

# La régulation de la sûreté nucléaire : analyse économique

François Lévêque, Mines ParisTech

Conférence de l'Association des  
économistes de l'énergie

Ecole des mines, 14 mars 2012

# Le débat économique en France sur la sûreté nucléaire est passablement confus

- « La seule logique raisonnable ne peut pas être une croissance continue des exigences de sûreté ...[Il convient de formuler] des propositions en vue d'associer au mieux exigences de sûreté et contraintes économiques » Synthèse du rapport Roussely, juin 2010
- « La sûreté n'a pas de prix » Titre d'une section du Rapport de la mission parlementaire sur la sécurité nucléaire, la place de la filière et son avenir, juin 2011
- Le coût des mesures post-Fukushima sur le parc français représentera « moins de 2% d'augmentation des factures d'électricité [...] Ce n'est pas rien, mais ce n'est pas la catastrophe économique » E. Besson, janvier 2012

## et se focalise quasi exclusivement sur les conséquences économiques des exigences de sûreté

- Interrogations et menaces sur la compétitivité de la technologie nucléaire en général, et sur la filière nucléaire française en particulier
- Quid des autres apports de la théorie économique de la régulation ?
  - Niveau optimal d'efforts à réaliser (e.g., réduction d'émissions polluantes, taille des investissements de réseaux), régulation incitative versus *Rate of return*, indépendance et risque de capture du régulateur, choix de l'échelon de la gouvernance ...
- L'analyse économique peut-elle contribuer à mieux comprendre et à améliorer la régulation de la sûreté nucléaire ?

# Avertissement

- Premières réflexions issues du programme de recherches du Cerna en économie du nucléaire financé par EDF (2011-2013)
- Mais naturellement les propos qui suivent n'engagent que leur auteur
- Fondées sur des connaissances techniques, juridiques et réglementaires de la sûreté nucléaire encore partielles

# Publications du Cerna sur l'économie du nucléaire

- Escobar, L. and Lévêque, F. (2012), How to predict the probability of a major nuclear accident after Fukushima Dai-ichi?, *Cerna Working paper, 2012*
- Berthélemy, M. (2012), What drives innovation in nuclear reactors technologies? An empirical study based on patent counts, *Cerna Working Paper 2012:01*
- Lévêque, F. Berthélemy, M. and Douguet, S. (2012), The economic loss of the early retirement of nuclear power plants, *energypolicyblog.com*, Feb.
- Lévêque, F. Berthélemy, M. and Douguet, S. (2012), Is the nuclear phase-out a financial viable option for France? , *energypolicyblog.com*, Jan.
- Berthélemy, M. and Lévêque, F. (2011), Harmonising nuclear safety regulation in the EU: Which priority?, *Intereconomics - Review of European Economic Policy*, Vol. 46 (3) pp. 132-137
- Berthélemy, M. and Lévêque, F. (2011), Korea nuclear exports: Why did the Koreans win the UAE tender? Will Korea achieve its goal of exporting 80 nuclear reactors by 2030?, *Cerna Working Paper 2011:04*

# Plan de l'intervention

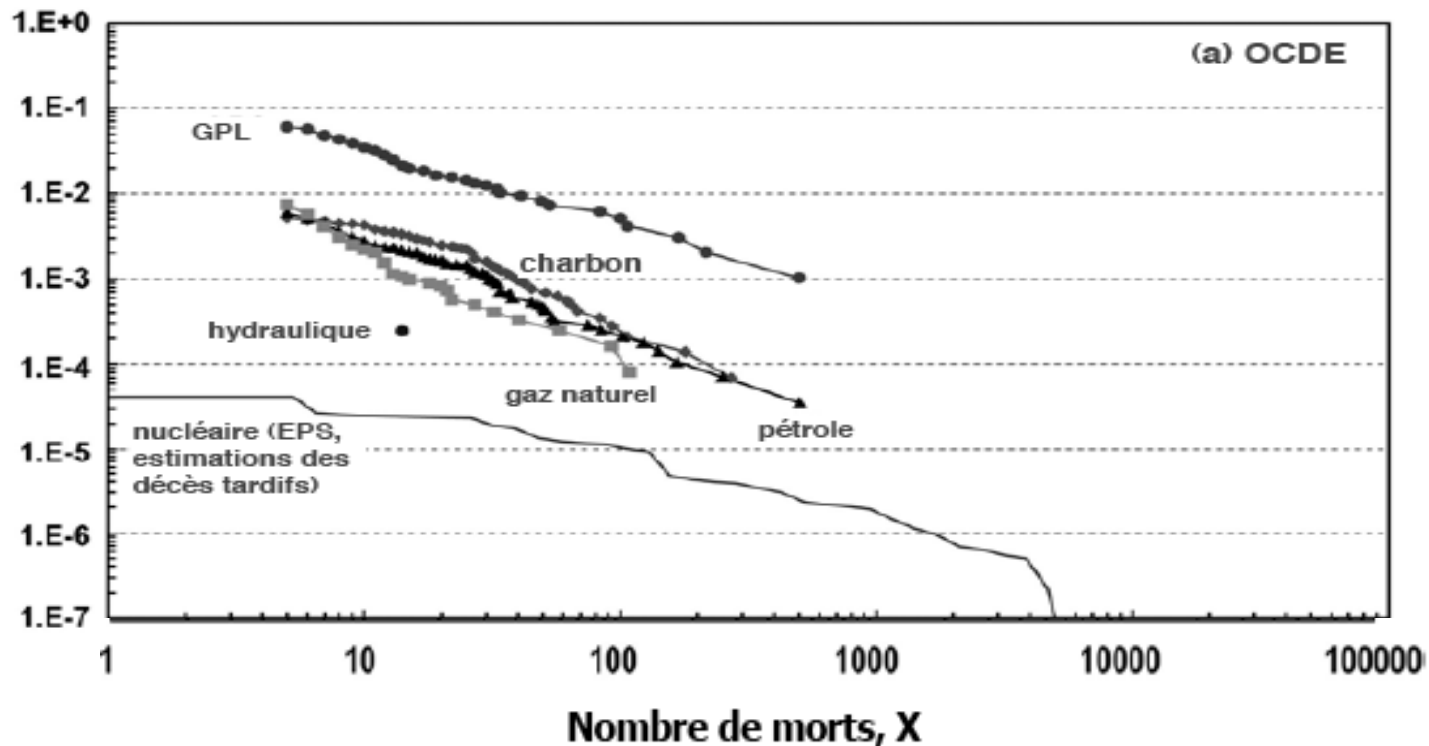
- I. Spécificités du risque nucléaire
- II. Gouvernance, la capture du régulateur japonais
- III. Le choix de l'objectif de sûreté, quantitatif aux USA, qualitatif en France
- IV. Les instruments de régulation, normes américaines de performance et *cost plus* français
- V. Implications pour le rallongement de la durée de vie des réacteurs français

