Tutoriel C3: Comment mesurer le risque quand celui-ci est difficilement probabilisable ?

SAINT-MALO
11 au 13 octobre 2016

MAÎTRISER LES RISQUES DANS UN MONDE EN MOUVEMENT

Journée des tutoriels – 10/10/16

F. BEAUDOUIN
EDF R&D
francois.beaudouin@edf.fr

M. LASSAGNE
ARTS ET METIERS PARISTECH

IMdR Institut pour la Maîtrise des Risques
Sûreté de Fonctionnement - Management - Cindyniques

Sommaire

1. Décisions pour lesquelles les risques sont probabilisables

2. Décisions pour lesquelles il n'y a plus existence ou unicité d'une distribution de probabilités

3. Deux grands courants de la décision dans l'incertain

4. Synthèse et perspectives

Sommaire

1. **Décisions pour lesquelles les risques sont probabilisables**

2. Décisions pour lesquelles il n'y a plus existence ou unicité d'une distribution de probabilités

3. Deux grands courants de la décision dans l'incertain

4. Synthèse et perspectives

Problème général

- On se propose **d'évaluer le montant à consentir** pour rénover une usine comportant des risques de défaillances et ayant un impact sur la production

- Les risques sont évalués ici uniquement en termes monétaires
  - Autres risques de type sécurité, environnement, etc. non abordés ici mais modélisables selon le même principe
  - Traitement multicritère intégrant plusieurs types de risques évoqués à la fin

Principaux messages

- Les modèles décisionnels apportent une vision **cohérente** du traitement des risques mal probabilisables
  - Cohérence entre **représentation** de l'incertain, **jugement** et **traitement** par le décideur
  - D'où une **argumentation plus solide** des choix en situation d'incertitude

- L'incertitude implique un comportement précautionneux et se traduit par un effort accru de prévention (par rapport à une situation de risques probabilisables »)
  - davantage de prévention implique « un surcoût » : **comment calculer, justifier et intégrer correctement ce « surcoût » ?**

- La décision dans l'incertain est aussi **affaire de jugement (experts, décideurs)** : **comment le modéliser et l'intégrer rigoureusement dans le processus de décision ?**

Situation où le risque est probabilisable

Dans un premier temps, quelques rappels sur le tutoriel **C_1**, traitant de la décision lorsque les risques sont probabilisables.

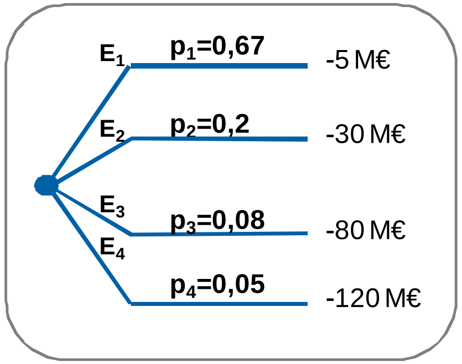
Un exemple :

Evénements	Probabilités	Coûts (M€)
E_1 : fonctionnement normal	0.67	5
E_2 : défaillance ou dégradation avec conséquence de faible importance	0.2	30
E_3 : défaillance avec durée d'indisponibilité faible	0.08	80
E_4 : défaillance avec durée d'indisponibilité longue	0.05	120

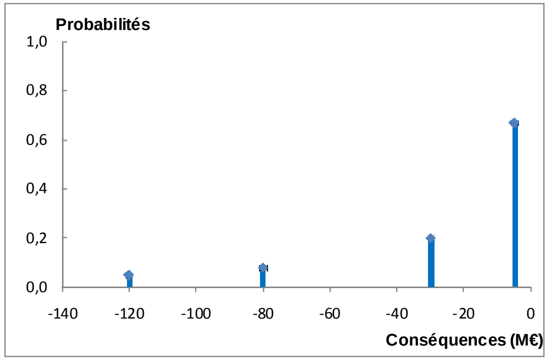
Remarque : par souci de simplification, on ne considère que les coûts même s'il convient bien évidemment de tenir compte des bénéfices dans l'analyse des risques et le choix de la solution.

Diverses représentations du risque

Le risque probabilisable est noté $\tilde{x}$



Evénements	E_1	E_2	E_3	E_4
Probabilités	0,67	0,2	0,08	0,05
Conséquences (M€)	-5	-30	-80	-120



Mathématiquement, $\tilde{x}$ n'est rien d'autre qu'une **variable aléatoire discrète**

Calcul du risque probabilisable

Les services d'ingénierie ont établi une analyse de risque et de surcroît ont évalué les risques par différentes approches (modèle physico-probabiliste, simulation de Monte-Carlo, approches fiabilistes, etc.)

$\tilde{z}_1$ → Modèle de quantification du risque → $\tilde{x}$

z_k

p_j

$\tilde{x}$ est **la grandeur d'intérêt** pour le modèle de décision

(coût que risque le décideur)

Dans certains cas, la pratique consiste à estimer le risque ou certaines variables entrant dans celui-ci à partir de l'avis d'experts.

→ $\tilde{x}$

L'évaluation du risque par « avis » d'experts obère la qualité de la décision s'il n'est pas modélisé et élicité rigoureusement (cf. infra) !

Quelques observations sur la conception implicite du risque

- Souvent, le risque traité comme si la probabilité (ou la distribution de celle-ci) était **une donnée intrinsèque d'un système qu'il conviendrait de « dévoiler »** moyennant différentes techniques
  - A l'instar d'une grandeur physique (masse, vitesse, température, contraintes, etc.)
- Les probabilités sont **considérées comme partagées par tous les acteurs**
  - L'idée implicite étant qu'il suffirait de partager les données en entrée pour parvenir à un jugement identique pour tous !
- Ainsi conçue, la probabilité apparaît généralement comme une **donnée « objective »** ou du moins traitée comme telle
  - Ceci, même si l'avis **subjectif** de l'expert intervient dans l'évaluation du risque !
  - On verra que **dans l'incertain le risque n'est pas une donnée objective**

Retour au problème : à quel montant de rénovation consentir ?

- Il s'agit de comparer une solution A_R de rénovation et une solution A_0 de statu quo (ne rien faire) en fonction de leur risque et coût respectifs

- La solution A_R sera jugée préférable à A_0 si son score $V(A_R)$ est supérieur à $V(A_0)$

$$\boxed{V(A_R) \geq V(A_0)}$$

- **Questions :**
  - quelle fonction de score V(.) retenir qui fasse sens ?
  - comment la construire et la « paramétrer » ?

Fonction de score en univers probabilisable

- Un modèle de décision simple consisterait à calculer la somme des coûts pondérée par les probabilités
  - Il s'agit de l'espérance mathématique de la variable aléatoire $\tilde{x}$

$$E(\tilde{x}) = p_1.x_1 + \ldots + p_4 x_4 \qquad \boxed{E(\tilde{x}) = -21{,}8\ \text{M€}}$$

- Si l'on fonde ses décisions sur ce critère, cela signifie que toute rénovation dont le coût global est supérieur à 21,8 M€ est à exclure

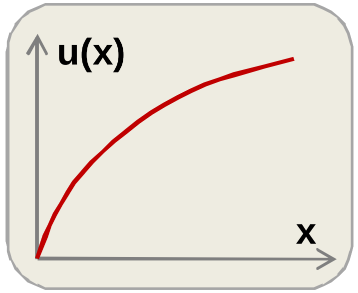
Question : ce modèle simple suffit-il à représenter correctement ce que choisirait un décideur ?

