

FRUCHARD Y. LAVIE J.-M. .-  
 Prévention des causes et des conséquences d'un accident  
 de criticité. Solutions adoptées en France.-  
 Commissariat à l'énergie atomique, Centre d'études  
 nucléaires de Saclay (Essonne), 1966.-  
 27 cm, 16 p., 2 tabl. et 1 fig. h.-t. (Prés. au Colloque  
 sur la prévention de la criticité des produits fissiles,  
 A.I.E.A., Stockholm, 1-5 novembre 1965.)

CEA-R 3059 - FRUCHARD Yves, LAVIE Jean-Marie

**PREVENTION DES CAUSES ET DES CONSEQUENCES D'UN ACCIDENT  
 DE CRITICITE - SOLUTIONS ADOPTEES EN FRANCE**

**Sommaire.** - La sûreté relative aux risques d'accidents de criticité présente deux aspects : la prévention des causes et les parades aux conséquences. Ces deux aspects sont très liés. L'effort consenti à la prévention des causes découle de l'importance des conséquences humaines, économiques et psychologiques possibles d'un éventuel accident.

Les accidents de criticité survenus dans l'industrie nucléaire, malgré leur rareté, d'une part dévoilent les imperfections des techniques de prévention des causes, d'autre part constituent la seule base réaliste disponible d'évaluation des conséquences et de mise au point des parades à ces conséquences.

Les auteurs présentent une analyse des causes et des conséquences connues des accidents de criticité survenus et en dégagent un certain nombre d'observations concernant :

- la validité des critères traditionnels de sûreté,
- la probabilité d'accidents suivant la nature des opérations,

./.

CEA-R 3059 - FRUCHARD Yves, LAVIE Jean-Marie

**PREVENTION OF THE CAUSES AND CONSEQUENCES OF A CRITICALITY  
 ACCIDENT - MEASURES ADOPTED IN FRANCE**

**Summary.** - The question of safety in regard to criticality accident risks has two aspects : prevention of the cause and limitation of the consequences. These two aspects are closely connected. The effort devoted to prevention of the causes depends on the seriousness of the possible human psychologic and economic consequences of the accident.

The criticality accidents which have occurred in the nuclear industry, though few in number, do reveal the imperfect nature of the techniques adopted to prevent the causes, and also constitute the only available realistic basis for evaluating the consequences and developing measures to limit them.

The authors give a analysis of the known causes and consequences of past criticality accidents and on this basis make a number of comments concerning :

- the validity of traditional safety criteria,
- the probability of accidents for different types of operations,

./.

- les accidents caractéristiques susceptibles de servir de modèle,
- l'ampleur des conséquences radiologiques possibles.

Les solutions adoptées en FRANCE pour limiter les conséquences d'un éventuel accident de criticité :

- situation, conception, aménagement des installations,
- détection des accidents,
- dosimétrie pour le personnel exposé,

sont brièvement décrites après un rapide exposé des principes ayant présidé à leur choix.

1966

26 p.

Commissariat à l'Energie Atomique - France

- characteristic accidents which can serve as models, and
- the extent of possible radiological consequences.

The measures adopted in France to limit the consequences of a possible criticality accident under the headings :

- location, design and lay-out of the installations,
- accident detection, and
- dosimetry for the exposed personnel,

are briefly described after a short account of the criteria used in deciding on them.

1966

26 p.

Commissariat à l'Energie Atomique - France

PREVENTION DES CAUSES ET DES CONSEQUENCES  
D'UN ACCIDENT DE CRITICITE  
SOLUTIONS ADOPTEES EN FRANCE

par

Yves FRUCHARD , Jean-Marie LAVIE

**Rapport CEA - R 3059**

**1966**

Ca

Service d'Etudes de Sûreté Radiologique

PREVENTION DES CAUSES ET DES CONSEQUENCES  
D'UN ACCIDENT DE CRITICITE  
SOLUTIONS ADOPTEES EN FRANCE

par

Yves FRUCHARD, Jean-Marie LAVIE

Communication présentée au "Colloque sur la prévention  
de la criticité des produits fissiles"

A. I. E. A. , Stockholm (Suède), 1er au 5 novembre 1965

*Les rapports du COMMISSARIAT A L'ENERGIE ATOMIQUE sont, à partir du n° 2200,  
en vente à la Documentation Française, Secrétariat Général du Gouvernement, Direction de  
la Documentation, 16, rue Lord Byron, PARIS VIIIème.*

*The C.E.A. reports starting with n° 2200 are available at the Documentation Française,  
Secrétariat Général du Gouvernement, Direction de la Documentation, 16, rue Lord Byron,  
PARIS VIIIème.*

**PREVENTION DES CAUSES ET DES CONSEQUENCES  
D'UN ACCIDENT DE CRITICITE  
SOLUTIONS ADOPTEES EN FRANCE**

**1° INTRODUCTION**

Les cinq accidents connus de criticité, survenus dans le traitement des matières fissiles depuis le premier accident d'OAK-RIDGE en 1958, confèrent une singulière actualité aux conclusions du Comité d'Investigation des causes de ce premier accident [ 1 ] : "quoique les conditions dans lesquelles l'accident s'est produit et la qualification de certain personnel auraient pu être améliorées, un accident de criticité demeurera toujours dans le domaine du possible, en tous lieux où des quantités potentiellement critiques de matières fissiles sont manipulées" : Encore conviendrait-il d'ajouter à cette liste d'accidents, celle non publiée des incidents dont la découverte a permis d'éviter de justesse la criticité.

L'occurrence de ces accidents, dans des installations où les données nécessaires étaient largement répandues, tout en soulignant le besoin de perfectionnement des techniques de prévention des causes, confirme la nécessité de développer et de mettre en place des parades aux conséquences d'un éventuel accident. Ces deux aspects relatifs aux risques de criticité, prévention des causes et parades aux conséquences, sont nécessairement très liés : l'effort consenti à la prévention des causes découle de l'importance des conséquences humaines, économiques et psychologiques possibles d'un éventuel accident. Pour d'évidentes raisons, et ce Colloque le prouve, l'effort principal porte sur la recherche de techniques éprouvées de limitation des causes d'accidents de criticité. Ces préoccupations majeures ne peuvent estomper la nécessité de développer des techniques de sauvegarde du personnel, destinées à pallier toute défaillance éventuelle des dispositifs de sécurité.

L'imbrication des différentes disciplines est grande. Les techniciens confrontés avec les problèmes de criticité appartiennent à quatre catégories :

- le spécialiste de neutronique expérimentale ou théorique,
- le spécialiste de sûreté des masses critiques,
- le constructeur et l'exploitant,
- le spécialiste de sûreté radiologique,

Le spécialiste de neutronique fournit les données de base. Il occupe la position de choix. Les accidents survenus le mettent hors de cause ; aucun n'est dû à l'utilisation de données nucléaires erronées.

Le spécialiste de sûreté des masses critiques a la délicate, sinon impossible tâche de se faire l'avocat du diable afin de prévoir toutes les séquences concevables d'évènements pouvant conduire à un accident tout en conservant assez de réalisme pour ne pas bouleverser l'économie du projet par excès de sécurité.

Le constructeur et l'exploitant doivent appliquer strictement les mesures imposées par le précédent spécialiste et veiller constamment à ce que la pression des impératifs de production, le souci de l'économie ou l'usure de la routine, n'entraînent de déviation.

Le spécialiste de sûreté radiologique, enfin, doit prévoir les parades aux conséquences d'un accident éventuel dont il ignore à la fois le siège et l'ampleur ; ces deux incertitudes soulignent la difficulté particulière de sa tâche.

