de pression) ; en effet, dans ce cas, pour qu'il y ait passage d'eau dans l'UF₆ ou réciproquement il faudrait qu'il y ait simultanément défaut du contrôle de la chambre intermédiaire et percement du second tube.

Une double paroi avec contrôle de l'espace intermédiaire relève donc du principe de la double éventualité.

L'application de ce principe est parfois délicate, elle nécessite une analyse très approfondie des événements qui doivent être démontrés notamment indépendants.

S'il peut être souhaitable que le principe de la double éventualité soit un jour énoncé en termes de probabilité, il n'en demeure pas moins, à mon avis, qu'il doit être dès à présent accepté sans réserve car sinon il n'y aurait pas de limite dans l'analyse de sûreté-criticité.

Réglementation

LA REGLEMENTATION DES TRANSPORTS

MAIS C'EST TRES SIMPLE

(3ème Episode)

G. COHENDY (*)

Dans le premier article, nous avons tenté de percer à jour les mystères (apparents) de la systématique du Règlement de Transport des Matières Dangereuses et nous avons montré que les matières radioactives (classe IV.b) n'en constituaient qu'une fraction, s'insérant dans un ensemble tout à fait général.

Le second article prétendait examiner attentivement les "généralités" de l'article 790, généralités précédant le titre I consacré, pour quelque matière dangereuse que ce soit, à l' "énumération des matières".

Dans le cas de la classe IV.b d'ailleurs, il s'agit plus exactement de matières et objets, un nota approprié définissant de façon point trop ésotérique ce qu'il faut entendre par "objets".

Suit le tableau proprement dit des "matières et objets de la présente classe IV.b", tableau qui mérite quelques pages de commentaires. Auparavant, il est toutefois indispensable de préciser que ces commentaires revêtiront un caractère résolument futuriste, en ce sens

* Secrétaire de la Commission de Sûreté des Transports.

qu'ils concernent, non pas le tableau de l'actuel règlement, mais bien celui qui, découlant des dernières recommandations de l'A.I.E.A., figure dans le futur règlement, lequel n'est pas encore paru au Journal Officiel pour des raisons indépendantes de notre volonté. Mais cela ne saurait tarder, selon la formule consacrée. En ce qui concerne la philosophie de la conception proprement dite de ce tableau, il n'y a d'ailleurs rien de changé. Pour ce qui est de son contenu, le tableau des matières et objets est essentiellement modifié par :

1 - un nouveau mode d'expression et de détermination des limites d'activité. Les lecteurs qui ont eu le courage de lire les pages 15 à 19 du numéro 190 du B.I.S.T. sont déjà au fait de la question. Pour les autres, et en se référant à l'article du précédent bulletin "Informations Sûreté Nucléaire" (haut de la page 25), nous dirons simplement qu'il a été déterminé, pour chaque radionucléide, une valeur A_2 qui correspond à la quantité de ce radionucléide sous forme dispersable qui peut être accidentellement répandue sans qu'il n'en résulte de conséquences graves pour la population. Une valeur analogue A_1 est affectée à chaque radionucléide sous forme spéciale (c'est-à-dire sous forme non aisément dispersable), le risque à prendre en considération étant alors l'irradiation externe, et non pas l'ingestion.

2 - l'adjonction d'un nouveau groupe, divisé en deux sous-groupes, concernant les matières solides de faible activité (en pratique, il s'agit des déchets solides).

Ceci précisé, la clé de voûte du tableau est justement A_2 (et A_1 , mais dans un but de simplification dont le lecteur devrait nous être reconnaissant, nous ne parlerons plus que de A_2 . D'ailleurs, ceux qui auront assimilé les mystères dudit tableau en ce qui concerne A_2 les transposeront aisément si, par hasard, c'est A_1 qui les intéresse - autrement dit s'ils "travaillent" sur de la matière radioactive sous forme spéciale, ce qui n'est pas le cas général).

A_2 est, par définition, la quantité maximale par colis de matière radioactive sous forme non spéciale qui constitue le groupe 42 301. Vous souvenez-vous du premier article ? 42 comme IV.b, 3 comme 3ème catégorie,...