Fonction de score en univers probabilisable : espérance d'utilité

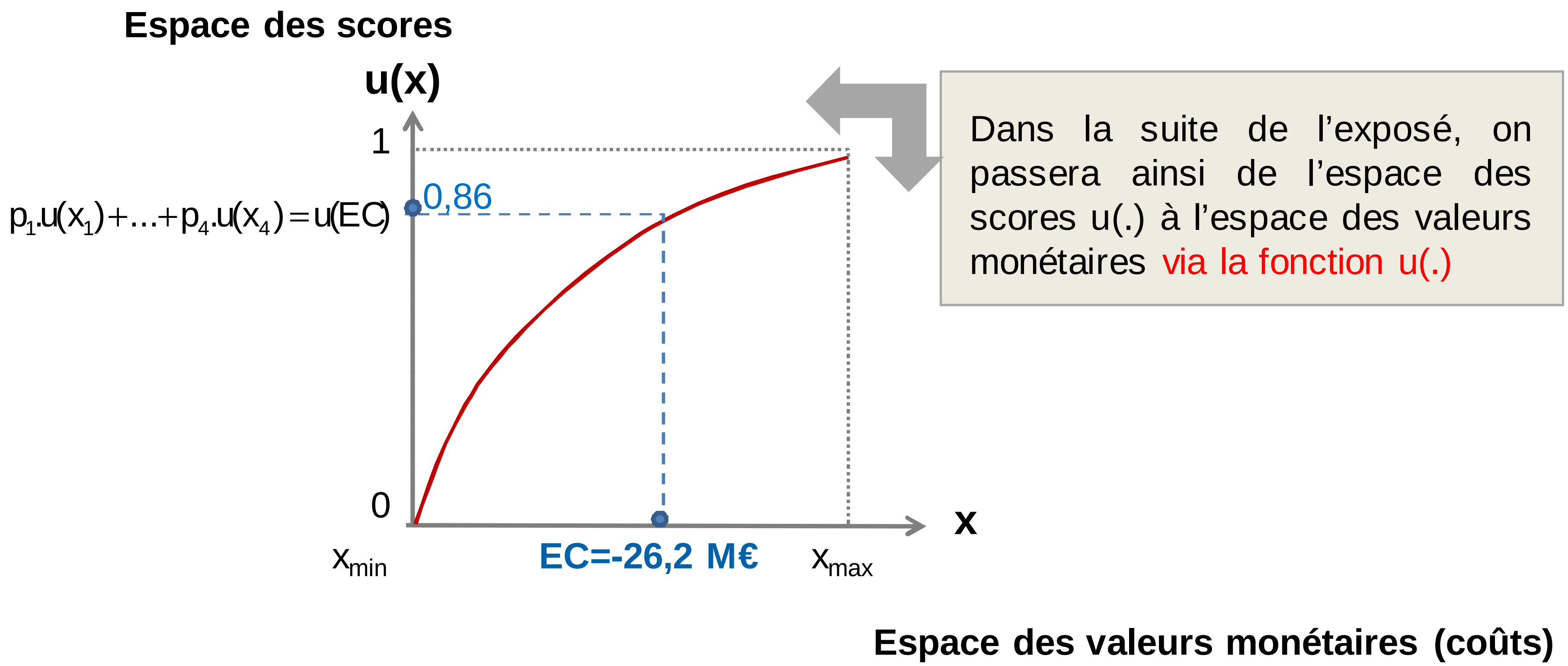
- En réalité, il est fort probable qu'un décideur accepte de payer davantage !
- La règle précédente n'est donc guère pertinente
  - Le chaînon manquant : la règle précédente ne tient nullement compte de ce que le **décideur pense du risque**
- **Conséquence** : il faut « sophistiquer » un peu plus le modèle décisionnel et introduire une fonction u(x) qui tienne compte de l'attitude du décideur face au risque

Modèle d'espérance d'utilité :

$$\boxed{V_{EU}(\tilde{x}) = p_1.u(x_1) + \ldots + p_4.u(x_4)}$$



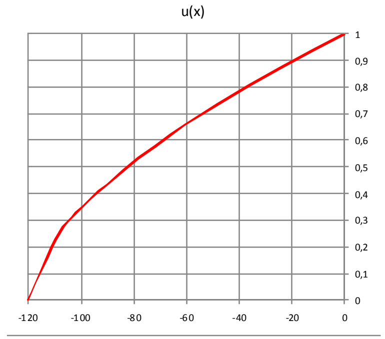
Raisonnement avec des équivalents monétaires



Dans la suite de l'exposé, on passera ainsi de l'espace des scores u(.) à l'espace des valeurs monétaires via la fonction u(.)

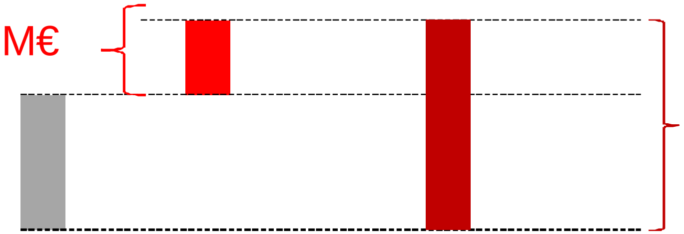
Face au risque : le décideur se donne une marge

Attitude du décideur face au risque



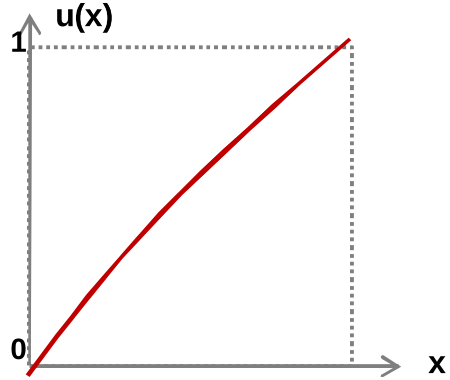
Surcoût consenti dû au risque -4,4 M€

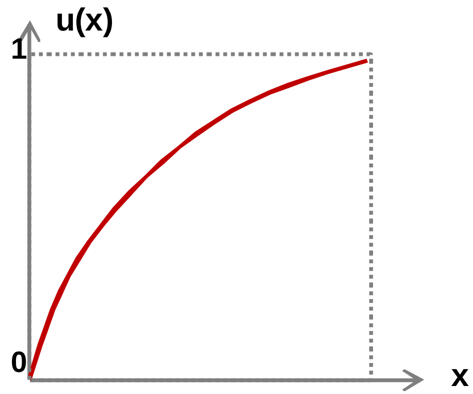
Valeur « moyenne » E(x)=-21,8 M€



Ce que le décideur est prêt à dépenser EC=-26,2 M€

Effet de la courbure de la fonction d'utilité





La concavité de u(.) exprime une forme d'aversion au risque

Plus cette concavité est marquée, plus l'aversion au risque est marquée

Sommaire

1. Décisions pour lesquelles les risques sont probabilisables

2. **Décisions pour lesquelles il n'y a plus existence ou unicité d'une distribution de probabilités**

3. Deux grands courants de la décision dans l'incertain

4. Synthèse et perspectives

Exemples de situations mal probabilisables

- Défaillance à l'horizon de 10 ans d'une structure de génie civil vieillissante.
- Pluviométrie moyenne de l'hiver 2014 en France supérieure à celle de 2013
- Température moyenne en France dans les 30 prochaines années supérieures, inférieures similaires à celles des 30 dernières années.
- Victoire du candidat démocrate en 2016 aux élections présidentielles américaines
- Etc.