# I Les spécificités du risque nucléaire majeur

- Probabilité très faible et dommages très élevés
  - ➔ défaillance du mécanisme assurantiel
- Un accident majeur affecte l'industrie dans le monde entier
  - ➔ réussite économique d'une entreprise individuelle dépendante du comportement de l'ensemble des fabricants et exploitants
- Système technique complexe
  - ➔ grandes difficultés pour décliner un objectif quantitatif de sûreté en exigences précises à respecter

# Risque nucléaire calculé

Probabilité de fusion de cœur prédite de  $10^{-4}$  à  $10^{-6}$ /année-réacteur; ci-dessous courbe de fréquence-conséquences pour le nucléaire calculé pour le réacteur de Mühleberg (Suisse) et comparée aux pertes humaines observées d'autres technologies énergétiques dans les pays de l'OCDE (OCDE/AEN, 2010)







# Les risques perçus (in W. Kip Viscusi, 1998)

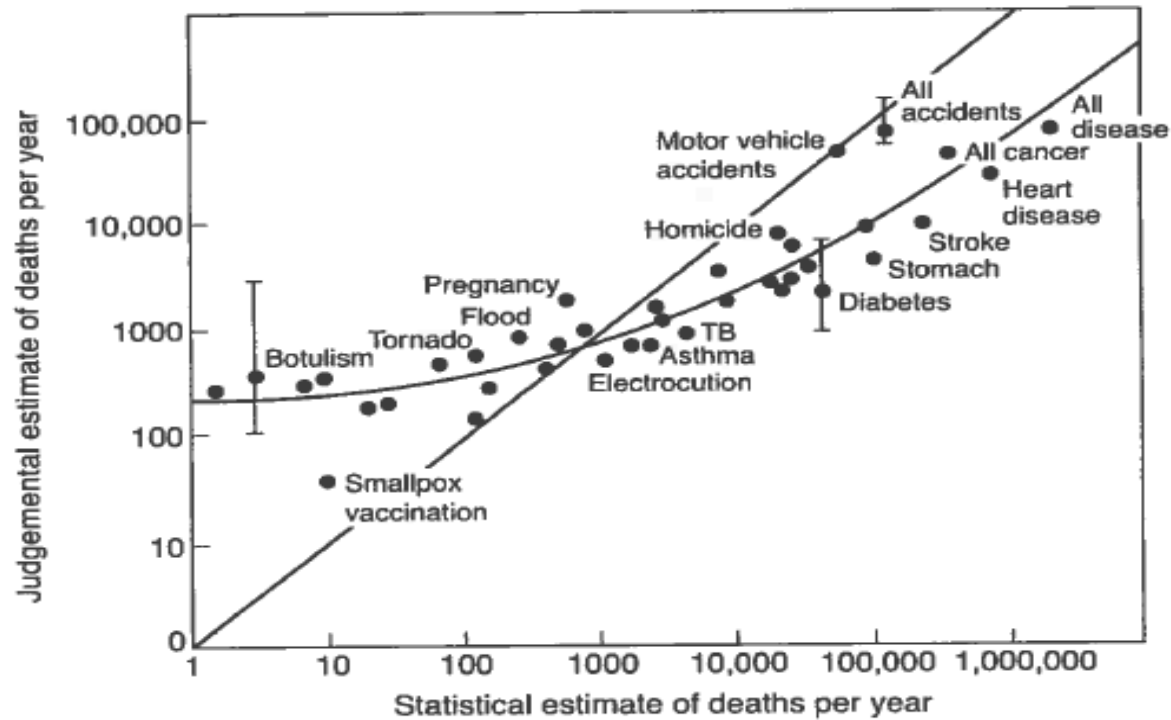


FIG. 2.1 Perceived versus Actual Mortality Risks  
Source: Fischhoff *et al.* (1961), p. 29.

