

# Sûreté des centrales nucléaires

---

par H.J. Otway

*Au cours de la dernière décennie, on a constaté que les réacteurs nucléaires étaient une source d'énergie électrique pouvant concurrencer du point de vue économique les moyens classiques de production d'énergie. Il en est résulté une augmentation des commandes de centrales nucléaires, tandis que le public s'intéressait de plus en plus à la sûreté de ces installations et à leurs conséquences pour l'environnement. Cet intérêt du public est démontré par le nombre d'articles parus dans la presse mondiale, les uns pour faire l'éloge de ce mouvement en faveur de l'énergie d'origine nucléaire, les autres pour le condamner.*

*Ses adversaires expriment des inquiétudes qui portent sur trois principaux domaines: élimination à long terme de déchets radioactifs, effets des rejets radioactifs et thermiques de routine et effets et probabilité d'accidents graves. Le présent article se bornera à étudier ce dernier point, dans les limites de la place disponible, et reprend dans une grande mesure les données contenues dans le rapport de la Commission de l'énergie atomique des Etats-Unis WASH-1250 [ 1 ] « The Safety of Nuclear Power Reactors (Light Water Cooled) and Related Facilities » (Sécurité des réacteurs nucléaires de puissance (refroidis à l'eau légère) et des installations connexes).*

## Effets possibles d'accidents catastrophiques

Au cours des années 1950, il est devenu nécessaire de déterminer le montant de l'assurance au tiers qui serait nécessaire pour l'industrie nucléaire en voie de développement. C'est pourquoi, en 1957, la Commission de l'énergie atomique des Etats-Unis a publié le rapport bien connu WASH-740 [2] qui s'efforçait d'évaluer les conséquences d'un accident catastrophique survenu dans un réacteur (thermique) hypothétique de 500 MW situé à une cinquantaine de kilomètres d'une ville de 1 million d'habitants. Ce rapport expose les possibilités et conséquences théoriques de graves accidents, et en particulier de certains accidents supposés, théoriquement possibles mais fortement improbables, dans de grandes centrales nucléaires.

Le rapport présente essentiellement une évaluation rationnelle des plus graves conséquences possibles en cas d'accident important, mais on notera qu'il ne tient pas compte des mécanismes physiques qui ont déclenché l'accident. Autrement dit, il suppose que se produisent des accidents qui libéreraient une certaine quantité de produits de fission et il évalue ensuite les pires conséquences possibles sur le plan de la mortalité, des dommages corporels et des dommages aux biens.

Les calculs ont été effectués en prenant trois séries d'hypothèses différentes concernant les conditions atmosphériques, la quantité et la température des produits de fission libérés, la dimension des particules etc. Les résultats ont varié largement suivant la série d'hypothèses utilisée. Ainsi, suivant l'hypothèse choisie, les décès seraient compris entre 0 et 3 400, les dommages corporels entre 0 et 43 000, et la contamination des biens s'étendrait à une superficie comprise entre 45 et 390 000 kilomètres carrés. Les conséquences de l'accident le plus grave paraissent effectivement très sérieuses, mais on notera que pour établir ces calculs, on a supposé que 50% de l'activité des produits de fission bruts étaient libérés **dans l'atmosphère** dans de mauvaises conditions atmosphériques. On n'a pas considéré les mécanismes physiques qui ont déclenché ce rejet ni tenu compte des systèmes de protection qui sont incorporés aux centrales nucléaires actuelles. On estime aujourd'hui qu'une libération de 50% de tous les produits de fission dans l'atmosphère est beaucoup plus élevée que celle qui pourrait se produire au cours d'un véritable accident de réacteur.

## Protection en profondeur

En 1973, la Commission de l'énergie atomique des Etats-Unis a publié le rapport WASH-1250 [1] qui étudie les problèmes actuels de sûreté et d'environnement liés aux centrales nucléaires. Ce rapport, qui est à certains égards une mise à jour des données contenues dans le rapport WASH-740, présente aussi la doctrine fondamentale des études destinées à assurer la sûreté des centrales nucléaires — « protection en profondeur ». Cette conception prévoit des mesures de sécurité à trois niveaux différents:

