

Le calcul économique s'applique-t-il à la sûreté nucléaire ?

Philippe Mongin (CNRS & HEC Paris)

Audition au Comité d'éthique de l'IRSN
(Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire)

Avril 2015

Introduction

- L'*analyse coût-bénéfice* (ACB) mentionnée dans la saisine est une technique d'évaluation quantitative des projets, notamment d'investissement, qui vise à éclairer les décideurs, publics ou privés, sur l'opportunité de donner suite ou non à ces projets. L'ACB mobilise le raisonnement économique sous sa forme commune - la comparaison des gains et des pertes - mais emprunte aussi à la théorie économique et aux méthodes quantitatives développées par les économistes.
- Ce qu'on nommera ici le *calcul économique* (CE) inclut l'ACB, mais a une portée plus large. Alors que l'ACB concerne spécifiquement les projets et vise à les évaluer toutes choses considérées, le CE inclut des évaluations partielles et non nécessairement liées à une décision projetée, et il comporte un volet de tarification. La référence au CE donne plus d'ampleur à la question de la saisine.

- Alors que l'ACB précède couramment les choix d'équipements publics, et qu'elle se rencontre désormais en logistique militaire ou en santé publique, elle ne joue presque aucun rôle, même à l'étranger, quand il s'agit du choix énergétique nucléaire ou de sa mise en oeuvre dans les mesures de sûreté.
- Même les méthodes plus générales du calcul économique restent peu employées, alors qu'elles pourraient servir à évaluer des bénéfices ou des coûts spécifiques.
- L'ingénierie abrite une spécialité d'évaluation propre, *l'analyse de risque (AR)*, qui s'est développée sans référence aux spécialités économiques précédentes. Ses méthodes ont peu de base théorique et dépendent donc fortement du contexte d'application. On peut y rattacher ou non les études de sûreté nucléaire (SN), mais celles-ci diffèrent en tout cas nettement des AR faites dans d'autres secteurs industriels (chimie) et pour la prévention d'autres accidents (inondations).

- Un trait général met à part les études de sûreté nucléaire: *le raisonnement probabiliste n'y joue qu'un rôle subordonné*. L'ACB et le CE proposent souvent des évaluations sous une hypothèse de certitude, mais dès qu'elles abandonnent cette hypothèse, elle recourent aux probabilités, et l'AR en dépend totalement.
- Le *raisonnement probabiliste* comprend, d'une part, l'assignation de probabilités, objectives ou subjectives, aux principaux événements incertains, et d'autre part, l'utilisation de ces nombres dans un calcul, le plus souvent, *d'espérance mathématique* (d'un coût ou d'un bénéfice net, d'un risque).

- Le rapport du Conseil d'analyse économique, *Les risques majeurs et l'action publique*, par C. Grislain-Letrémy, R. Lahidji et P. Mongin (2013), a mis en avant le rôle modeste du raisonnement probabiliste dans les études de SN et l'a rattaché à la prédominance du *raisonnement instrumental* dans ces études.
- Un objectif de sûreté étant fixé, on identifie les moyens techniques de l'atteindre, sans chercher à quantifier ni la valeur relative de l'objectif, ni l'incertitude de sa réalisation par les moyens. La doctrine de la *défense en profondeur* est une illustration particulière de ce mode de raisonnement.
- Sans nier les obstacles, le rapport a préconisé que les assignations de probabilité soient plus nombreuses, plus systématiques, mieux assumées, et qu'il soit alors fait un usage plus régulier du critère de l'espérance mathématique pour quantifier l'évaluation.

- On voudrait reprendre ici la question des probabilités, tout en la complétant d'une discussion sur les *coûts de l'accident nucléaire*, discussion qui manquait au rapport. Un calcul d'espérance demande la détermination de ces deux quantités, et on ne peut recommander ni le calcul économique, ni l'analyse de risque telle que pratiquée ailleurs, si les obstacles à leur détermination sont insurmontables.
- Comme dans le rapport, on se limitera aux accidents *de centrales*, ignorant donc ceux liés au transport, retraitement et entreposage des produits manipulés par l'activité nucléaire civile, qui posent des problèmes d'évaluation spécifiques et encore moins bien cernés.
- On commencera par un rappel simple des études de SN pertinentes.

