

L'avenir de l'analyse des risques et son rôle dans la sûreté nucléaire

par R. Niehaus*

La décennie écoulée a été marquée par l'accroissement du nombre de publications [1] et de réunions scientifiques sur l'analyse des risques. Dans certains pays, des associations de professionnels de l'analyse des risques ont été fondées. Des études de risques ont été réalisées sur des problèmes aussi divers que les pluies acides, les variations climatiques, la couche d'ozone, l'usage des rayons X en médecine, les produits pharmaceutiques nouveaux. D'autres études ont été consacrées à l'analyse de la perception des risques par le public. Des analyses de risques dites probabilistes sont faites pour les installations nucléaires, les usines de produits chimiques, les stations terminales de gaz naturel liquéfié (GNL), etc. La United States Nuclear Regulatory Commission (US NRC) a décidé récemment d'adopter pour les centrales nucléaires des objectifs de sûreté qualitatifs étayés par des objectifs de conception quantitatifs provisoires et de les essayer pendant deux ans [2]; le respect de ces objectifs ne peut être prouvé que par l'analyse des risques en exploitation normale et dans des situations accidentelles. Etant donné le développement rapide de l'analyse des risques sur de nombreux fronts, on peut se demander si elle apporte quelque chose de vraiment neuf, si c'est une réponse scientifique à des besoins nouveaux créés par la technologie, ou si ce n'est là qu'une mode, une vieillerie mise au goût du jour et qui disparaîtra rapidement. Cette question se justifie d'autant plus que les choses étaient assez sûres avant que l'on ne développe et n'applique les techniques d'analyse des risques.

Le présent article examine:

- la mesure dans laquelle l'analyse des risques offre de nouveaux moyens d'accroître la sûreté,
- l'état de la question, et
- les champs d'application prometteurs.

L'analyse des risques désigne le processus général d'amélioration de la sûreté et comprend trois éléments principaux: *l'estimation des risques*, c'est-à-dire leur détermination et leur quantification; *l'évaluation des risques*, c'est-à-dire la démarche qui consiste à peser et à comparer les différents aspects d'un risque; et *la gestion des risques*, qui est la formulation et l'application des décisions en matière de sûreté.

A l'heure actuelle, pour assurer la sûreté on applique principalement des critères déterministes. L'ingénieur qui étudie un pont introduira une marge de sécurité dans son projet. Ainsi, certaines poutres seront-elles

deux fois plus résistantes que ne l'exigeraient les lois de la mécanique, sans marge de sécurité. Dans ce cas, on admet que la marge de sécurité compensera des défauts non repérés de qualité de l'acier, des soudures, de la construction, etc., et l'effet de certains phénomènes non prévisibles. Bien entendu, on tiendra compte aussi des phénomènes prévisibles tels que le niveau des hautes eaux, la vitesse du vent ou les séismes. Les exigences techniques appropriées, fondées généralement sur l'expérience, ont été compilées par des organismes réglementaires. Des critères déterministes ont été définis de telle façon qu'un dépassement de la charge pour laquelle le pont a été conçu soit très improbable. Les phénomènes tenus pour probables doivent être entièrement maîtrisés mais ceux qui sont jugés improbables ne sont pas pris en considération explicitement.

Si toutes les règles de l'art sont correctement appliquées, le pont est sûr. Son effondrement est très improbable, mais non pas impossible. Les risques peuvent être estimés à partir des statistiques relatives à l'écroulement de ponts similaires. Une telle estimation exige le recours au jugement d'un spécialiste et est nécessairement subjective. La sûreté des installations nucléaires est fondée sur l'emploi de critères déterministes du même genre.

Comment mesurer la sûreté sans statistiques?

Les activités industrielles se soldent par l'émission, dans une année, de quelque 20 milliards de tonnes d'anhydride carbonique, 100 millions de tonnes de soufre, deux millions de tonnes de plomb, etc. Le grand complexe pétrochimique de Canvey Island, près de Londres, a une capacité de stockage de plus de 100 000 tonnes de GNL et de 10 000 tonnes d'ammoniac [3]. Un réacteur nucléaire contient quelque 8 milliards de curies de substances radioactives.

Toutes ces activités constituent pour l'homme et l'environnement une menace potentielle grave, mais il n'y a pas de statistiques qui fassent apparaître clairement les causes des variations climatiques ou la relation entre certains polluants et la maladie ou l'incidence de ces polluants sur l'environnement. Heureusement, il n'y a pas non plus de bases de données statistiques sur les accidents de réacteurs ou de stations de stockage, comparables à celle qui existe pour les ponts.

Les risques doivent être analysés pour deux raisons principales:

- Premièrement, les systèmes ont atteint de telles dimensions et, partant, les conséquences potentielles

* M. Niehaus est Chef de la Section de l'évaluation des risques de la Division de la sûreté nucléaire de l'Agence.

d'accidents sont devenues si importantes, qu'il n'est pas possible d'attendre d'avoir accumulé des données statistiques pour corriger les erreurs;

- Deuxièmement, les systèmes ont atteint une telle complexité que l'intuition et l'expérience ne suffisent plus aux ingénieurs d'études pour prévoir tous les phénomènes possibles et significatifs.

