Les rejets radiologiques massifs diffèrent profondément des rejets contrôlés

Ludivine Pascucci-Cahen, Momal Patrick

Institut de Radioprotection et de Sûreté Nucléaire (IRSN),
31 av. Division Leclerc, 92260 Fontenay-aux-Roses

Résumé :
Pour se préparer à un accident nucléaire, il faut en comprendre les conséquences potentielles. De nombreux experts spécialisés en ont étudié des aspects particuliers, mais peu d'efforts ont été consacrés à dresser un tableau d'ensemble équilibré des conséquences majeures d'un tel accident. L'IRSN a abordé le coût des accidents nucléaires de la manière la plus exhaustive possible parce toute omission entraîne une sous-estimation. L'étude réalisée fournit donc (idéalement) une estimation de tous les éléments de coût, et fait émerger, par là-même, la structure des coûts et un tableau global de la crise. Sur un REP français, des rejets contrôlés causeraient un accident « économique » aux conséquences radiologiques limitées par rapport à d'autres coûts ; en revanche, des rejets massifs déclencheraient une crise majeure accompagnée d'importantes conséquences radiologiques. Les deux types de crises confronteraient les gestionnaires à des défis différents.

1. LES ESTIMATIONS DE COÛTS DOIVENT ÊTRE EXHAUSTIVES ET FOURNISSENT AINSI UNE VUE D'ENSEMBLE

C'est sous la pression de l'exploitant nucléaire français que l'IRSN a estimé des coûts d'accidents. La culture dominante prévalant dans le secteur nucléaire est essentiellement technique et ce sujet n'avait pas été systématiquement abordé. Mais la pression économique étant omniprésente, les exploitants, de par le monde, ont de plus en plus tendance à intégrer des arguments d'ordre économique dans les discussions de sûreté qu'elles tiennent avec les autorités. C'est pourquoi l'IRSN s'est, dès 2005, lancé dans l'estimation du coût des accidents nucléaires.

1.1. Les estimations de coûts doivent être exhaustives

Premier point de méthodologie : les estimations doivent être exhaustives ; aucun élément de coût ne doit être laissé de côté. En effet, tôt ou tard, le coût des accidents est confronté aux dépenses de prévention des accidents. Si un élément de coût est oublié, les coûts sont sous-estimés, et si les coûts d'accident sont sous-estimés, la valeur de la prévention sera également sous-estimée. Les dépenses de prévention seront alors inférieures à leur niveau optimal et un risque excessif sera retenu. On comprend, dans ces conditions, que ce point soit tout à fait crucial.

Il y a de nombreuses (mauvaises) raisons de négliger certains éléments de coût. Ils peuvent sembler fort difficiles à estimer ; les chiffres produits pourraient manquer de la précision dont peut se targuer, par exemple, une science comme l'astronomie. Pourquoi donc acquérir la compétence nécessaire, passer du temps et investir des ressources rares à la poursuite de résultats médiocres et contestables ? De tels arguments peuvent comporter une part de vérité... mais aboutiraient néanmoins à estimer implicitement les grandeurs concernées à zéro, approche biaisée, bien sûr, et nettement inférieure à une estimation fut-elle « mauvaise ». Une estimation médiocre vaut mieux que pas d'estimation du tout. Une mauvaise estimation peut, en outre, être transformée en estimation paramétrique...

Autre raison parfois invoquée : les décisions seraient purement politiques et les estimations de coûts n'y auraient guère de poids. Elles-mêmes seraient purement politiques, n'importe quel chiffre pourrait être mis en avant à des fins politiques. Dans ces conditions, pourquoi les experts s'engageraient-ils avec pour seule perspective d'être ignorés ou contredits par les politiques ? Ce raisonnement semble aussi spécieux que le suivant : la criminalité ne disparaîtra jamais totalement, donc il est inutile d'affecter des ressources aux forces de police. C'est, bien entendu, le contraire qui est vrai ! Et c'est précisément parce que de mauvaises estimations sont parfois produites qu'on doit se donner pour objectif explicite d'améliorer leur professionnalisme. De même, c'est parce que les décisions politiques négligent parfois les considérations d'ordre économiques (bien qu'assez rarement toutefois...) qu'il faut réaliser, mettre à disposition et expliquer à un vaste public des analyses éclairantes et équilibrées.