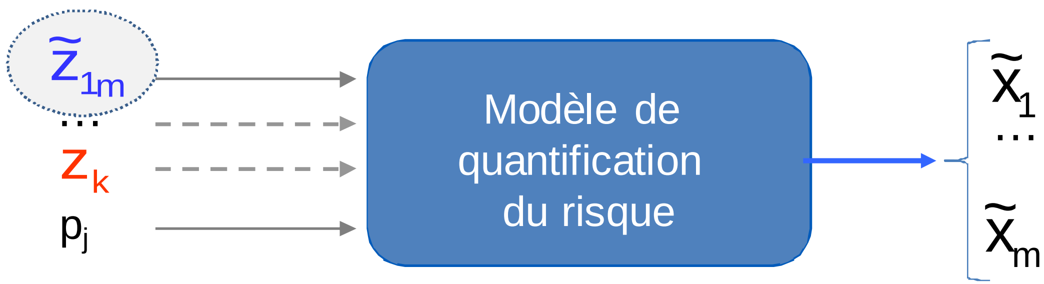
Pourquoi certaines situations sont mal probabilisables

- Imaginer qu'il existe une probabilité objective est certes commode mais loin d'être toujours réaliste.
- Les hypothèses suivantes sont pour le moins discutables :
  - **Partagée** par chacun des acteurs (i.e. chaque acteur forme le même jugement !)
  - Fondée sur l'hypothèse de « **répétabilité** »

- Nombreuses situations dont les risques sont difficiles à probabiliser
  - Paramètres mal connus
  - Éléments de complexité (nombreux facteurs, chaîne causale mal connue)
  - Existence de controverses

Incertitude sur la distribution de probabilités

Incertitude sur le paramètre m

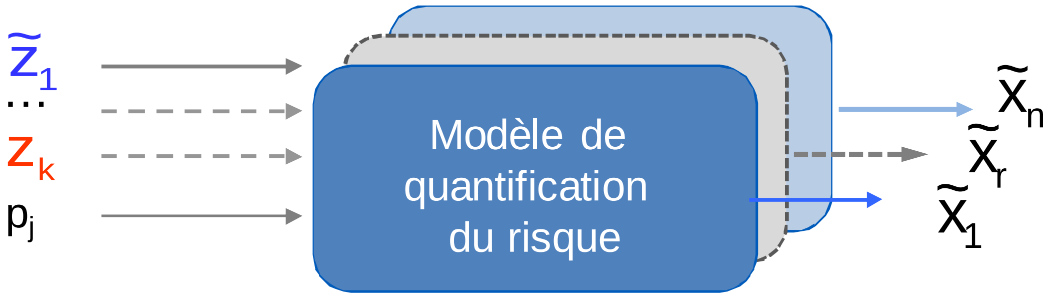


Ici la variable $\tilde{z}_{1m}$ dépend d'un paramètre m (exemple : loi de fiabilité dépendant d'un paramètre)

La sortie du modèle peut être appréhendée comme une famille $\tilde{x}_m$ de distributions de probabilités en fonction de m

Plusieurs distributions de probabilités

Incertitude de modèle

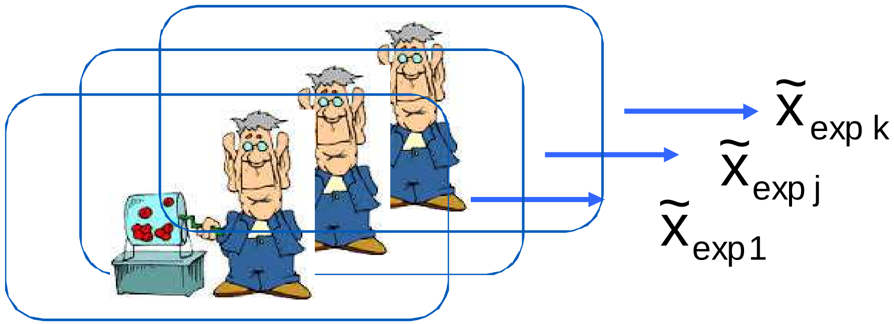


Ici le modèle causal (physique du phénomène et mécanismes causaux) est sujet à caution et conduit à plusieurs modélisations

Il n'existe pas une distribution de probabilités en sortie mais plusieurs $\tilde{x}_1$ à $\tilde{x}_n$ en fonction des modèles M_1, …M_r, M_n

Distributions de probabilités individuelles

Existence de jugements différents voire de controverses parmi les experts



Plusieurs distributions de probabilités $\tilde{X}_{exp\,1}$, $\tilde{X}_{exp\,j}$, $\tilde{X}_{exp\,k}$ en fonction des experts 1, … j …k

Première manière d'appréhender l'incertain : retour à l'exemple

Exemple : l'incertain appréhendé à travers 4 modèles considérés comme pertinents par les experts

Evénements	Coûts (M€)
E_1 : fonctionnement normal	5
E_2 : défaillance ou dégradation avec conséquence de faible importance	30
E_3 : défaillance avec durée d'indisponibilité faible	80
E_4 : défaillance avec durée d'indisponibilité longue	120

Modèle 4

Modèle 3

Modèle 2

Modèle 1

Par souci de simplification, on ne fait aucune hypothèse sur l'origine de l'incertitude

Modèle décisionnel des a priori multiples (MEU)

- Une première solution (Gilboa et Schmeidler, 1989) consiste à calculer l'espérance d'utilité $V_{EU}(\tilde{x})$ pour chaque cas (cf. exemple supra)
  - En raisonnant pour chaque modèle, comme s'il s'agissait d'une seule distribution
  - Puis en recherchant le minimum sur toutes les distributions $V_{MEU}(\tilde{x}) = \min_k \left[V_{EU}(\tilde{x}_k) \right]$

Exemples d'application du modèle décisionnel des a priori multiples

Evénements	Coûts (M€)
E_1 : fonctionnement normal	5
E_2 : défaillance ou dégradation avec conséquence de faible importance	30
E_3 : défaillance avec durée d'indisponibilité faible	80
E_4 : défaillance avec durée d'indisponibilité longue	120

Modèle 4 $\longrightarrow V_{EU}(\tilde{x}_4) = 0{,}86$

Modèle 3 $\longrightarrow V_{EU}(\tilde{x}_3) = 0{,}76$

Modèle 2 $\longrightarrow V_{EU}(\tilde{x}_2) = 0{,}91$

Modèle 1 $\longrightarrow V_{EU}(\tilde{x}_1) = 0{,}87$

Puis minimum des 4 valeurs doit :

$$\boxed{V_{MEU}(\tilde{x}) = 0{,}76 \quad \text{soit} \quad EC = -43{,}3}$$

Valeurs numériques des quatre distributions

Evénements élémentaires	Modèle n°1	Modèle n°2	Modèle n°3	Modèle n°4
E1	0,67	0,55	0,77	0,74
E2	0,20	0,21	0,16	0,11
E3	0,08	0,10	0,04	0,10
E4	0,05	0,14	0,03	0,05

Eléments de discussion

- MEU est une règle pessimiste (cf. également infra)
- Autre possibilité autour de MEU
  - Faire le même calcul et en prenant la valeur maximale
  - Mais alors la règle est peut-être trop optimiste $\max_k \left[V_{EU}(\tilde{x}_k)\right]$

- Trouver une valeur de a telle que :

$$a.\min_k \left[V_{EU}(\tilde{x}_k)\right] + (1-a).\max_k \left[V_{EU}(\tilde{x}_k)\right]$$

- **Question** : comment déterminer **a** ?