L'objectif commun de ces différents spécialistes est de dégager une philosophie de sûreté saine visant à la mise en place de solutions à la fois simples, économiques et fiables. A cet effet, et ceci est particulièrement vrai pour le spécialiste de sûreté radiologique, l'analyse des accidents survenus constitue, outre leur expérience propre, la meilleure base d'informations et fournit le point d'appui qui permet d'écarter les objections par trop pessimistes courantes en matière de sûreté. Les accidents de criticité survenus, malgré leur rareté, d'une part dévoilent les imperfections des techniques de prévention des causes, d'autre part constituent la seule base réaliste disponible d'évaluation des conséquences et de mise au point de parades à ces conséquences.

L'objet de cette Communication, faisant suite aux Communications SM 70/19 [2] et SM 70/20 [3], est de présenter une brève analyse des causes et des conséquences des accidents connus de criticité, d'en déduire les données et les moyens disponibles en vue de limiter les conséquences d'un éventuel accident, ainsi que les solutions adoptées en FRANCE.

## 2° ANALYSE DES CAUSES

Le Tableau 1 présente une récapitulation synthétique des circonstances dans lesquelles se sont produits les six accidents connus de criticité, ainsi que des évènements supposés avoir conduit à ces accidents. Il convient de signaler, à ce propos, l'intérêt exceptionnel et la qualité remarquable des rapports cités en références [1] [4] [5] [6] [7] [8] [9] [10] [11] [12] [13] [14] [15] [16] dont sont extraites les informations, nécessairement incomplètes, reportées dans le Tableau 1. Les rapports, malheureusement non publiés, peut-être jamais écrits, concernant les incidents, certainement plus nombreux, de nature diverse, qui ont failli conduire à la criticité et, d'une manière générale, des rapports de synthèse concernant l'expérience d'exploitation d'installations diverses, constitueraient une autre source précieuse d'informations pour le spécialiste de sûreté nucléaire.

Ainsi, un incident de nature chimique [17], sans aucune conséquence, survenu récemment dans une installation du Commissariat à l'Energie Atomique, mérite d'être décrit et diffusé en raison de l'enseignement que l'on peut tirer des circonstances qui l'ont provoqué. Dans cette installation, on procède au décapage de pièces massives de plutonium par passage dans différents bains d'attaque et de rinçage : attaque du plutonium dans un bain de 25 litres de solution

chlorhydrique diluée ( $N = 1/20$ ), puis rinçage dans un bain d'eau déminéralisée, suivi d'une passivation dans un bain d'acide nitrique concentré ( $N > 10$ ).

Le danger résulte de la présence d'acide chlorhydrique qui dissout le métal. La sécurité repose sur la limitation de la normalité de l'acide à  $N \leq 1/20$  et sur le contrôle de cette normalité par acidimétrie. La masse de plutonium susceptible d'être dissoute dans 25 litres de solution est alors au plus de 100 grammes, soit 4 grammes par litre, valeur inférieure à la concentration critique compte-tenu de la présence de la pièce immergée. L'acide nitrique ne présente pas cet inconvénient dans les conditions d'emploi prévues et son contrôle s'effectue par simple densitométrie.

Au cours d'une opération récente, et lors de la phase de passivation, une attaque violente de la pièce s'est produite, dès le début de la plongée dans le bain d'acide nitrique, faisant passer en quelques secondes plusieurs grammes de plutonium en solution. L'opérateur a aussitôt réagi en retirant immédiatement la pièce du bain suspect.

L'analyse des causes a montré qu'il avait été livré à l'installation une bonbonne marquée  $\text{NO}_3\text{H}$  et contenant, en fait, un mélange ( $\text{NO}_3\text{H} + \text{HCl}$ ) de teneur respectives :  $\text{HCl} = 1,5 \text{ N}$  ;  $\text{NO}_3\text{H} = 10,5 \text{ N}$ . Les contrôles quantitatifs opérés n'ont pas mis en évidence l'existence de ce mélange insoupçonné. Dès lors, l'attaque par l'acide chlorhydrique était possible, et le passage en solution de 300 à 400 grammes de plutonium aurait, sans aucun doute possible, conduit à une divergence au bout de cinq minutes environ. La violence de l'attaque chimique, en attirant l'attention de l'opérateur, a évité cet accident. Si la teneur en acide chlorhydrique avait été moindre, l'attaque aurait pu passer inaperçue. Depuis l'incident, il est procédé, en sus des vérifications quantitatives signalées (acidimétrie, densitométrie), à un contrôle qualitatif des produits chimiques utilisés.

Il n'est pas question de dégager, des six accidents reportés dans le Tableau 1 et de l'incident décrit, des règles générales concernant la prévention des accidents de criticité, mais seulement de présenter quelques remarques et d'en tirer une leçon : cette leçon est simplement de veiller à éviter au moins ces types d'accidents, étant persuadés qu'il peut exister d'autres causes que celles qui ressortent d'une analyse des accidents passés. Quatre remarques s'imposent le plus manifestement à propos de l'origine de ces accidents :

a) La première constatation est que ces accidents de criticité se sont produits en dehors de la chaîne principale de fabrication et se rapportent à des opérations de traitement de produits de récupération : alors que les opérations de la chaîne principale de fabrication sont des opérations bien étudiées en général sur le plan sûreté, les opérations de retraitement échappent plus facilement à un contrôle de la sûreté et s'effectuent de façon sporadique dans une installation dans laquelle l'improvisation peut parfois s'introduire, en raison de la diversité des déchets à retraiter. Par ailleurs, l'objectif production d'une usine s'accompagne naturellement d'un nombre grandissant de déchets et la tendance est de ne pas diminuer la cadence de production, quitte à laisser s'accumuler quelque peu les produits de récupération ; si cette tendance n'est pas sentie, le danger potentiel grandit avec le temps.

b) Une deuxième remarque s'impose : ces accidents se sont produits lors de manipulations de solutions et non de produits secs. Ce fait mérite d'être souligné et s'explique : d'une part, les solutions présentent des masses critiques faibles (ces accidents se situent précisément dans la plage de l'optimum de modération) comparées à celles des produits secs, d'autre part, les solutions se manipulent en quelque sorte "indirectement" à l'aide de pompes, de vannes, de siphons, etc., ce qui multiplie les risques d'erreurs. La constatation d'un tel fait ne doit aucunement relâcher l'effort réalisé concernant la prévention de la criticité des produits secs.

c) C'est une banalité de dire que les accidents se produisent dans des récipients de géométrie non favorable. La réaction naturelle est alors de bannir ce genre de récipients des installations. Cette réaction est bonne autant que faire se peut. Il n'est malheureusement pas toujours possible de fonctionner avec uniquement des récipients de géométrie favorable : il est difficile, par exemple, de supprimer dans certains ateliers tout stockage de déchets contaminés en fût de géométrie non favorable. Il faut plutôt voir la cause des accidents de criticité dans un mauvais emploi de la géométrie sûre plutôt que dans la présence, souvent nécessaire, de la géométrie non sûre. Un bon emploi de la géométrie sûre consiste à isoler les circuits en géométrie sûre et à imposer le maintien de leur isolement, c'est-à-dire créer et diffuser des consignes de sécurité visant à l'intégrité des systèmes sûrs. Tous les accidents se sont produits à cause d'une liaison fortuite entre un appareil de géométrie favorable et un appareil de géométrie non favorable ; aucun ne s'est encore produit, par exemple, au cours d'une précipitation (voulue ou non) dans un appareil de géométrie non favorable. En bref, créer un atelier en géométrie favorable règle de façon efficace, mais non définitive, le problème de la sûreté nucléaire. Il faut avoir présent à l'esprit que cet atelier continue de présenter un danger potentiel et trouver, par des consignes en particulier, des parades adaptées à ce danger.

d) Il apparaît enfin cette constatation d'ordre général : ce n'est pas une erreur ou un événement qui conduit à l'accident, c'est une succession d'erreurs et d'événements. Cette cascade dépasse largement en amplitude celle prévue par la règle traditionnelle de la double éventualité. Le record semble appartenir aux deux plus récents accidents. Ce fait, n'est pas dû, répétons-le, à un manque de connaissances techniques concernant la prévention des risques de criticité, mais outre les difficultés signalées de prévoir toutes les séquences possibles, à un défaut dans l'organisation et le plus souvent à un manque de liaison entre responsables de sûreté et responsables d'exploitation. Une inspection rigoureuse préalable à la remise en route aurait, sans aucun doute, permis de redresser la situation confuse et dégradée qui s'était installée avant les accidents 5 et 6 et de les éviter. Cette constatation conduit à évoquer la nécessité d'un groupe indépendant de sûreté chargé d'inspecter des installations.