*Au premier niveau, on étudie et construit l'installation de manière qu'elle fonctionne comme prévu avec un degré de fiabilité élevé. A ce niveau, on se préoccupe de la prévention des accidents par des dispositifs incorporés et on met l'accent sur le contrôle de la qualité, les circuits de secours, les essais, les inspections et les dispositifs tout ou rien.*

*Au deuxième niveau, on suppose que malgré les efforts pour prévenir les accidents, il est prudent de prévoir qu'un accident pourrait quand même se produire. Des dispositifs de protection fiables sont donc prévus pour prévenir les accidents ou pour en réduire les effets. Ces dispositifs comprennent un système de refroidissement du cœur en cas d'urgence qui doit fonctionner en cas d'accident comportant une perte du fluide de refroidissement, une limitation mécanique du taux d'augmentation de puissance, un système d'arrêt rapide du réacteur actionné par des chaînes de sécurité doubles et indépendantes, une alimentation en énergie indépendante hors du site.*

*La troisième catégorie de mesures de sécurité complète les deux premières en ajoutant une marge de sécurité assurant la protection de la population au cas où un accident très improbable se produirait quand même. A cette fin on évalue le comportement du type de réacteur étudié dans l'hypothèse d'un accident grave, par exemple, en supposant que les systèmes de protection double tombent en panne simultanément et indépendamment en même temps que se produit l'accident contre lequel ils doivent intervenir. A ce propos, le rapport étudie plusieurs accidents dus à une faute de conception, dont le plus connu est l'accident par perte de fluide de refroidissement où l'on suppose une rupture soudaine d'une conduite principale. D'autres mesures prises à ce troisième niveau comprennent la protection contre les séismes, les tornades, les inondations, les pannes de composants.*

On notera qu'une controverse s'est élevée au sujet des systèmes de refroidissement du cœur car des essais à mi-échelle effectués en 1969 ont fait apparaître des carences dans les modèles d'évaluation et les codes d'ordinateur utilisés pour leur étude. Depuis lors, on a étudié ces systèmes de manière approfondie en vue d'obtenir des renseignements fondamentaux pour la recherche et d'établir de nouveaux critères pour les plans. Entre-temps, les systèmes de refroidissement du cœur en cas d'urgence doivent satisfaire aux critères de performance fixés pour des hypothèses prudentes concernant les pannes simultanées de composants. Le tableau I compare les hypothèses prudentes actuellement utilisées pour les plans avec une série d'hypothèses correspondant davantage à la réalité. L'élaboration des règles relatives aux critères du système de refroidissement du cœur en cas d'urgence, aux Etats-Unis, semble près d'être achevée; d'après les indications préliminaires, il semble que les centrales nucléaires dont le système de refroidissement du cœur en cas d'urgence répond aux anciens critères feront l'objet d'une réduction de puissance d'environ 5% en moyenne [3].

TABLEAU I.\* COMPARAISON PARTIELLE DES HYPOTHESES REALISTES ET DES HYPOTHESES PRUDENTES POUR LES CALCULS D'ACCIDENT PAR PERTE DE FLUIDE DE REFROIDISSEMENT