Seconde manière d'appréhender l'incertain : retour à l'exemple

Evénements	Coûts (M€)	Jugements
E_1 : fonctionnement normal	5	$\nu(E_1)$
E_2 : défaillance ou dégradation avec conséquence de faible importance	30	$\nu(E_2)$
E_3 : défaillance avec durée d'indisponibilité faible	80	$\nu(E_3)$
E_4 : défaillance avec durée d'indisponibilité longue	120	$\nu(E_4)$

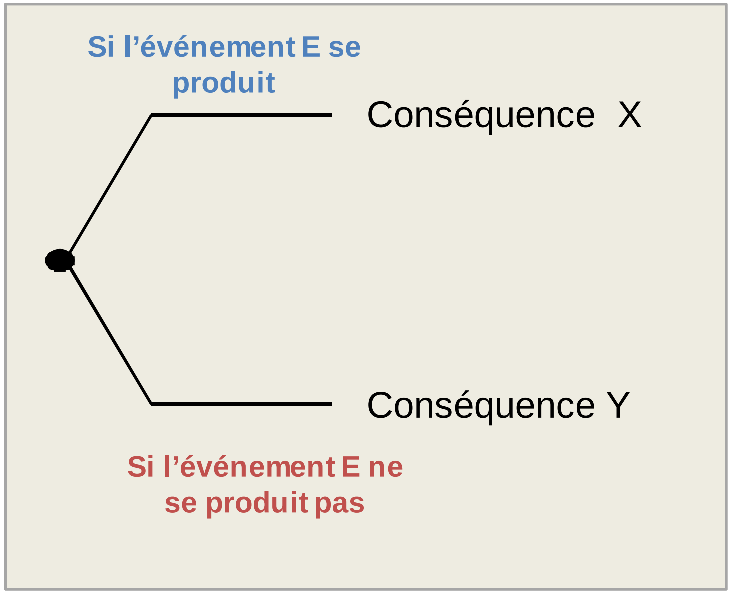
L'appréciation de l'incertain est affaire de jugement !
Dans l'incertain, le risque n'est pas indépendant de celui qui l'observe et le traite.

Seconde manière de traiter l'incertain

- Principe : évaluer le jugement en fonction de l'information connue de l'expert

- L'expert sait comparer les événements et se prononcer sur des risques **simplifiés (deux états)** représentatifs du problème posé

- Nombreux protocoles d'élicitation sur ce principe



Raisonnement sur des risques simplifiés

Représentation du jugement via des probabilités subjectives

- Le jugement $\nu(.)$ sur l'ensemble des événements E_i est représenté par une fonction de probabilité subjective.

$$\nu(E_i) = \Pr(E_i)$$

- Le cadre décisionnel de Savage (1954) (SEU : Subjective Expected Utility) conduit à évaluer le risque à l'aide de probabilité subjective $\Pr(E_i)$, comme si ces probabilités étaient objectives

$$V_{SEU}(\tilde{x}) = \sum_{i=1}^{n} \Pr(E_i).u(x_i)$$

- Comparable au modèle décisionnel EU (cf. supra)
- **Problème** : SEU ne rend pas bien compte des jugements individuels (paradoxes d'Allais (1953) et d'Ellsberg (1961))

Représentation du jugement

- On définit une fonction de jugement $\nu(.)$ appelée « capacité » sur l'ensemble des événements E_i
- Si E_i est jugé moins vraisemblable que E_k alors la fonction de jugement (capacité) de E_i est inférieure à celle de E_k

$$\nu : 2^{\Omega} \to [0,1] \qquad E \mapsto \nu(E)$$
$$\forall E_i \subseteq E_k \quad \nu(E_i) \leq \nu(E_k)$$
$$\nu(\varnothing) = 0 \quad \nu(\Omega) = 1$$

La notion de capacité généralise, entre autres, celles de :

- Probabilité $Pr(E_i)$
- et de fonction de croyance dans Dempster-Shafer $Bel(E_i)$

Non-additivité des croyances

En situation d'incertitude, on a en général :

$$\nu(E) \neq 1 - \nu(E \setminus \Omega)$$

Se poser la question de preuve pour et d'absence de preuve contre….

$$\nu(E) + \nu(E \setminus \Omega) \leq 1$$

Ou plus généralement :

$$E \cap F = \varnothing \quad \text{et} \quad \nu(E) + \nu(F) \neq \nu(E \cup F)$$

Exprime la plus ou moins grande confiance sur le jugement de vraisemblance associé à E

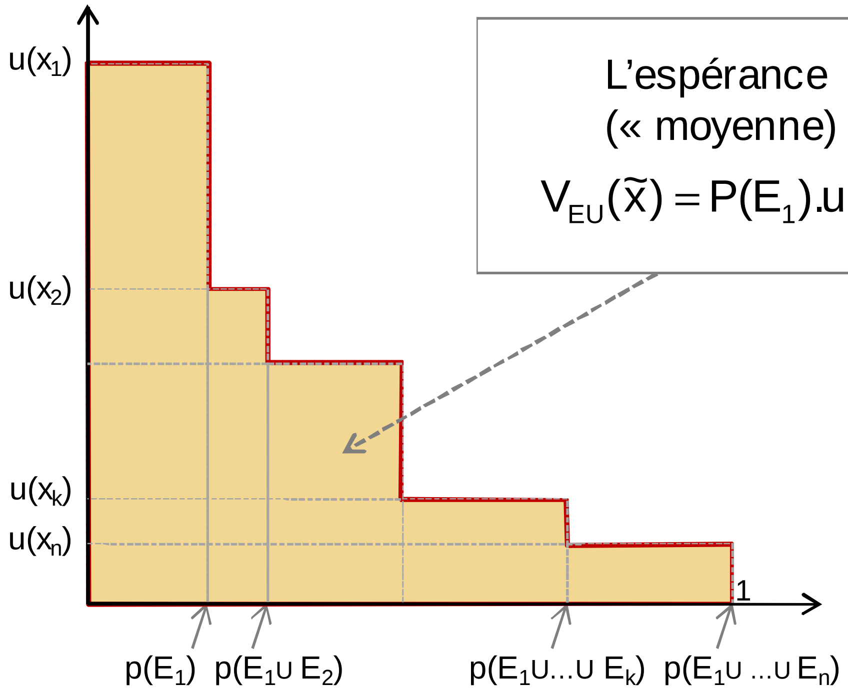
Jugement de croyance représenté par une capacité

Evénements	Capacité	Conséquences (M€)	u(x)
E1	0,55	-5	0,97
E2	0,09	-30	0,84
E3	0,02	-80	0,52
E4	0,01	-120	0,00
E1 U E2	0,81		
E1 U E3	0,65		
E1 U E4	0,61		
E2 U E3	0,15		
E2 U E4	0,13		
E3 U E4	0,05		
E1 U E2 U E3	0,93		
E1 U E2 U E4	0,88		
E1 U E3 U E4	0,72		
E2 U E3 U E4	0,19		
E1 U E2 U E3 U E4	1,00		

$$\begin{aligned} V_{CEU}(\tilde{x}) = {} & u(x_1)\cdot\nu(E_1) \\ & + u(x_2)\cdot\left[\nu(E_1\cup E_2)-\nu(E_1)\right] \\ & + u(x_3)\cdot\left[\nu(E_1\cup E_2\cup E_3)-\nu(E_1\cup E_2)\right] \\ & + u(x_4)\cdot\left[\nu(E_1\cup E_2\cup E_3\cup E_4)-\nu(E_1\cup E_2\cup E_3)\right] \end{aligned}$$

$$\boxed{V_{CEU}(\tilde{x}) = 0{,}82 \quad \text{soit} \quad EC = -34{,}6\ \text{M€}}$$

