

François LÉVÊQUE

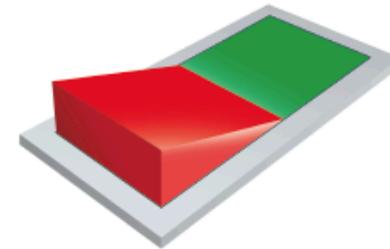
# Quatre controverses sur le nucléaire

François Lévêque,  
Professeur d'économie à Mines  
ParisTech

ASN 19 mai 2015

# Nucléaire On/Off

Analyse économique d'un pari



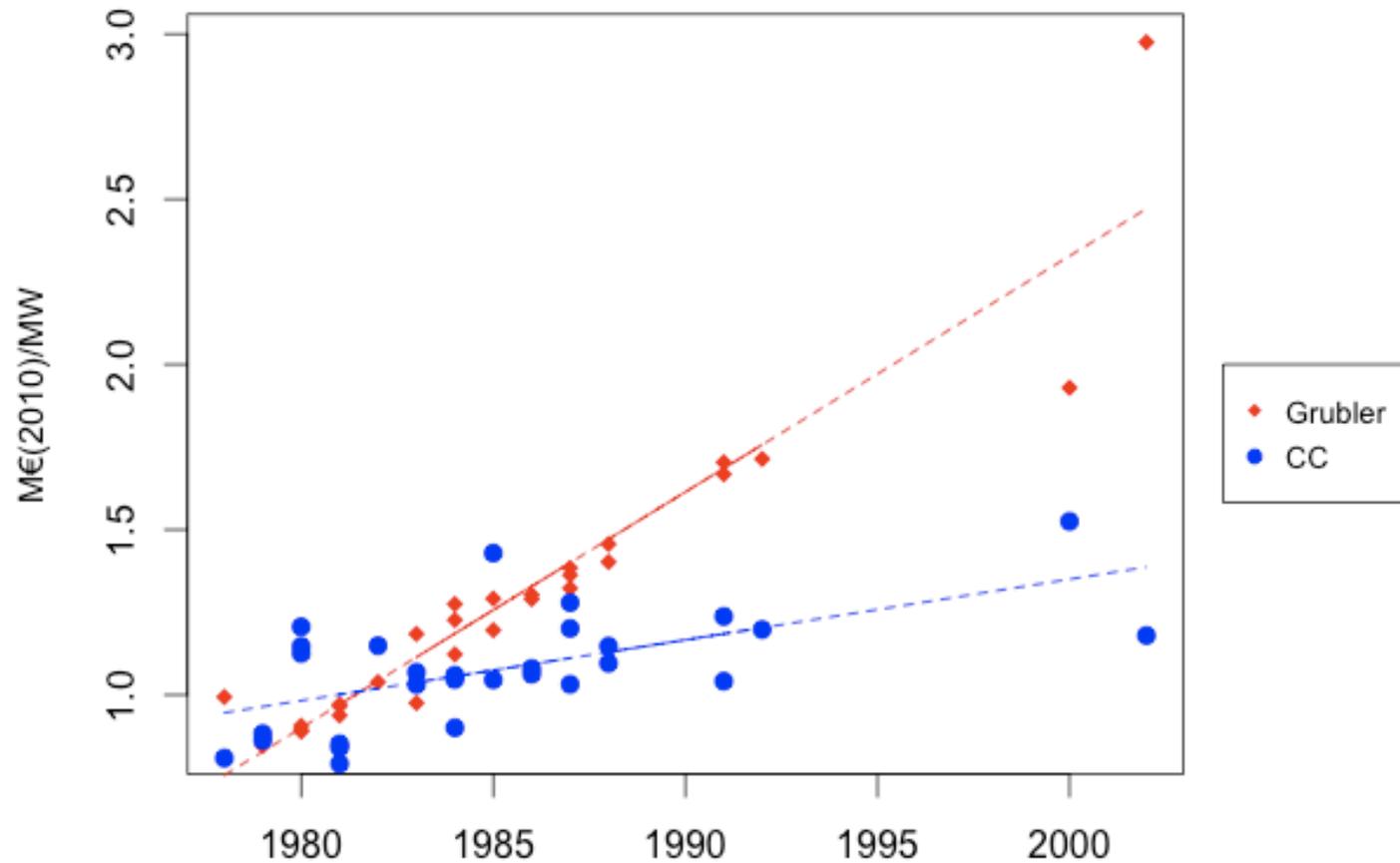
DUNOD

---

# Introduction

- Un ouvrage en quatre parties
  - Les coûts du nucléaire : repères et incertitudes
  - Le risque d'accident majeur : calcul et perception des probabilités
  - La régulation de la sûreté : analyse des cas américain, français et japonais
  - Politiques nationales et gouvernance internationale
- Une analyse économique positive
  - expliquer les phénomènes et évaluer les effets
- Un double pari
  - Un livre non partisan peut intéresser le public
  - Eclairer les incertitudes permet de mieux décider
- Illustration par l'analyse de quatre controverses

# Une forte escalade des coûts en France ? (Controverse 1)



# A la recherche des économies d'échelle et d'apprentissage

- Selon les études économétriques (Escobar et Lévêque, 2012, Berthélemey et Escobar, 2015)
  - L'augmentation de la taille des réacteurs semble le principal déterminant de l'augmentation des coûts
  - Les effets d'apprentissage ne sont décelables qu'au niveau des paliers et des types de réacteurs
  - Le coût du travail est également un facteur clef
  - Comme la sûreté : plus coûteux à construire, les réacteurs présentent de meilleures performances de sûreté