En conclusion, la leçon que l'on peut tirer des accidents passés est précieuse et riche, tout en restant partielle. Résumons les quelques éléments indiqués ci-dessus : Mode de contrôle clairement défini et en particulier emploi rationnel de la géométrie favorable, nécessité

d'une double, voire triple sécurité, ne mettant pas l'accident à la merci d'une erreur toujours possible du personnel, guerre ouverte à l'improvisation et inspection des installations par un personnel spécialisé. Nous y ajouterons les nécessités d'une formation du personnel d'exploitation sur les dangers de criticité. Cette formation n'est pas destinée à ce que le personnel règle lui-même ses problèmes, mais à ce qu'il prenne conscience de l'importance du danger et qu'il comprenne et pratique les consignes de criticité. Par ailleurs, la formation du personnel a l'avantage de créer une situation d'échange entre exploitants et responsables de sûreté. Si l'on doit prévoir que le personnel qui exploite une installation puisse se tromper, il faut également favoriser sa participation à la création de la sûreté et tirer tout le parti de ce que, mieux que quiconque, il connaît son installation.

### 3° PREVENTION DES CAUSES

Les solutions adoptées en FRANCE en matière de prévention des accidents de criticité, qui se sont peu à peu dégagées de notre expérience progressive depuis 1958, s'inspirent fortement de ces principes. Elles font l'objet de quelques développements dans les Communications SM 70/19 [ 2 ] et SM 70/20 [ 3 ]. L'absence, jusqu'à ce jour, d'accident de criticité, ne doit pas nous conduire à une confiance excessive dans nos techniques ; l'incident décrit témoigne d'un besoin permanent de vigilance, ce, d'autant plus, que le nombre d'installations traitant des produits fissiles croît rapidement alors que la routine et l'habitude engendrent naturellement une confiance excessive et une certaine accoutumance, causes de relâchement. Le fait, que le premier accident de criticité à déplorer aux U.S.A. dans une installation de traitement se soit produit plus de dix ans après le début du développement de l'énergie nucléaire dans ce pays, est significatif à cet égard.

Afin d'assurer la meilleure garantie concevable en matière de sûreté, la procédure suivante est en vigueur en FRANCE [ 18 ] : les installations traitant des produits fissiles en quantité supérieure à une valeur limite qui doit être incessamment fixée par Décret <sup>1)</sup> sont soumises à l'obtention d'une autorisation préalable de création. Cette autorisation est délivrée par une Commission Interministérielle dite des Installations Nucléaires de Base, statuant sur la vue du rapport de sûreté de l'installation et de l'avis d'experts. Toute modification aux principes de base régissant la sûreté de l'installation doit faire l'objet d'une autorisation. Des contrôles périodiques par des experts sont prévus.

L'assistance technique est fournie par le Commissariat à l'Energie Atomique, soumis lui-même à cette réglementation, et qui possède, par ailleurs, une organisation interne propre, analogue [ 19 ]. Une Commission de Sûreté des Installations Atomiques, dont le Président est le Haut-Commissaire, délivre, sur l'avis d'une Sous-Commission spécialisée dans la sûreté des masses critiques, les autorisations de construction et d'exploitation pour toute installation

1) Les valeurs proposées sont 375 grammes de <sup>239</sup>Pu ou <sup>233</sup>U, 600 grammes de <sup>235</sup>U pour l'uranium d'un enrichissement supérieur à 6 pour cent et 1 200 grammes de <sup>235</sup>U pour l'uranium d'un enrichissement compris entre 1 et 6 pour cent.

traitant plus de 100 grammes de produits fissiles. Des contrôles périodiques sont effectués. En outre, en vue de favoriser le développement et l'assimilation des techniques de sûreté nucléaire chez l'exploitant, un spécialiste de sûreté des masses critiques est en principe affecté auprès de chaque Centre traitant des masses importantes de produits fissiles.

#### 4° ANALYSE DES CONSEQUENCES

L'analyse des conséquences des accidents de criticité survenus, dont les caractéristiques essentielles sont présentées dans le Tableau II, constitue, à défaut d'expériences spécifiques sur lesquelles nous reviendrons, la seule base valable de travail du spécialiste de sûreté radiologique. Cette analyse lui permet de dégager des modèles d'accidents possibles, ou accidents caractéristiques, et un ordre de grandeur réaliste des effets sur le personnel ou l'installation, données nécessaires à la conception et à la mise en place des techniques et moyens de sauvegarde.

##### 4.1. Accident caractéristique

Les observations générales suivantes, concernant la forme, la durée et l'amplitude d'un accident de criticité, se dégagent de l'examen des colonnes 1 à 4 du Tableau II, complété par celui établi par STRATTON W. [20] sur les accidents survenus lors d'expériences critiques :

- L'accident de criticité en milieu modéré consiste, soit en une seule excursion critique d'une durée inférieure à une fraction de seconde, soit encore en une succession d'excursions critiques par oscillations entre un état sous-critique et un état critique. L'excursion unique ou les oscillations peuvent être suivies d'une réaction auto-entretenu d'une durée indéterminée. Les accidents survenus lors de la manipulation de produits fissiles métalliques dans les expériences critiques [20] [21] montrent que seule l'excursion nucléaire initiale est à craindre et que l'occurrence d'oscillations ou d'auto-entretien est invraisemblable, sauf cas extrêmement exceptionnels résultant d'un arrangement mécanique très particulier.

- Le nombre de fissions dans le premier pic dépasse rarement quelques  $10^{17}$ , qu'il s'agisse de solutions de produits fissiles ou de produits fissiles métalliques. La possibilité d'oscillations ou d'auto-entretien de la réaction nucléaire, dans le cas de solutions fissiles, peut porter le nombre total de fissions engendrées par l'accident à quelques  $10^{19}$ , la durée totale de l'accident peut alors atteindre plusieurs dizaines d'heures. Enfin, le nombre minimal de fissions susceptibles d'être engendrées lors d'une excursion nucléaire unique peut être estimé à  $10^{15}$  fissions.

Ces observations générales conduisent à sélectionner parmi la gamme des accidents possibles, compte-tenu du nombre de facteurs pouvant affecter la forme, la durée et le nombre total de fissions produites (taux d'insertion de réactivité, addition totale de réactivité, flux initial de neutrons, densité de puissance, etc...) les accidents caractéristiques ci-après, sous l'angle sûreté radiologique, avec un pessimisme raisonnable :

a) L'accident maximal caractéristique en vue d'étudier les conséquences radiologiques diverses :

- systèmes en solutions :

- . premier pic  $10^{18}$  fissions
- . prolongation par oscillations ou auto-entretien  $10^{19}$  fissions

- systèmes métalliques :

- . un seul pic  $10^{18}$  fissions
- . pas d'oscillation ou d'auto-entretien.

b) L'accident minimal caractéristique en vue de régler les seuils de déclenchement des dispositifs de détection :  $10^{15}$  fissions dans le premier pic.