Des modèles théoriques, faisant habituellement appel à des codes de calcul complexes, doivent donc se substituer à l'expérience. De tels modèles reposent sur la documentation existante concernant de petits éléments du système total et sur la connaissance des phénomènes chimiques et physiques. Si les codes de calcul incorporent toutes les données et toutes les interactions des éléments du système, il est possible de simuler le comportement du système tout entier.

Trois exemples permettront d'illustrer ce procédé.

1) Comme il a été dit précédemment, les activités humaines se soldent par l'émission chaque année de quelque 20 milliards de tonnes de CO_2 . La moitié environ de cette quantité de gaz demeure dans l'atmosphère et sa forme évolue lentement mais constamment. CO_2 est indispensable à la vie: mais comment savons-nous si un tel niveau d'émission ne cause pas de dommages irrémediables à l'environnement? Pour répondre à cette question, on analyse les risques. On possède des renseignements sur la solubilité du gaz dans l'eau salée, les profils des isotopes dans les océans, les vitesses d'assimilation par les végétaux, la croissance des forêts, les transferts de chaleur dans l'atmosphère, la circulation de l'air, le comportement de la banquise, etc. Tous ces renseignements sont introduits dans les modèles qui simulent l'augmentation de la quantité de CO_2 dans l'atmosphère en fonction de différents taux de consommation des combustibles fossiles et qui permettent d'estimer les variations climatiques à prévoir.

2) Le second exemple concerne l'anhydride sulfureux SO_2 qui, nous le savons, est nuisible pour la santé et l'environnement. Les activités de l'homme se soldent par l'émission de millions de tonnes de SO_2 par an, principalement par oxydation de combustibles fossiles. L'observation directe des risques que comportent ces émissions n'étant pas possible, comment connaissons-nous les conséquences potentielles? Au moyen de modèles de dispersion dans l'atmosphère on estime les concentrations ambiantes. Des études épidémiologiques ont pour objet d'établir la relation dose-effet. Enfin des modèles démographiques permettent d'évaluer le risque total. Comme dans le premier exemple, les incertitudes sont grandes. Aucune réponse définitive n'est possible et on ne peut faire qu'une analyse probabiliste.

3) Les deux premiers exemples concernaient des opérations industrielles courantes. L'exemple suivant, en revanche, traite d'accidents hypothétiques. Une centrale nucléaire en exploitation contient, comme il a été dit précédemment, quelque $8 \cdot 10^9$ Ci de substances radioactives. Un grand réservoir peut contenir 20 000 tonnes de gaz liquéfié. La libération d'une grande quantité de ces substances pourrait provoquer une catastrophe. Il n'existe pas de données statistiques d'accidents graves: comment, en conséquence, savons-nous quelles sont les précautions à prendre?

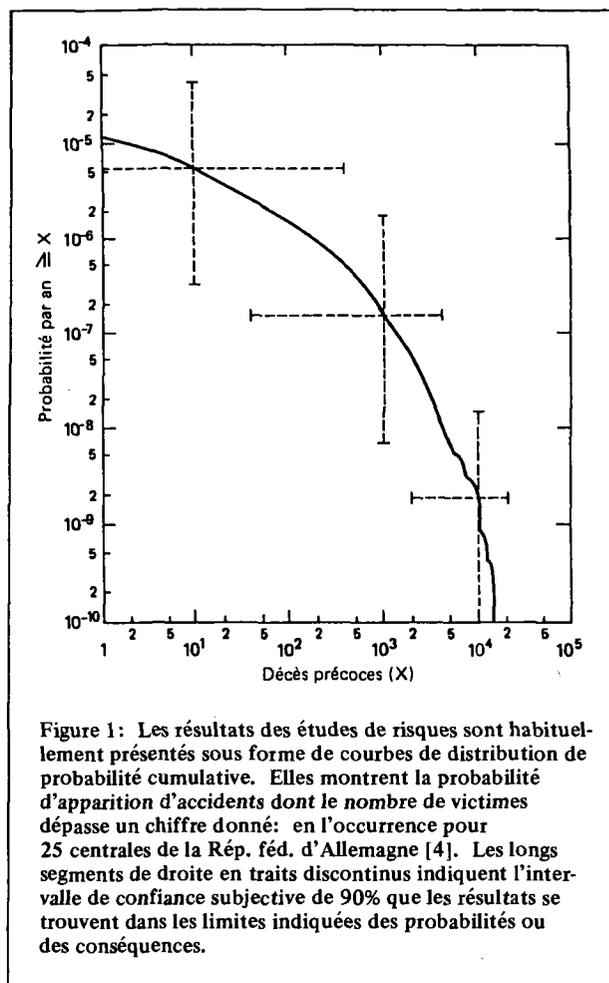


Figure 1: Les résultats des études de risques sont habituellement présentés sous forme de courbes de distribution de probabilité cumulative. Elles montrent la probabilité d'apparition d'accidents dont le nombre de victimes dépasse un chiffre donné: en l'occurrence pour 25 centrales de la Rép. féd. d'Allemagne [4]. Les longs segments de droite en traits discontinus indiquent l'intervalle de confiance subjective de 90% que les résultats se trouvent dans les limites indiquées des probabilités ou des conséquences.