Les études probabilistes de sûreté

- Pour l'objet de cet exposé, les documents de référence sont les *études probabilistes de sûreté* (EPS), qui se sont développées dans le secteur nucléaire civil la suite d'un rapport américain célèbre (WASH 1400) dirigé par Rasmussen en 1975. Le genre a eu plus de succès aux USA, en GB, en Allemagne qu'en France, mais il y est désormais représenté depuis les années 1990 (chez EDF, l'IRSN ayant été sollicité par l'ASN pour diagnostiquer les travaux produits).
- On rappelle la distinction entre EPS de niveau 1 (qui analysent les scénarios menant à la fusion du coeur pour quantifier la probabilité de cet événement), EPS de niveau 2 (qui analysent les processus de destruction du coeur et de l'enceinte pour quantifier la probabilité des rejets radioactifs hors de l'enceinte), et EPS de niveau 3 (qui analysent les transports de produits radioactifs dans l'environnement et visent quantifier la probabilité de dommages extérieurs à la centrale, sanitaires et environnementaux notamment).

- La technique employée depuis Rasmussen est celle des *arbres d'événements*, construits à partir d'*événements initiateurs* donnés (par exemple, perte de refroidissement ou autres causes de fusion pour une EPS 1, état dégradé de l'installation pour une EPS 2, niveau donné de rejets pour la partie spécifique d'une EPS 3). L'événement initiateur reçoit une probabilité inconditionnelle, les branches qui font suite reçoivent des probabilités conditionnelles, la règle de Bayes servant à calculer les combinaisons).
- Les EPS 1 et 2 diffèrent suivant les événements initiateurs (accidents internes, agressions internes, agressions externes), le degré de détail du scénario ou du processus analysé, l'état considéré du réacteur (conception, fonctionnement, arrêt).
- Les EPS 3 diffèrent en outre suivant les conséquences dommageables considérées (sanitaires, agricoles, liées aux contre-mesures, économiques dans des sens divers).

- Le développement historique du domaine a consisté à passer des EPS 1 aux EPS 2 et 3 tout en enrichissant chaque niveau et en l'articulant mieux sur le précédent.
- D'après une synthèse du CEA de 2008, "les EPS 2 deviennent de plus en plus le standard" et "seuls (cinq pays) ont mené une EPS jusqu'au niveau 3 ou sont sur le point d'en achever une". L'enrichissement a porté notamment sur le choix des événements initiateurs (au début des EPS 1, les accidents internes seulement, mais aujourd'hui, les agressions internes et surtout externes).
- La France a des EPS 1 bien documentées (grâce à l'homogénéité du parc) et commence à développer des EPS 2 pour les réacteurs à eau pressurisée existants et pour l'EPR à venir. "Aucune EPS 3 n'est envisagée aujourd'hui".

- *Les EPS sont au centre de notre problème.* Elles attribuent des valeurs de probabilités à des effets aléatoires quantifiés, et permettent donc de calculer des espérances mathématiques pour ces effets. Même s'il s'agit d'effets simplement physiques, comme dans les EPS 1 et 2, on dispose d'un élément d'évaluation de l'accident.
- Le calcul économique commence avec l'EPS 3, quand les effets socio-économiques sont pris en compte et retraduits dans une unité de valeur elle-même socio-économique, typiquement *l'unité monétaire* (l'ACB n'utilise que celle-là).
- Une transition intéressante survient quand *la vie humaine* sert d'unité de valeur. On évite le problème lancinant de définir la valeur monétaire d'une "vie statistique". L'analyse du risque s'arrête souvent à cette mesure, de même que certaines EPS 3 existantes (déjà dans WASH 1400).