Catégorie	Nature des matières et objets				Groupes	
791 1	Matières fissiles	Nota : Les matières citées sous 2.4.1 à 2.4.7 de l'article 790 ne sont pas considérées comme appartenant au présent groupe et sont à classer dans l'un des groupes appropriés qui suivent.			42.101	
	Matières (1) dont l'activité par colis est supérieure aux limites fixées pour le groupe 42.201				42.102	
791 bis	Matières (1) jusqu'à une activité par colis n'excédant pas :	Forme autre que spéciale : la plus faible des deux valeurs 3.10^3 A2 ou 3.10^4 C1			42.201	
		Forme spéciale : la plus faible des deux valeurs 3.10^3 A1 ou 3.10^4 C1				
791 ter	Matières (1) jusqu'à une activité par colis n'excédant pas :	Forme autre que spéciale : A2			42.301	
		Forme spéciale : A1				
791 quater	Matières (1) jusqu'à une activité par colis n'excédant pas :	Solides et Gaz		Liquides	42.401	
		Forme autre que spéciale 10^{-3} A2	- Oxydes de tritium en solution aqueuse dont la concentration est : . inférieure à $0,1 \text{ mCi/cm}^3$ 1000 C1 . comprise entre $0,1$ et $1,0 \text{ mCi/cm}^3$ 100 C1 . supérieure à $1,0 \text{ mCi/cm}^3$ 1 C1 - Autres liquides 10^{-4} A2			
		Forme spéciale 10^{-3} A1				
		Tritium 20 C1				
	Objets visés en 1 du nota sous titre dont l'activité par objet n'excède pas :	Solides	Gaz (2)	Liquides	42.402	
		Forme autre que spéciale 10^{-2} A2	10^{-3} A2	10^{-3} A2		
		Forme spéciale 10^{-2} A1	10^{-3} A1			
	Et dans la limite d'une activité totale par colis, de :	Forme autre que spéciale A2	10^{-2} A2	10^{-1} A2		
		Forme spéciale A1	10^{-2} A1			
	Emballages vides visés en 2 du nota sous titre					42.403
	Objets manufacturés visés en 3 du nota sous titre					42.404
	Matières (1) de faible activité spécifique (LSA)	Minerais d'Uranium ou de thorium et concentrés physiques ou chimiques de ces minerais				42.405
		Uranium naturel ou appauvri non irradié, ou thorium naturel non irradié				42.406
		Oxydes de tritium en solution aqueuse, à condition que la concentration ne dépasse pas 10 mCi/cm^3				42.407
		Matières dans lesquelles l'activité est uniformément répartie et n'excède pas : 10^{-4} A2/g				42.408
		Objets en matériaux non radioactifs, contaminés, à condition que la concentration superficielle n'excède pas par cm^2 :	U nat. ou appauvri et Th. nat.	Emetteurs β, γ et α de faible toxicité (4)	autres émetteurs α	42.409 a
			$10^{-2} \text{ } ^\mu \text{ C1}$	$10^{-3} \text{ } ^\mu \text{ C1}$	$10^{-4} \text{ } ^\mu \text{ C1}$	
		et que l'activité massique moyenne estimée n'excède pas :		10^{-4} A2/g		42.409 b
		Objets en matériaux non radioactifs, contaminés, à condition que la concentration superficielle moyenne sur un mètre carré (3) n'excède pas par cm^2 :	Emetteurs β, γ et α de faible toxicité (4)		Autres émetteurs α	
			$1 \text{ } ^\mu \text{ C1}$		$0,1 \text{ } ^\mu \text{ C1}$	
Matières (1) solides de faible activité (LLS)		Matières dans lesquelles l'activité est distribuée de façon homogène et n'excède pas, en moyenne (5) : 2.10^{-3} A2/g				42.410 a
	Objets en matériaux non radioactifs, contaminés, à condition que la concentration superficielle moyenne sur un mètre carré (3) n'excède pas par cm^2 :	Emetteurs β, γ et α de faible toxicité (4)		Autres émetteurs α	42.410 b	
$20 \text{ } ^\mu \text{ C1}$		$2 \text{ } ^\mu \text{ C1}$				

NOTA - Les objets visés en 1, 3 et 4 du nota sous titre, dont l'activité est supérieure aux limites indiquées pour eux dans le présent tableau respectivement sous groupe 42.402, 404, 409 a et b et 410 a et b ne sont pas considérés comme objets de ces groupes et sont à classer dans tel autre groupe approprié suivant l'activité totale qu'ils renferment ou dont ils sont le support ; un ensemble d'objets du groupe 42.402 dont l'activité totale est supérieure aux limites prescrites par colis sous ce groupe peut être classé dans tel autre groupe approprié selon l'activité totale qu'il représente.

Les emballages ayant contenu des matières radioactives non nettoyés à l'intérieur sont à classer dans tel groupe approprié suivant l'activité totale qu'ils renferment.

(1) Dans la mesure où ces matières n'appartiennent pas au groupe 42.101.

(2) La condition selon laquelle la matière est incorporée sous une forme non aisément dispersable (voir 1° du nota sous titre) ne s'applique pas.

(3) ou sur toute la surface, si l'aire de celle-ci est inférieure à un mètre carré.

(4) Voir définition des émetteurs α de faible toxicité sous Tableau 3 de l'Annexe I.

(5) Cette activité doit demeurer insoluble de façon que, même en cas de perte de l'emballage, le relâchement de matières radioactives, par colis, résultant de l'effet du vent, de la pluie ou de l'immersion dans l'eau n'excède pas $0,1 \text{ A2}$ pour une période d'une semaine.

et 01 comme premier groupe dans ladite troisième catégorie des matières radioactives - il n'y en a d'ailleurs qu'un seul, ce qui, en l'occurrence est bien pratique. Voici donc réglé le sort de la troisième catégorie. Au risque de se répéter, mais c'est fondamental :

La troisième catégorie (groupe 42 301) est constituée par les matières (il n'y a donc pas d'objets) radioactives dont l'activité maximale par colis est égale à A_2 .

Vous vous souvenez aussi qu'il y a quatre catégories, dont la nuisance potentielle décroît depuis 1 jusqu'à 4.

L'activité des matières (car il n'y a pas d'objets là non plus) des première et deuxième catégories est donc forcément supérieure à A_2 .

En ce qui concerne la deuxième catégorie, elle ne comporte qu'un groupe :

La deuxième catégorie (groupe 42 201) est constituée par les matières radioactives dont l'activité maximale par colis est égale à la plus faible des deux valeurs :

- $3 \cdot 10^3 A_2$
- 30 000 curies.

Ce n'est pas plus compliqué que cela.

La première catégorie, elle, comporte deux groupes :

Le groupe 41 102 est constitué par les matières radioactives dont l'activité par colis est supérieure aux limites fixées pour le groupe 42 201.

C'est encore plus simple.

Par exemple, A_2 est égal à 7 curies pour le cobalt-60.

Une source de 5 curies appartient donc au groupe 42 301.

Une source de 1 000 curies appartient au groupe 42 201.

Une source de 25 000 curies appartient au groupe 42 102 ; en effet, si cette valeur est bien inférieure à 30 000 curies, elle est supérieure à $3.10^3 A_2$ (= 21 000 curies).

Le groupe 42 102 (last, but not least) est constitué par les matières fissiles. Compte tenu des exemptions prévues à l'article 790 (voir bulletin N° 3, page 21), doivent être classées dans ce groupe toutes les matières présentant le caractère fissile, indépendamment de leur activité propre, qui justifierait leur classement en telle ou telle catégorie.