# Quelques enseignements de la psychologie expérimentale

- Analyse de la décision face au risque (Kahneman et Tversky, 1974 et 1979, Kahneman, 2011)
  - Biais et défauts de jugement par rapport à la théorie normative (maximisation de l'utilité espérée)
  - Les erreurs systématiques reflètent les opérations mentales, ou heuristiques ("Comment les individus évaluent l'incertain ?" plutôt que "Les individus évaluent-ils correctement l'incertain ?")
- Les probabilités objectives faibles sont surestimées par les individus, mais aussi :
  - Les individus sont prêts à payer beaucoup plus pour une réduction du risque de 5% à 0% que pour une réduction de 25% à 20%
  - La prédiction est perçue comme bonne malgré un petit nombre d'événements (loi des petits nombres)
  - Les détails sur la représentation d'un risque (e.g., Fukushima Dai-ichi) augmentent la probabilité subjective associée (focalisation attentionnelle)
- Tout concourt à surinvestir dans la sûreté nucléaire en comparaison des autres technologies énergétiques, et ce durablement (i.e., quasi indépendamment des informations et connaissances diffusées par les experts sur les risques objectifs)

# Le raisonnement économique appliqué à la réduction du risque nucléaire

- Incitations privées
  - Pas suffisantes, mais à ne pas ignorer : l'amélioration de la sûreté diminue les arrêts de réacteurs, et donc augmente la disponibilité de la centrale
- Régulation ex post au travers des règles de responsabilité
  - Littérature économique appliquée au nucléaire abondante sur ce sujet
  - Pas suffisante en pratique : plafond très bas
  - Pas suffisante en théorie : la responsabilité est toujours de fait limitée par la valeur des actifs de l'opérateur et le patrimoine des actionnaires
- Régulation ex ante
  - Nécessaire du fait des défaillances du marché (externalités et absence d'assurance)
  - Comment fixer l'objectif de sûreté ?
  - Quels instruments pour l'atteindre ?
  - Quel régulateur pour la mise en oeuvre ?

# II Gouvernance : le régulateur indépendant

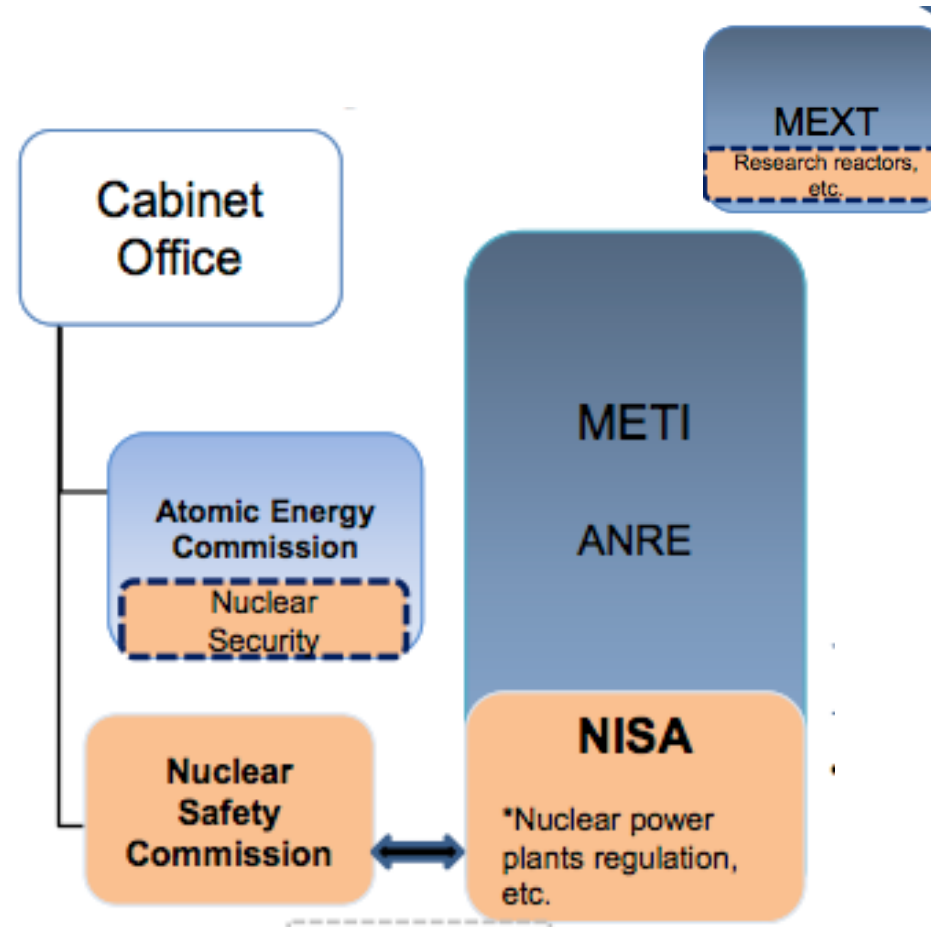
- Théorie de la capture
  - le régulateur ne dispose pas de toutes les informations dont il a besoin pour réguler les entreprises et ces dernières n'ont pas intérêt à les lui fournir (i.e., asymétries d'information)
  - le régulateur poursuit ses propres intérêts (i.e., ne poursuit pas *naturellement* l'intérêt général)
- Il convient donc d'inciter le régulé à révéler ses informations (*mechanism design*) et d'aligner l'intérêt du régulateur avec l'intérêt général (*institutional design*)
- A défaut, l'entreprise régulée n'est soumise qu'aux incitations délivrés par le marché (i.e., autoréglementation influencée par les clients, actionnaires, salariés,... )
  - Le cas des entreprises d'électricité japonaises, en général, et de Tepco ,en particulier; ce qui conduit à des efforts de sûreté minimaux, comme s'il n'y avait pas de réglementation publique, une fois le design et la licence autorisés

