UNE ÉVALUATION DES RISQUES DUS A UN ACCIDENT DANS LES INSTALLATIONS NUCLÉAIRES COMMERCIALES AUX ÉTATS-UNIS, rapport Wash-1400

N.C. RASMUSSEN *, condensé par A. GEY **

La rédaction remercie M. A. GEY d'avoir bien voulu rassembler pour les lecteurs de « Radioprotection », ces éléments essentiels du rapport de N.C. RASMUSSEN.

1. ORGANISATION

Sous l'égide de l'A.E.C. et la direction du Professeur N.C. RASMUSSEN, du Département d'Ingénierie Nucléaire au M.I.T., 60 personnes (et divers conseillers) commandées par Saul LEVINE (A.E.C.) ont élaboré en à peu près 2 ans ce document qui a coûté 3 millions de US \$; y ont participé : l'A.E.C. (10 agents), les laboratoires nationaux et privés et les universités.

2. ANTÉCÉDENTS

Cet ouvrage fait suite au WASH 740, publié il y a 17 ans (1957), qui traitait du même sujet, mais sans expérience préalable (aucun réacteur commercial n'était alors en service) et surtout dans un état d'esprit très différent. Il s'agissait alors de maximaliser le risque potentiel afin de se mettre à l'abri de toute surprise, notamment sur le plan financier (indemnisation du public atteint par un accident). Le présent ouvrage, au contraire, tient compte de l'expérience acquise et tend au réalisme.

3. BUT, CHAMP ET MÉTHODES

Le but étant défini dans le titre, le champ d'application se limite aux réacteurs à eau (PWR et BWR), et les conclusions se fondent sur l'expérience acquise auprès de 50 réacteurs en service. La méthode utilisée

(*) Massachusetts Institute of Technology (M.I.T.) (USA).

(**) Commissariat à l'Energie Atomique, Département de Sécurité Nucléaire, Centre d'études nucléaires de Saclay.

pour estimer les risques, actuellement potentiels puisqu'aucun accident nucléaire n'a été enregistré, est dérivée de celle utilisée par le Département de Défense et par l'Administration Aérospatiale et implique une comparaison avec les risques non nucléaires auxquels est exposée la société actuelle.

La méthode utilisée depuis plus de 10 ans par le Département de la Défense et l'Administration Aérospatiale est celle des « arbres » :

- arbres d'événements,
- arbres de défaillances.

A partir d'un défaut initial, toutes les ramifications susceptibles de conduire à la fusion du cœur sont examinées. Des milliers de cheminements ont été ainsi inventoriés, les probabilités d'apparition et les conséquences radiologiques chiffrées, compte tenu même des erreurs humaines ou de maintenance, ainsi que de la variété des conditions climatiques ou de la distribution des populations alentour.

La certitude de n'avoir rien omis, grâce à cette méthode, résulte du caractère jugé exhaustif des examens effectués. Notamment le cas de la rupture de la cuve, auparavant laissé de côté, a été pris en compte. Corollairement, tous les accidents qui se sont produits se retrouvent dans cette méthode. L'accident majeur résultant de la fusion du cœur, on en connaît tous les facteurs qui la provoquent et les façons possibles par lesquelles elle présenterait un risque pour le public, tout risque étant défini à la fois par sa probabilité d'apparition et par l'ampleur de ses conséquences.

4. DONNÉES

Les caractéristiques des réacteurs à eau prises en compte sont les suivantes :

- combustible : environ 100 t d'uranium enrichi (de 3 à 5 %) ;
- barreaux de 1,25 cm de diamètre et 4 m de long (environ) ;
- faisceaux de 50 à 200 barreaux ;
- cœur composé de plusieurs centaines de faisceaux ;
- modérateur et caloporteur : eau naturelle ;
- puissance : de l'ordre de 1 000 MW électriques.

5. RISQUES

5.1. NATURE

Il est physiquement impossible qu'un réacteur explose comme une bombe atomique.

La radioactivité engendrée, qui, par son évaporation, constitue un risque pour le public, est essentiellement constituée d'iode, de gaz rares (krypton, xénon) et de produits solides (caesium et strontium). On néglige les rejets accidentels dus à la manipulation du combustible irradié devant l'importance des rejets consécutifs à des accidents survenus dans le cœur.

Les accidents peuvent être de deux types :

- défaillances séquentielles conduisant à la fusion du combustible par surchauffe,
- défaillances du confinement et de l'épuration de la radioactivité.

5.1.1. Fusion

La fusion du combustible due à un défaut de refroidissement survient à plus de 2 800 °C. Il existe des systèmes de sécurité qui stoppent automatiquement le réacteur en cas d'emballlement thermique ; mais la puissance résiduelle due aux produits de fission est suffisante pour entraîner la fusion du combustible. Deux causes majeures d'accident restent donc possibles :

- perte du réfrigérant (L.O.C.A.),
- transitoires de puissance.