Par exemple :

- un "colis" d'aiguilles irradiées dans "Rapsodie" devrait être classé, en raison de son activité, dans le groupe 42 102. Ce combustible restant fissile, même après irradiation, il sera classé dans le groupe 42 101 ;
- un "colis" contenant un coeur non irradié du réacteur à haut flux devrait être classé, à considérer seulement son activité, dans le groupe 42 201 ; en effet, A_2 est fixé à 0,100 curie pour l'uranium enrichi à plus de 20 % ; cette activité correspond, pour l'uranium considéré, à une masse de 1 400 grammes. La masse d'uranium du coeur du R.H.F. atteignant près de 9 kilogrammes, la limite de la troisième catégorie est donc dépassée, et le colis, eu égard à son activité, devrait bien être classé dans le groupe 42 201. Mais, comme il est fissile, il sera classé dans le groupe 42 101 ;
- a contrario, un "colis" contenant des cartouches irradiées de Chinon sera classé dans le groupe 42 102, la matière n'étant pas fissile, au sens du règlement.

Nous venons donc d'étudier les troisième, deuxième et première catégories qui, à elles trois, ne comportent que quatre groupes.

Horreur, la quatrième catégorie, à elle seule, en comporte 10. Et encore deux de ces groupes sont-ils subdivisés en deux sous-groupes.

Il serait, certes, du plus haut intérêt, de disséquer et d'argumenter sur chacun de ces 12 groupes ou sous-groupes ; d'autant plus que, pour certains d'entre eux, il intervient des distinctions subtiles suivant la forme physique (solide, liquide ou gaz) ou la nature du rayonnement (α , β , γ). Mais le tableau se suffit à lui-même, et il paraît plus approprié d'en examiner simplement la structure.

Le groupe 42 401 constitue la "marche inférieure" du groupe 42 301 ; il est constitué par les matières (et non les objets) dont l'activité (pour les solides) est au plus égale à 10^{-3} A₂. C'est volontairement, et farouchement, que nous refusons d'entrer dans les détails.

Les groupes 42 402, 42 403 et 42 404 concernent respectivement "les appareils auxquels des matières radioactives sont incorporées sous forme non aisément dispersable" - ce qui ne doit pas passionner grand nombre de lecteurs - ; les emballages vides dont le taux de contamination est inférieur à des limites fixées dans un tableau "ad hoc" - c'est déjà plus intéressant ; "les objets manufacturés, autres que les cartouches de combustibles", ne comportant comme matière radioactive que de l'uranium naturel ou appauvri - même remarque que pour le groupe 42 402.

Les minerais d'uranium ou de thorium, et les concentrés physiques ou chimiques de ces minerais constituent le groupe 42 405.

L'uranium naturel ou appauvri non irradié, ou le thorium naturel non irradié, le groupe 42 406.

Les "oxydes de tritium en solution aqueuse" (sic), le groupe 42 407. Ces trois groupes sont affaire de spécialistes, et n'appellent aucun commentaire.

Le groupe 42 408 ("Matières dans lesquelles l'activité est uniformément répartie et n'excède pas $10^{-4} A_2/g$ ") est déjà plus intéressant. Pendant longtemps - et faute de pouvoir faire autrement - il a été utilisé pour le transport des déchets radioactifs.

Il n'était pas question de A_2 à l'époque, bien sûr ; mais si l'on remarque que, pour le plutonium par exemple, cette espèce d'activité spécifique était limitée à $0,1 \mu Ci/g$, on conçoit qu'il soit arrivé aux responsables d'avoir quelques soucis. Sans compter ceux que pouvait leur causer l'adverbe "uniformément".

C'est pourquoi il a paru pertinent de créer un nouveau groupe (42 410), dont le sous-groupe "a" concerne spécialement ce genre de déchets. Il relève le seuil du groupe 42 408 d'un facteur 20 ($2 \cdot 10^{-3} A_2/g$) et parle de "distribution homogène de l'activité", ce qui a paru plus prudent que d'affirmer qu'elle était "uniformément répartie".

Pour en terminer avec ce groupe 42 410 qui, nous le rappelons, est entièrement consacré aux "Matières solides de faible activité", c'est-à-dire en fait aux déchets, le sous-groupe "b" traite le cas des "Objets en matériaux non radioactifs, contaminés, à condition que, etc).

Il faut entendre essentiellement par là les déchets, telles les ferrailles, mais rien n'interdit d'englober, sous cette définition, des "objets" tout autres

Dans cet examen, nous avons court-circuité, pour la clarté de l'exposé (hum !) le groupe 42 409 qui, lui aussi, comporte deux sous-groupes.

Que ce soit le sous-groupe "a" ou le sous-groupe "b", ils visent tous les deux des "objets en matériaux non radioactifs contaminés, à condition que, etc" (comme ci-dessus). Il serait tentant de voir là une réelle duplication. En fait, il n'en est rien. Le groupe 42 409 concerne essentiellement les emballages dont le taux de contamination est supérieur aux limites fixées pour le groupe 42 403. Néanmoins, bien entendu, sa définition est suffisamment souple pour permettre, au besoin, de

l'utiliser à autre chose à bon escient, bien entendu.

Il devrait ressortir de tout ceci que la détermination du groupe auquel appartient un colis mais c'est très simple.