# Tricheries au Japon sur les informations de sûreté (Nakamura and Kikuchi, 2011; Gundersen, 2012)

- En 2002, Tepco est accusé d'avoir falsifié des rapports d'inspection pour masquer des défauts de l'enceinte de confinement (e.g., fêlures des enceintes, étanchéité insuffisante). Tepco reconnaît initialement 29 falsifications, puis finalement d'en avoir commis 200 entre 1977 et 2002. En 2006, Tepco reconnaît avoir falsifié des enregistrements sur les températures du circuit de refroidissement entre 1985 et 1988. En 2007, lors de l'accident de la centrale de Kashiwazaki-Kariwa, Tepco nie dans un premier temps tout rejet radioactif, puis reconnaît plus tard que plusieurs milliers de litres d'eau contaminée ont été rejetés en mer. En 2007, Tepco avoue ne pas avoir signalé 6 arrêts d'urgence à la centrale de Fukushima Daïchi.
- Ce comportement n'est pas singulier : en 1995, l'accident du réacteur rapide de Monju (fuite de sodium) est maquillé dans une vidéo officiel des opérateurs. En 2002, 4 opérateurs reconnaissent avoir caché des observations de défaillance des enceintes. En 2007, 7 reconnaissent avoir falsifié dans le passé des comptes-rendus de test de sûreté

# Conflits d'intérêt METI/NISA

- Pas de séparation entre la promotion du nucléaire et la régulation de la sûreté du nucléaire
  - La Nuclear and Industrial Safety Agency (NISA), dépend de l'Agence de l'énergie et des ressources (ANRE) qui promeut le développement national et à l'exportation du nucléaire japonais; l'ANRE est elle-même un département du Ministère de l'économie et du commerce international (METI)
- Collusion entre le régulateur et le régulé : renvoi d'ascenseur (*Amakudari*, ou descente du paradis)
  - Dans le passé, plus de 68 fonctionnaires de haut rang ont rejoint les entreprises électriques pour y occuper des positions dirigeantes. En 2011, 13 anciens fonctionnaires sont membres des conseils d'administration des opérateurs. 4 mois après son départ, et en attendant un poste de vice-président, le directeur général de de l'Agence de l'énergie et des ressources est nommé consultant chez Tepco en janvier 2011 (Nakamura et Kikushi, 2011)



# Une quasi-absence de régulation publique de sûreté : une autorégulation *de facto*

- Régulation absente, incohérente ou non appliquée
- Selon le Professeur Haruki Madarame, Président de la Commission pour la sûreté nucléaire (Discours à la Diète, 15 février 2012)
  - *"The nuclear safety regulations until today have been based on a convoy system of the regulatory authority and utilities. The utilities proposed the least expensive safety standards, which in turn were approved by the authorities. This led to a vicious cycle in which the utilities did nothing and justified their inaction by claiming that the government had approved the safety standards."*
  - *"I must admit that the nuclear safety guidelines that we have issued until now have various flaws [...] We've even said that we don't need to consider risks for massive tsunamis and lengthy power outages."*
- Réforme à venir : création d'une nouvelle agence de sûreté
  - Dont les caractéristiques pointent en creux les défaillances d'hier : indépendance, transparence, ressources humaines de qualité, efforts de collecte d'information et de suivi des connaissances scientifiques (source : Interim Report, Investigation Committee on the Accident at the Fukushima Nuclear Power stations of Tokyo Electric Power Company, février 2012)



# Fukushima Dai-ichi, cygne blanc ou noir ?

- Un problème initial de design
  - Réacteur conçu pour résister à une vague de 6 mètres (la hauteur du Tsunami de référence retenu en 1966 était de 3,1m) et à un séisme de magnitude 7,9
  - 11 mars 2011, magnitude du séisme de 9 et vague de plus 10 m
- Une sous-estimation des risques, non l'inimaginable (*sōtēgai*)
  - Historiquement, 6 séismes de plus de 8 de magnitude depuis 869 (Tsunami de Jogan) et des hauteurs de vague de plus de 8 m documentées pour la région
  - Mais les analyses initiales de risques ont écarté les événements trop anciens (raison invoquée de fiabilité douteuse) et non strictement locaux (au-delà de quelques dizaines de km de Dai-ichi)
  - Des connaissances connues avant Fukushima et signalées à l'attention de NISA et de Tepco depuis de nombreuses années