<b>Hypothèses réalistes</b>	<b>Hypothèses prudentes</b>
<b>Causes de l'accident</b>	
1. Fisturation d'une conduite principale ou rupture d'une conduite secondaire entraînant l'arrêt et la réparation.	1. Rupture aux deux extrémités ou rupture importante de la plus grosse conduite.
<b>Systèmes électriques</b>	
1. Une alimentation en dehors du site est disponible.	1. Une alimentation hors du site n'est pas disponible et l'un des nombreux générateurs diesel de secours est en panne.
<b>Puissance</b>	
1. La centrale est exploitée à 100% au plus de sa puissance.	1. La centrale est exploitée de manière continue à 102% (réacteur à eau sous pression), ou à 105% (réacteur à eau bouillante) de sa puissance pour tenir compte des erreurs d'instruments possibles.
2. La région la plus chaude du cœur a le facteur de crête prévu.	2. La région la plus chaude du cœur est supposée avoir le facteur de crête maximal admissible du fait de conditions anormales.
3. La chaleur de désintégration est conforme aux meilleures prévisions.	3. La chaleur de désintégration est supérieure aux meilleures prévisions pour tenir compte de l'incertitude des calculs.
<b>Système de refroidissement du cœur en cas d'urgence</b>	
1. Tous les éléments du système de refroidissement du cœur en cas d'urgence fonctionnent.	1. Le seul élément actif pouvant avoir les «pires conséquences» ne fonctionne pas.
2. Une rupture se produit de manière qu'une partie de l'eau du système de refroidissement du cœur en cas d'urgence qui atteint la boucle endommagée est efficace.	2. Toute l'eau du système de refroidissement du cœur en cas d'urgence qui parvient à la boucle endommagée se perd dans l'enceinte de confinement (réacteur à eau sous-pression seulement).
3. Les pompes fonctionnent à un débit plus élevé que celui qui est prévu.	3. Les pompes fonctionnent au débit prévu.
<b>Performance du système de refroidissement du cœur en cas d'urgence</b>	
1. Les pompes du fluide de refroidissement du réacteur continuent à fonctionner.	1. Les pompes du circuit de refroidissement sont déconnectées, ralentissent ou ont un impulseur bloqué.
2. Une partie de l'eau de secours fournie pendant la décompression atteint la cuve sous pression et y reste.	2. Toute l'eau de secours fournie pendant la décompression se perd (réacteur à eau sous-pression seulement).
3. On utilise les coefficients de transfert de chaleur fondés sur les meilleures estimations.	3. On utilise des coefficients de transfert de chaleur plus faibles.
4. Les barres de combustible sont à des températures diverses.	4. On ne considère que la barre de combustible la plus chaude.

\* Extrait de la publication faisant l'objet de la référence 1.

### Risques nucléaires en perspective

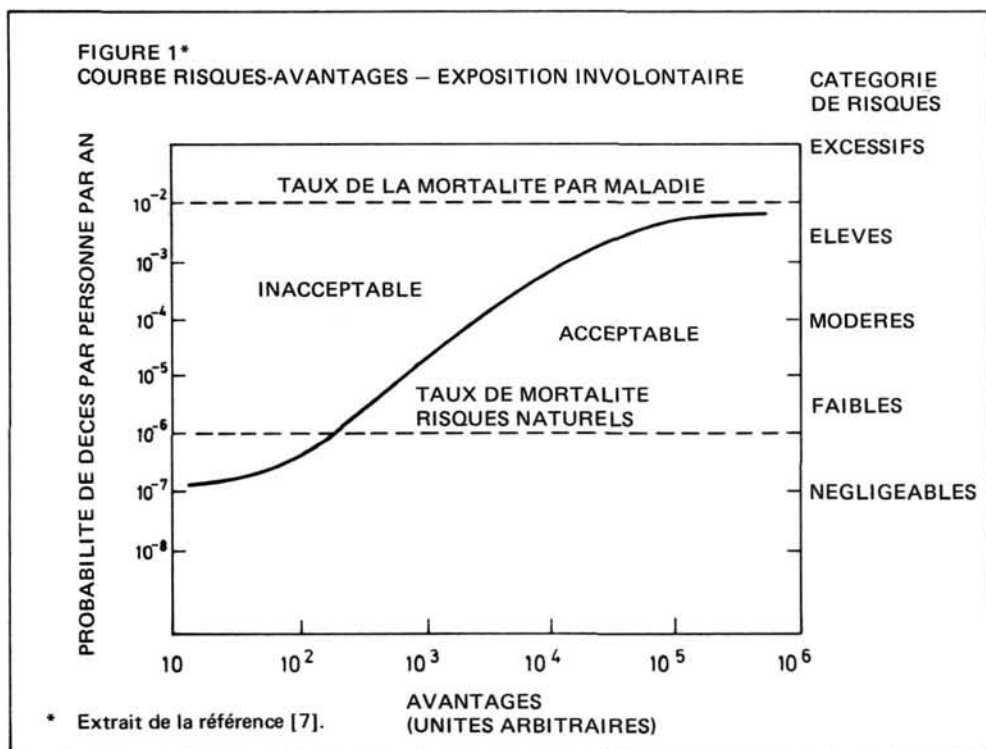
Le rapport WASH-1250 souligne que la méthode actuellement mise au point pour analyser les probabilités en matière de sécurité des réacteurs nucléaires semble la meilleure méthode pour évaluer les risques d'accident de réacteurs nucléaires dans la perspective

qui convient. De cette manière, on peut aussi mesurer les conséquences d'accidents graves suivant leur probabilité.