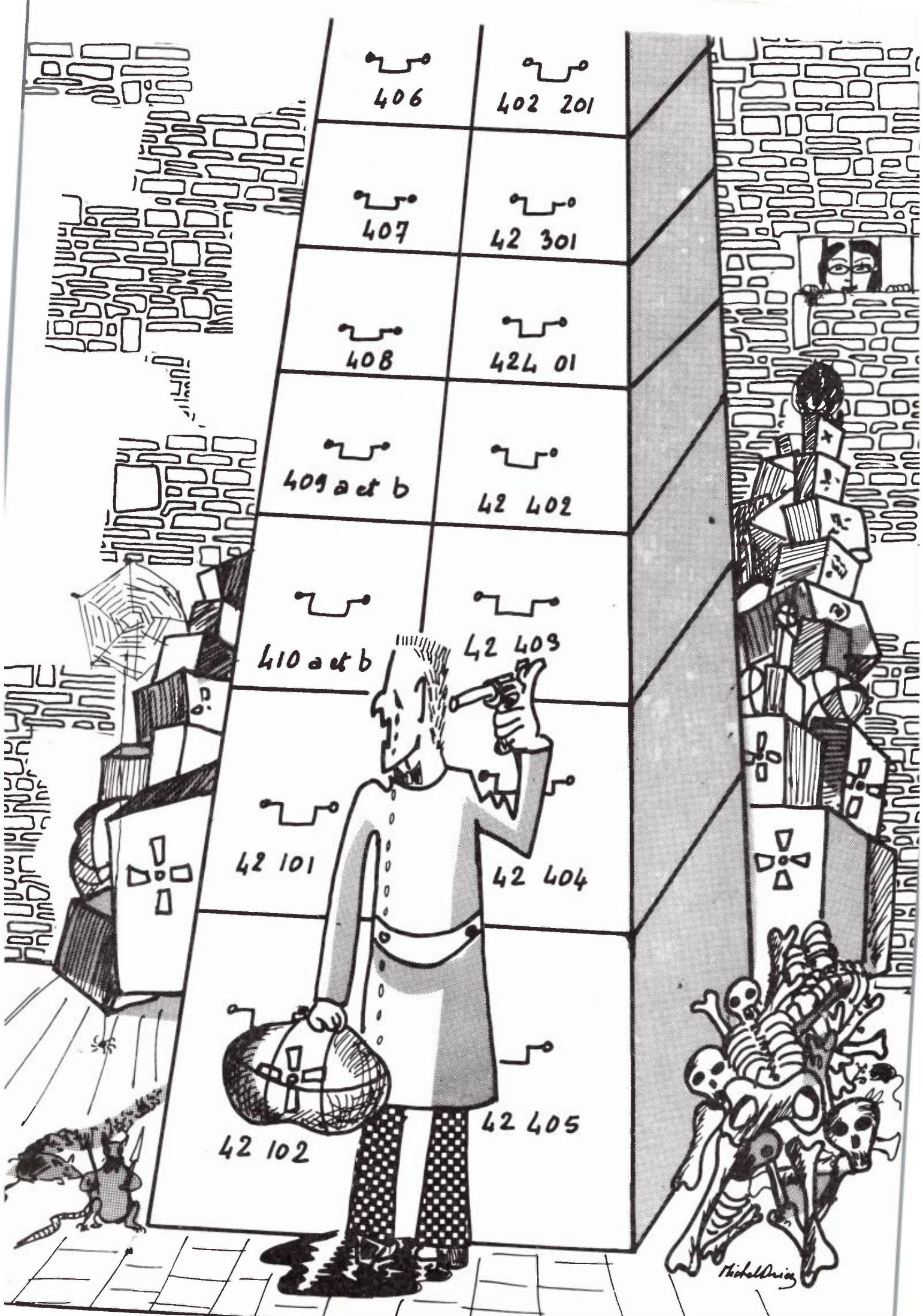
Si la matière est fissile (au sens du règlement), pas d'hésitation : groupe 42 101. Si c'est une matière non fissile, dont l'identité et l'activité sont connues, elle ne peut appartenir qu'à l'un des quatre groupes (par activité décroissante) : 42 102, 42 201, 42 301 ou 42 401.

Evidemment, si l'on "tombe" dans l'un des autres groupes de la quatrième catégorie, cela peut paraître un peu plus ardu et, à la limite, causer certains états d'âme - le problème des emballages vides et celui des déchets restant, malgré les efforts faits pour en faciliter la solution, particulièrement attachants, à cet égard. Avant de s'abandonner au désespoir, comme notre ami de la page d'à côté, on peut auparavant tenter de procéder par éliminations successives, du genre : "Voyons, ce n'est quand même pas de l'uranium non irradié", etc

On arrive ainsi - c'est vrai - à approcher, voire à découvrir la solution sinon idéale, du moins celle paraissant logique (*). Or, nous verrons dans le prochain numéro que, lorsqu'on connaît le groupe, tout est résolu ou presque. C'est dire si la petite gymnastique intellectuelle qui permet de l'obtenir s'avère très rapidement payante.

(*) Si vraiment on n'y arrive pas, il existe deux recours possibles :

- le meilleur, car infaillible, renoncer à transporter la marchandise en question ;
- le plus naturel, "refiler" le problème à (théoriquement) plus qualifié - par exemple l'auteur, qui donnera toujours une réponse, vu qu'il ne dispose de personne à qui il pourrait lui-même "repasser la balle".



Documentation

GESTION DES DECHETS AUX U.S.A. (*)

Dans quelques mois, l'A.E.C. donnera ses décisions sur la gestion et sur le transport des déchets, décisions attendues depuis longtemps par l'industrie.

Actuellement, l'A.E.C. étudie l'installation de stockage à long terme des déchets de haute activité, et cherche un site convenable dans l'Ouest (dans le Washington, l'Idaho ou le Nevada). Le problème le plus difficile est d'enlever toute crainte au public.

M. PITTMAN, directeur de la Division de Gestion des Déchets et des Transport de l'A.E.C., explique qu'il n'est pas urgent d'avoir une solution spécifique pour le stockage définitif des déchets de haute activité, les installations actuelles de l'A.E.C. pour le stockage provisoire s'étant avérées satisfaisantes pour des périodes "prolongées". Ceci donnerait le temps à l'A.E.C. de trouver pendant la prochaine décennie une solution définitive à ce problème. Il pense que l'A.E.C. pourra assurer la responsabilité finale pour le stockage des déchets de réacteur, y compris les éléments transuraniens tels que le plutonium.