Comme indiqué précédemment, on prend des mesures fondées sur des critères déterministes, pour assurer la sûreté de ces installations. Toutefois, quelques questions demeurent: quelles seraient les conséquences de phénomènes dont les caractéristiques dépasseraient celles des critères de conception et quelle est la probabilité de leur apparition? Pour répondre à ce genre de question, on peut effectuer une analyse probabiliste des risques (APR). On établit un modèle des séquences d'accidents et on estime les quantités de substances potentiellement libérées. En combinant les expositions qui ont été estimées et les modèles démographiques, on peut calculer les conséquences potentielles.

Limites de l'analyse des risques

Faute d'expérience, les travaux théoriques de modélisation informatique sont sujets à de grandes incertitudes à la fois quant aux conséquences possibles et à leur probabilité d'apparition. Pour ce qui est de l'exemple nucléaire, la figure 1 est une courbe de distribution de probabilité cumulative des décès précoces selon l'Etude allemande sur les risques (DRS)* [4] dans laquelle ont été estimés récemment les risques entraînés par les réacteurs nucléaires de la République fédérale

* Deutsche Risikostudie.

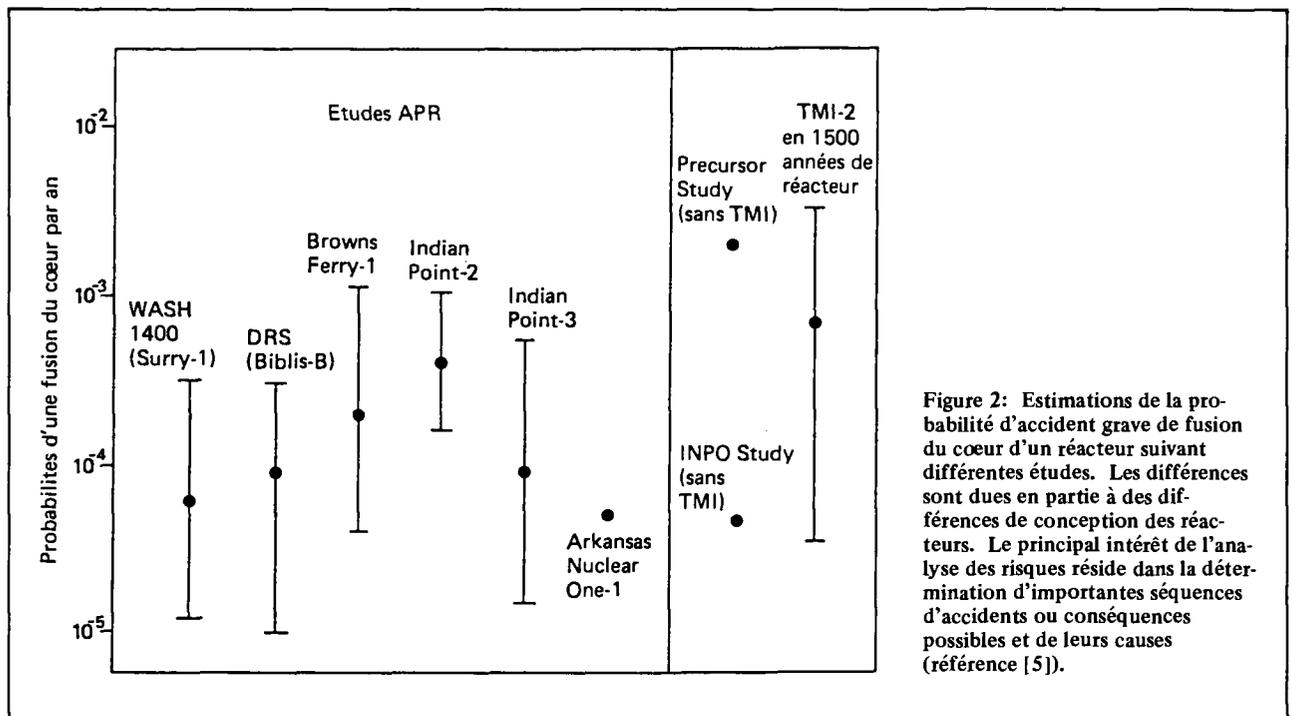


Figure 2: Estimations de la probabilité d'accident grave de fusion du cœur d'un réacteur suivant différentes études. Les différences sont dues en partie à des différences de conception des réacteurs. Le principal intérêt de l'analyse des risques réside dans la détermination d'importantes séquences d'accidents ou conséquences possibles et de leurs causes (référence [5]).

d'Allemagne. Les segments de droite en traits discontinus indiquent les intervalles de confiance subjective de 90% qui couvrent presque trois ordres de grandeur. Il faut même tenir compte de plus grandes incertitudes si l'on veut comparer les résultats d'études diverses. La partie gauche de la figure 2 est une compilation des résultats de quelques études APR de fréquence de la fusion du cœur — qui est, dans une large mesure, indépendante du site — y compris, lorsqu'ils ont été déterminés, les intervalles de confiance de 90%. La partie droite donne les résultats de deux autres études, la «Precursor Study» [2] et l'«INPO* Study» [5]. L'accident de Three Mile Island, seul accident à ce jour ayant entraîné la fusion partielle du cœur, y est mentionné. Avec une seule fusion du cœur observée en 1500 années de réacteur, la probabilité d'une fusion du cœur serait de quelque $7 \cdot 10^{-4}$ par année de réacteur. Cette estimation est bien entendu sujette à une grande incertitude car elle se fonde sur l'observation d'un seul accident de ce genre.