Ces définitions, quoique arbitraires, constituent le point d'appui, raisonnablement pessimiste, nécessaire pour évaluer les conséquences à prévoir et les dispositions à prendre.

##### 4.2. Dangers présentés

L'analyse des conséquences des accidents survenus confirme que les dangers présentés par un accident de criticité sont essentiellement de nature radiologique et que les effets mécaniques ne sont, en principe, pas à craindre.

Bien que, lors des accidents 5 et 6, ainsi que lors de l'accident qui s'est produit à LIVERMORE le 25 mars 1963 [21] au cours d'une approche critique, une détonation sourde ait été perçue par le personnel au voisinage immédiat, aucun dégât matériel n'a été occasionné à l'installation, si ce n'est au système lui-même. Ceci est dû à l'énergie relativement faible mise en jeu (34 mégajoules, soit environ 10 kWh pour  $10^{18}$  fissions) et à l'inertie thermique de la solution ou du métal, qui rendent très peu probable l'explosion. Cependant, une expulsion ou une projection de matières fissiles peut se produire, ainsi que cela a été constaté dans les accidents 3 et 6. De même l'accident de LIVERMORE a entraîné la fusion et la combustion d'une partie importante de la masse de  $^{235}\text{U}$ .

Les dangers radiologiques d'une excursion accidentelle sont :

- d'une part, l'exposition aux rayonnements direct et diffusés dus aux photons gamma et aux neutrons émis dans les fissions, danger immédiat suivi du danger d'irradiation par les rayonnements des produits de fission formés,
- d'autre part, la contamination et l'irradiation dues au nuage de produits de fission ou de matière fissile susceptibles d'être émis en atmosphère confinée ou libre.

Les informations, concernant la radioexposition externe aux rayonnements de fission, sont présentées dans les colonnes 5 à 7 qui donnent, pour chacun des six accidents survenus, une estimation des rayons :



- De la zone de danger mortel qui est celle à la limite de laquelle 500 rad pourraient être reçus lors de l'excursion nucléaire initiale dans l'hypothèse d'une détection immédiate et d'une fuite rapide. Ce rayon a été au plus égal à 3,4 mètres lors de l'accident 2 et à 3 mètres lors de l'accident 6, accidents ayant entraîné, chacun, une radioexposition mortelle. Les accidents 3 et 4 n'ont pas entraîné de radioexpositions externes significatives, en raison de la présence d'épais blindages.

- De la zone d'exclusion qui peut être définie comme celle à la limite de laquelle la radioexposition externe due à l'excursion nucléaire initiale est au plus égale à 25 rem. Tout le personnel travaillant ou traversant cette zone doit évacuer impérativement et rapidement dès l'alerte. Le personnel dans cette zone doit donc être limité à celui directement intéressé par l'installation. Le rayon maximal (28 mètres) de cette zone est rencontré lors de l'accident 2.

- De la zone d'évacuation qui peut être définie comme celle à la limite de laquelle la radioexposition externe due à la totalité de l'accident est au plus de 3 rem. Le personnel travaillant dans cette zone doit être évacué le plus rapidement possible, mais cependant sans précipitation. La réoccupation des lieux n'interviendra que lorsqu'on aura acquis la certitude de l'arrêt définitif de la réaction nucléaire. Le rayon maximal de cette zone (250 mètres) est obtenu pour l'accident 5 ; la valeur portée est sans doute très pessimiste car elle résulte d'une extrapolation de la valeur correspondant à une distance de 10 mètres. Lors de cet accident, survenu à HANFORD le 7 avril 1962, toutes les installations situées à l'intérieur d'un périmètre d'une zone de 500 mètres de rayon furent évacuées jusqu'au 30 avril 1962.

Les définitions de ces différentes zones ne constituent pas des normes mais ont seulement pour but de préciser des niveaux d'action permettant d'établir un plan d'évacuation en cas d'alerte à un accident de criticité.

Les données disponibles concernant le danger de radioexposition au rayonnement gamma des produits de fission formés lors de l'excursion initiale n'ont pas été reportées car elles sont très incomplètes, en particulier dans la première minute suivant l'excursion. Il y a tout lieu de penser cependant que ce rayonnement peut entraîner, lors de la première minute, une radioexposition égale à celle reçue au cours de l'excursion nucléaire initiale. Ceci explique les doses relativement élevées reçues par certains des agents de Y 12 qui, lors de leur fuite, pas-

---

2) Le facteur de qualité (F.Q.) adopté pour l'expression de l'Equivalent de Dose, conformément aux Recommandations du Comité EBR de la Commission Internationale de Protection Radiologique [22], est pris en première approximation égal à :

- 1 pour les doses atteignant ou dépassant 500 rad, pour lesquelles les effets à court terme sont à redouter.

- 10 pour les doses se situant dans le domaine des radioexpositions acceptables ou concertées pour lesquelles seuls des effets à long terme sont à craindre.

sèrent près du fût divergent. Par suite, l'intérêt d'une évacuation très rapide, donc d'une détection immédiate, même si l'excursion nucléaire a été de courte durée et unique, demeure certain.

En ce qui concerne le danger de contamination (colonnes 8 et 9) cinq des accidents survenus ont entraîné une libération importante de radioactivité dans le local où se trouvait l'ensemble divergent par l'émission de produits de fission volatils ou gazeux (halogènes et gaz rares essentiellement) créés par la réaction nucléaire. C'est précisément cette émission qui a permis la détection et l'identification des accidents 3 et 4. Les informations sont trop insuffisantes pour permettre d'évaluer la fraction des produits de fission formés effectivement dispersée dans l'atmosphère du local ou dans les circuits de ventilation. Les mesures effectuées à l'occasion de l'accident 5 semblent montrer que, si la quasi totalité des gaz de fission est émise, seulement un très faible pourcentage de radioiodes se dégage. Ce fait est confirmé par les constatations faites lors des accidents 3 et 4. Par contre, l'accident déjà cité [21], survenu lors d'une expérience critique au Lawrence Radiation Laboratory de LIVERMORE au cours duquel, sur les 47 kilogrammes de l'assemblage critique, 25 kg de  $^{235}\text{U}$  fondirent, dont 15 kg brûlèrent, semble avoir donné lieu à une émission prédominante de radioiodes. Les études en cours sur la sécurité des réacteurs confirment et expliquent ces constatations : tandis que, dans les réacteurs à eau, les radioiodes sont piégés par l'eau et seuls les gaz rares se dégagent, dans les réacteurs à gaz, le dégagement des radioiodes est sensiblement proportionnel à la masse oxydée.

Pour l'ensemble de ces accidents, la contamination atmosphérique sur le site a été transitoire, en raison des périodes courtes des produits de fission relâchés, et relativement peu importante dans le lit du vent. Il est vrai que, par chance, pour les accidents les plus importants (accidents 3, 4 et 5) le rejet dans l'atmosphère s'est effectué par une cheminée après passage au travers de filtres. Il en est résulté une radioexposition externe réduite ayant cependant atteint transitoirement plusieurs roentgens/heure à quelques centaines de mètres. Cette contamination de courte durée, si elle a en général actionné les appareils de surveillance du site, n'a occasionné que des doses internes très faibles pour le personnel convenablement évacué. Aucune contamination significative du sol, en iodes en particulier, n'a été constatée.