1.2. Les grandes catégories de coûts

En matière d'accidents nucléaires, la composante classique est ce que nous appelons les Coûts Radiologiques Hors Site. Ils ont fait l'objet d'analyses approfondies après les accidents de Three Mile Island et de Tchernobyl. Au début des années 90, ont été mis au point des codes de calcul de conséquences tels que COSYMA, en Europe, et MACCS, aux États-Unis. Ces codes calculent principalement la dispersion du panache et les conséquences sanitaires qui en résultent ; les contre-mesures, par exemple les interdictions alimentaires, peuvent être étudiées en faisant varier les normes radiologiques applicables aux aliments. Mais il existe de nombreux autres coûts, qui se concrétisent plus loin ou plus près du site concerné.

Les Coûts sur Site ne sont pas négligeables, et doivent être estimés, car ils correspondent à des pertes réelles. Ces coûts sont, certes, supportés par l'électricien lui-même (même si cette affirmation est à tempérer : cf. Tepco), mais ils correspondent cependant à une perte de valeur pour la société. L'argument ci-dessus est donc pleinement valable : si l'on n'inclut pas les coûts sur site, on sous-estime les pertes liées à l'accident, on sous-évalue la valeur de la prévention, et les risques retenus sont supérieurs au niveau optimal.

Les pertes agricoles dues à la pollution radioactive figurent dans les Coûts Radiologiques Hors-Site, mais d'autres pertes sont à prévoir sur des produits alimentaires non contaminés, mais soupçonnés de l'être. Ces pertes sont regroupées avec d'autres coûts d'image tels que l'impact sur le tourisme. Les Coûts d'Image peuvent être très importants.

L'expérience a montré que les accidents nucléaires peuvent avoir des effets significatifs sur le système de production d'électricité nationale, voire dans le monde. Après TMI, les États-Unis n'ont plus construit de réacteurs nucléaires pendant près de 30 ans ; après Tchernobyl, l'Italie a renoncé à l'énergie nucléaire et n'a jamais utilisé des réacteurs qui étaient pourtant presque opérationnels ; après Fukushima, le Japon a été confronté à de très graves difficultés dans ce domaine, et l'Allemagne a décidé d'abandonner la production d'énergie d'origine nucléaire. Ceci doit également être pris en compte.

Dans les scénarios d'accidents les plus graves, d'importantes surfaces peuvent être fortement contaminées et des zones d'exclusion peuvent être décrétées, ce qui entraîne des coûts. D'autres territoires moins gravement contaminés peuvent également induire des coûts élevés.

Ces grandes catégories de coût ont été retenues dans l'estimation des coûts pour la France présentée ci-dessous. Celle-ci permet d'obtenir une image saisissante et donne des indications précieuses pour les gestionnaires de crise et les autorités de sureté.

Il pourrait aussi y avoir d'autres coûts, par exemple liés aux perturbations de l'activité économique comme cela a été observé après l'accident de Fukushima (même si cela est en partie attribuable au tremblement de terre et au tsunami). Un tel effet pourrait aussi être observé en France. Il pourrait y avoir encore d'autres coûts : les effets sur la dette publique, les effets sur les marchés, l'impact sur les investissements étrangers, etc. Ces aspects ne sont pas inclus, ce qui fait que les estimations — qui, par ailleurs, se veulent aussi réalistes possible — ne peuvent être qualifiées de conservatrices, et sont, de ce point de vue, plutôt sous-estimées que surestimées. Pour que les lecteurs comprennent correctement les chiffres, il est essentiel de mentionner ainsi les domaines non couverts ; cela signifie d'ailleurs implicitement que ces coûts sont considérés d'importance limitée par rapport aux autres. Dans le cas présent, les coûts inclus sont tous supérieurs à 1 milliard d'euros, alors que les autres devraient tous être inférieurs à ce niveau.

1.3. Coûts détaillés

Avant de passer aux résultats, le tableau ci-dessous offre une présentation détaillée des principaux éléments de coûts. En effet, chaque ligne agrégée est composée de plusieurs lignes de coûts détaillées. Chacune étant estimée de la façon la plus réaliste possible, avec l'ambition d'être sans biais, on peut espérer que les erreurs se compensent, au moins partiellement.