En réalité, les incertitudes sont encore plus grandes. Les principales raisons en sont:

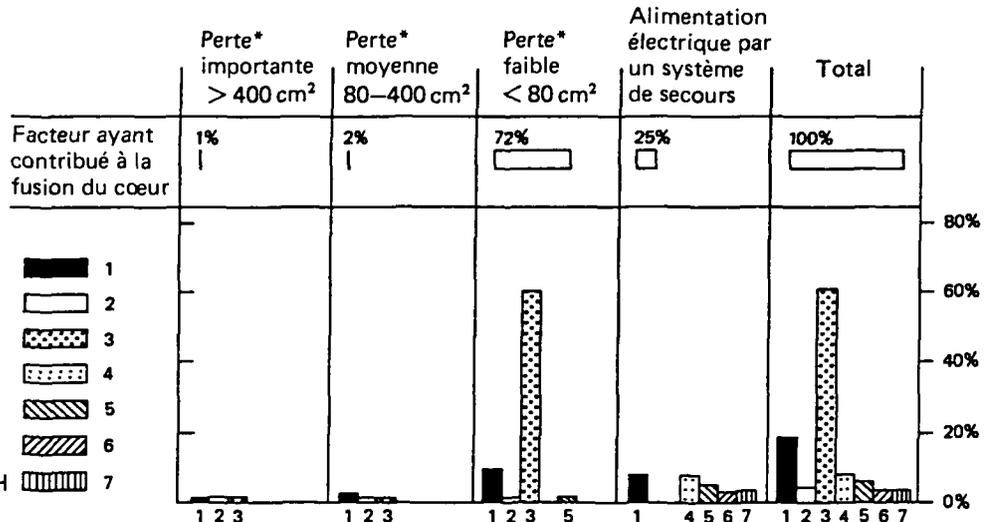
- Les limites des études elles-mêmes — tous les risques ne sont pas habituellement pris en compte — par exemple, l'intervention humaine non prévue dans le cas des centrales nucléaires, d'autres substances à l'état de traces dans le cas de CO_2 et les effets synergiques d'autres polluants dans le cas de SO_2 ;
- Les limites de l'analyse, surtout en ce qui concerne les défaillances de mode commun et l'erreur humaine (seuls les accidents qui ont été prévus peuvent être analysés); et
- Les limites des renseignements disponibles (habituellement signalées dans les résultats).

* Institute of Nuclear Power Operations.

Application des résultats des analyses de risques

Etant donné ces incertitudes, il faut se demander quelle est l'utilité de ces analyses. Bien entendu, la réponse n'est pas la même pour tous les types d'analyses de risques. Cependant, les quatre principaux champs d'application qui se dégagent sont les suivants:

- 1) L'application la plus importante des analyses de risques est la détermination des principaux facteurs qui contribuent aux risques: ainsi, on peut déterminer d'importantes conséquences potentielles ou séquences d'accidents et leurs causes, ainsi que les moyens propres à les maîtriser. L'Etude allemande sur les risques a permis de déterminer quelque 40 modifications possibles des projets qui réduiraient les risques [4]. D'autre part, il a été possible de démontrer la part importante des erreurs humaines en matière de sûreté (figure 3). Un exemple qui a trait à une industrie non nucléaire est donné à la figure 4 [3]. La réalisation d'une analyse de risques a permis d'apporter d'importantes améliorations à la sûreté du complexe de Canvey Island. De plus, les analyses de risques peuvent servir à évaluer et à comparer différents sites ou projets d'installations, qui tous répondraient aux exigences de sûreté établies.
- 2) L'évaluation des risques peut servir à affiner les critères déterministes sur lesquels, à l'heure actuelle, se fonde la sûreté des installations industrielles.
- 3) Si les incertitudes sont relativement petites, on peut utiliser les résultats donnés par les études de risques pour relativiser certains risques.
- 4) Si les incertitudes sont en valeur absolue très grandes, le processus d'analyse pourrait être en soi plus important que les résultats obtenus. La modélisation systématique permet d'améliorer la compréhension de l'interaction



* Accident par perte du fluide de refroidissement.

Facteur ayant contribué à la fusion du cœur:
 défaillance matérielle indépendante (MI)
 défaillance matérielle de mode commun (MC)
 erreur humaine (y compris de mode commun) (H) [10]

Figure 3: Ce graphique montre que plus de 60% du nombre total estimé des accidents de fusion du cœur seraient dus à des erreurs humaines (référence [4]).