# Un problème de design non corrigé à temps

- *“I’ve heard the government and TEPCO say they couldn’t predict the tsunami would reach that high, but that is ridiculous, as any history book would have set them straight ... and even if they could not predict, they should have been prepared for waves similar to the past.”*  
Ryohei Moromoto, sismologue
- En fait, le 8 Mars 2011 Tepco signale à l’autorité que la centrale de Fukushima Dai-ichi pourrait être atteinte par un tsunami de plus de 10 m
- Ce signalement se fonde sur une étude interne de Tepco réalisée en 2008 dont la compagnie avait jusque-là jugée les résultats irréalistes
- *“It is the role of the regulators to set up the methodology for tsunami evaluation and the criteria for evaluating the effectiveness of measures against tsunami. The Investigation Committee is unable to find, however, evidence of such efforts made by the regulatory organizations concerned. NISA received from TEPCO in 2002 its safety evaluation report based on the « Tsunami Assessment Method for Nuclear Power Plants in Japan ». But NISA did not provide TEPCO with any particular comments or instructions in return. In August/September 2009 and in March 2011, NISA received from TEPCO reports on the results of its test calculations of the wave height of possible Tsunamis, etc. But failed to respond them positively by requesting TEPCO to take specific measures such as implementing additional construction works to enhance protection against tsunamis.”* Investigation Committee on the Accident at Fukushima Nuclear Power Stations of TEPCO, Executive summary of the interim report, December 26, 2011

# La nécessité d'une gouvernance à l'échelon supra-nationale

- Pour mieux maîtriser le risque pour les bons vendeurs/opérateurs d'être économiquement négativement affectés par les comportements des mauvais vendeurs/opérateurs
  - Timides avancées post-Fukushima pour l'AIEA
- Pour mieux équilibrer le niveau de sûreté entre les préférences (voir Berthélemy et Lévêque, 2011)
  - des populations proches du même réacteur mais de différents pays (25% des 143 réacteurs en Europe sont situés dans un cercle de 30 km de rayon qui est traversé par au moins une frontière)
  - des populations proches d'un pays et les populations éloignées d'un autre pays qui peuvent aussi être touchées par le même accident majeur

# III La fixation de l'objectif de sûreté à atteindre

- Canoniquement (voir par exemple, le niveau économiquement optimal de pollution), le niveau de sûreté doit être fixé à l'intersection de la courbe du bénéfice marginal et de la courbe du coût marginal (i.e., pour réaliser tous les efforts de sûreté qui apportent un gain à la société et seulement ceux-là)
- Mais si les dépenses de sûreté peuvent être grossièrement estimées, les coûts évités sont extrêmement difficiles à calculer
  - Espérance du coût des dommages : produit de la probabilité d'accident majeur par le montant des dommages, deux variables marquées par une très forte incertitude (e.g., quels effets cancérigènes de long terme liés à l'exposition à de faibles doses de radiations ?)
  - Apports des évaluations probabilistes de sûreté qui, dans certains cas, permettent de chiffrer le gain incrémental apporté par des modifications du matériel ou de l'équipement en particulier dans le design (e.g., élévation d'une digue de protection, renforcement du confinement)
- Noter que cette quasi impossibilité de déterminer le niveau économiquement optimal pour la sûreté nucléaire est la situation la plus couramment rencontrée dans les décisions de politique environnemental (e.g., Quel est le niveau d'émissions de gaz à effet de serre en Europe en 2050 ? Combien dépenser pour la protection du rhinocéros blanc ?)
- C'est donc au terme d'un processus politique dans lequel le chiffrage économique joue un rôle modeste, sinon inexistant, que l'objectif est fixé.
- Il est aussi parfois fixé par l'autorité indépendante de sûreté elle-même ; elle doit alors tenter d'apprécier l'acceptabilité du risque pour la collectivité ou interpréter les principes de législateur

# Quel objectif de sûreté en France ?

- Loi 2006 sur la transparence et la sûreté nucléaire (Art. 29)
  - Autorisation ne peut être délivrée que si des « dispositions technique ou d'organisation prises [sont... ] de nature à prévenir ou limiter de manière suffisante les risques [...] »
  - « L'Autorité de sûreté définit [...] les prescriptions relatives à la conception, la construction et à l'exploitation qu'elle estime nécessaire à la protection [...en matière] de santé [...] nature et environnement »
- Objectif poursuivi : l'amélioration continue de la sûreté
  - « Conformément à la loi [sic], l'ASN veille à l'amélioration continue de la sûreté des installations nucléaires » (Rapport de l'ASN, décembre 2011)
  - « La sûreté n'est jamais définitivement acquise et, malgré les précautions prises pour la conception, la construction et le fonctionnement des installations nucléaires, un accident est toujours possible. Il faut donc avoir la volonté de progresser et mettre en place une démarche d'amélioration continue pour réduire les risques », (Rapport de l'ASN, décembre 2011)
- Pas d'objectifs chiffrés explicites, y compris pour l'EPR (Directives techniques franco-allemandes, réunion 19-20 octobre 2000)
  - « Une fréquence de fusion de cœur plus faible que pour les réacteurs existants »
  - « Les accidents avec fusion de cœur qui conduiraient à des rejets doivent être pratiquement éliminés »
  - Les limites chiffrées proviennent des constructeurs, non d'une demande de l'autorité