# Accidents majeurs : fréquences observées versus fréquences calculées (Controverse 2)

- Les probabilités d'accident nucléaire calculées dans les études probabilistes ne semblent pas coller avec les observations
  - Par exemple, un accident (INES >4) tous les 50.000 an.réacteur (calcul) contre une fréquence observée d'un accident tous les 1500 an.réacteur
- « D'ici 30 ans, la probabilité d'un accident majeur est de 50% en France et de plus de 100% en Europe » !!!!!!!!!!!



The screenshot shows the Libération website interface. At the top left is the Libération logo. To its right, it says 'Dernière mise à jour : Il y a 22 minutes'. Below that is a search bar with the text 'Recherche (ex: Côte-d'Ivoire, Rebonds)'. A navigation bar contains several categories: ACTUALITÉS (highlighted), DÉBATS, CULTURE, TECH / WEB, and VIDÉO/PHOTO. Below the navigation bar, there are links for 'A la Une', 'Éditorial', 'Politiques', 'Société', 'Monde', 'Économie', and 'Médias'. The main article title is 'Accident nucléaire : une certitude statistique' under the 'POLITIQUES' category, dated 'Le 3 juin à 0h00'. The author is identified as 'Par BERNARD LAPONCHE, physicien nucléaire, expert en politiques de l'énergie, BENJAMIN DESSUS, Ingénieur et économiste, président de Global Chance'. There are 12 comments indicated by a speech bubble icon.