La détermination des coûts de l'accident

- La question des coûts d'un accident nucléaire est l'objet d'un débat public animé en France depuis la catastrophe de Fukushima en 2011. L'historique en est instructif.
- Peu après Fukushima, la Cour des Comptes a été chargée d'un rapport sur *Les coûts de la filière électro-nucléaire*. Rendu en janvier 2012, il affirme sans plus de précisions ceci : "Les estimations de l'IRSN donnent un coût moyen compris entre 70 Md€ pour un accident modéré sur un réacteur comme celui qui s'est produit à TMI en 1979, et 600 Md€ à 1000Md€ pour un accident très grave comme ceux de Tchernobyl ou de Fukushima".
- Ce n'est qu'en mars 2013, après une fuite journalistique, que l'IRSN a publiées ses estimations. Il publie un document de 2007, "Examen de la méthode d'analyse coût-bénéfice pour la sûreté", dont un appendice estimait les coûts d'un accident nucléaire majeur jusqu'à 5737 Md€ (avec une "valeur médiane" de 760 Md€). Le document était resté sous le boisseau.

- Dans un document ultérieur de 2013, "Méthodologie appliquée par l'IRSN pour l'estimation des coûts d'accidents nucléaires en France", l'Institut écarte les chiffres antérieurs et propose, en "valeur médiane", 120 Md€ pour l'accident grave et 450 Md€ pour l'accident majeur, chiffres toujours d'actualité.
- Pour préparer la loi de transition énergétique, le groupe EELV de l'Assemblée Nationale a obtenu la création d'une Commission d'enquête relative aux "coûts passés, présents et futurs de la filière nucléaire". Le rapport de juin 2014, dû à D. Baupin, reprend le chiffrage de l'IRSN en concluant que le coût de l'accident doit être internalisé (proposition aussi faite par C. Grislain-Letrémy, R. Lahidji et P. Mongin, et par P. Picard).
- Le document de l'IRSN est un bon point de départ à la discussion des coûts en général. On peut le comparer, en plus et en moins, à une étude plus ancienne qu'il utilise, *ExternE*, "Externalities of Energy, Vol. 5: Nuclear", Commission européenne, 1995.

- ExternE applique aux rejets nucléaires les codes de calcul de la diffusion des polluants ordinaires. Des valeurs initiales sont fixées pour les rejets d'après différents scénarios de gravité de l'accident, et une fois que le code a calculé la surface au sol et la population concernés, des hypothèses transforment ces données en *dommages agricoles et sanitaires*. Au dernier stade, un calcul économique monétarise les dommages, y compris les vies humaines perdues.
- L'IRSN reprend cette composante et étend par ailleurs la définition des dommages, en incluant des effets psychologiques dans les effets sanitaires, et surtout en estimant des "coûts d'image" mesurés par la baisse de la demande et du tourisme une fois la catastrophe connue. L'"effet-parc" est inclus, d'où finalement 450 Md€ pour l'accident majeur au lieu de 83 Md Ecu 1995 dans *ExternE*.

- *ExternE* calculait une probabilité d'occurrence pour son chiffrage maximal, soit $5.10^{-5} \times 0.19$, la première probabilité étant celle, inconditionnelle, de la fusion du coeur et la seconde celle, conditionnelle à une fusion, de la diffusion de rejets massifs. L'espérance donne une valeur inférieure au million d'ECU 1995.
- Chaque étude fait un pas vers ce que serait une EPS 3 véritable, donc une application du calcul économique, mais reste très en retrait. *ExternE* parce qu'elle ne considère pas l'ensemble des dommages, l'étude de l'IRSN parce qu'elle ne probabilise pas ses estimations (PS: alors même qu'elle se fixe sur des "médianes").