# Avantages et limites des objectifs chiffrés de sûreté

- Réduisent le pouvoir discrétionnaire des autorités
- Exercent une force de rappel contre une autorité opportuniste qui chercherait à imposer des efforts de sûreté trop ambitieux à un opérateur (ou, inversement, trop faibles)
- Rend possible pour l'évaluation de distinguer les performances dans l'atteinte de l'objectif (*goal effectiveness*) et dans les coûts pour l'atteindre (*cost-effectiveness*)
- Permettent d'assurer une certaine parité
  - Comparaison avec d'autres technologies de production d'énergie et d'autres activités dangereuses
  - Application de la régulation à des réacteurs de type différents
- Peuvent être difficiles à modifier pour tenir compte de l'évolution des connaissances et de la perception du risque par la société (e.g., objectifs US de 1986 inchangés jusqu'à aujourd'hui)
- Peuvent conduire à une focalisation excessive sur le critère tel qu'il est formulé
- Peuvent être difficiles à traduire en exigences et règles techniques opérationnelles

# Le cas US : des objectifs de sûreté explicites et chiffrés

(US NRC Safety goals for the operations of nuclear power plants: policy statement, August 1986)

- Pour les résidents proche des centrales
  - Risque additionnel de mortalité immédiate résultant d'un accident nucléaire inférieur à 1 millième de la somme des risques de mortalité de l'ensemble des accidents auxquels la population est exposée (résidents à moins d'un mile du réacteur;  $< 5 \times 10^{-7}/\text{an}$ )
  - Risque additionnel de mortalité de cancer à terme lié à l'exploitation de la centrale nucléaire inférieur à 1 millième de la somme des risques de mortalité par cancer lié à toutes les autres causes (résidents à moins de 10 miles;  $< 2 \times 10^{-6}/\text{an}$ )
  - Bornes choisies non fondées sur des analyses coûts/bénéfices (e.g., densité de population autour des centrales non prise en compte)
- Plus généralement,
  - Pas de risque significatif additionnel pour les individus en terme de santé et de mortalité
  - Risques sociaux pour la vie et la santé inférieurs ou comparables aux techniques alternatives compétitives de production d'énergie

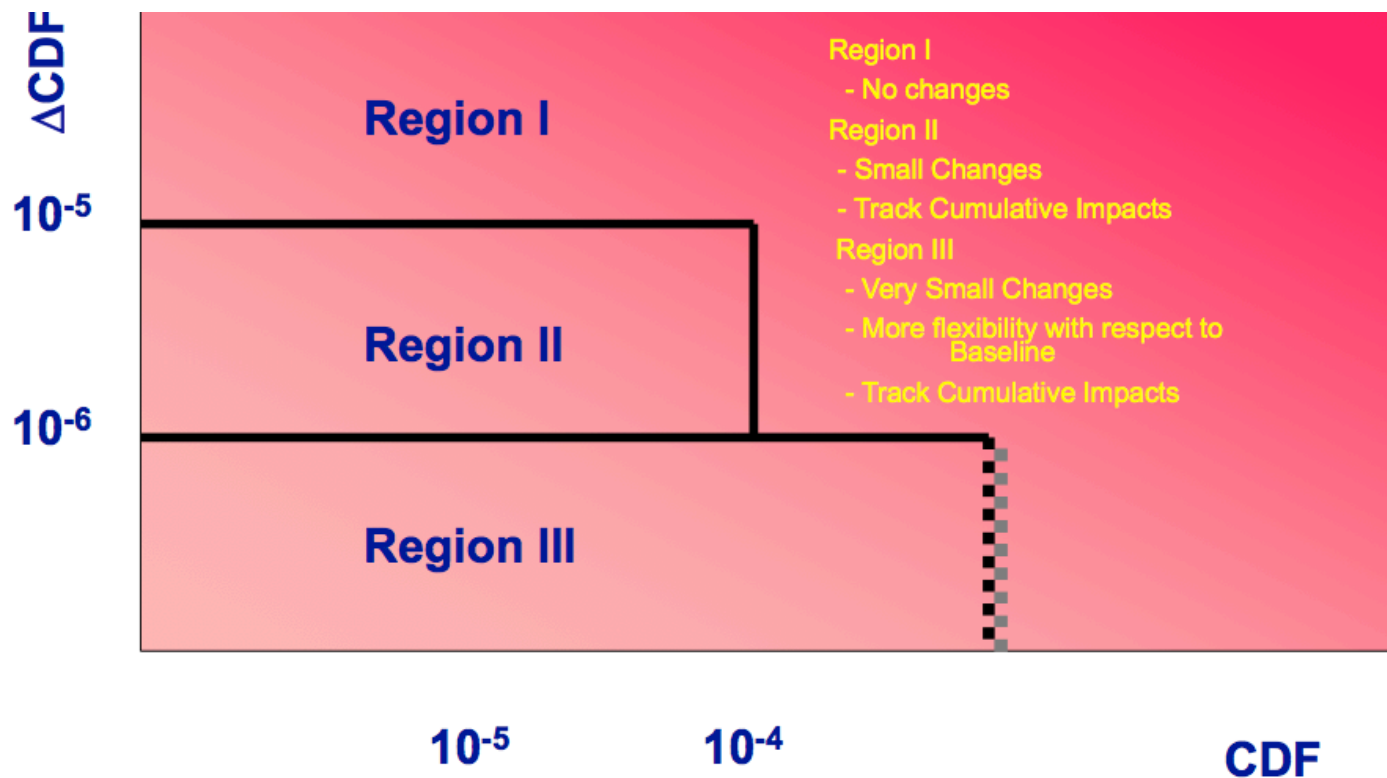
# Objectifs chiffrés subsidiaires aux Etats-Unis