Un grand nombre des activités de la vie courante comportent un risque de mort subite ou de dommages corporels. L'homme continue néanmoins à participer à ces activités car elles comportent aussi des avantages qui semblent l'emporter sur les risques encourus. Chacun établit son rapport risques-avantages et les évaluations des risques et des avantages sont généralement effectuées de manière subjective et intuitive. En fait il n'existe pour ainsi dire pas d'activité absolument «sans danger», la probabilité d'un accident, si faible soit-elle, subsiste toujours. Ainsi, même les actes indispensables à la vie comme le fait de s'alimenter et de respirer comportent un risque; aux Etats-Unis, plus de 1000 personnes meurent chaque année à la suite d'inhalation ou d'ingestion d'objets qui provoquent l'étouffement (en prenant comme base une population de 200 millions, ceci correspond à un risque moyen de  $5 \times 10^{-6}$  par personne et par an:

$$\frac{1000}{200\,000\,000} = \frac{5}{1\,000\,000} = 5 \times 10^{-6}/\text{an}.$$

On a constaté [4] que les risques dont la probabilité est inférieure à  $10^{-6}$  par personne/an (1 sur 1 000 000) ne semblent pas beaucoup inquiéter l'homme, et qu'en réalité, celui-ci s'en rend à peine compte. Starr [5] est parti de l'hypothèse qu'aux Etats-Unis, les risques d'accidents dont la probabilité est supérieure à  $10^{-2}$  par personne/an (le risque moyen de mort naturelle aux Etats-Unis) semblent nettement inacceptables. Toutefois, comme on l'a vu plus haut, la participation à des activités comportant des risques est aussi en rapport avec l'importance des avantages attendus. La figure 1 présente sous forme de graphique la répartition des risques entre risques acceptables et risques inacceptables en fonction des avantages que l'on retire. La question qui se pose maintenant est d'évaluer les



risques que comportent les accidents de centrales nucléaires et de les présenter dans leur vraie perspective.

Les premières estimations de la probabilité d'accidents graves [4, 6] résumées dans le rapport WASH-1250 montrent que la probabilité d'un accident catastrophique dans une centrale nucléaire est très faible – de l'ordre de  $10^{-9}$  à  $10^{-10}$  par an ( $10^{-9}$ /an signifie une chance sur 1 milliard par année d'exploitation). Les résultats préliminaires d'études plus approfondies aux Etats-Unis [3] semblent concorder avec ces prévisions. Les résultats consignés dans les publications faisant l'objet des références 4 et 6 sont interprétés dans le rapport WASH-1250 comme signifiant que les personnes vivant à proximité d'une centrale nucléaire sont exposées en moyenne à un risque de mortalité d'environ  $10^{-10}$  par personne/an. On voit que, reporté sur la Figure 1, ce risque est insignifiant, même en l'absence d'avantages – et pourtant il y a un avantage manifeste sous forme d'énergie électrique. Pour considérer le risque nucléaire sous son vrai jour, on peut aussi le comparer avec d'autres risques courants aux Etats-Unis. Le tableau II présente d'autres probabilités moyennes de mortalité que l'on peut rapprocher de la valeur de  $10^{-10}$  par personne/an évaluée pour ceux qui vivent à proximité de centrales nucléaires.

TABLEAU II.\* STATISTIQUES DE CERTAINS RISQUES DE MORTALITE (ETATS-UNIS D'AMERIQUE)

Risque	Risque de mortalité/personne/an
Cancer (toutes les formes)	$1,6 \times 10^{-3}$
Accident d'automobile	$2,8 \times 10^{-4}$
Noyade	$3,7 \times 10^{-5}$
Empoisonnement	$1,2 \times 10^{-6}$
Cancer (rayons X à des fins médicales)	$1 \times 10^{-5}$
Etouffement par ingestion	$5 \times 10^{-6}$
Foudre	$8 \times 10^{-7}$
Catastrophe naturelle	$6 \times 10^{-7}$

\* Extrait des références [1] et [4].

Une autre étude [7] a comparé les centrales nucléaires et les centrales à combustible fossile du point de vue des risques qu'elles comportent pour la santé publique. Les résultats obtenus montrent que dans l'ensemble le risque dû aux centrales nucléaires est plus faible, peut-être d'un facteur de 10 à 100.