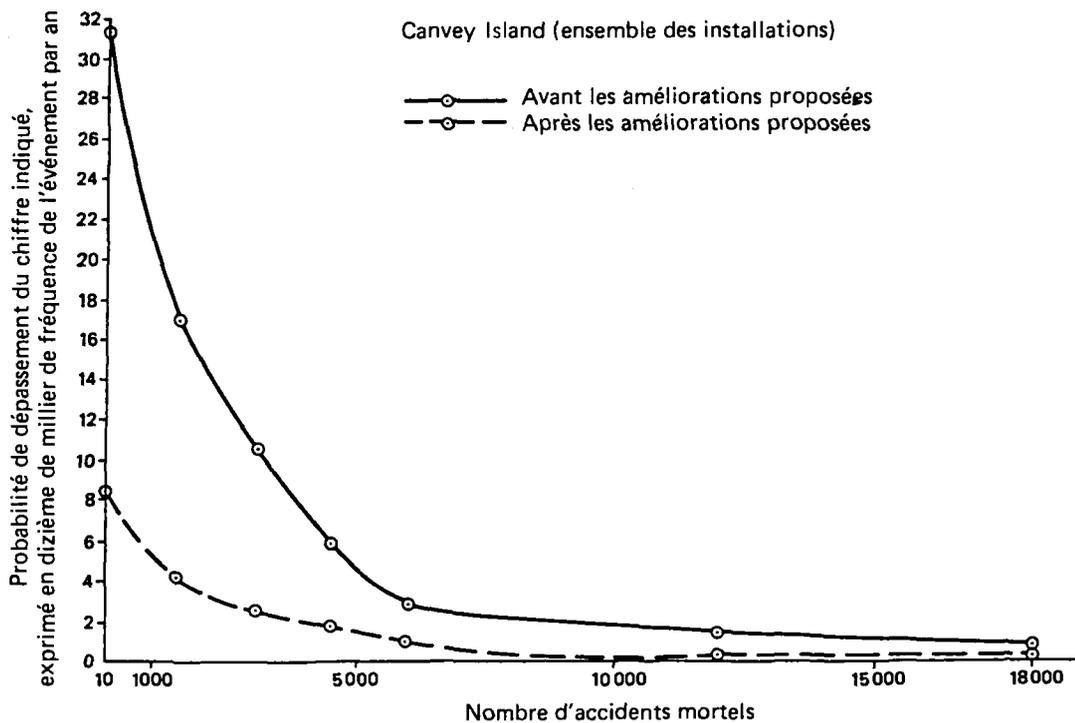


Figure 4: A la suite d'une étude de risques de l'important complexe pétrochimique de Canvey Island, un certain nombre d'améliorations proposées se sont révélées très efficaces pour réduire les risques (référence [3]).

des éléments d'un système. Souvent, des conclusions d'ordre qualitatif suffisent pour orienter les améliorations à apporter à la sûreté.

Différences de qualité

Il n'a été question jusqu'ici que de données techniques et d'aspects méthodologiques. Toutefois, même si deux risques différents menacent en moyenne un même nombre de personnes, on peut choisir de s'attacher davantage à réduire l'un de ces risques en raison de ses aspects physiques ou parce qu'il est plus effrayant. Une série de facteurs connus pour influencer sur le caractère plus ou moins significatif des risques est donnée dans le tableau 1 [6]. Deux exemples, décrits ci-après, illustrent brièvement ce domaine difficile que l'on appelle habituellement «évaluation des risques».

Risques à faible probabilité et avec conséquences graves: Les accidents dont sont victimes un grand nombre de personnes à la fois suscitent une grande inquiétude. Faut-il traiter de la même façon les accidents dont n'est victime qu'une seule personne par an et ceux qui se produisent qu'une fois en un millier d'années mais font mille victimes? Dans les techniques modernes, la

Tableau 1. Les risques peuvent être qualitativement différents, même si en moyenne ou à longue échéance les dommages sont les mêmes. Ils peuvent l'être selon le type des effets sur la santé, selon les personnes qui sont exposées et selon la manière dont elles le sont. Le tableau récapitule certains de ces facteurs.

● Effets sur les travailleurs	— sur le public
● Exposition individuelle	— de la population
● Exposition volontaire	— involontaire
● Effets immédiats	— retardés
● Effets maîtrisables	— non maîtrisables
● Risque à forte probabilité sans conséquences graves	— à faible probabilité avec conséquences graves
● Incertitude petite	— grande

tendance générale est qu'une sûreté accrue se traduit par un déplacement qualitatif du risque à forte probabilité sans conséquences graves vers un risque à faible probabilité et avec conséquences graves. Un exemple (associé à des considérations techniques et économiques) en est donné avec les accidents d'avion, comme le montre la figure 5 [7]. Le risque moyen par passager-