- Introduits pour contourner la difficulté d'appliquer les objectifs quantitatifs sanitaires (US NRC Staff requirements memorandum on SECY-89-102: implementation of the safety goals, June 1990)
  - Probabilité de fusion de cœur inférieure à  $10^{-4}$ /a.r
  - Probabilité de larges rejets précoces d'éléments radioactifs (LERF) inférieure à  $10^{-6}$ /a.r (ramené à  $10^{-5}$ /a.r en 1998)
- Utilisés pour accepter ou rejeter des modifications proposées par les opérateurs qui diminueraient les performances de sûreté



# Lignes directrices d'acceptabilité

(Regulatory Guide 1.174 – An approach for using PRAs in risk-informed decisions on plant-specific changes to licensing basis, November 2002)



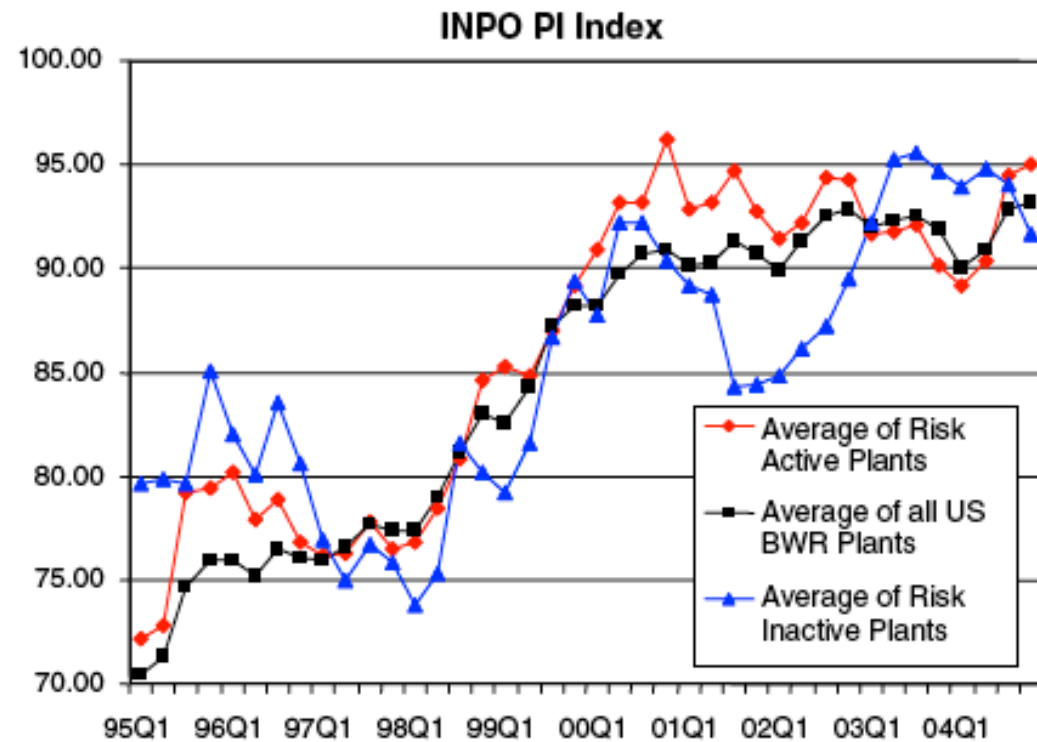
N.B. Même approche pour les rejets précoces (LERF)

## IV Norme technologique v. norme de performance

- Les normes technologiques sont exigeantes en information pour le régulateur; les normes de performances facilitent l'innovation et la réduction de coût d'atteinte de l'objectif
- Recoupe dans une certaine mesure la distinction : approche déterministe (e.g., résistance de l'enceinte à la percussion d'un avion de chasse) et probabiliste
- Particularité du nucléaire : le respect des normes de performances ne peut pas s'observer directement, mais seulement de façon probabiliste

# Régulation fondée sur la performance et informée par l'évaluation du risque

Approche privilégiée aux Etats-Unis depuis les années 1980 (Golay, 2000; Saji; 2002; Kadak et Matsuo, 2007; Modarres, 2009), même si les réglementations techniques prescriptives sont encore largement présentes



	Slope (1995-2004)	Average Index (2000-2004)
Risk Active Plants	0.56	92.69
All US BWR Plants	0.60	91.22
Risk Inactive Plants	0.44	90.45