Cette analyse des risques ne fait que traiter superficiellement un sujet complexe et intéressant; faute de place, de nombreux aspects de la question n'ont pas été étudiés. Dunster [8] a récemment publié un exposé sommaire des coûts et avantages de l'énergie d'origine nucléaire. Ceux qui souhaitent se documenter davantage peuvent se référer au rapport WASH-1250 ou aux publications [4] à [8].

## Aspects internationaux

L'action à l'échelon international prendra plus d'importance à mesure que le nombre de centrales nucléaires augmentera notamment dans les régions du monde où la population est la plus dense. Il ressort de prévisions faites avant octobre 1973 [9] que d'ici à 1980 les centrales nucléaires fourniront 14% de l'électricité mondiale et que d'ici à l'an 2000 elles en fourniront environ 50%. Ceci accroîtra encore l'importance de la collaboration et des normes internationales.

L'AIEA fournit depuis longtemps une assistance aux Etats Membres pour le choix du site, l'étude et l'exploitation des réacteurs nucléaires. A cette fin, elle envoie des missions consultatives, publie des règlements, des manuels, des rapports techniques et organise des réunions pour encourager l'échange d'informations.

Au cours des premières années du développement de l'énergie d'origine nucléaire, il n'existait pas un ensemble de données d'expérience qui aurait permis de formuler des critères de sécurité acceptables sur le plan international, sauf dans quelques cas particuliers. Les problèmes de sécurité et de fiabilité des centrales nucléaires ont donc souvent été étudiés séparément dans chaque cas d'espèce, ce qui impliquait forcément un manque d'uniformité dans les critères utilisés et dans les degrés de sécurité exigés.

Il est évident qu'il ne sera pas possible de continuer à traiter isolément chaque cas d'espèce alors que l'industrie nucléaire s'étendra à l'échelle mondiale et que le commerce international se développera en conséquence. Comme dans plusieurs autres domaines, il devient nécessaire d'établir des normes de sécurité acceptables sur le plan international et des manuels adéquats à l'usage des organes normatifs, des entreprises de services publics, des bureaux d'étude et des constructeurs.

L'AIEA se propose à présent de mettre au point un ensemble complet de normes fondamentales applicables à la sûreté des centrales nucléaires et des normes de fiabilité connexe, qui soient acceptables sur le plan international et puisse servir de référence pour les analyses de la sûreté et de la fiabilité des centrales nucléaires.

## REFERENCES

- [1] «The Safety of Nuclear Power Reactors (Light Water Cooled) and Related Facilities», U.S. Atomic Energy Commission Report WASH-1250, juillet 1973.
- [2] «Theoretical Possibilities and Consequences of Major Accidents in Large Nuclear Power Plants», U.S. Atomic Energy Commission Report WASH-740, mars 1957.
- [3] «Rasmussen Study, ECCS, Standardization are First Day Topics», article paru dans Nuclear Industry, janvier 1974, p. 22.
- [4] OTWAY, H.J. et ERDMANN, R.C., «Reactor Siting from a Risk Viewpoint», Nuclear Engineering and Design, 13 (1970) pp. 365-376. North-Holland Publishing Co.
- [5] STARR, C., «Benefit-Cost Relationships in Socio-Technical Systems», présenté au Colloque sur les problèmes de l'environnement liés aux centrales nucléaires organisé par l'AIEA en collaboration avec la Commission de l'énergie atomique des Etats-Unis, Siège des Nations Unies, New York, août 10-14 1970. Publication de l'AIEA STI/PUB/261 Vienne, 1971, pp. 895-917.
- [6] OTWAY, H.J., LOHRDING, R.K., et BATTAT, M.E., «A Risk Estimate for an Urban-Sited Reactor», Nuclear Technology, Vol. 12, octobre 1971, pp. 173-184.
- [7] STARR, C., GREENFIELD, M.A., HAUSKNECHT, D.F., «A Comparison of Public Health Risks: Nuclear vs Oil-Fired Power Plants», Nuclear News 15, octobre 1972, pp. 37-45.
- [8] DUNSTER, J., «Costs and Benefits of Nuclear Power», New Scientist, 18 octobre 1973, pp. 192-194.
- [9] EKLUND, SIGVARD, «Energie nucléaire, sécurité et environnement», dans le présent numéro du Bulletin.