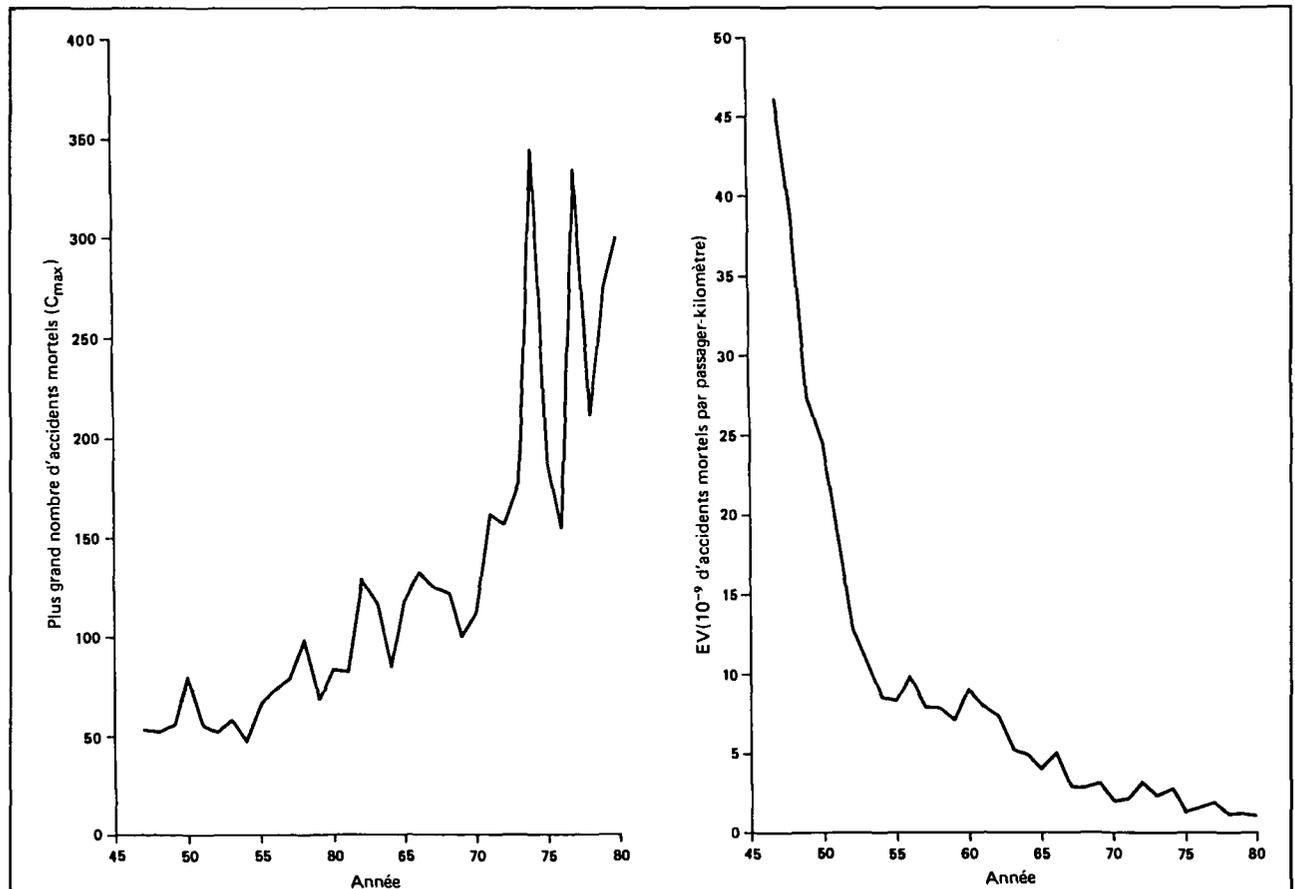


Figure 5 a + b. Les diagrammes montrent l'évolution dans le temps de la sûreté du transport aérien. La réduction du risque moyen par passager-kilomètre (EV) a eu pour contrepartie une augmentation du nombre de victimes pour l'accident le plus grave. Pour chaque année, le nombre de victimes de l'accident le plus grave (un appareil seulement) C_{max} a été porté en ordonnée C. Il est évident qu'un déplacement qualitatif du risque, dû à de nombreuses causes diverses, s'est produit. Le même phénomène est observé dans de nombreuses autres techniques modernes. (A noter le changement d'échelle).

kilomètre a diminué de façon significative. Mais cette évolution s'est soldée par une potentialité accrue d'accidents à faible probabilité et avec conséquences graves dont sont victimes de nombreux passagers à la fois.

Incertitudes des risques: Toutes les analyses de risques sont sujettes à des incertitudes. L'incertitude relative à une conséquence possible est l'un des attributs principaux d'une situation «de risque». L'exemple suivant illustrera ce point. Pour une technique donnée on sait pertinemment qu'en utilisant la conception «A» on s'exposerait à des accidents qui une fois en un millier d'années feraient cent victimes. Ainsi, en moyenne, on pourrait s'attendre à une mort tous les dix ans. La meilleure estimation pour une autre conception «B» est en moyenne exactement la même. Mais on ne sait pas s'il y aurait seulement dix victimes ou, dans le pire des cas, mille victimes. S'il leur fallait opter entre ces deux conceptions, la plupart des interrogés choisiraient la conception «A» car elle réduit l'incertitude. L'incertitude est donc bien l'un des aspects les plus importants d'une situation de risque. (Voir également [8]).