# En France, des coûts de sûreté non plafonnés

- Pas d'objectifs quantitatifs, approche essentiellement déterministe
- La nouvelle loi sur l'organisation du marché électrique introduit un *cost plus* sur les dépenses de sûreté
  - Le tarif tient compte de l'addition « des coûts des investissements de maintenance ou nécessaires à l'extension de la durée d'autorisation de l'exploitation » (NOME, Article 1 Titre VII)
- Supprime les incitations de l'opérateur
  - à réduire le niveau de sûreté et à ne pas respecter les exigences du régulateur pour des raisons économiques
  - à minimiser les coûts d'atteinte des exigences de sûreté
- A condition que l'Etat ne cherche pas par ailleurs à s'opposer à des augmentations justifiées des coûts (*cost plus* à la française, voir l'exemple des tarifs de détail du gaz)

# Quelle force de rappel sur les coûts de sûreté ?

- Objectif poursuivi par l'ASN pour l'acceptation de la poursuite d'exploitation des réacteurs au-delà de 40 ans : « *réévaluer le niveau de sûreté au regard de celui exigé actuellement pour les réacteurs de type EPR ou équivalent, en proposant de mettre en œuvre sur les réacteurs des améliorations significatives et pertinentes* » Rapport annuel 2010, p. 322
- Position sur les coûts « *La préoccupation de la maîtrise des coûts est aujourd'hui plus affirmée par l'exploitant dans son dialogue avec l'ASN. Le dialogue technique avec EDF s'est clairement durci sur les aspects de faisabilité économique, sur la justification de certaines demandes ou de certains échéanciers et sur le traitement des dossiers de très court terme lors des arrêts de réacteur* ». Rapport annuel 2010, p. 316

# Le débat sur les mesures complémentaires de sûreté post Fukushima

- André-Claude Lacoste *«Ce que nous imposons aux exploitants est massif. C'est aussi un investissement considérable en moyens humains et en compétences»* Le Monde 03/01/12
- Le coût des mesures post-Fukushima sur le parc français représentera *« moins de 2% d'augmentation des factures d'électricité [...] Ce n'est pas rien, mais ce n'est pas la catastrophe économique »* E. Besson, janvier 2012
- *« Il semble selon EDF, que les investissements qui seraient directement consécutifs à la mise en oeuvre des recommandations de l'ASN, à la suite de l'accident de Fukushima, pourraient représenter environ 10 Md€, dont approximativement la moitié était déjà prévue dans le programme initial de 50 Md€ des investissements de maintenance »* (rapport de la Cour des comptes, 2012)
- L'ASN a-t-elle estimé, et si oui tenu compte, du coût des mesures complémentaires qu'elle demande ? Exemple du renforcement du radier de Fessenheim

# V Comment planifier sans objectifs de sûreté précis et sans évaluation des coûts ?

- La prévision du rallongement de la durée de vie des réacteurs se heurte à une inconnue fondamentale : l'absence de connaissances ex ante des observations et des résultats des visites décennales
- Mais cette incertitude est accentuée par l'absence de références précises sur le niveau de sûreté raisonnable recherché compris quelque part entre le maintien au niveau de sûreté passé du réacteur et sa progression au niveau de celui de l'EPR
- Cette absence rend encore plus difficile d'estimer ex ante le coût des investissements de jeunesse, et donc de prévoir s'ils sont économiquement profitables (pour EDF et la collectivité nationale), en comparaison en particulier d'investissements de remplacement par des nouveaux moyens de production (nucléaires ou autres)
- Or si la durée de vie des réacteurs du parc n'est pas au moins à grands traits correctement anticipée, la France risque de connaître plusieurs années soit une grave sous-capacité, soit une coûteuse surcapacité de production. L'absence d'objectif explicite de sûreté fait peser un risque économique considérable

# Vers des objectifs quantifiés ?

Est-il possible de maintenir pour les prochaines années le mécanisme d'aujourd'hui dans lequel l'ASN fixe des objectifs de sûreté difficiles à anticiper et non chiffrés, et laisse le soin à l'opérateur et au gouvernement de décider à partir de considérations économiques et politiques de la date de fermeture des centrales et de leur remplacement par d'autres moyens de production ?



# Conclusions

- Les apports de l'analyse économique de la sûreté nucléaire vont au-delà de l'évaluation des conséquences des règles et exigences de sûreté sur les coûts du nucléaire
- L'analyse économique permet en particulier de mieux
  - évaluer les risques et coûts/bénéfices des mesures de sûreté
  - éclairer les choix de gouvernance (e.g., régulateur indépendant), des objectifs (e.g., quantitatifs/qualitatifs) et des instruments (e.g., normes technologiques/de performances)

- A. Gundersen, *The Echo Chamber: Regulatory Capture and the Fukushima Daiichi Disaster*, in *Lessons from Fukushima*, Greenpeace International, February 2012
- Kahnemann
- A. Nakamura and M. Kikuchi, What we know, and what we have not yet learned: triple disasters and the Fukushima Nuclear Fiasco in Japan, *Public Administration Review*, Vol. 71, Issue 6, pp 893-899