Retour momentané aux probabilités

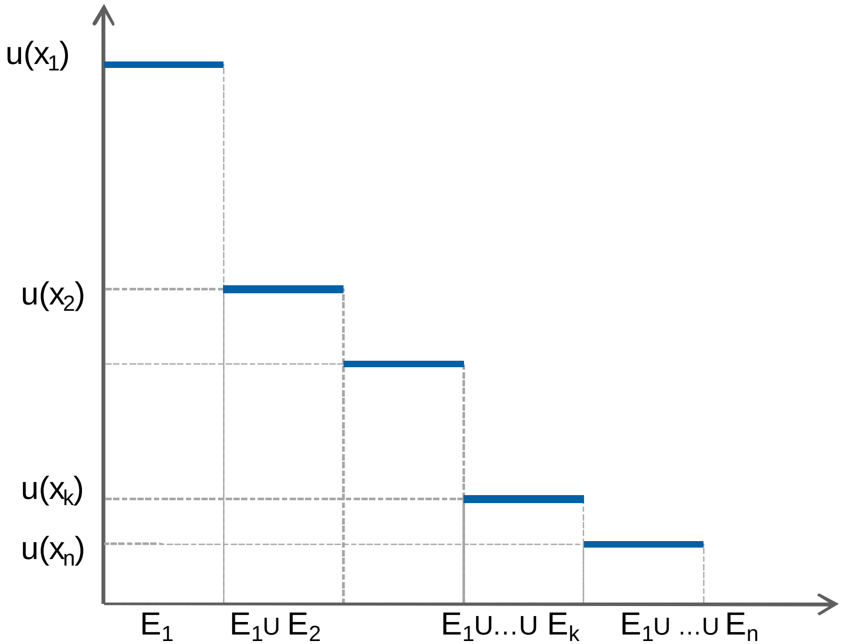


L'espérance de u(x)
(« moyenne) est la surface

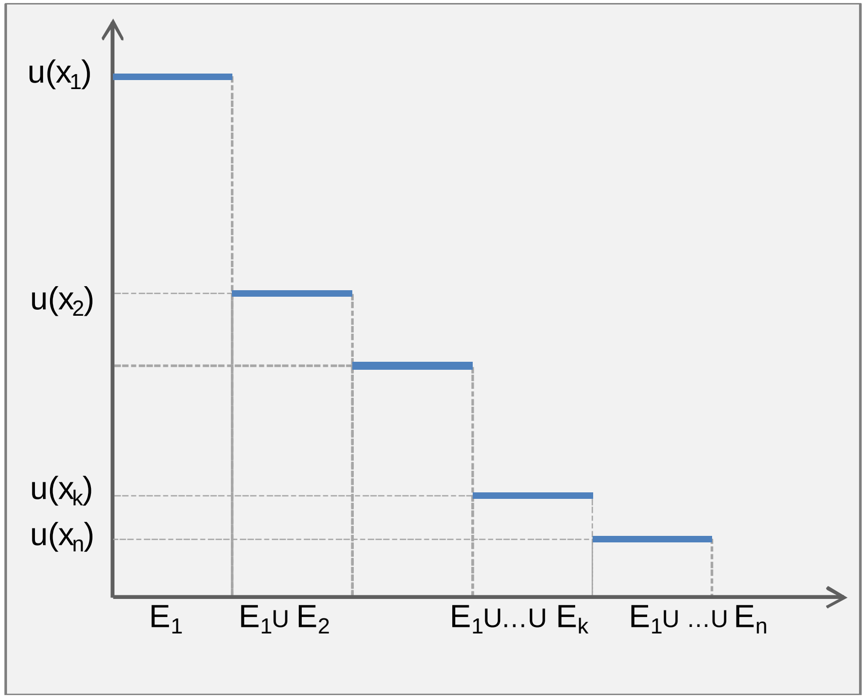
$$V_{EU}(\tilde{x}) = P(E_1).u(x_1) + \ldots + P(E_n).u(x_n)$$

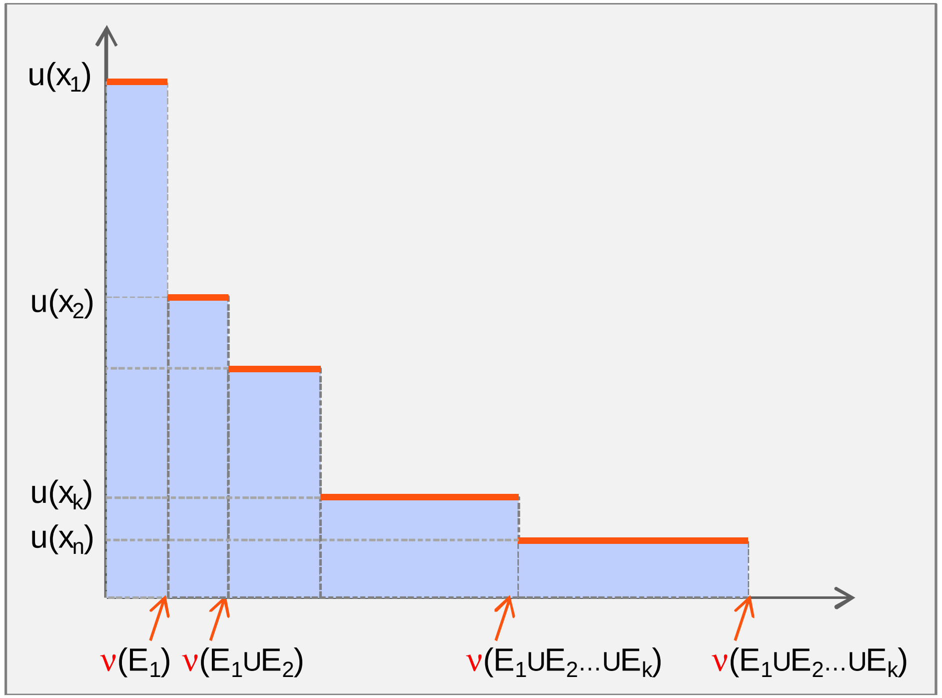
Remarque : on a simplement fait pivoter la fonction de répartition

Représentation de l'incertain

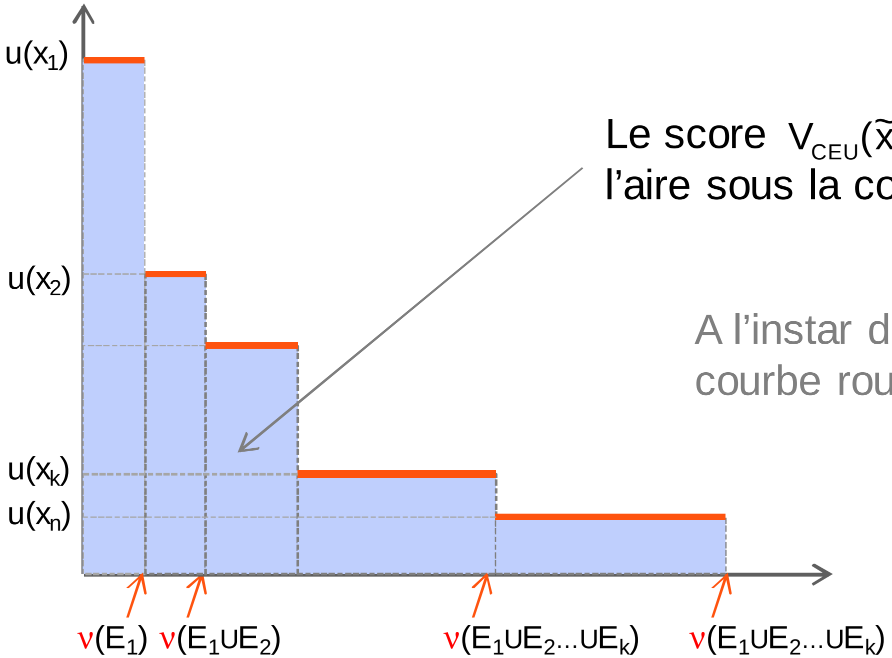


Le jugement dans l'incertain représenté par une capacité ν(.)