(*) Traduction de P. MANOUKIAN

Département de Sûreté Nucléaire - Bureau d'Evaluation de Sûreté des
Laboratoires et Usines (F.A.R.)

d'après NUCLEONICS WEEK, vol. 15, N° 13 (28 mars 1974)

LISTE DES "REGULATORY GUIDES" RECEMMENT RECUS (*)

- 3 - 3 Quality assurance program requirements for fuel reprocessing plants and for plutonium processing and fuel fabrication plants (Rev. 1, March 1974, 1 p.).
- 3 - 16 General fire protection guide for plutonium processing and fuel fabrication plants (January 1974, 6 p.).
- 3 - 17 Earthquake instrumentation for fuel reprocessing plants (February 1974, 2 p.).
- 3 - 18 Confinement barriers and systems for fuel reprocessing plants (February 1974, 3 p.).
- 3 - 19 Reporting of operating operation for fuel reprocessing plants (February 1974, 8 p.).
- 3 - 20 Process off gas systems for fuel reprocessing plants (February 1974, 3 p.).
- 3 - 21 Quality assurance requirements for protective coatings applied to fuel reprocessing and to plutonium processing and fuel fabrication plants (March 1974, 2 p.).
- 5 - 15 Security seals for the protection and control of special nuclear materials (January 1974, 4 p.).
- 5 - 16 Standard methods for chemical, mass spectrometric, spectrochemical, nuclear and radiochemical analysis of nuclear grade plutonium nitrate solutions and plutonium metal (January 1974, 2 p.).

- 5 - 18 Limit of error concepts and principles of calculation in nuclear material control
(January 1974, 2 p.).
- 5 - 19 Methods for the accountability of plutonium nitrate solutions
(January 1974, 1 p.).
- 5 - 20 Training, equipping and qualifying of guards and watchmen
(January 1974, 3 p. + App. A, 2 p. + App. B, 2 p. + App. C, 1 p.).

(*) Nous pouvons vous faire parvenir ces "Regulatory Guides" sur simple demande à :

Mme MANOUKIAN,
Département de Sûreté Nucléaire - Bureau d'Evaluation de Sûreté des
Laboratoires et Usines.
C.E.N. - F.A.R.

REGULATORY GUIDE 3.16

Guide général de la protection contre l'incendie dans les installations de fabrication de combustibles et de traitement du plutonium.

La protection contre l'incendie dans de telles installations comprend : la prévention, la détection, l'extinction, la limitation et la maîtrise du feu et des explosions ainsi que leurs risques concomitants.

REGULATORY GUIDE 3.17

Instrumentation pour déceler les tremblements de terre dans les installations de traitement de combustibles irradiés.

Ce guide propose une instrumentation diverse, appropriée aux données que l'on veut obtenir : réponse sismique rapide, fréquence et amplitude du mouvement, évaluation des dommages possibles des structures composant l'installation.

REGULATORY GUIDE 3.18

Barrières et systèmes de confinement dans les installations de traitement de combustibles irradiés.

Ce guide fournit une information relative à l'établissement de critères pour l'étude de systèmes de confinement qui réduiraient la quantité de matériau radioactif libéré dans l'environnement ou dans un lieu occupé normalement par le personnel. Dans ce but, on examine successivement les tuyauteries, la ventilation, les zones de confinement ainsi que les appareils de contrôle et les alarmes.

REGULATORY GUIDE 3.19

Comptes rendus d'information sur le fonctionnement des installations de retraitement de combustibles nucléaires.

Ce guide donne les directives concernant la rédaction des rapports soumis à l'A.E.C. pour l'obtention du permis de fonctionnement des installations de retraitement de combustibles nucléaires. Il concerne les rapports de mise en route de l'installation et les rapports périodiques de fonctionnement.

REGULATORY GUIDE 3.20

Fonctionnement des systèmes d'évacuation des gaz dans les installations de traitement de combustibles irradiés.

Ce guide fournit une information sur l'établissement de critères pour les équipements associés au traitement des effluents gazeux dans les installations de traitement de combustibles.

Ce sont les dispositifs :

- de collection des gaz
- d'extraction des condensats
- de contrôle chimique et d'échantillonnage

ainsi que

- l'instrumentation et les appareils de contrôle.

REGULATORY GUIDE 5.16

Méthodes d'étalonnage pour l'analyse chimique, spectrométrie de masse, spectrochimique, nucléaire et radiochimique des solutions de nitrate de plutonium et de plutonium métal utilisés exclusivement comme combustibles nucléaires.

Ce guide définit les méthodes à utiliser pour les analyses chimiques et isotopiques.

REGULATORY GUIDE 5.18

Notions de la limite d'erreur et des principes de calcul dans le contrôle des matériaux nucléaires.

Ce guide établit les concepts, les principes et les méthodes de référence pour le calcul des limites d'erreur. Il donne la définition de "méthodes statistiques", "d'erreur systématique" et de "limite d'erreur".

AUTRES DOCUMENTS RECUS

- Les incidents à caractère radiologique,
par D. DOUELLOU et G. PESLAYRE
Rapport CEA-DAM, S.P.R. - Centre de Valduc.

- Le programme de la Commission américaine de l'Energie Atomique (A.E.C.)
pour la surveillance du comportement des radionucléides dans l'environnement,
Traduit par P. BALLEREAU
Rapport DAM - CEB.III 529-74
Rapport original I.A.E.A. SM. 172 36
par C.G. WELTY et M.B. BILES.

- Détermination de la puissance respiratoire dépensée par le porteur
d'un appareil de protection respiratoire,
par L. CHRETIEN, Y. LEBOURDONNEC, B. WERDERER
Note C.E.A. N° 1681 de décembre 1973.

Comptes Rendus
d'Incidents

ANALYSE, SUR LE PLAN DE LA SECURITE,
DES ACCIDENTS D'IRRADIATION OU DE CONTAMINATION RADIOACTIVE
SURVENUS AU CENTRE D'ETUDES NUCLEAIRES DE SACLAY EN 1973

H. VIALETES (*) et J.C. MOREAU (*)

I - INTRODUCTION

En 1973, 11 accidents d'irradiation externe ou de contamination radioactive ont fait l'objet d'un compte rendu au Comité Hygiène et Sécurité d'établissement. Ce sont ces 11 accidents, auxquels ont été ajoutés 2 accidents limités à des dommages matériels, mais considérés comme "instructifs", que nous nous proposons d'examiner sur le plan de la sécurité pour essayer d'en retirer, notamment, un certain nombre d'enseignements pratiques.

II - CIRCONSTANCES ET CAUSES DES DIFFERENTS ACCIDENTS

Ces accidents sont présentés par ordre chronologique et on s'attache surtout à en présenter les circonstances et les causes en insistant sur les points saillants.