# Les observations

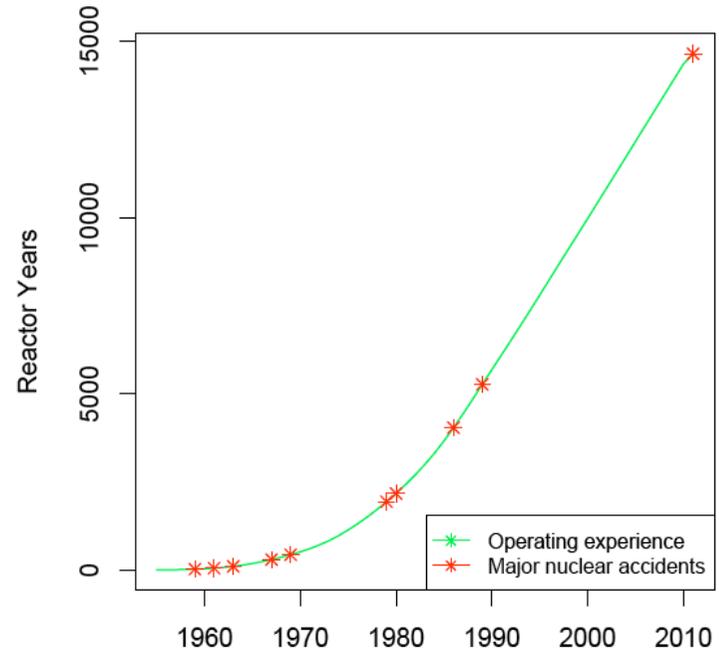
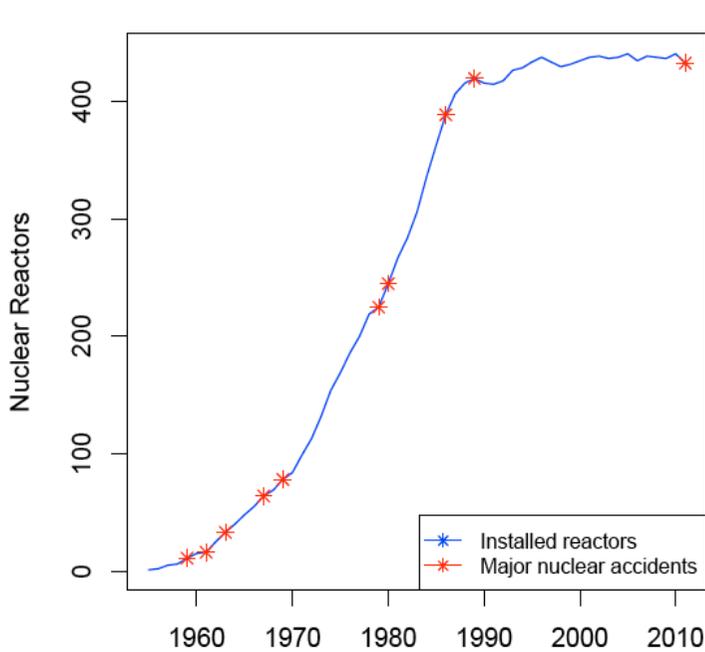


Table : Core melt downs from 1955 to 2011 in Cochran (2011)