Critères de décision

Comme nous l'avons vu, la sûreté est assurée par l'observation de critères principalement déterministes, qui, dans une large mesure, reposent sur l'expérience acquise soit directement soit par extrapolation d'autres expériences. En complément à ces critères, certains pays définissent des objectifs de sûreté qualitatifs et quantitatifs. Un exemple en est donné par les objectifs de conception quantitatifs provisoires récemment publiés par l'US NRC qui seront utilisés pendant une période de deux ans. Ces objectifs sont récapitulés au tableau 2 [2]. Les objectifs de sûreté peuvent reposer sur les critères généraux suivants:

- 1) On peut fixer un objectif tendant à limiter le risque individuel à proximité de la centrale, l'individu en question pouvant être une personne quelconque ou celui qui est exposé au risque le plus élevé.
- 2) En outre, on peut fixer un objectif tendant à limiter les risques pour la collectivité ou pour des sous-groupes de population.
- 3) Ces deux objectifs peuvent être complétés par un critère d'efficacité: réduire encore davantage les risques, si on peut le faire, à un coût donné, si cela est techniquement possible, si cela est réalisable, etc.
- 4) En outre, on peut fixer des limites à la probabilité ou aux conséquences de certains types d'accidents (par exemple, fusion du cœur) ou à la performance de certains systèmes de sûreté (par exemple, enceinte de confinement).

On peut définir toute une série de critères de ce genre ou en privilégier quelques-uns. On peut aussi prendre en considération certains types de risques qualitativement différents, comme il a été vu auparavant. Il est, par exemple, possible d'établir des contraintes supplémentaires pour des accidents graves [9] ou de définir des critères différents pour l'exploitation normale ou les accidents possibles [10]. Toutefois, il y a lieu de souligner que l'analyse des risques est utile même si l'on n'établit pas d'objectifs de sûreté ou d'objectifs de conception.

Tableau 2. L'US NRC a décidé d'appliquer provisoirement aux centrales nucléaires des objectifs de sûreté qualitatifs étayés par des objectifs de conception quantitatifs et de les utiliser pour une période de deux ans. Le tableau récapitule ces objectifs quantitatifs.

Objectifs de conception quantitatifs de l'US Nuclear Regulatory Commission

- *Risques individuels:* Pour un individu quelconque se trouvant à proximité d'une centrale nucléaire, le risque de décès précoce pouvant résulter d'accidents nucléaires ne devrait pas dépasser 0,1% de la somme des risques de décès précoce résultant d'autres accidents auxquels les individus de la population des Etats-Unis d'Amérique sont exposés.
- *Risques pour la collectivité:* Pour la population de la région proche d'une centrale nucléaire, le risque de cancer mortel pouvant résulter de l'exploitation de la centrale ne devrait pas dépasser 0,1% de la somme des risques de cancer mortel résultant de toutes les autres causes.
- *Efficacité:* L'avantage d'une réduction marginale du risque de mortalité pour la collectivité devrait être comparé aux coûts correspondant à cette réduction sur la base de 1000 dollars par personne-rem évité.
- *Comportement du cœur:* La vraisemblance d'un accident nucléaire entraînant la fusion d'une grande partie du cœur devrait normalement être inférieure à 10^{-4} par année d'exploitation du réacteur.

A ce jour, on n'a qu'une expérience limitée en matière d'objectifs de sûreté quantitatifs. Compte tenu des incertitudes inhérentes à l'analyse des risques, il sera nécessaire d'établir un lien étroit entre les objectifs et la méthode d'analyse et de définir avec précision sous quelles conditions il a été prouvé que certains objectifs ont été atteints. Quoi qu'il en soit, l'analyse des risques, éventuellement complétée par des objectifs de sûreté, servira à l'avenir à affiner les critères de sûreté déterministes actuels et la fiabilité des composants de systèmes.

Acceptation par le public

L'analyse des risques a pour objectif principal d'améliorer la sûreté et de réduire les risques le plus possible et non d'amener le public à accepter certaines techniques. Mais les renseignements techniques quantitatifs peuvent jouer un rôle important si l'on veut rationaliser le débat ou la controverse. Dans ce contexte, les chiffres absolus ont moins d'importance que la perspective d'ensemble donnée par les résultats. L'analyse des risques peut également aider à appeler l'attention sur l'importance relative d'un problème. Dans le cas de l'énergie d'origine nucléaire, par exemple, il ne faut pas perdre de vue ce fait important qu'en exploitation normale, cette industrie a une très faible incidence sur l'environnement [11]. Outre l'avantage d'aider à relativiser des problèmes entiers ou partiels, l'analyse des risques contribue à accroître la confiance dans les organismes réglementaires, en améliorant la cohérence et la transparence des règlements. C'est en permettant une amélioration de la crédibilité des organismes réglementaires et de la confiance qu'ils peuvent inspirer que l'analyse des risques contribuera le mieux à une plus large acceptation de l'énergie d'origine nucléaire par le public.

Points saillants du Programme d'évaluation des risques de l'AIEA

Le *Colloque international sur les risques et avantages des systèmes énergétiques* qui se tiendra au Centre d'études nucléaires de Juliers (République fédérale d'Allemagne), du 9 au 13 avril 1984, a pour objet d'analyser le rôle de l'énergie d'origine nucléaire et celui d'autres systèmes de production d'énergie et de faire le bilan des risques courus et des avantages escomptés.