* Service de Protection contre les Rayonnements,
Section de Radioprotection des Installations.
Centre d'Etudes Nucléaires de Saclay.

Accident N° 1 -

Après avoir revêtu des gants de protection, deux agents fouillent dans un fût de déchets pour essayer de retrouver deux sources d'américium-241 mises aux déchets par erreur. Au bout d'un certain temps, n'ayant rien trouvé, ils abandonnent leurs recherches. Ce n'est que le lendemain, en effectuant un contrôle de routine, que l'un des agents constate une contamination anormale de ses vêtements de travail et prévient alors le S.P.R.

Faits à noter :

- Les déchets contenus dans le fût avaient été, préalablement, emballés dans des sacs de vinyle soudés, mais les manipulations répétées en cours de fouille ont provoqué la détérioration des sacs et la dispersion de la contamination par un phénomène de soufflet.

- La fouille des poubelles ne constituant pas, a priori, une manipulation "normale" dans un centre d'études même nucléaires, ce caractère exceptionnel implique de facto une demande préalable d'avis du S.P.R.

- Le contrôle de la contamination éventuelle n'a été effectué ni après cette manipulation, ni avant de quitter le laboratoire.

Accident N° 2 -

Un opérateur sort une ampoule, contenant 100 μCi d'un acide nucléique marqué au carbone-14, d'un conteneur rempli d'azote liquide et la transporte sur une pailleasse afin de la conditionner. Au cours du conditionnement, l'ampoule explose, provoquant des blessures superficielles au visage et une légère contamination des mains et des cheveux de l'opérateur. Après s'être abondamment lavé le visage, l'intéressé se rend à l'infirmerie.

Faits à noter :

- La cause de cet accident est sans doute le fait qu'au contact de l'azote liquide certaines ampoules présentent un défaut d'étanchéité et que la pression du gaz à l'intérieur, lorsque l'ampoule revient à température ambiante, est suffisante pour la faire exploser.

- Le S.P.R. n'a été informé de cet accident que de façon fortuite.

Accident N° 3 -

Deux agents effectuent des travaux de piquetage dans un caniveau d'effluents contaminé par de l'américium-241. Ils sont revêtus d'un masque respiratoire et d'une tenue étanche et utilisent un marteau-piqueur muni d'une pointe ordinaire ; un dispositif d'aspiration est placé au voisinage de la surface de travail. L'analyse de l'activité recueillie sur un filtre de prélèvement atmosphérique, situé à proximité immédiate, montre que l'exposition à la contamination atmosphérique a été d'environ 2 000 CMAh ce qui a conduit à la contamination des deux agents malgré leur masque, et à celle de deux agents qui avaient séjourné quelque temps sans masque.

Faits à noter :

- La demande d'avis de travail présentée au S.P.R. ne parlait que de grattage et de bouchardage des caniveaux et non de piquetage au marteau piqueur.

- Le séjour, sans masque, des deux autres agents sur les lieux de travail, n'avait aucune raison professionnelle.

Accident N° 4 -

Lors de la mise en place d'un château-poubelle du type "Padirac" modifié, sur une cellule, trois agents ont été victimes d'une contamination interne par de l'américium-241 provenant d'une contamination de l'intérieur du château.

Faits à noter :

- La mise en oeuvre de ce type de château-poubelle est délicate et le Service Technique d'Etudes de Protection et de Pollution Atmosphérique (STEPPA) organise des cours pour les opérateurs.

- La décontamination de l'intérieur du château, après vidange, n'est effectuée que si l'utilisateur le demande.

- Les opérateurs ne portaient pas de masque respiratoire.

- Le S.P.R. n'a été alerté que le lendemain.

Accident N° 5 -

Des agents effectuent des essais de réglage du bouchon-collimateur d'un dispositif de gammamétrie avec et sans source de rayonnement. L'un d'eux effectue un démontage et un remontage du bouchon et une observation de l'état de l'intérieur du canal à l'œil nu alors qu'un élément combustible irradié est en place dans l'axe du canal ; il subit une irradiation des mains et de l'œil droit.

Faits à noter :

- Le S.P.R. n'avait pas été averti de ce travail.
- Aucun dispositif ne permet de signaler la présence de la source de rayonnement.

Accident N° 6 -

Deux agents manipulent, sans précautions particulières, une fiole contenant une solution réputée inactive (technécium-99m de période 6 heures après 8 jours de décroissance) ; ils sont victimes d'une contamination cutanée due au fait que la fiole avait été contaminée lors de son transfert par de l'hafnium-181 (période : 45 jours). L'accident n'était découvert que trois jours après, ce qui a entraîné une propagation de la contamination.

Faits à noter :

- Le matériel incriminé provenait d'une zone active.
- Aucun contrôle de contamination n'a été effectué, ni au départ de la zone active, ni à l'arrivée au laboratoire.
- Cet accident n'a été découvert qu'au bout de plusieurs jours.
- Le S.P.R. n'a été alerté que plusieurs heures après la mise en évidence de la contamination.

Accident N° 7 -

Par suite d'une coupure de courant, la température du réfrigérateur dans lequel étaient entreposés des flacons contenant de l'eau tritiée a augmenté notablement, entraînant une accélération importante de la radio-lyse de l'eau tritiée, la rupture d'un certain nombre de flacons et le rejet par la cheminée de vapeurs d'eau tritiée.

Faits à noter :

- La coupure de courant était prévue et tous les utilisateurs avaient été prévenus quinze jours auparavant ; cependant, tout le personnel responsable de l'expérimentation en cause étant en congés, aucune alimentation par le réseau secouru n'avait été demandée.

- Le circuit d'alimentation sur lequel était branché le réfrigérateur était muni d'un disjoncteur qui a empêché sa remise sous tension, lorsque le courant a été rétabli.

- Cet accident s'est produit de nuit ; l'alarme a été donnée par le tableau de contrôle des rayonnements et l'intervention de l'agent S.P.R. de permanence pour motif de sécurité a permis de limiter le rejet à 15 % de l'activité d'eau tritiée stockée et a évité une exposition du personnel, à la reprise du travail.