Tableau 1 : Coûts détaillés

Élément	**Commentaires**
Coûts sur site	
Décontamination et démantèlement	Basé sur le retour d'expérience de TMI
Électricité non produite sur le site	Correspond à la valeur du réacteur perdu et aux arrêts de production des autres réacteurs du site
Autres coûts sur site	Marginal par rapport à ce qui précède
Coûts radiologiques hors-site	
Contre-mesures d'urgence	Marginal par rapport aux autres coûts
Coûts de santé (radiologiques)	Dépendent fortement de la quantité de produits alimentaires contaminés ingérés par la population. Le boycott par les consommateurs et les détaillants est considéré possible.
Coûts psychologiques	Principalement des journées de travail perdues et des coûts de traitement à long terme. Pas de prise en compte des souffrances des patients (pas de consentement à payer au-delà des coûts purement économiques).
Pertes agricoles	Dépendent fortement des normes ou d'un boycott par les consommateurs/distributeurs.
Coûts d'image	
Impact sur les exportations de produits agricoles et alimentaires	Concerne une production parfaitement saine ; se base sur le retour d'expérience d'évènements tels que la crise de la vache folle, la grippe aviaire ou la crise du concombre espagnol en 2011 en Europe.
Impact sur le tourisme	Basé sur les crises ayant affecté le tourisme mondial au cours des 10 dernières années.
Diminution des autres exportations	L'expérience fait largement défaut dans ce domaine.
Coûts liés à la production d'énergie	Le scénario le plus plausible, étant donné les procédures françaises, est une réduction de 10 ans de la durée de vie des réacteurs.
Territoires contaminés	
Zones d'exclusion	Coût des réfugiés radiologiques (population des zones d'exclusion) ; coût des terres considérées comme capital (aucun consentement à payer « valeur de la patrie » n'est inclus)
Autres territoires contaminés	Basé sur l'expérience en Biélorussie ; prend en compte les coûts réels de la contamination et les transferts, ces derniers fournissant une mesure du préjudice subi par les populations concernées.

2. L'ACCIDENT GRAVE SERAIT EN FRANCE UNE CATASTROPHE NATIONALE, MAIS NÉANMOINS GÉRABLE

On distingue deux familles d'accidents nucléaires, toutes deux impliquant la fusion du cœur d'un réacteur français de production d'électricité. L'accident grave est, par définition, une fusion du cœur suivie de rejets radioactifs plus ou moins contrôlés et donc non massifs. Les conditions initiales peuvent être plus ou moins graves dans cette famille d'accidents ; les conditions météorologiques peuvent être plus ou moins favorables.

Les chiffres ci-dessous sont estimés du point de vue de la France en tant que pays ; ils seraient différents du point de vue de la région touchée ; et encore différents du point de vue de l'Union européenne.

En résumé, un accident représentatif de cette famille entraînerait les coûts suivants :

Tableau 1 : Coût d'un accident grave représentatif en France

	milliards d'€	**%**
Coûts sur site	6	5 %
Coûts radiologiques hors-site	9	8 %
Territoires contaminés	11	10 %
Coûts liés à la production d'énergie	44	37 %
Coûts d'image	47	40 %
Total (arrondi)	**120**	**100 %**

2.1. Une catastrophe nationale

Un coût total de 120 milliards d'euros est considérable pour la France. Des accidents industriels majeurs comme l'explosion de l'usine d'engrais AZF, à Toulouse (2001), ou le naufrage de l'Erika (2000) ont été estimés à environ 2 milliards d'euros, un tout autre ordre de grandeur.

Le PIB annuel français étant d'environ 2 000 milliards d'euros, l'accident grave représentatif entraînerait des pertes d'environ 6 % du PIB annuel. Toutefois, ces pertes n'impacteraient pas le PIB d'une seule année ; elles s'étaleraient sur plusieurs années, essentiellement les trois premières années suivant l'accident.

Au total, les pertes représenteraient à 3 à 6 années de croissance selon les performances de l'économie française. Ce serait donc une catastrophe nationale. Les coûts varieraient en fonction du site, mais pas de façon spectaculaire.

Une autre caractéristique rend cette catastrophe nationale plutôt que locale : les coûts d'image et les coûts sur la production d'électricité représentent 77 % du total et ne dépendent pratiquement pas de la région touchée par l'accident.

2.2. Une crise gérable

Malgré un coût global élevé, les coûts purement radiologiques représenteraient moins de 20 % du total (coûts radiologiques hors-site et territoires contaminés). Le nombre de réfugiés radiologiques pourrait être de l'ordre de 3 500 personnes, ce que le pays peut certainement gérer. En outre, le caractère plus ou moins contrôlé des rejets permet de mettre en œuvre les contre-mesures de façon assez efficace.

Par conséquent, les gestionnaires de crise de haut niveau seraient davantage confrontés au un chaos médiatique et à des enjeux économiques élevés qu'à une véritable catastrophe radiologique.

2.3. Variabilité

L'estimation ci-dessus fournit un ordre de grandeur du coût d'un scénario représentatif des accidents graves ; un cas réel s'écarterait probablement de ce modèle pour les raisons exposées ci-après.

Voici tout d'abord une idée des variations possibles : un cas favorable pourrait coûter 50 milliards d'euros, tandis que les coûts pourraient doubler dans un cas défavorable (240 milliards d'euros). Cette fourchette (-55 % ; +100 %) devrait couvrir la plupart des variations, des cas extrêmes pouvant encore sortir de ce cadre.