Un accident de criticité peut donc présenter un risque important de radioexposition interne par contamination atmosphérique dans les locaux où il se produit. Par contre, il est probable qu'une évacuation bien dirigée, hors du lit du vent, limiterait à une valeur non significative la radioexposition due à l'émission du nuage radioactif sur le site. Cependant, il ne faut pas perdre de vue que, lors d'un accident de criticité avec du plutonium comme matière fissile, la volatilisation sous forme d'aérosols très fins de quelques dizaines de milligrammes de plutonium pourrait poser de sérieux problèmes, pour la contamination du sol en particulier, en l'absence de dispositif de confinement adéquat.

Les conclusions qui se dégagent de cette analyse des conséquences des accidents de criticité survenus sont :

- Une surprenante homogénéité des observations, sur les effets radiologiques en particulier, lorsque ceux-ci sont ramenés à l'accident maximal caractéristique ( $10^{18}$  fissions dans le premier pic) (cf. figure 1).

- Une enveloppe des zones de danger, déduite de la reconstitution de l'accident de Y 12 [ 23 ] et du fonctionnement du réacteur H.P.R.R. [ 24 ] pour l'accident maximal caractéristique proposé :

- . la zone de danger mortel ne s'étend pas au-delà du voisinage très immédiat (rayon inférieur à 8 mètres),
- . la zone d'exclusion, au sens où nous l'avons définie, est limitée à un rayon au plus égal à 110 mètres en l'absence de toute atténuation,
- . la zone d'évacuation ne s'étend pas au-delà d'un rayon de 500 mètres pour l'ensemble des risques, sauf peut-être dans le lit du vent, ou si la matière fissile est du plutonium.

Le tableau ci-dessous [ 25 ] précise l'influence d'une éventuelle atténuation apportée par les murs de l'installation sur les valeurs des rayons des différentes zones précédemment définies.

Zones d'action	Système modéré					Système rapide				
	Epaisseur des murs en cm de béton d = 2, 3									
	0	15	30	60	90	0	15	30	60	90
Zone de danger mortel (en m) 500 rad/10 <sup>18</sup> fissions	7	4	2,3	0,7		8	4,5	2,6	0,8	
Zone d'exclusion 25 rem/10 <sup>18</sup> fissions	58	32	18	5,6	1,8	85	52	34	12	3,4
Zone d'évacuation (10 <sup>19</sup> fissions 3 rem (système modéré (10 <sup>18</sup> fissions (système rapide	500	290	170	53	17	180	125	80	30	11

Rayons des zones de danger mortel, d'exclusion et d'évacuation.

## 5° PARADES AUX CONSEQUENCES

Chacun sait l'importance non raisonnée, eu égard aux accidents classiques, que le public attache à tout accident d'origine nucléaire et, en particulier aux accidents de criticité, en raison sans doute de leur caractère de nouveauté toujours persistant. Il est un fait, largement confirmé par l'examen des accidents survenus dans l'industrie nucléaire [ 26 ], que les accidents de criticité sont les seuls accidents ayant conduit à des décès par irradiation massive. Ceci est dû en particulier, au plus grand danger de radioexposition externe par suite de l'absence de blindage

ges que l'on rencontre habituellement autour des autres sources de rayonnement. Pour ces différentes raisons - danger pour le personnel, dommage pour l'installation, réaction du public - il importe de prévoir des parades aux conséquences d'un accident toujours possible.

Les personnes exposées lors d'un accident de criticité appartiennent à trois catégories :

- Les servants immédiats dans le local, siège de l'excursion nucléaire.
- Leurs collaborateurs dans la même installation, mais dans des locaux ou laboratoires voisins.
- Les autres agents travaillant sur le site dans d'autres installations.

Examinons, pour chacune de ces trois catégories de personnel, les techniques de prévention généralement utilisées qui reposent : sur le choix de l'emplacement de l'installation sur le site, la conception générale de l'installation et son aménagement, ainsi que sur les procédures et les consignes d'urgence dont la détection de l'accident constitue le signal vital de mise en application.

### 5.1. Emplacement sur le site

La protection des agents travaillant dans d'autres installations sur le site, est obtenue en ménageant, autant que possible, autour de chaque installation présentant des risques de criticité, une zone dite d'exclusion. Le recouvrement des zones d'exclusion est envisagé et même souhaitable, ainsi que le regroupement dans une même zone de différents laboratoires présentant des risques de criticité. Par contre, on évite la construction dans leur voisinage immédiat de locaux à usage de bureaux ou de laboratoires sans risque de criticité associé et non liés fonctionnellement à l'installation.

### 5.2. Conception de l'installation

La conception de l'installation, par un isolement relatif convenable des laboratoires, peut apporter une importante réduction du danger pour le personnel ne travaillant pas au voisinage immédiat de l'ensemble divergent. On évite, autant que possible, la construction d'ensembles ramassés à plusieurs étages et on s'oriente, au contraire, vers une organisation des laboratoires en lignes ou en épis avec interposition de magasins ou de lieux de stockages de matières non fissiles dans la zone médiane. Cette organisation facilite la détection et la localisation de l'incident ainsi que l'évacuation rapide du personnel. Ces solutions ne sont pas nécessairement onéreuses si elles sont appliquées dès la conception de l'installation.

### 5.3. Aménagement des ateliers ou laboratoires

La protection du personnel le plus exposé soulève davantage de difficultés. La seule parade est le blindage, nécessitant la télémanipulation. En raison de sa difficulté de mise en oeuvre, de son incidence sur les opérations et de son coût, en règle générale, il n'est pas prévu de

blindage de protection, à l'exception des cas où il existe un risque permanent d'irradiation gamma dû à une contamination par produits de fission. L'amélioration de la sûreté par une recherche des parades aux causes est préférable et souvent plus économique. Cependant, si un risque permanent d'irradiation existe, l'épaisseur du blindage est parfois accrue de manière à assurer une protection suffisante en cas d'accident.

L'aménagement des ateliers permet également de limiter le risque de contamination sur le site. La parade réside dans la réalisation d'un confinement efficace de la contamination, d'une part en améliorant l'étanchéité des ateliers, d'autre part en contrôlant les fuites par une mise en dépression à l'aide d'un dispositif d'extraction filtrée approprié. Dès la détection de l'accident la ventilation est automatiquement coupée et le dispositif d'extraction filtrée en cas d'accident mis en route.

#### 5.4. Détection et alarme

La détection instantanée de l'accident et la fuite immédiate et rapide dès l'alerte constituent la parade la plus efficace susceptible de sauver la vie du personnel le plus exposé. Il n'y a pas de doute que l'agent le plus proche du fût divergent, lors de l'accident 1, doit la vie à son réflexe de fuite dès l'alarme. Les manifestations physiques d'une excursion critique demeurent nettement insuffisantes pour donner l'alarme et peuvent, par ailleurs, prêter à confusion. La nécessité d'un appareillage spécialisé dans la détection des accidents de criticité s'impose donc. Un dispositif de détection et d'alarme sûr et efficace doit essentiellement :

- Détecter immédiatement, dans sa zone de surveillance, toute excursion critique, quelles que soient son amplitude et sa forme, afin de déclencher immédiatement l'alarme,
- limiter l'évacuation immédiate à la zone de danger réel, par suite, demeurer insensible à toute excursion critique accidentelle dans une autre installation, car une évacuation trop rapide et non nécessaire, peut être dangereuse,
- présenter un haut degré de sécurité de fonctionnement avec une probabilité de fausse alarme la plus faible possible, pour les mêmes raisons que précédemment,

Les conclusions suivantes résultent de ces trois principaux objectifs :

- La rapidité de réponse exige que l'alarme soit déclenchée à partir de l'émission gamma ou neutrons lors de l'excursion nucléaire initiale,
- en vue de limiter le rayon de la zone de déclenchement de l'alarme et de s'affranchir de l'incertitude qui entoure la durée d'une excursion critique, la sonde de détection doit déclencher pour une dose intégrée définie et non pour un débit de dose prédéterminé,
- le haut degré de sécurité et l'absence de fausse alarme nécessitent l'adoption du principe que toute panne concevable est sûre et l'utilisation d'une coïncidence deux parmi trois, chaque appareillage suspecté étant par conséquent surveillé par au moins trois sondes en vue d'assurer une continuité dans la surveillance en cas de panne de l'une d'entre elles.