Le Programme de recherche coordonnée de l'AIEA (auquel participent 15 Etats Membres) sur *la comparaison du rapport coût-efficacité correspondant à la réduction des risques pour différents systèmes énergétiques*, a pour objet de déterminer l'allocation optimale de ressources affectées à l'amélioration de la sûreté dans l'ensemble du cycle du combustible des systèmes énergétiques [12].

Le Programme de recherche coordonnée de l'AIEA (auquel participent 15 Etats Membres) sur *l'élaboration de critères de risque pour le cycle du combustible nucléaire* a pour objet d'établir un ensemble cohérent de méthodes et critères pour l'expression des risques inhérents à l'ensemble du cycle du combustible des réacteurs à eau légère [13].

Un programme de l'AIEA qui comprend séminaires, cours, réunions de spécialistes et documents techniques sur des sujets précis, a pour objet de recueillir, d'évaluer et de diffuser une documentation sur les méthodes et résultats des travaux d'analyse des risques dans les Etats Membres, y compris la perception de la sûreté nucléaire par le public.

Conclusions

Malgré de grandes incertitudes, à l'avenir on aura de plus en plus recours à l'analyse des risques pour assurer la sûreté des grandes installations industrielles et notamment de celles du cycle du combustible nucléaire. On peut tirer de précieux enseignements d'analyses quantitatives de risques, notamment pour déterminer d'importants paramètres de risques. Même si les incertitudes sont grandes, les enseignements tirés de l'exécution de l'analyse seront utiles pour l'amélioration de la sûreté.

La connaissance détaillée des systèmes que donne l'analyse des risques est pour le moins utile si l'on veut:

- faire évaluer la sûreté par un personnel plus averti;
- fixer les priorités dans les études et réalisations;
- affiner les critères de sûreté déterministes; et
- compléter la sûreté que l'on obtient actuellement, en s'intéressant aux interactions du système tout entier et notamment aux événements (improbables) qui ne peuvent être saisis que par la théorie.

Ainsi, l'analyse des risques est-elle conçue non pas pour se substituer à la manière actuelle d'aborder les questions de sûreté mais pour la compléter et pour améliorer les critères de sûreté déterministes. De même, l'analyse des risques peut potentiellement renforcer la crédibilité des organismes réglementaires en augmentant la cohérence et la transparence des règlements. Si ces limites sont bien comprises, elle peut être un moyen important d'assurer la sûreté nucléaire dans les décennies à venir.

Références

- [1] H. Inhaber, S. Norman, *The Increase in Risk Interest. Risk Analysis* Vol.2, No.3 (1982).
- [2] US Nuclear Regulatory Commission *Policy Statement on Safety Goals for the Operation of Nuclear Power Plants* No. 83-39, Office of Public Affairs, Washington, D.C. 20555 (14 mars 1983).
- [3] *Canvey Island Study, Canvey: Summary of an Investigation of Potential Hazards from Operations in the Canvey Island/Thurrock Area* Health and Safety Executive, Londres (1978).
- [4] *Deutsche Risikostudie, Kernkraftwerke: Eine Untersuchung zu dem durch Störfälle in Kernkraftwerken verursachten Risiko* TUV Rheinland GmbH, Cologne (1979).
- [5] A. Birkhofer, *Das Risikokzept aus naturwissenschaftlich-technischer Sicht* Kurzreferat beim 7. Deutschen Atomrechts-Symposium 1983, Goettingen (RFA) (16 mars 1983).
- [6] F. Niehaus, E. Swaton, *Risk Assessment and Public Acceptance of Nuclear Power* Serie Seminari, ENEA, Rome (Italie) (1981).
- [7] F. Niehaus, G. de Leon, M. Cullingford, *The Trade-Off Between Expected Risk and the Potential for Large Accidents* Présenté au Workshop on Low Probability/High Consequence Risk Analysis, 15-17 juin 1982, Arlington (Virginie, Etats-Unis d'Amérique).
- [8] P. Slovic, B. Fischhoff, S. Lichtenstein, *Is Society Really Risk Adverse?* Présenté au Workshop on Low Probability/High Consequence Risk Analysis, 15-17 juin 1982, Arlington (Virginie, Etats-Unis d'Amérique).
- [9] US Nuclear Regulatory Commission *An Approach to Quantitative Safety Goals for Nuclear Power Plants* NUREG-0739 (1980).
- [10] M.J. Clark, A.B. Fleischman, G.A.M. Webb, *Optimization of the Radiological Protection of the Public* NRPB-R120 (juillet 1981).
- [11] E. Swaton, *Attitudes Toward Risk: A Cross-Cultural Comparison* Présenté au Status Seminar: Tasks, Methods and Predictive Power of Risk Research, 24-25 novembre 1980. Organisé par l'Université de Bielefeld, Bielefeld.
- [12] F. Niehaus, A. Novegno, *Optimal Allocation of Resources for Safety* Présenté au Symposium on the Assessment and Perception of Risk to Human Health, 18-19 octobre 1982, Ontario (Canada).
- [13] M. Cullingford, F. Niehaus, S. Vuori, *Use of Risk Analysis in Safety Decisions* Présenté au Congrès annuel de la société française de radioprotection, 18-22 octobre 1982, Avignon (France).