La détermination des probabilités

- Les EPS menées à partir des années 1980 ont convergé sur deux ordres de grandeur, 10^{-5} (1/100 000) pour la probabilité d'une *fusion du coeur*, et 10^{-6} (1/1 000 000) pour celle d'une *fusion du coeur suivie de rejets*, donc source d'un accident grave ou majeur. Ces chiffres s'entendent par année-réacteur et l'on obtient donc une probabilité d'accident à l'échelle du parc français en les multipliant par le nombre de réacteurs en service (58) et par le nombre moyen d'années de service encore attendues.
- En 2014, le rapporteur l'Assemblée Nationale D. Baupin obtenait donc 0,7% et 0,07% en cas d'arrêt du parc à 40 ans et 1,8% et 0,18% en cas d'arrêt à 60 ans. Avec ces valeurs préoccupantes, les espérances mathématiques restent très faibles, à peine plus que dans ExternE (on multiplie par les 120 ou 450 Md€ de l'IRSN).

- Les ordres de grandeur ont été contestés au motif que la série historique des réacteurs détruits le contredirait. En 2011, Dessus et Laponche comptaient 14 000 années-réacteurs écoulées (31 années \times 450 réacteurs), et appliquant 10^{-6} obtenaient 0,014 accident (14 000/1 000 000), qu'ils comparaient à 4 réacteurs détruits dans des accidents majeurs (1 à Tchernobyl, 3 à Fukushima). Avec 10^{-5} , la comparaison porte sur 11 destructions du coeur totales ou partielles et n'est pas plus avantageuse.
- Cette critique tombe sous l'objection évidente que des probabilités même très petites sont compatibles avec une répétition malchanceuse. La question est de savoir si la séquence historique entre ou non dans l'information plus large qui devrait accompagner les nombres 10^{-5} et 10^{-6} . On attendrait ou bien une *fonction de répartition entière*, donnant la probabilité de chaque effectif de réacteurs détruits, ou bien des *intervalles de confiance* qui encadrent les nombres. L'objection, reformulée, devient alors que ces informations manquent.

- Les ordres de grandeur ont été contestés, notamment à l'IRSN, au motif très différent que les EPS des années 1980 et 1990 *ne prenaient en compte que des événements initiateurs limités*. L'expérience de Tchernobyl a mis en évidence la possibilité de l'erreur humaine, et celle de Fukushima la possibilité d'agressions externes d'ampleur exceptionnelle.
- Fukushima enseigne aussi qu'il faut se défier des hypothèses d'indépendance probabiliste pour apprécier *les accidents combinés* (fusion de plusieurs réacteurs sur le même site). Les études prenaient en compte la possibilité d'un séisme et d'un tsunami simultanés, mais non pas celle d'une perte d'alimentation électrique de secteur (due au séisme) en même temps que d'une perte d'alimentation de secours (due au tsunami).

- On reste ici encore en deçà du calcul économique, non seulement parce que les valeurs probabilistes sont incertaines, mais parce que *de simples ordres de grandeur ne suffisent pas à toutes les comparaisons*. Ils peuvent servir à comparer des filières (par exemple, éolien contre nucléaire), mais non pas des procédés techniques voisins qui ne diminuent pas la probabilité d'un ordre de grandeur entier.
- Les doutes qu'inspirent la composantes spécifiquement probabiliste des EPS sont anciens. La doctrine officielle est qu'elles servent à *éclairer la réflexion générale* en faisant apparaître des possibilités d'accident insoupçonnées ou en permettant une certaine hiérarchisation des possibilités connues. Ces réserves existent partout, mais sont plus manifestes en France (ASN et IRSN).
- Elle s'expriment dans une doctrine universelle voulant que "l'approche probabiliste soit complémentaire de l'approche déterministe". Mais l'approche déterministe n'étant pas définie, la réconciliation semble obscure.

Des linéaments de réponse ?