Modèle décisionnel : Choquet Expected Utility (CEU)



Le score $V_{CEU}(\tilde{x})$ est donné par l'aire sous la courbe rouge

A l'instar du score $V_{EU}(\tilde{x})$ est l'aire sous la courbe rouge (cf. supra)

Formulation mathématique du modèle CEU

$$\tilde{x} = (x_1, E_1; x_2, E_2; \ldots; x_n, E_n)$$

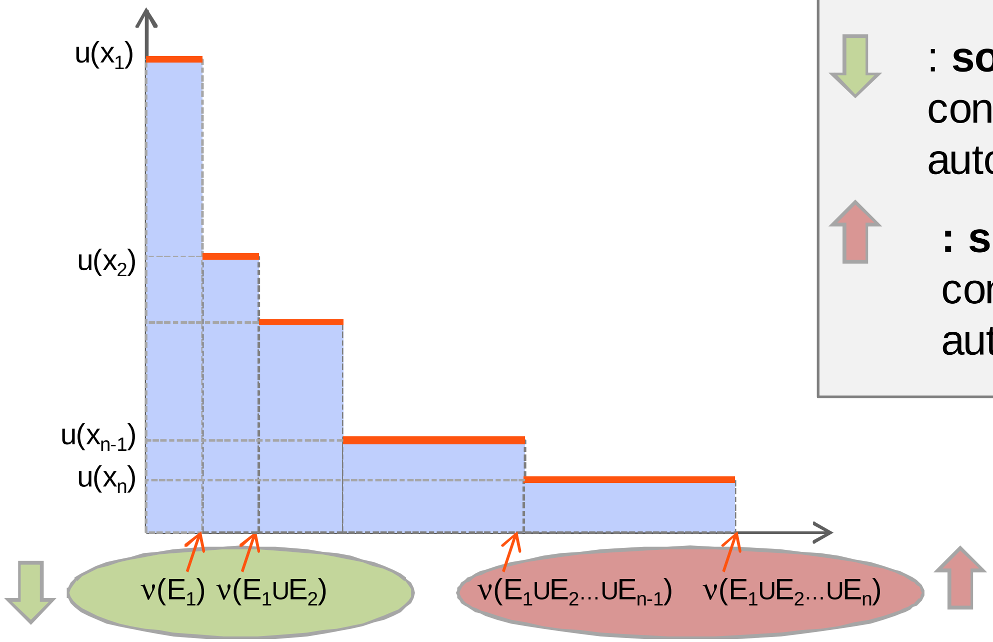
$$V_{CEU}(\tilde{x}) = \nu(E_1)\cdot u(x_1) + \sum_{k=2}^{n}\left[\nu\left(\bigcup_{i=1}^{k} E_i\right) - \nu\left(\bigcup_{i=1}^{k-1} E_i\right)\right]\cdot u(x_k)$$

$$\text{avec} \quad u(x_1) \geq \ldots \geq u(x_n)$$

•Ce modèle (Schmeidler, 1989) généralise les modèles fondés sur les probabilités subjectives

•Cette représentation a donné naissance à une famille de modèles de décision

Eléments d'interprétation



$\nu(E_1 \cup E_2)$ - $\nu(E_1)$ décroît

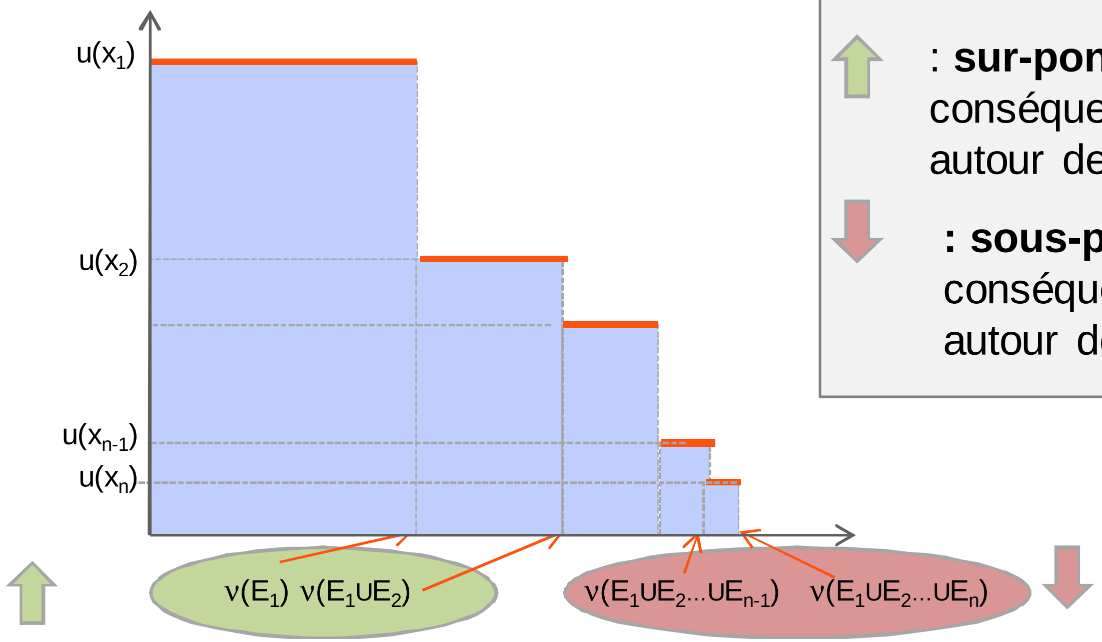
$\nu(E_1 \cup E_2 \ldots \cup E_n)$ - $\nu(E_1 \cup E_2 \ldots \cup E_{n-1})$ augmente

: **sous-pondération** des conséquences préférées autour de x_1

: sur-pondération des conséquences redoutées autour de x_n

Pessimisme ou aversion à l'incertain

Eléments d'interprétation



$\nu(E_1 \cup E_2) - \nu(E_1)$ augmente

$\nu(E_1 \cup E_2 ... \cup E_n) - \nu(E_1 \cup E_2 ... \cup E_{n-1})$ diminue

: **sur-pondération** des conséquences préférées autour de x_1

: sous-pondération des conséquences redoutées autour de x_n

Optimisme ou inclination à l'incertain

Quelques éléments de caractérisation formelle du jugement

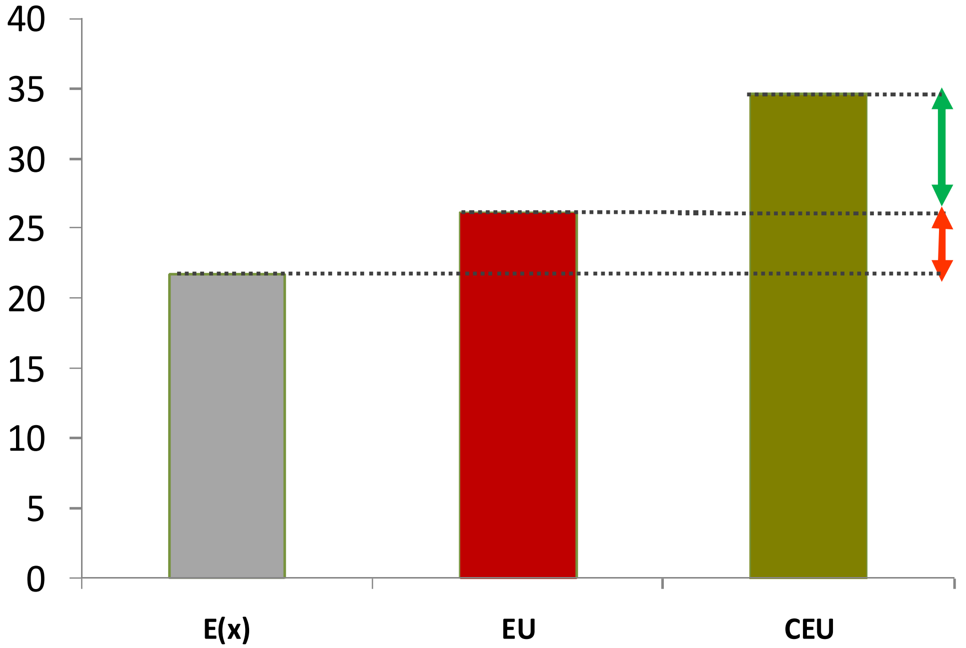
•Il y a aversion à l'incertain si la capacité est convexe

$$\forall E_i, E_k \in 2^\Omega \qquad \nu(E_i \cup E_k) \geq \nu(E_i) + \nu(E_k) - \nu(E_i \cap E_k)$$