Accident N° 8 -

Par suite d'une fausse manoeuvre en démontant une glissière contaminée, un agent se blesse à une main, malgré la protection présentée par les deux gants qu'il avait préalablement revêtus

On notera que la protection offerte par un gant de coton recouvert d'un gant de latex n'a pas été suffisante.

Accident N° 9 -

Un transfert de sources d'yttrium-90 ayant été effectué à l'aide de conteneurs mal bouchés, environ 100 mCi d'yttrium-90 ont été libérés, provoquant une contamination des locaux qui aurait pu avoir des

conséquences graves pour le personnel, si l'accident n'avait pas été découvert immédiatement.

On notera que l'accident a été mis en évidence par le tableau de contrôle des rayonnements.

Accident N° 10 -

En procédant au nettoyage d'une enceinte dans laquelle sont réalisées des injections de radionucléides à des animaux, un agent se contamine les mains avec de l'iode-131, malgré le port de gants de protection.

Faits à noter :

- Les gants de protection étaient des gants chirurgicaux.
- L'agent s'est contrôlé en fin de travail, a mis en évidence la contamination de ses mains et n'a pas réussi à l'éliminer complètement par lavage ; malgré cela, il est rentré tranquillement chez lui, sans informer qui que ce soit, et n'est allé au Service Médical du Travail (S.M.T.) que le lendemain.
- C'est le S.M.T. qui a prévenu le S.P.R.

Accident N° 11 -

Pour évacuer les déchets provenant de la décontamination d'une boîte à gants ayant contenu de l'américium-241, deux agents les introduisent dans des manchons de vinyle qu'ils soudent avec une soudeuse H.F. Pour remédier à la défectuosité d'une soudure, un agent comprime avec les mains la partie non étanche du manchon, créant ainsi une surpression dans l'emballage, d'où sont expulsés des aérosols qui contaminent les opérateurs et une partie de la zone.

Faits à noter :

- Le détecteur de contamination n'a fourni aucune alarme parce qu'il se trouvait dans une zone en légère dépression par rapport à la zone d'intervention et parce que la granulométrie élevée des aérosols n'a pas permis une remise en suspension de ceux-ci.
- Les agents opéraient sans avoir revêtu un masque de protection.

Accident N° 12 -

Cet accident est en tous points identique à l'accident N° 7 et est intervenu sur la même installation. Il faut noter que le branchement sur le réseau secouru avait été effectué, mais n'avait pas été vérifié. L'intervention de l'agent S.P.R. de permanence pour motif de sécurité a permis de limiter le rejet de vapeurs d'eau tritiée à 10 % de l'activité présente.

Accident N° 13 -

Au cours du transfert de 230 Ci de phosphore-32 sous forme d'acide phosphorique de l'enceinte de production à l'enceinte de répartition, un pontier décontamineur s'est contaminé la main droite.

Faits à noter :

- L'agent avait revêtu des gants de protection, la gaine d'extraction de l'évaporateur était endommagée, les dépressions trop faibles, d'où une contamination notable.

III - REMARQUES GENERALES CONCERNANT L'ENSEMBLE DE CES ACCIDENTS

Bien que le nombre des accidents d'irradiation ou de contamination radioactive survenus en 1973 soit insuffisant pour permettre une approche statistique des facteurs de risques, quelques remarques générales méritent d'être notées :

- sur les 13 accidents, on compte 12 accidents de contamination ;
- sur les 12 accidents de contamination, 9 concernent des sources sous forme pulvérulente et 3 des sources sous forme liquide ;
- l'équivalent de dose subi ou engagé lors des accidents de contamination est beaucoup plus faible que lors des accidents d'irradiation ; ceci est confirmé par des observations analogues pour 1972 et 1971 ;
- 2 accidents mettent en évidence les risques liés aux systèmes d'évacuation de déchets par sacs vinyle ;
- le conditionnement en ampoules de verre est un facteur de risque primordial dans cinq cas d'accidents ;

- 3 accidents concernent des objets, appareillages ou installations non contrôlés ;
- 2 accidents sont dus au fait que certaines cellules de production de radioéléments ne bénéficient pas d'une vérification et d'un entretien systématiques ;
- 3 accidents de contamination des mains se sont produits malgré le port de gants de protection ;
- 2 accidents auraient eu des conséquences beaucoup plus limitées si les agents s'étaient contrôlés après leur travail ;
- 3 accidents sont intervenus à la suite de manipulations exceptionnelles non signalées ou signalées de façon incomplète au S.P.R. ; ces trois accidents, impliquant quatre personnes, auraient été évités si le S.P.R. avait été préalablement consulté ;
- 4 accidents n'ont pas été signalés immédiatement au S.P.R., les sept agents concernés préférant agir seul. Il est certain que ces accidents auraient été évités, ou tout au moins limités, si le S.P.R. avait été alerté immédiatement.

Il est important de noter que pour 2 de ces accidents, les trois personnes concernées sont sorties de leur laboratoire pour vaquer à leurs occupations habituelles en sachant pertinemment qu'elles étaient contaminées.

- 3 accidents ont été mis en évidence par le tableau de contrôle des rayonnements, dont 2 en dehors des horaires normaux de travail. Dans les trois cas, cette alerte a permis au S.P.R. d'intervenir rapidement de sorte que ces accidents n'ont eu de conséquences ni pour les travailleurs, ni pour l'environnement.

V - ENSEIGNEMENTS A TIRER

- La manipulation de sources radioactives sous forme pulvérulente est celle qui présente le plus de facteurs de risques à cause de la remise en suspension de particules dans l'atmosphère qui entraîne une contamination atmosphérique et une contamination surfacique de la peau, des vêtements et des locaux.

- Le conditionnement des déchets dans des sacs de vinyle soudés nécessite des précautions car :

- . ces sacs sont souvent percés, surtout lorsque les déchets contiennent de la verrerie,
- . les soudures sont souvent imparfaites soit parce que la soudeuse a un fonctionnement défectueux, soit parce que des traces grasses souillent le vinyle à l'endroit de la soudure,
- . ces sacs sont perméables au tritium et à l'eau tritiée.