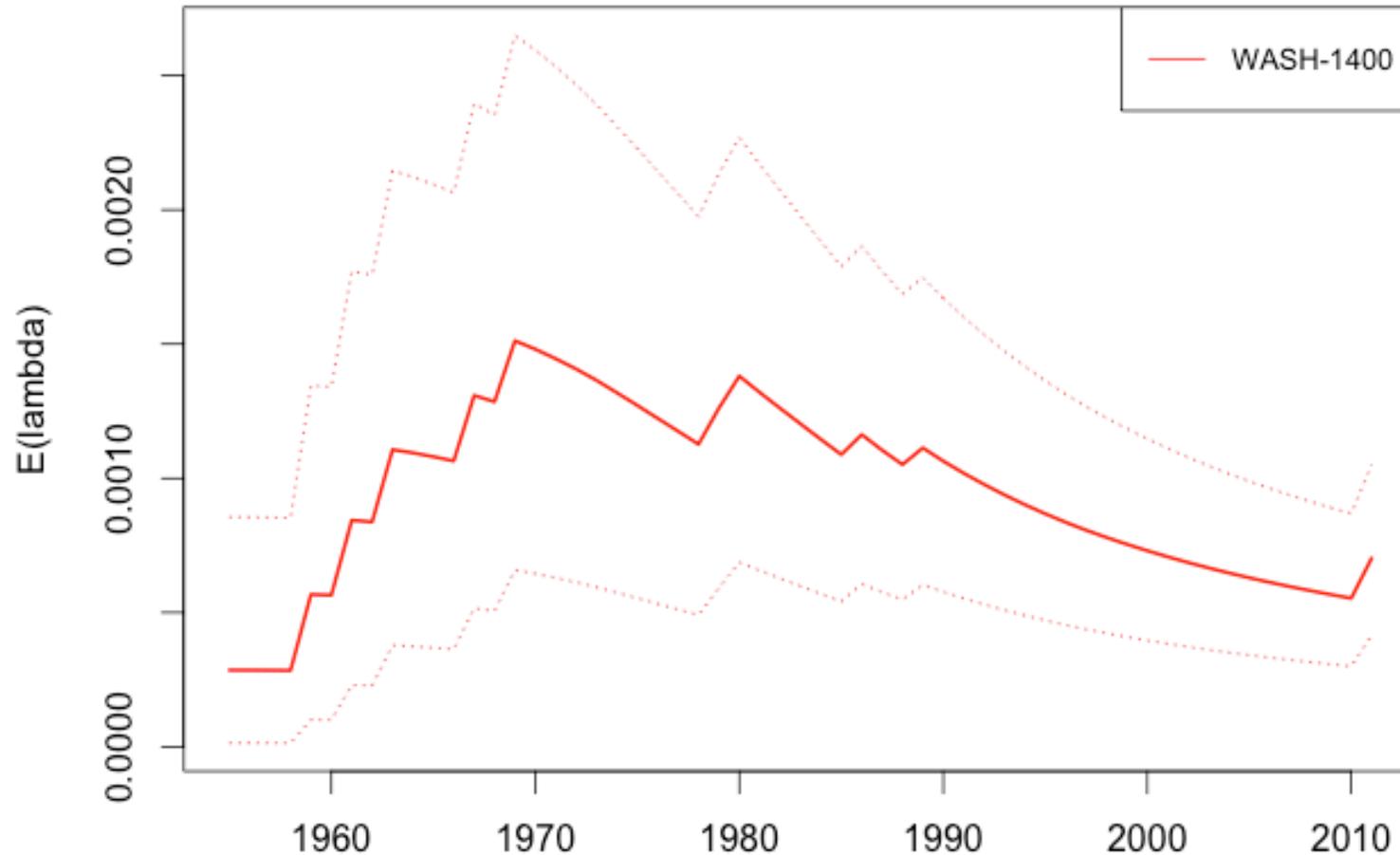
Year	Location	Unit	Reactor type
1959	California, USA	Sodium reactor experiment	Sodium-cooled power reactor
1961	Idaho, USA	Stationary Low Reactor	Experimental gas-cooled, water moderated
1966	Michigan, USA	Enrico Fermi Unit 1	Liquid metal fast breeder reactor
1967	Dumfrieshire, Scotland	Chapelcross Unit 2	Gas-cooled, graphite moderated
1969	Loir-et-Cher, France	Saint-Laurent A-1	Gas-cooled, graphite moderated
1979	Pennsylvania, USA	Three Mile Island	Pressurized Water Reactor (PWR)
1980	Loir-et-Cher, France	Saint-Laurent A-1	Gas-cooled, graphite moderated
1986	Pripyat, Ukraine	Chernobyl Unit 4	RBKM-1000
1989	Lubmin, Germany	Greifswald Unit 5	Pressurized Water Reactor (PWR)
2011	Fukushima, Japan	Fukushima Dai-ichi Unit 1,2,3	Boiling Water Reactor (BWR)

INES	3	4	5	6	7
Observations	20	13	5	1	2

# Observation et calcul : la probabilité de l'événement d'après

- Quelle est la chance de tirer une boule rouge dans une urne au  $n+1$  <sup>ème</sup> tirage sachant que les  $n$  précédents tirages ont produit  $k$  boules rouges ?
- $(k+1)/(n+2)$  selon Laplace (1825)
  - La formule revient à ajouter 2 tirages virtuels, dont l'un a donné une rouge et l'autre une non-rouge, aux  $n$  tirages ayant produits  $k$  rouges
- Généralisation :  $(k+st)/(n+s)$  où  $t$  est la probabilité attendue a priori (ex. 0,5 en cas d'événements équiprobables dans un choix binaire) et  $s$  le paramètre qui mesure la force de l'a priori (i.e., l'incertitude qui entoure l'a priori ou encore la dispersion autour de la moyenne)
  - Plus  $s$  est grand moins les observations modifient l'évaluation initiale, et inversement plus  $s$  est petit plus les observations l'emportent
- Le choix de  $s$  et  $t$  peut se baser sur des connaissances scientifiques (ex. on a mesuré le risque d'accident majeur grâce à de multiples études probabilistes) ou sur des croyances (ex. je crois fermement ou mollement que la probabilité d'accident est élevée ou faible)