Deux types de sondes, l'une utilisant un ensemble scintillateur-photomultiplicateur, l'autre un détecteur à semi-conducteur ainsi qu'un ensemble de traitement des informations réalisés sur ces bases, équipent les installations présentant des risques de criticité. Ce matériel, disponible commercialement, a été décrit par ailleurs [ 27 ] .

L'équipement des installations en dispositifs de détection repose sur la philosophie suivante fondée, sur le fait que le danger pour le personnel est le produit de deux facteurs : l'importance du dommage et la probabilité d'occurrence. En principe, toute installation faisant l'objet d'une autorisation de construction ou d'exploitation doit être équipée d'un réseau de détection. Les dispositions ci-après sont prises :

- Pas de réseau de détection :

- . si la quantité de matière fissile mise en oeuvre dans l'installation est inférieure à celle nécessitant une autorisation de construction ou de démarrage,
- . si la probabilité d'accidents est très faible par suite d'une très grande sécurité des opérations. Les installations présentant une très grande sécurité peuvent être dispensées, après examen attentif, de tout réseau de détection.

- Dispositif d'alerte : si le danger pour le personnel ou le voisinage est très réduit par suite de très faibles dommages envisageables (cellules blindées, cuves enterrées, ...). Un dispositif d'alerte est mis en place pour surveiller les points critiques : l'alarme n'est déclenchée que manuellement, en vue de limiter les risques de contamination atmosphérique;

- Dispositif d'alarme : dans tous les autres cas. Cette alarme, automatique, actionne les signaux sonores caractéristiques d'évacuation qui doivent être perçus par le personnel concerné dans les conditions les plus défavorables.

- Installation mobile d'alerte ou d'alarme : pour certaines opérations particulières susceptibles d'entraîner un accroissement momentané de la probabilité d'accident.

L'expérience acquise en matière de détection des accidents est encore trop récente pour en tirer des conclusions générales. Cependant, tout en confirmant la qualité du matériel de base, elle a révélé la nécessité, si l'on veut assurer la sécurité vis-à-vis des fausses alarmes, de grandes précautions dans la réalisation matérielle de l'installation et d'une période minimale d'essais de deux mois afin d'assurer le rodage de l'installation et la formation technique du personnel chargé de l'exploitation et de l'entretien.

#### 5.5. Evacuation - Regroupement

Dès l'audition du signal spécifique normalisé - son discontinu par klaxon pulsé ou sirène modulée - l'évacuation du personnel s'effectue immédiatement et très rapidement suivant des itinéraires fléchés en utilisant les issues directes de secours réservées à cet effet. Aucun motif susceptible de retarder l'évacuation n'est retenu. Le personnel rejoint le plus rapidement

possible avec les dosimètres dont il est porteur le point de regroupement prévu à l'extérieur de l'installation où il reçoit les instructions du Service de Radioprotection du Centre. Il convient de noter que, pour de grands ensembles fonctionnant en continu - usines de traitement, usines de diffusion - l'évacuation, en cas d'alerte, d'une fraction importante du personnel, pose de sérieux problèmes. Cette incidence sur le fonctionnement de l'usine conduit souvent à perfectionner la sûreté de l'installation.

#### 5.6. Identification du personnel irradié

Au point de regroupement, le personnel de radioprotection procède à un tri rapide des agents irradiés, par le contrôle, à l'aide des instruments prévus à cet effet, de l'activation d'une pastille d'indium et d'une pastille d'or incorporées au dosimètre individuel porté par chaque agent.

#### 5.7. Dosimétrie

L'évaluation des doses repose sur l'exploitation des données fournies par le dispositif dosimétrique suivant [ 28 ] :

- Stations dosimétriques principales, élaborées, convenablement distribuées dans l'installation et comportant des détecteurs à seuil et à activation appropriés et des dosimètres gamma.
- Stations dosimétriques secondaires, simplifiées, distribuées en plus grand nombre.
- Dosimètre individuel à fonctions multiples, assurant, outre la dosimétrie de routine, l'identification du personnel et la dosimétrie des radioexpositions élevées à l'aide d'un complément amovible.

Un programme sur machine électronique permet l'exploitation rapide des données des différents dosimètres en vue d'obtenir une carte assez précise de la distribution de flux et des doses de neutrons rapides, thermiques et intermédiaires autour de l'ensemble divergent. Des essais effectués auprès d'ensembles critiques [ 29 ] ont montré que la précision en flux et kerma est meilleure que 20 pour cent mais révélé que la perturbation, apportée sur le champ de rayonnements par le corps humain, rend très incertaine l'utilisation des données du dosimètre individuel, si la position et l'orientation de la personne ne sont pas connues avec une précision suffisante. Il est alors nécessaire de recourir à la mesure de l'activation du sang en sodium 24 et aux informations fournies par les détecteurs incorporés à une ceinture portée par le personnel le plus exposé. L'évaluation de l'activité des cheveux et des poils est également prévue comme palliatif.

La récupération des dosimètres distribués dans les zones de travail s'effectue, autant que faire se peut, à l'aide de dispositifs pneumatiques ou mécaniques, à partir de l'extérieur de l'installation.

#### 5.8. Intervention

L'intervention après l'alarme, en vue du sauvetage des blessés éventuels, de l'identification et de la localisation de l'accident, de la neutralisation du danger, de la récupération des dosimètres de zones et de la réoccupation des lieux, s'effectue dans le cadre d'un plan d'urgence préalablement établi et rodé par des exercices simulés. Des consignes, aussi simples et claires que possible, prévoient le rôle des différents Services concernés par un accident de criticité. Ainsi l'identification de l'accident est assurée par le Service de Radioprotection du Centre.

Des matériels spécialisés, tels que débitmètres à gamme de sensibilité élevée, dosimètres portatifs à intégration de doses émettant un signal audible dès le franchissement d'une dose prédéterminée [ 30 ], dispositifs mobiles d'extraction filtrée, ensembles mobiles de décontamination du personnel, ont été développés.

Le dernier accident survenu, au cours duquel les deux premières interventions furent effectuées sans instrument de mesure, sans vêtement de protection et sans masque, et dont la troisième intervention provoqua une seconde excursion nucléaire, témoigne de l'intérêt essentiel d'une bonne préparation de toute intervention.

#### 6° CONCLUSION

L'analyse des accidents survenus est riche d'enseignements pour les différents spécialistes concernés. Cependant, si elle dévoile la gamme des fautes susceptibles d'être commises avant et après l'accident, et fournit une enveloppe de ses conséquences effectives, elle reste insuffisante à préciser certaines incertitudes concernant :

- la dynamique de l'excursion,
- l'amplitude de l'excursion,
- les flux et les spectres des rayonnements émis,
- l'activité et la nature des produits contaminants libérés.

Il serait souhaitable qu'un programme expérimental, poursuivant dans ce domaine d'études des conséquences d'un accident celles entreprises avec succès sur les paramètres critiques, soit développé à l'aide d'une conversion appropriée des mêmes moyens d'études. Ce programme permettrait de dégager des modèles plus élaborés d'accidents caractéristiques, d'étudier avec plus de précision leurs conséquences diverses et, par voie de conséquence, de réaliser une économie sensible des parades. Un programme analogue concernant l'étude des conséquences des accidents de réacteurs est actuellement en plein développement. Dans cette attente, les échanges d'informations concernant les incidents qui ont failli provoquer un accident de criticité et l'expérience d'exploitation d'installations diverses, sont hautement souhaitables, ce qui conduit à évoquer l'intérêt particulier de la désignation, lors de chaque accident, d'un groupe d'experts indépendants, chargés d'analyser les causes et les conséquences.