La *perte de réfrigérant* (L.O.C.A.) survient à la suite d'une dépressurisation brutale par rupture du circuit de refroidissement (sous pression de 100 à 200 atmosphères) ; la rupture de la cuve elle-même, hautement improbable, a cependant été prise en compte, mais ne modifie pas les conclusions en raison même de sa très faible probabilité. Normalement, la réaction en chaîne est alors stoppée, mais la chaleur emmagasinée doit être évacuée.

Cette perte de réfrigérant peut être compensée par un système de refroidissement de secours en cas d'urgence (E.C.C.S.) ; mais ce système lui-même peut subir une défaillance, d'où fusion du cœur.

Les *transitoires de puissance* peuvent être consécutifs, soit à des opérations planifiées (telles que recharge du réacteur), soit à des imprévus (tels que perte d'alimentation électrique). Normalement, ils entraînent l'arrêt d'urgence du réacteur ; la chaleur continue cependant à être extraite. Cependant, la fusion du cœur peut résulter soit du non-fonctionnement de l'arrêt d'urgence, soit d'une défaillance du système de refroidissement (et on revient au cas précédent).

5.1.2. Confinement

De nombreuses dispositions, dont certaines sont inhérentes même au processus de fonctionnement du réacteur, empêchent la fusion du cœur. Si celle-ci survenait, la radioactivité ainsi libérée serait contenue au moins un certain temps dans un bâtiment étanche et épuré, et se déposerait sur sa surface interne. Ce bâtiment est pourvu de « douches » * et de piscine en vue de la décontaminer, ainsi que de filtres pour empêcher la dispersion externe de la contamination. La majeure partie de celle-ci resterait donc à l'intérieur.

Au cas où la fusion du cœur produirait le « *syndrome chinois* » (percée du cuvelage et enfoncement du cœur dans le sol), le sol s'oppose-

* dispositif d'aspersion.

rait à la résurgence de la radioactivité sous forme solide, et de la plus grande partie de la radioactivité gazeuse.

Malgré sa faible probabilité, l'éclatement du bâtiment par surpression ou par impact de missiles internes consécutifs à une fusion du cœur a été pris en compte dans cette étude.

5.2. AMPLEUR

La probabilité d'un accident de fusion du cœur est estimée, par réacteur et par an à 1 sur 17 000, ce qui équivaut pour 100 réacteurs semblables (prévisions US pour 1980) à un accident tous les 170 ans. Mais un tel accident n'entraîne pas nécessairement des conséquences pour la santé du public ; un des résultats essentiels de cette étude est que seul 1 accident sur 10 entraîne de telles conséquences, dont la probabilité moyenne est ainsi ramenée, pour 100 réacteurs, à 1 tous les 17 siècles.

Encore faut-il noter, dans le premier cas (1 accident sur 17 000), l'ampleur des conséquences :

— immédiates :	{	- moins d'un mort immédiat
		- moins d'un blessé immédiat
		- \$ 100 000 de dégâts matériels
(hormis l'installation nucléaire)
— lointaines :	{	- moins d'un mort des suites
		- moins d'une anomalie génétique
(20 ans après)		- quatre atteints de nodules thyroïdiens (curables,
taux équivalent à leur apparition spontanée)
		- moins d'un cancer

Ces chiffres sont à rapprocher des taux normaux pour la même population (15 millions) avoisinant les sites de réacteurs :

— anomalie génétique :	100 000 cas
— nodules thyroïdiens :	20 000 cas
— cancers :	64 000 cas

L'ampleur des conséquences peut être située par rapport aux risques « conventionnels », pour une population de 15 millions de personnes vivant dans un rayon de 30 km autour des centrales nucléaires en service ou en projet aux Etats-Unis. Ces conséquences dépendent :

- de la radioactivité rejetée ;
- des conditions climatiques dominantes ;
- de la population exposée.

Les termes de la comparaison en morts violentes et blessés (par an) sont :

— par accident automobile :	4 200 morts et 375 000 blessés
— par chute :	1 500 morts et 75 000 blessés
— par feu :	560 morts et 22 000 blessés
— par électrocution :	90 morts
— par foudroiement :	8 morts

et du fait d'accident de réacteurs :

— pour 100 réacteurs : 0,3 mort et 6 blessés

Une autre façon d'envisager le risque est de situer, par rapport à d'autres risques conventionnels, le risque nucléaire d'avoir plus de 10, plus de 100 ou plus de 1 000 morts violentes dues à l'existence de 100 réacteurs analogues. Ce qui donne *UN* cas par :

2 500 ans pour plus de 10 morts

10 000 ans pour plus de 100 morts

1 000 000 ans pour plus de 1 000 morts

à comparer à (notamment la dernière cause) :

Cause (Accidents)	Effets			
	Plus de 100 morts		Plus de 1 000 morts	
Chutes d'avions	1/2	ans	1/2 000	ans
Feux	1/7	ans	1/200	ans
Explosions	1/16	ans	1/120	ans
Gaz toxiques	1/100	ans	1/1 000	ans
Tornades	1/5	ans	—	—
Ouragans	1/5	ans	1/25	ans
Tremblements de terre..	1/20	ans	1/50	ans
Météorites	1/100 000	ans	1/1 000 000	ans

On trouve enfin que, dans les mêmes conditions, la probabilité individuelle d'être tué par suite d'accident de réacteur est de 1/300 000 000 par an ; d'être blessé, 1/150 000 000 par an.