# Combiner observations et autres éléments de connaissance



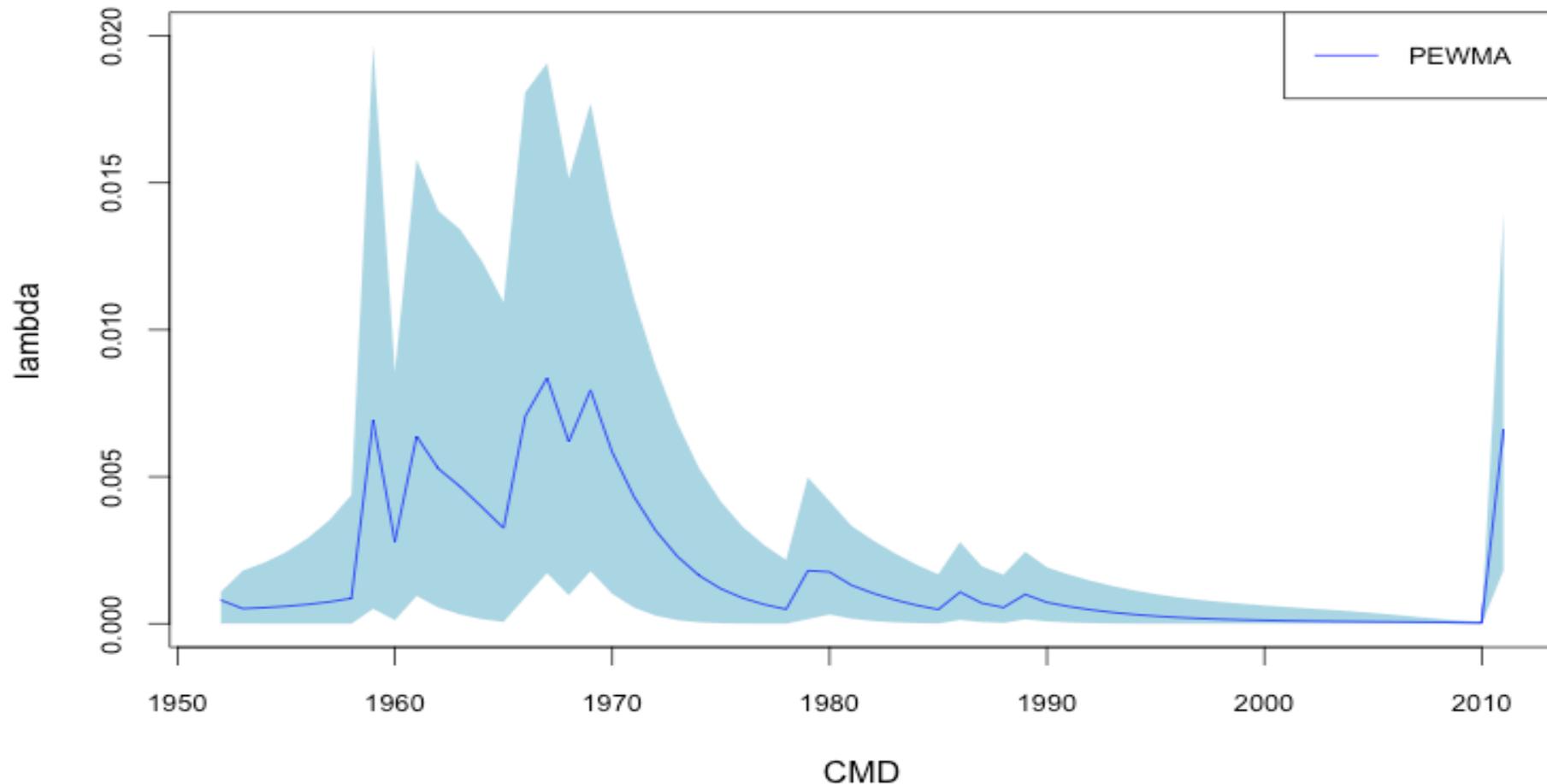
Modèle bayésien Poisson Gamma, Escobar-Rangel and Lévêque, *Safety Science*, (2014)