Des écarts par rapport à l'accident représentatif sont à prévoir par combinaison des facteurs suivants :

- Les conditions initiales, la direction du vent, la vitesse du vent et les précipitations éventuelles déterminent le profil radiologique de l'accident ; par exemple, en l'absence de vent et en présence de pluies intenses, la pollution de long terme serait principalement confinée à proximité de la centrale ; les coûts radiologiques en seraient réduits, de même que le sensationnalisme des médias ; ce qui faciliterait la gestion de l'image et du parc nucléaire ;
- La défense de l'image de la France serait essentielle ; pour être efficace, il faudrait probablement mettre en place très tôt une équipe dédiée rassemblant une palette de spécialistes parmi les meilleurs et largement dotée de ressources en proportion des considérables enjeux identifiés ci-dessus. Il faudrait examiner l'option de normes radiologiques proches de zéro dans les denrées alimentaires, même si cela est totalement inutile d'un strict point de vue sanitaire, dans la mesure où cela pourrait protéger les exportations.
- Rester réaliste en matière de production d'électricité serait également d'importance primordiale pour réduire les coûts supportés par la société toute entière.

3. UN ACCIDENT MAJEUR EN FRANCE SERAIT UNE CATASTROPHE EUROPÉENNE INGÉRABLE

Le terme accident majeur désigne ici tout accident sur un réacteur de production d'électricité générant des rejets radioactifs massifs. À nouveau, dans cette famille d'accident les conditions initiales peuvent être plus ou moins graves, les conditions météorologiques peuvent être plus ou moins favorables. L'estimation suivante concerne un scénario représentatif d'accident majeur sur un REP français 900 de MWe dont la durée de vie est prise égale à 40 ans.

Tableau 3 : Coût d'un accident majeur représentatif en France

	Milliards. €	**%**
Coûts sur site	8	2 %
Coûts radiologiques hors-site	53	13 %
Territoires contaminés	110	26 %
Coûts en termes d'image	166	39 %
Coûts liés à la production d'énergie	90	21 %
Total (arrondi)	**430**	**100 %**

3.1. Une catastrophe radiologique majeure

Les conséquences radiologiques pourraient s'élever à plus de 160 milliards d'euros, soit 8 fois plus que pour l'accident grave représentatif et plus que le coût total d'un accident grave. Les coûts radiologiques hors-site seraient multipliés par 6. Les coûts liés aux seuls territoires contaminés excéderaient 5 % du PIB annuel. Ces chiffres suggèrent l'extrême gravité radiologique de ces accidents.

La meilleure façon de faire percevoir l'ampleur de la contamination est peut-être de considérer le nombre de réfugiés radiologiques à prévoir, c'est-à-dire la population des zones d'exclusion, les personnes qui auraient besoin d'être relogées définitivement. L'ordre de grandeur est de 100 000 personnes[i], ce qui serait extrêmement difficile à gérer.

Le nombre attendu de cancers serait élevé. Les effets psychologiques seraient importants. Les quantités de produits agricoles devant être éliminées seraient considérables. La gestion des territoires contaminés (en dehors des zones d'exclusion) resterait un défi permanent durant de nombreuses années. Les pays voisins seraient également souvent affectés par la contamination.

Ces considérables impacts radiologiques imposeraient aux populations des souffrances proportionnelles. Les coûts correspondants pourraient être qualifiés de coûts « humains » et susciter chez les décideurs politiques un fort consentement à payer pour leur prévention. Au total, les coûts « humains » représenteraient environ 40 % du coût total, mais pourraient peser plus lourd dans les décisions.

[i] Les zones d'exclusion sont, par définition, les zones contaminées en césium 137 à des niveaux supérieurs à 15 Ci/km² (retour d'expérience Tchernobyl), soit 555 kBq/m². Les zones d'exclusion de Fukushima, basées sur les doses, correspondent à des niveaux d'activité similaires. Le chiffre de 100 000 réfugiés correspond à la moyenne arrondie des calculs médians pour trois différents sites français.

3.2. Des coûts « économiques » élevés

Les autres coûts sont plus diffus et sont répartis sur l'ensemble de la population ; on pourrait les qualifier « d'économiques » ; ils comprennent principalement les coûts d'image et les coûts liés à la production d'électricité.

Les coûts d'image seraient multipliés par 3,5 par rapport à un accident grave représentatif et pourraient atteindre le chiffre impressionnant de plus de 160 milliards d'euros, soit autant que les coûts radiologiques. Une telle estimation est évidemment plus incertaine que pour un accident grave, car il existe peu de cas similaires (méga-crise + contamination radioactive généralisée).