Enfin, le traitement efficace des problèmes complexes posés par la prévention des

causes et des conséquences des accidents de criticité impose, dès le stade du projet et lors du démarrage de l'installation, une collaboration étroite entre l'exploitant, le spécialiste des masses critiques et le spécialiste de sûreté radiologique. Cette collaboration donne lieu à l'élaboration d'un rapport de sûreté et de consignes précises qui, en cas d'accident, évitent tout flottement pouvant être grave de conséquences pour le personnel. Par ailleurs, cette collaboration permet un choix judicieux de l'appareillage de génie chimique ou métallurgique et un aménagement fonctionnel des locaux de manière à minimiser autant que possible les causes et les conséquences d'un accident de criticité sans nuire au rendement de l'installation. Un compromis économique doit être trouvé entre le prix de revient des parades aux conséquences et celui des parades aux causes d'un éventuel accident de criticité.

TABLEAU I  
ANALYSE DES CAUSES DE SIX ACCIDENTS DE CRITICITE

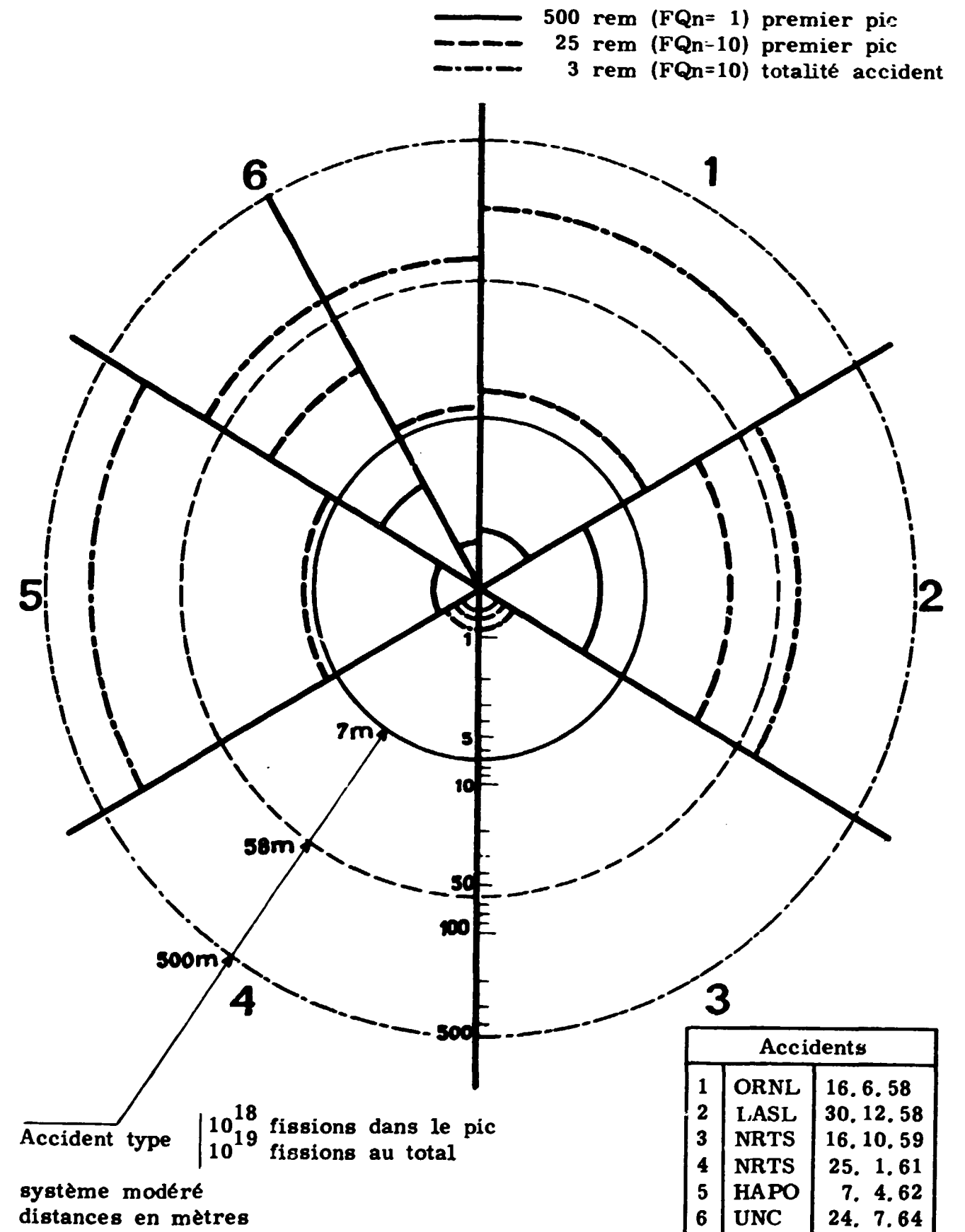
ACCIDENT N°	I	II	III	IV	V	VI
Lieu de l'accident	ORNL Oak Ridge	LASL Los Alamos	NRTS Idaho Falls	NRTS Idaho Falls	HAPO Hanford	UNC Wood River junction
Date de l'accident	16/6/1958	30/12.1958	16/10/1959	25/1/1961	7/4/1962	24/7/1964
- normales						
- normales après un incident	X	X	X	X	X	X
- exceptionnelles						
- sur produits secs						
- en solution	X	X	X	X	X	X
- matière fissile	U à 90 %	Pu	U à 90 %	U à 90 %	Pu	U à 90 %
Nombre d'événements ayant conduit à la criticité	- erreur de vanne - introduction d'un fût de géométrie non sûre - non identification d'une solution d'uranium	- erreur de transfert - non contrôle de la concentration	- pression appliquée trop forte - non isolement d'un circuit géométriquement sûr	- application pression excessive - non isolement d'un circuit géométriquement sûr	- modification d'ordre installation primitivement en géométrie sûre - fuite par trop plein, non identifiée	- non respect d'un ordre - non séparation des solutions riches et pauvres - changement de géométrie
Masse de matière fissile mise en jeu	2 100 g dans 56 litres	3 270 g dans 160 litres	34 000 g dans 800 litres	8 000 g dans 40 litres	1 360 g dans 46 litres	2 800 g dans 52 litres