- Le bilan montre qu'aucune étude existante ne vaut intégralement comme EPS 3, ce qui serait le niveau d'application du calcul économique, et que des difficultés particulières s'attachent aux estimations des coûts et surtout des probabilités.
- Dans quelle mesure cet écart au modèle est-il inhérent au domaine ou bien rectifiable *si les protagonistes le souhaitent* ? Le fait qu'ils ne paraissent pas toujours le souhaiter rajoute à l'équivoque actuelle. Dans les domaines médical ou militaire, des réticences persistent, chacun défendant la spécificité de sa tradition rationnelle contre les empiètements des économistes (art du diagnostic, art de la stratégie).
- Faute de mieux, on peut signaler des pistes de rapprochement.

- Le calcul économique vise uniquement des *évaluations comparatives*, de ce fait limitées à un petit nombre de variables, les autres étant prises comme des paramètres fixes. Les évaluations répondent en outre aux seuls intérêts de la partie considérée. Le problème d'évaluer "le risque d'accident nucléaire" a été posé trop abstraitement, sans référence à cette double détermination *pragmatique*.
- Concerne-t-il la société dans son ensemble, l'Etat, l'exploitant, le secteur de l'assurance, l'organe de surveillance ou d'expertise ? Veut-on comparer des filières énergétiques, des types de réacteurs, des variantes du même réacteur, un type d'assurance et un autre, une mesure de sûreté avec le statu quo ?

- Le but peut être de déterminer si l'Etat doit continuer à être *l'unique assureur de fait des accidents graves ou majeurs* ou partager son risque avec l'exploitant. La question, économique, doit être traitée comme telle, avec des coûts indemnisables (donc pas de "coûts d'image") et l'emploi, faute de mieux, des ordres de grandeur probabilistes (fixés identiquement dans les deux options).
- Plus délicates, les *comparaisons de filières* posent aussi un problème économique à traiter comme tel. Les coûts sont à prendre largement, et pour toutes les options (pour l'éolien aussi !), et les ordres de grandeur probabilistes (ici différents) doivent être affectés d'une incertitude comparable pour que la comparaison ait du sens.

- Plus délicates encore, les *comparaisons de mesures de sûreté* entre elles ou avec le statu quo. La question des coûts est toujours là (il faut monétiser des conséquences physiques) et celle des probabilités est aggravée (les ordres de grandeur ne suffisent sans doute plus).
- De la recherche fondamentale s'impose tout particulièrement sur deux points. (1) Du côté des coûts, la question des *petites doses*, intellectuellement maltraitée ; (2) du côté des probabilités, celle de *l'incertitude qui les entoure*, la donnée d'une valeur unique signifiant une autre maltraitance intellectuelle.

Sur la règle de l'espérance mathématique

- La règle ordinaire de *l'espérance mathématique* s'énonce :

valeur du projet risqué = somme de l'évaluation nette de chaque conséquence incertaine, pondérée par la valeur de probabilité de cette conséquence

- On a pu contester que l'espérance mène à des comparaisons instructives dans le cas du *risque catastrophique*.
- Admettons qu'une des conséquences incertaines du projet s'accompagne d'un dommage infini. Il suffit alors que sa probabilité soit positive, même très petite, pour que le projet ait lui-même une valeur infiniment négative, ce qui tranche la comparaison avec le statu quo. Une autre forme de l'argument prend la probabilité comme infiniment petite, et conclut à une comparaison pas triviale, mais indéterminée.

- Les discussions sur la sûreté nucléaire prennent parfois ce tour métaphysique. Cf. les auditions récentes à la Commission d'enquête de l'Assemblée Nationale "relative aux coûts passés, présents et futurs de la filière nucléaire".
- Il vaut mieux considérer les valeurs de dommage et de probabilité comme très grandes et très petites respectivement, mais toujours finies, en posant seulement le problème de les déterminer au mieux.
- Il reste que les espérances ne paraissent pas significatives quand des gains ou des pertes très importants sont impliqués. La réponse théorique ancienne consiste à modifier les gains ou les pertes par une fonction d'utilité qui tienne compte de l'attitude par rapport au risque, et un procédé des études appliquées modifie la valeur initiale "probabilité x valeur de gain ou de perte" en lui ajoutant ou en lui multipliant quelque chose.