Premiers éléments de conclusion

Modèle décisionnel	Score et équivalent monétaire (EC)	Commentaires
E(x)	-21, 8 M€	Pas de prise en en compte de l'incertain mais uniquement des probabilités Pas de prise en compte du jugement
EU	0,86 soit -26,2 M€	Pas de prise en compte de l'incertain mais uniquement du risque probabilisable **Prise en compte du jugement : utilité concave**
CEU	0,82 soit -34,6 M€	Prise en compte de l'incertain **Prise en compte du jugement : capacité convexe et utilité concave**
MEU	0,76 soit -43,3 M€	Prise en compte de l'incertain (très conservatif) Pas de prise en compte du jugement

Les effets distincts du « probabilisable » et du « mal-probabilisable »



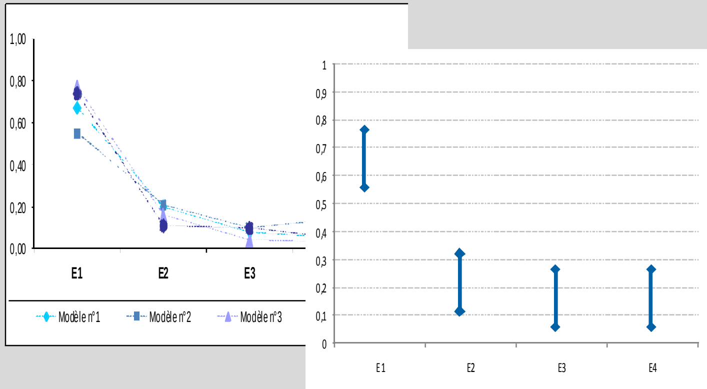
Surcoût consenti
dû spécifiquement à **l'incertain**
(ce qui est **non-probabilisable**)
Convexité de la capacité de $\nu(E_i)$

Surcoût consenti
dû spécifiquement **au risque**
(ce qui est **probabilisable**)
Concavité de u(x)

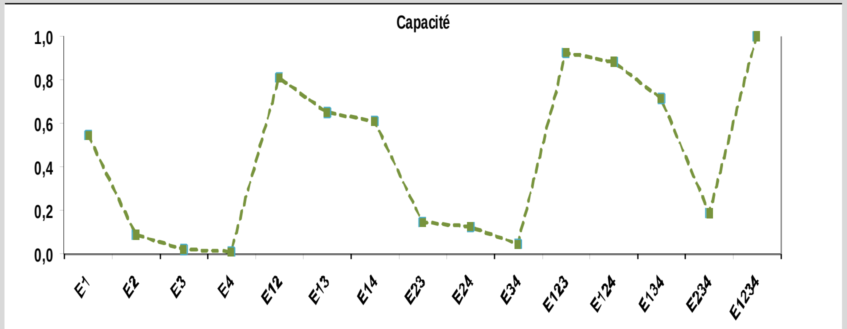
Sommaire

Relations entre les deux courants exposés

- Sous certaines conditions, les modèles décisionnels ci-dessous et donc les représentations de l'incertain correspondantes coïncident…

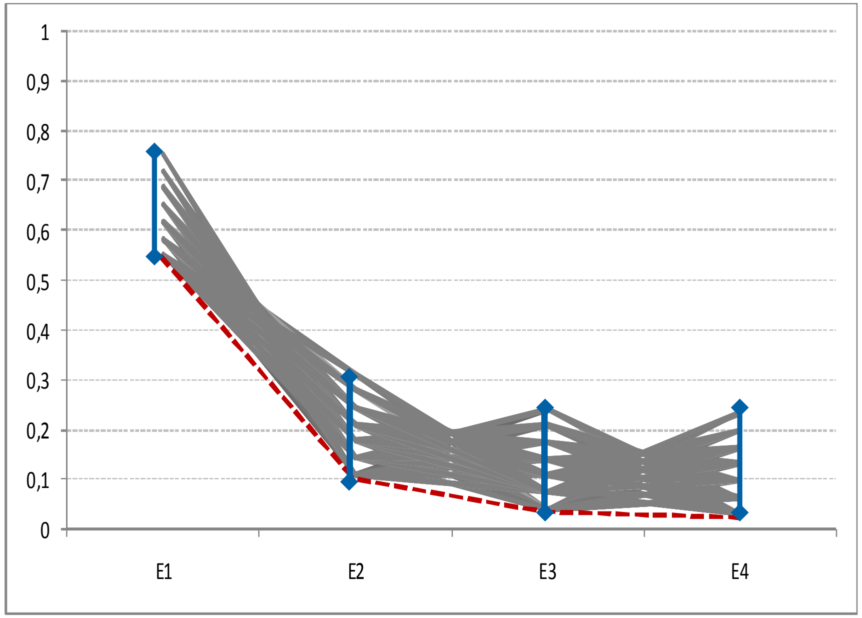


MEU : approches par famille de probabilités



CEU : approches par le jugement

Lien entre les différentes représentations de l'incertain

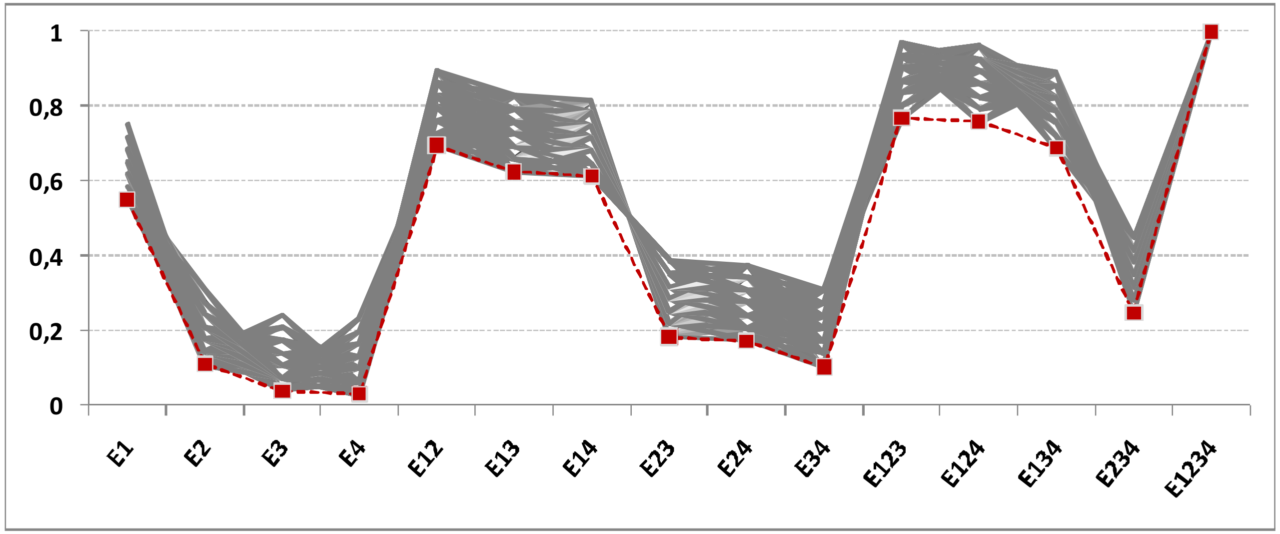


- Intervalles de probabilités sur les événements E_i issus des modèles 1 à 4

- la capacité $\nu(.)$ résultant des probabilités minimales de E sur 2^{Ω}

- l'ensemble C_ν des distributions obtenues dont $\nu(.)$ est l'enveloppe inférieure