## Fukushima Daiichi : révision faible ou forte du risque d'accident ? (Controverse 3)

Le risque d'accident majeur avant et après Fukushima (8 observations de fusion de cœur, minimales ou non, avant l'accident japonais, 11 après)

Model	$\hat{\lambda}_{2010}$	$\hat{\lambda}_{2011}$	$\Delta$
MLE Poisson	6.175e-04	6.66e-04	0.0790
Bayesian Poisson-Gamma	4.069e-04	4.39e-04	0.0809
Poisson with time trend	9.691e-06	3.20e-05	2.303
PEWMA	4.420e-05	1.95e-03	43.216

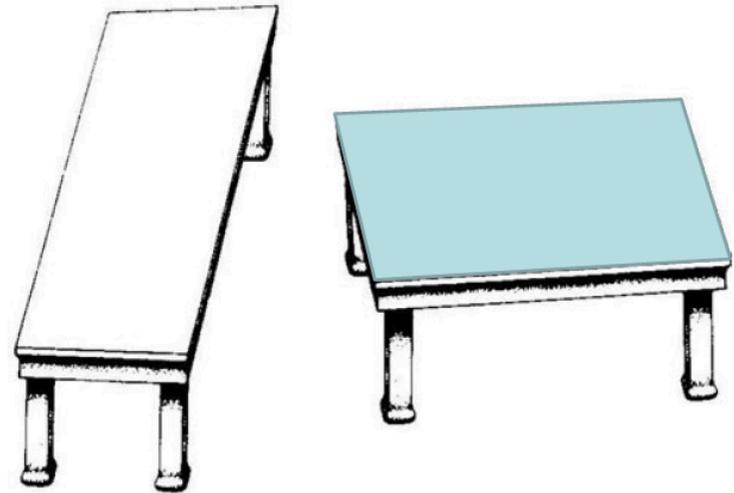
# Un effet Fukushima Daiichi de grande ampleur



Poisson Exponentially Weighted Moving Average (paramètre d'indépendance : 0,82)

# Décider à partir des probabilités perçues ou calculées ? (Controverse 4)

- Les travaux de psychologie expérimentale (ex. D. Kahneman, 2011) montrent que notre perception des probabilités est déformée
- Par exemple, la probabilité d'une perte de 0,0001 est perçue comme plus faible qu'une probabilité de  $1/10.000$  par négligence du dénominateur