6. CONSÉQUENCES ÉCONOMIQUES

Les dommages matériels (hormis ceux de l'installation) sont évalués en termes d'indemnisation des populations situées à proximité et déplacées pour les soustraire à la contamination, ou de coût des mesures prises dans des zones plus lointaines (décontamination, surveillance de la chaîne alimentaire).

L'accident le plus vraisemblable (1/17 000 par réacteur par an) n'entraînerait que peu ou pas de contamination. Un accident de probabilité 10 fois moindre n'entraînerait qu'une évacuation temporaire dans 50 km² alentour.

L'accident le plus grave impliquerait l'évacuation temporaire de 1 000 km² et la chaîne alimentaire (notamment le lait) devrait être surveillée 1 mois ou 2 sur une superficie de 100 000 km², progressivement restreinte ensuite.

Il en coûterait \$100 000 pour l'accident le plus probable (1/17 000 par réacteur par an). La probabilité de dommages égaux à \$100 millions est de 1/50 000 par réacteur par an ; elle n'est plus que de 1 sur 1 milliard pour le dommage maximal de 4 à 6 milliards de dollars.

Ces chiffres sont à comparer aux récents dommages causés par :

— *le feu* :

3 feux par an causent des dégâts de plus de 10 millions de \$,
1 feu tous les deux ans cause 50 à 100 millions de \$ de dégâts ;

— *les ouragans* :

4 ouragans en 10 ans ont fait des dégâts de 0,5 à 5 milliards de \$;

— *les tremblements de terre* :

la probabilité de faire 1 milliard de dégâts est de 1/50 ans.

7. COMPARAISONS ET CONCLUSIONS

Par comparaison avec le WASH 740, qui n'étudiait que des réacteurs de 600 MW_{th} (6 fois moins puissants), les prédictions du WASH 1400 pour de tels réacteurs sont, pour l'accident le plus grave (le moins probable :

- 92 morts violentes (au lieu de 3 400) ;
- 200 victimes (au lieu de 43 000) ;
- \$ 1,7 milliards-1973 (au lieu de \$ 10 milliards-1973).

L'écart résulte essentiellement :

- des différences de méthode de recensement des populations (WASH 1 400 étant plus réaliste) ;

TABLEAU I

RISQUES D'ACCIDENTS DUS A DIVERSES CAUSES

<u>Type d'accident</u>	<u>Nombre total</u>	<u>Risque individuel par an</u>
Véhicules automobiles	55 791	1 sur 4 000
Chûtes	17 827	1 sur 10 000
Incendies et brûlures	7 451	1 sur 25 000
Noyades	6 181	1 sur 30 000
Armes à feu	2 309	1 sur 100 000
Voyages aériens	1 778	1 sur 100 000
Chûtes d'objet	1 271	1 sur 160 000
Electrocution	1 148	1 sur 160 000
Foudre	160	1 sur 2 000 000
Tornades	91	1 sur 2 500 000
Ouragans	93	1 sur 2 500 000
Tous accidents	111 992	1 sur 1 600
Accidents de réacteur nucléaire (100 installations)	0	1 sur 300 000 000

— de l'hypothèse très pessimiste du WASH 740, concernant les rejets accidentels (50 % de la radioactivité du cœur) ;

— de la prise en compte dans WASH 1400 de l'hypothèse, hautement vraisemblable, de l'évacuation des populations concernées (hypothèse absente du WASH 740) ;

— de la prise en compte dans WASH 1400 de la surélévation du panache à la cheminée, due à son autoéchauffement par les produits radioactifs véhiculés.

FIG. 1. — Fréquence des accidents d'origine humaine

En conclusion, les conséquences d'un accident de réacteur ne seraient pas pires, et souvent bien moindres que celles d'un accident conventionnel. Leur probabilité est bien inférieure à celle d'accidents conventionnels produisant les mêmes effets ; les figures jointes illustrent ces résultats (fig. 1, 2 et 3) ainsi que le tableau I. Les blessures, les effets retardés à long terme ne surajoutent rien de significatif aux valeurs statistiques connues, même dans le cas de l'accident de réacteur le plus grave.

Cet ouvrage (WASH 1400) n'a eu pour but que de faire une évaluation objective des risques. Il n'est pas fondamentalement destiné à promouvoir des perfectionnements technologiques, ni à servir de critère

d'acceptabilité pour une installation et son site. Même si ses conclusions sont fort instructives, elles ne peuvent à elles seules être déterminantes pour une prise de décision concernant la sûreté.

FIG. 2. — Fréquence des accidents d'origine naturelle

FIG. 3. — Fréquence des dommages matériels d'origine naturelle ou humaine