Par rapport à Fukushima, les surfaces contaminées après un accident majeur sur un réacteur nucléaire français auraient certainement une plus grande importance agricole. Des productions symboliques telles que le vin seraient touchées. Des sites/monuments célèbres pourraient être contaminés, ce qui nuirait à l'activité touristique. Une large couverture médiatique rendrait les problèmes d'image plus aigus dans l'immédiate après-crise, mais aussi chaque année aux dates anniversaires, renforçant périodiquement les difficultés des activités affectées et les revenus des personnes qui en vivent.

Les coûts liés à la production d'électricité atteindraient typiquement le double de ceux provoqués par un accident grave ; ceci prend en compte un remplacement plus rapide de l'énergie nucléaire par d'autres moyens de production et sur une période plus longue. Il s'agit ici encore d'une estimation raisonnée de décisions politiques possibles ; elle donne un ordre de grandeur des coûts correspondants.

3.3. Des pertes énormes

Au total, un accident majeur représentatif pourrait coûter plus de 400 milliards d'euros, soit plus de 20 % du PIB français annuel, et plus de 10 années de croissance économique. Le pays serait durablement traumatisé ; l'Histoire garderait pendant longtemps la mémoire de la catastrophe ; l'Europe occidentale serait affectée.

Deux impacts se combineraient : le pays serait irradié, d'une part, et ferait face à de lourdes pertes économiques d'autre part. Selon toute probabilité, cela induirait de profondes évolutions politiques et sociales.

Le coût d'un accident majeur varie entre -60 % et +120 % ; les deux familles d'accidents sont donc comparables en termes de variabilité si l'on se base sur ces pourcentages. Néanmoins, les écarts par rapport à l'accident représentatif devraient être différents :

- Les accidents majeurs extrêmes, dont le coût dépasserait la fourchette proposée, auraient des conséquences absolument désastreuses, principalement parce que la pollution grave de grands centres urbains ne peut pas être exclue ; la queue de distribution est beaucoup plus prononcée que pour les accidents graves.
- Les accidents graves extrêmes seraient non seulement « moins extrêmes », mais leur coût pourrait être réduit par une bonne préparation à la crise. En d'autres termes, alors que des conditions météorologiques défavorables auraient des effets limités, une bonne gestion de l'image et une politique énergétique raisonnable seraient à mêmes de réduire significativement les coûts pour la société. Combinées à une communication adéquate, ces qualités devraient rendre la crise supportable.

- En revanche, le vent et la pluie influencent fortement l'ampleur des conséquences radiologiques des accidents majeurs, et donc leur coût total, puisque l'aspect radiologique représente typiquement environ 40 % du coût. Des rejets massifs devraient laisser peu de temps aux interventions d'urgence ; les gestionnaires de crise de haut niveau devraient, en général, se trouver confrontés à une contamination généralisée, leur contribution devant se limiter à alléger une situation pénible sur laquelle ils auront peu de prise. Une bonne gestion d'image et une politique énergétique raisonnable seraient utiles, certes, mais l'accident n'en resterait pas moins largement intolérable.

4. CONCLUSIONS

La première conclusion à tirer de ces estimations a inspiré le titre de cet article : les rejets radiologiques massifs diffèrent profondément de rejets contrôlés. Ces derniers conduisent à une crise largement économique, où la plupart des coûts sont supportés de manière diffuse par l'ensemble de la population. Les principales victimes sont les agriculteurs locaux, pénalisés économiquement en raison de la contamination des sols et des produits, qui peuvent aussi devoir quitter leurs maisons, modifier leur activité ou la redémarrer, et peuvent en outre être affectés dans leur santé. Leur nombre reste néanmoins limité. En fort contraste, les rejets massifs provoquent des conséquences radiologiques massives, le nombre de victimes peut se révéler considérable, et toutes sortes de personnes peuvent être concernées.

Ce type d'information devrait être utile aux gestionnaires de crise. La vision qu'ils peuvent en acquérir devrait les aider à éviter, dans les premières heures de la crise, des erreurs majeures qui peuvent se révéler très onéreuses à long terme. La préparation à la crise peut être mieux focalisée sachant que les conséquences radiologiques ne sont qu'une partie de la crise, peut-être même une part mineure en termes économiques. Les décisions de sûreté peuvent également être informées par cette vision, en particulier considérant que les cas les plus graves représentent des enjeux énormes pour le pays. Leur faible probabilité ne compense donc pas nécessairement leur potentiel catastrophique.