Enveloppe inférieure et noyau

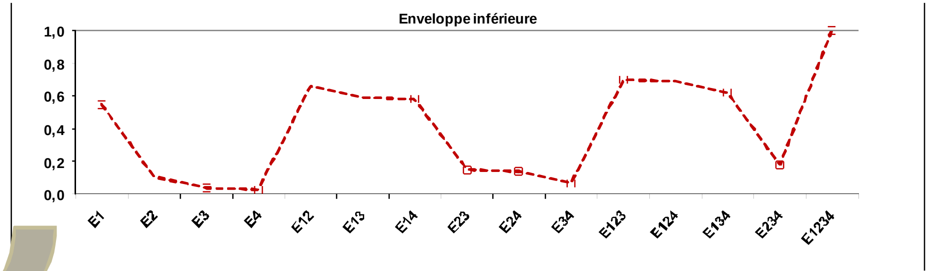


C_ν est le noyau de la capacité $\nu(.)$

$$C_\nu = \left\{ P(.) \text{ sur } 2^\Omega \;\middle|\; \forall E \in 2^\Omega \; P(E) \geq \nu(E) \right\}$$

Enveloppe inférieure, prise comme une capacité

Evénements	Capacité	Conséquences (M€)	u(x)
E1	**0,55**	-5	0,97
E2	**0,11**	-30	0,84
E3	**0,04**	-80	0,52
E4	**0,03**	-120	0,00
E1 U E2	**0,66**		
E1 U E3	**0,59**		
E1 U E4	**0,58**		
E2 U E3	**0,15**		
E2 U E4	**0,14**		
E3 U E4	**0,07**		
E1 U E2 U E3	**0,70**		
E1 U E2 U E4	**0,69**		
E1 U E3 U E4	**0,62**		
E2 U E3 U E4	**0,18**		
E1 U E2 U E3 U E4	**1,00**		



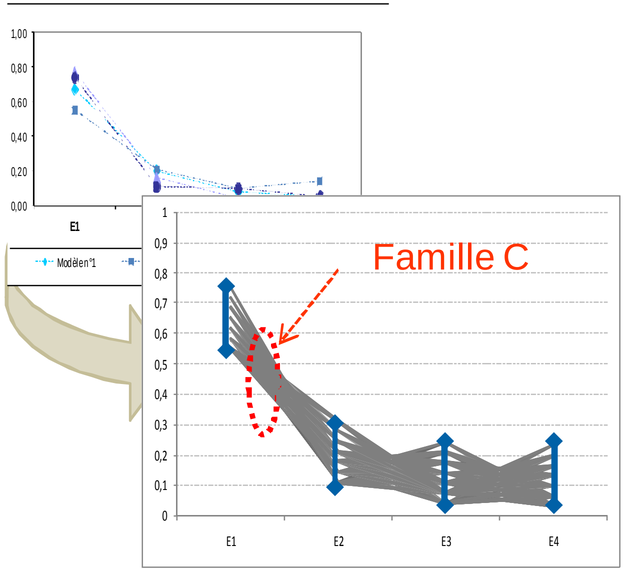
$$
\begin{aligned}
V_{CEU}(\tilde{x}) = {} & u(x_1)\cdot\nu(E_1) \\
& + u(x_2)\cdot[\nu(E_1 \cup E_2) - \nu(E_1)] \\
& + u(x_3)\cdot[\nu(E_1 \cup E_2 \cup E_3) - \nu(E_1 \cup E_2)] \\
& + u(x_4)\cdot[\nu(E_1 \cup E_2 \cup E_3 \cup E_4) - \nu(E_1 \cup E_2 \cup E_3)]
\end{aligned}
$$

$$V_{CEU}(\tilde{x}) = 0{,}65$$

Soit EC=-61,6 M€

Le calcul conduit à une valeur très élevée (attitude de précaution)

Calcul sur les distributions de probabilités de la famille



Famille C

Evénements	Coûts (M€)	Distribution de probabilités n°1
E_1 : fonctionnement normal	5	$P(E_1)$
E_2 : défaillance ou dégradation avec conséquence de faible importance	30	$P(E_2)$
E_3 : défaillance avec durée d'indisponibilité faible	80	$P(E_3)$
E_4 : défaillance avec durée d'indisponibilité longue	120	$P(E_4)$

$$V_{MEU}^{C}(\tilde{x}) = \min_{C}\left[EU(\tilde{x}_k)\right]$$

$$V_{MEU}^{C}(\tilde{x}) = 0{,}65$$

Modèles décisionnels dans l'incertain : lien entre les deux grands courants

- MEU et CEU coïncident quand $\nu(.)$ est convexe (Schmeidler, 1986)

$$\nu(.) \text{ est convexe} \\ \Leftrightarrow \\ C_\nu \neq \varnothing \\ V_{CEU}(\tilde{x}) = V_{MEU}^{P \in \text{Noyau}}(\tilde{x})$$

Tout se passe comme si le décideur « allait choisir » **la distribution la plus défavorable** dans l'ensemble C_ν et calculait la valeur selon le critère EU.

- Confirmation que MEU est extrêmement pessimiste car équivalent à CEU avec une fonction de croyance « extrême » (enveloppe inférieure)

D'autres considérations que monétaires

- Les mêmes modèles précédents s'appliquent également aux risques non monétaires $\widetilde{X}$
- Plusieurs types de risques peuvent être pris en compte conjointement dans un même modèle multicritère
  - Exemple : sécurité, environnement, etc. en plus du critère monétaire
  - Extension « multicritère» possible lorsque les risques sont probabilisables(modèle multiattribut)
- A notre connaissance et pour l'heure, pas de modèle solidement axiomatisé abordant conjointement l'incertain et le multicritère

Conclusion générale (1/2)

- Certaines parentés entre CEU et le cadre de Dempster-Shafer (DST)
  - Les modèles de type CEU sont une généralisation de DST mais n'imposent pas de conditions excessives sur les jugements à la différence de DST
  - Sont adaptés à ce que décideurs et experts pensent de l'incertain
  - Reposent sur de **véritables fondements décisionnels**

- Le traitement de l'incertain : modèles plus exigeants et plus complexes à manipuler
  - en théorie, nécessité d'évaluer sur un ensemble plus large (non seulement les événements mais aussi les combinaisons de ceux-ci)

- **La modélisation décisionnelle dans l'incertain : une recherche active et prometteuse**
  - Aujourd'hui, des recherches autour du jugement de croyance généralisant les probabilités (modèles de capacité et autres) mais recourant à des simplifications fondées et efficaces.

Conclusion générale (2/2)

- Les modèles de décision dans l'incertain (contexte mal probabilisable) généralisent les modèles dans le risque (contexte probabilisable)
- **Corollaire** , **« qui peut le plus peut le moins »** :
  - la compréhension des modèles dans l'incertain permet en retour **une meilleure utilisation des modèles décisionnels en univers probabilisable**
- **Application** : **améliorer l'élicitation des probabilités**
  - **Constat** : l'évaluation des probabilités fondée sur le «dire d'experts » généralement très peu fiable
  - **Principe** : modélisation de « type CEU » permettant de tenir compte des diverses transformations opérées par les individus lorsqu'ils évaluent le risque
  - **Résultat** : modélisation permettant de corriger certains biais d'évaluation des probabilités

Quelques références pour aller plus loin

- Abdellaoui M., Baillon A., Placido L. & Wakker, P. (2011) “The Rich Domain of Uncertainty: Source Functions and Their Experimental Implementation” *American Economic Review.*

- Cohen M. & Tallon. J-M. (2000), « Décision dans le risque et l'incertain l'apport des modèles non-additifs » *Revue d'Economie Politique, 110*, 631-681

- Wakker P. (2010), “ Prospect Theory For Risk and Ambiguity“, Cambridge University Press, UK