- Le conditionnement en ampoules de verre doit être systématiquement remplacé par un conditionnement en conteneurs métalliques chaque fois que l'expérimentation le permet.

- Le piquetage de surfaces contaminées doit être effectué à l'aide de marteaux piqueurs munis de pointes "aiguille" au lieu de pointes ordinaires et, de plus, la surface à piquer doit être copieusement humidifiée.

- Plusieurs personnes se contaminent les mains malgré le port de gants de protection soit parce que ceux-ci ne sont pas suffisamment efficaces, soit parce que les personnes se contaminent les mains en posant les gants. Il faut, pour éviter ceci :

- . pour les travaux où les risques de blessure sont importants, utiliser des gants de manutention,
- . pour les travaux de nettoyage, utiliser des gants de caoutchouc,
- . dans tous les autres cas, utiliser des gants en latex,
- . ne jamais utiliser des gants en coton seuls, mais les recouvrir toujours de gants en latex,
- . réserver les gants chirurgicaux aux seules manipulations nécessitant une certaine dextérité,
- . demander au S.P.R. d'expliquer comment retirer des gants contaminés.

- Tout objet, appareillage ou installation mettant en jeu ou susceptible de mettre en jeu des sources radioactives doit être considéré, a priori, comme dangereux tant que le S.P.R. ne l'a pas contrôlé.

- Tout objet, même réputé inactif, provenant d'une zone active (laboratoire où sont manipulées des sources non scellées, salles d'accélérateurs, réacteurs) doit faire l'objet d'un contrôle systématique de contamination avant manipulation.

- Toute installation dans laquelle sont manipulées des substances radioactives doit faire l'objet de contrôles et d'entretiens systématiques.

- En cas d'accident de contamination, le rôle des personnes concernées ou des témoins doit se borner à mettre, éventuellement, en œuvre les moyens nécessaires pour limiter l'extension de la contamination et à alerter immédiatement le S.P.R. L'expérience montre que, dans tous les cas, les initiatives personnelles aggravent les conséquences de l'accident.

- Toute personne travaillant dans un laboratoire où existent des risques de contamination doit impérativement se contrôler après chaque manipulation et avant de sortir du laboratoire. Il est fondamental de faire comprendre aux personnes qui négligent volontairement ces consignes qu'un individu contaminé peut transmettre cette contamination à son voisinage, à l'insu de celui-ci, aussi bien par contact direct que par l'intermédiaire d'objets communs (accessoires de travail, téléphone, couverts de cantine, etc ...).

Enfin, bien que cela n'apparaisse pas directement dans les analyses schématiques ci-dessus, le manque de connaissances en radioprotection ainsi que l'accoutumance au danger sont des facteurs de risques importants. C'est pourquoi il faut, soit créer, soit poursuivre et développer les cycles d'information et de recyclage en matière de sûreté et de radioprotection, tant au niveau des centres qu'à celui des installations.

AUTRE FUITE A HANFORD (*)

Une seconde fuite a été signalée sur le site de stockage des produits de fission à Hanford, la précédente ayant eu lieu en juin 1973.

Cette fuite fut difficile à identifier, car les fluctuations de niveau dans le réservoir étaient faibles. La perte constatée fut d'environ $9,5 \text{ m}^3$ alors qu'elle avait été de 435 m^3 la première fois.

On a constaté que la position du réservoir défectueux se situait entre 9 et 12 mètres au-dessous du niveau du sol et à environ 64 mètres au-dessus de la nappe phréatique, de sorte qu'il n'y avait aucune inquiétude à avoir pour l'environnement, la fuite se limitant d'elle-même dans le sol tout autour du réservoir.

Le réservoir mis en cause fut construit en 1948 et constitué d'une seule paroi. Or, 4 réservoirs sur 152 furent fabriqués ainsi, les nouveaux réservoirs étant à double paroi. Le problème de l'A.E.C. était le manque de place pour stocker, après pompage, le contenu des vieux réservoirs. C'est pourquoi il avait été décidé de solidifier tous les déchets liquides se trouvant à la réserve de Hanford depuis 1940. Aujourd'hui, on estime à 70 % les déchets déjà solidifiés, et en 1973 on a mis en oeuvre de nouvelles installations pour obtenir un résultat plus rapide et plus efficace.

(*) Traduction de P. MANOUKIAN
Département de Sûreté Nucléaire - Bureau d'Evaluation de Sûreté des
Laboratoires et Usines (F.A.R.)

d'après l'article de NUCLEAR INDUSTRY, mars 1974, page 43.

Echanges

ENQUETE AUPRES DES LECTEURS

Afin de nous permettre de présenter dans ce bulletin des articles qui intéressent le plus grand nombre de lecteurs, nous vous proposons de remplir le questionnaire ci-après et d'y ajouter, si possible, vos suggestions.

Ce questionnaire sera à retourner soit au Correspondant de votre Centre, soit au Comité de Rédaction.

COMITE DE REDACTION DU BULLETIN

BUREAU d'EVALUATION de SURETE des LABORATOIRES et USINES,
A l'attention de Madame CHAPPELLIER
Centre d'Etudes Nucléaires de FONTENAY-AUX-ROSES
Téléphone : 657.13.26 - Poste 40.78

CORRESPONDANTS DU BULLETIN DANS LES CENTRES

C.E.B. III	- M. de LAUBIER
C.E. LE RIPAUT	- M. LETURCQ
C.E.S.T.A.	- M. RENELEAU
C.E. VALDUC	- M. REBIFFE
C.E. VAUJOURS	- M. REMOND
C.E.N. - CADARACHE	- M. MERY
C.E.N. - FONTENAY-AUX-ROSES	- M. POMAROLA
C.E.N. - GRENOBLE	- M. LIMONGI
C.E.N. - SACLAY	- M. WERDERER
C.P.P. - MARCOULE	- M. CHASSANY
Centre de LA HAGUE	- M. CLECH
Centre de MIRAMAS	- M. PIEKARSKI
Centre de PIERRELATTE	- M. BRUN