TABLEAU II  
ANALYSE DES CONSEQUENCES RADIOLOGIQUES DE SIX ACCIDENTS DE CRITICITE

Données	Nombre de fissions		Durée		Rayon (m) des zones correspondantes à des doses supérieures à :		Radioactivité libérée		Blinda-ge im- portant de dé- présent tion en pla- ce	Nombre de per- sonnes évacué- es	Nombre de per- sonnes ayant re- çu plus de 25 rem (13)	Doses (rem) $FQ_n=1$	Distanc- es (m) (15)	Nom- bre de jours d'ar- rêt (16)		
	pic	total	pic	total	500rem $FQ_n=1$	25rem $FQ_n=10$	3rem $FQ_n=10$	totalité							dans le local	sur le site
Accidents	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)	(14)	(15)	(16)
I/ORNL Oak Ridge 16/6/1958	$10^{16}$ 10 <sup>17</sup>	1,3 10 <sup>18</sup>	15 s entre 2 pre- miers pics	21 mn oscil- lations + pla- teau	1,3	10	180	impor- tante	très faible	non	oui	1 200	6	283 209 267 253 180 54	1,8 4,6 5,2 4,9 6,7 9,4	7
II/LASL Los Alamos 30/12/1958	1,5 10 <sup>17</sup>	1,5 10 <sup>17</sup>	~1 s		3,4	28	80	nulle	nulle	non	oui mais provi- soire		3 (1 décès)	12 000 134 53 4	0,85 13,1 10,7 22,9	180
III/NRTS Idaho Falls 16/10/1959	$\sim 10^7$	4 10 <sup>19</sup>		15 à 20 mn oscil- lations + pla- teau				très impor- tante	notable	oui (~2 m) de bé- ton	non	21		Doses exte- ries au niveau de la peau, dues au nuage, com- prises entre 5 et 50 rem.		1
IV/NRTS Idaho Falls 25/1/1961		6 10 <sup>17</sup>	2 à 3 mn					très impor- tante	notable	oui		251	0	< 50 mrem		0
V/HAPO Hanford 7/4/1962	8 10 <sup>15</sup>	8 10 <sup>17</sup>		37 h	< 1	8	250	très impor- tante	faible	non	oui	22	3	90 34 16 1,34	2,3 3,5 7,9 10	23 jrs dans un ra- yon de 500 m
VI/UNC Wood River Junction 27/4/1964	$\sim 10^{17}$ (1° pic) $\sim 2 \cdot 10^{16}$ (2° pic)	1,2 10 <sup>17</sup>			3 1	25 8,5	80	très impor- tante	faible	non	oui	4	3 (1 décès)	19 000 9,1 20,5	0,5 5 5	150 jours

CONSEQUENCES RADIOLOGIQUES COMPAREES  
DE SIX ACCIDENTS DE CRITICITE

(rayons des zones de risque  
de radioexposition externe)



- Fig. 1 -



## BIBLIOGRAPHIE

- [1] "Accidental radiation excursion at the Y-12 plant, June 16, 1958, Final report"  
Union Carbide Nuclear Company, Oak Ridge, Tenn., Y-1 234, 1958
- [2] GEY A. et Al.  
Caractères et réalisations du stockage des produits fissiles"  
Colloque sur la Prévention de la Criticité des Produits fissiles (nov. 1965, Stockholm)  
Communication 70/19
- [3] CANTEL J. et al.  
Conception et exploitation d'ensembles industriels présentant des risques de criticité,  
Expérience tirée de réalisations françaises, Colloque sur la Prévention de la Criticité  
des Produits Fissiles (nov. 1965, Stockholm) communication 70/20
- [4] Mc LENDON J.D.  
Accidental radiation excursion at the Oak Ridge Y-12 Plant,  
Health Physics, 1959, 2, 21-29
- [5] PAXTON H.E. et al.  
Nuclear-critical accident at the Los Alamos Scientific Laboratory on December 30, 1958  
Los Alamos Scientific Lab., Los Alamos, New Mexico, LAMS-2 293, 1959
- [6] SHIPMAN, T.L.  
A radiation fatality resulting from massive over exposure to neutrons and gamma rays,  
Proc. Dianosis and Treatment of Acute Radiation Injury (1961, Geneva) 113-33
- [7] GINKEL, W.L.  
Nuclear incident at the Idaho Chemical Processing Plant",  
National Reactor Testing Station, Idaho Falls, Idaho, IDO 10 035, 1960

- [8] PAULUS R.C.  
Nuclear incident at the Idaho Chemical Processing Plant, on January 25, 1961  
Report of the investigating committee, National Reactor Testing Station, Idaho Falls,  
Idaho, IDO 10 036, 1961
- [9] Summary report of accidental nuclear excursion Recuplex Operation 234-5 facility.  
Hanford Atomic Products Operation, Richland, Wash., TID 18 431, 1962
- [10] CALLIHAN D.  
Accidental Nuclear excursion in Recuplex Operation at Hanford in April 1962  
Nuclear Safety, 1963, 4, 136-44
- [11] Dosimetry investigation of the Recuplex criticality accident,  
Health Physics, 1963, 9, 757-68
- [12] United nuclear reports on the Wood River Junction accident,  
Health Physics, 1965, 11, 154-55
- [13] Criticality accident at United Nuclear corporation Wood River Junction, Rhode Island,  
A.E.C. Washington (21 August 1964).
- [14] KOUTS H.  
Report of the AEC Technical Review Committee  
A.E.C. Washington - 6 november 1964
- [15] SHAPIRO, M.M., NAKACHE F., SOODAK H.  
Some problems and advances in the state-of-the art in the analysis of the Wood River  
Junction, Rhode Island accidental criticality excursion  
10th Annual Meeting Health Physics Society (June 1965, Los Angeles) paper 36
- [16] AUXIER J.A.  
Nuclear accident at Wood River Junction  
Nuclear Safety, 1965, 6, 298-301
- [17] GEY A.  
Communication privée
- [18] Commission Interministérielle des Installations Nucléaires de Base, décret 63-1,  
228, 11 décembre 1963
- [19] LECORCHE P., CAIZERGUES R.  
Aspects administratifs du contrôle de la criticité''  
Proc. Criticality Control in Chemical and Metallurgical Plant, 1961 Karlsruhe, 459-63
- [20] STRATTON W.R.  
A review of criticality incidents,  
Proc. Criticality Control in Chemical and Metallurgical Plant, 1961 Karlsruhe, 491-533
- [21] Health Physics following a nuclear excursion : the LRL incident of 26 march 1963,  
Ernest O. Lawrence Radiation Lab. Livermore, Calif., UCRL 7 345, 1963
- [22] Report of the RBE Committee to the International Commission Radiological Protection  
and on Radiological Units and Measurements,  
Health Physics, 1963, 9, 357-86
- [23] BAHLER K.W. et al.  
Prevention and handling of radiation emergencies - Union Carbide Nuclear Co -  
Goodyear Atomic Corporation, Oak Ridge, Tenn., Portsmouth, Ohio, K 1 436, 1959
- [24] HPRR operations and special projects, Oak Ridge Nt 1. Lab. Tenn., ORNL 3 697,  
1964, 165-69
- [25] LAVIE J.M. et Al.  
Criticité et Radioprotection - Commissariat à l'Energie Atomique, Saclay, Note  
CEA 543, 1965
- [26] SUDRA-FOURCADE Y.  
Liste d'incidents survenus à des réacteurs et dans des installations nucléaires,  
Commissariat à l'Energie Atomique, Saclay, Bibliographie 48, 1964
- [27] DEBRIE G., LAVIE J.M., PLANQUE M.  
La détection des accidents de criticité au Commissariat à l'Energie Atomique, 3ème Conf.  
Int. sur l'utilisation de l'Energie Atomique à des fins pacifiques, 1964, Genève  
A conf. 28/P/85
- [28] CANDES P., LAVIE J.D.  
Dispositif pour la dosimétrie en cas d'accident de criticité - Colloque Int. sur la Dosimé-  
trie des Irradiations dues à des sources externes (nov. 1964, Paris) Communication n°33



[29] BRICKA M., BENEZECH G.  
Essai d'un dispositif de dosimétrie pour les accidents de criticité auprès d'un ensemble critique rapide.

Colloque sur le Contrôle Dosimétrique du Personnel en cas d'exposition à des doses élevées de rayonnements externes et internes (1965, Vienne) Communication SM 56-39

[30] FITOUSSI L., GANOUNA-COHEN G., RAGE M.  
Dosimètres individuels à alarme pour travail ou intervention sous rayonnement'  
Colloque sur le Contrôle Dosimétrique du Personnel en cas d'exposition à des doses élevées de rayonnements externes et internes (1965, Vienne), communication SM 56-42.

*Manuscrit reçu le 30 juin 1966*