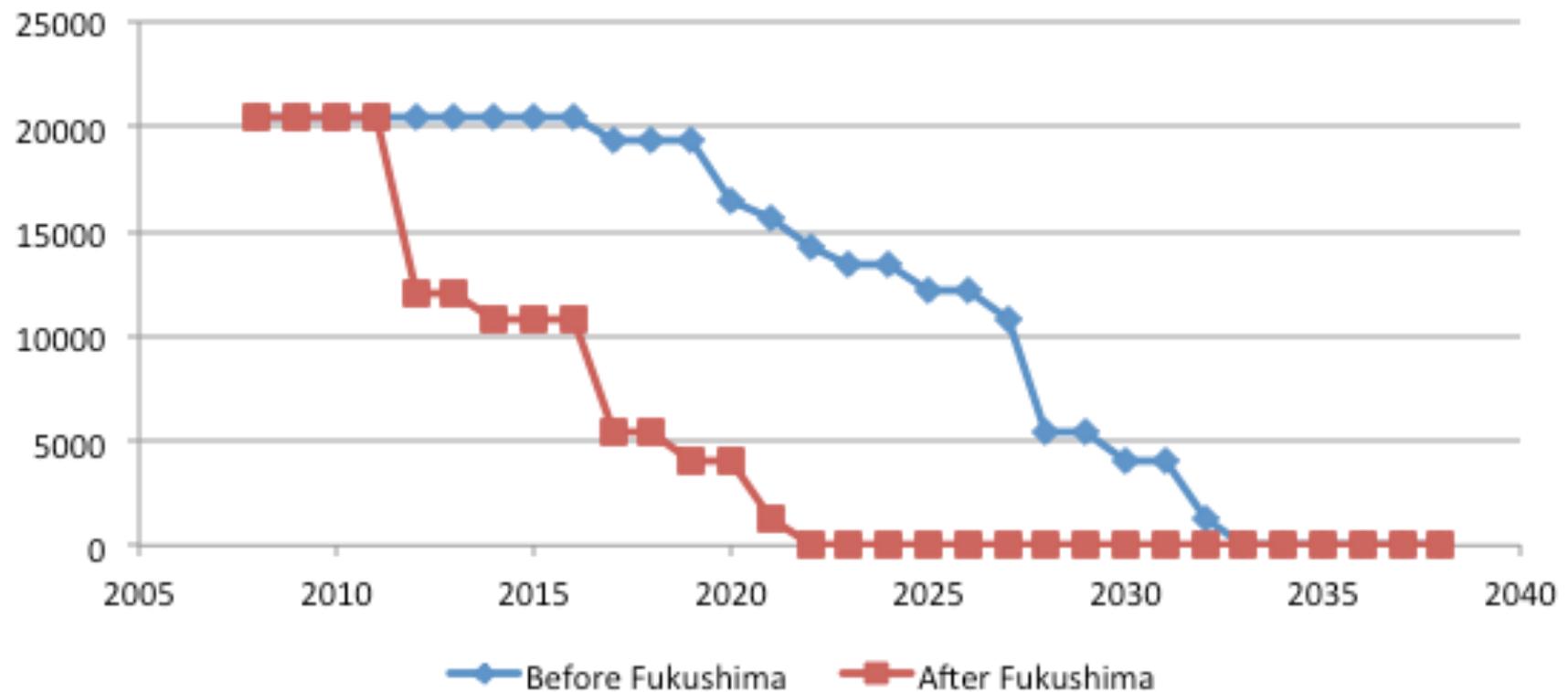
# Rappel : La décision rationnelle en incertitude entre théorie et comportement

- Une fonction d'utilité décroissante (Bernouilli, 1738) pour expliquer l'aversion au risque
- Le paradoxe d'Allais (1955) peut être expliqué par des préférences non linéaires en matière de probabilité : surestimation des petites probabilités et sous-estimation des grandes probabilités
- Le paradoxe d'Ellsberg (1961) qui montre que les individus préfèrent le risque à l'incertain
- Bref, la théorie économique de la décision avance en complexifiant la fonction d'utilité pour tenir compte de certains comportements observés

# La probabilité perçue d'accident nucléaire majeur

- Événement rare, donc de probabilité perçue surestimée, d'où sur-assurance et demande de protection plus grande
- Événement ambigu, donc biais à retenir la probabilité la plus haute et le niveau de dommage le plus élevé
- Événement effroyable, donc négligence du dénominateur et focalisation sur l'accident lui-même qui laisse une forte empreinte
- D'où des choix entre investissements alternatifs distordus (ex. : plus de charbon ou d'hydraulique car moins d'accidents mortels que pour le nucléaire, alors que c'est l'inverse qui est vrai)
- D'où un risque de surinvestissement en sûreté lorsque les décideurs publics suivent le mouvement

# La sortie allemande du nucléaire



Le coût de la sortie accélérée est de plusieurs dizaines de milliards d'euros par rapport au scénario de sortie progressive

# Conclusion : recommandations

- Echapper à l'escalade des coûts croissants par la standardisation, la concentration de l'expérience, et l'innovation
- Calculer les probabilités en combinant observations d'accident majeur et connaissances des ingénieurs de sûreté
- Les réformes institutionnelles et juridiques permettant de mettre en place une autorité de sûreté nucléaire, indépendante, compétente, transparente et puissante offrent un moyen à coût quasi nul d'améliorer la sûreté du nucléaire sur la planète
- Convaincre les décideurs publiques de ne pas prendre leurs décisions sur la seule perception des probabilités
- Fermer une centrale nucléaire parce que l'autorité de sûreté ne la juge plus assez sûre ou parce que l'opérateur estime que la poursuite de son exploitation ne serait plus rentable et non pour des raisons d'opportunité électorale et de préférence de l'électeur médian