

**Journées NEEDS des 21-22 octobre 2014**

**Gestion des incertitudes dans des analyses multicritères**

**Eric Chojnacki**



## Plan

### ■ Exemple : le risque

- Les définitions du risque : l'incertitude est inhérente au risque
- Gestion de l'incertitude : déterministe vs probabiliste
- Le risque : un objet multicritère et incertain.

### ■ Outils mathématiques issus des sciences de l'information

### ■ Incertitudes vers une recherche interdisciplinaire

## Les définitions du risque

Risque : danger, inconvénient plus ou moins probable auquel on est exposé.  
*Le Petit Larousse illustré 1999.*

Equation du risque naturel :  
 $\text{risque} = \text{aléa} * \text{vulnérabilité}$

### Risque sismique

Aléa = « nature »  
(tectonique, faille, longueur, profondeur, vitesse glissement ...)  
Vulnérabilité = « homme »  
(bâti, entretien des communs, professionnels , harmonisation des réglementations ....)

Equation du risque industriel :  
 $\text{risque} = \text{gravité} * \text{fréquence}$

### Risque nucléaire

Gravité = « événement considéré »  
(fusion cœur, Becquerels relâchés, nombre évacués ....)  
fréquence= « vraisemblance associée à l'événement »  
(fusion : fréquence calculée à partir d' événements initiateurs + papillon causes / conséquences)

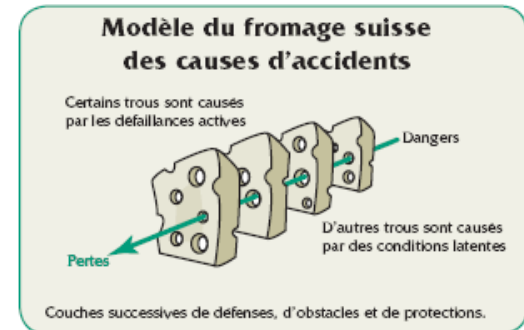
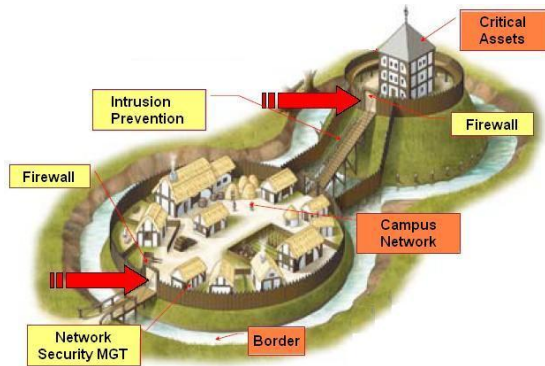
**Risque = Événement \* vraisemblance**

**Le risque est un objet incertain multicritère**

# Gestion de l'incertitude dans le risque

Risque = Evènement \* vraisemblance

Méthode déterministe ou « évènement centré » : modèle de défense en profondeur



Les lignes de défense doivent être suffisantes pour bloquer toute attaque

Evènements indésirables : chaque maillon représente la résistance du système à chaque évènement.

La sécurité d'un système est mesurée par sa résistance à l'évènement « maximal »

Le « pire » évènement est-il de nature à briser la sécurité du système ?

Comment évaluer le caractère « conservatif » de l'évènement maximal ?

En général, il est impossible de démontrer le conservatisme : « le risque zéro n'existe pas ».



## Tchernobyl - M Gorbatchev :

« Les experts nucléaires m'avaient affirmé qu'une centrale nucléaire était aussi sûre qu'un samovar, et que l'on pouvait en construire une sur la place rouge ».

Des événements réputés moins graves s'avèrent au final plus graves du fait de leur enchainement.

### Une autre vision du risque

**Risque = événement \* vraisemblance**

Succès remarquable dans l'aéronautique : « If anything can go wrong, it will » Edward A. Murphy

### Méthode probabiliste ou « aléa centré » : dépasser le modèle « maillon faible »

Une décomposition plus fine des événements, une recombinaison multiplicative de la sûreté

$$0,99 * 0,99 * \dots * 0,99 \rightarrow 0$$

*Décomposition à relier avec la confusion entre percentile (instantané) et période de retour (durée).*

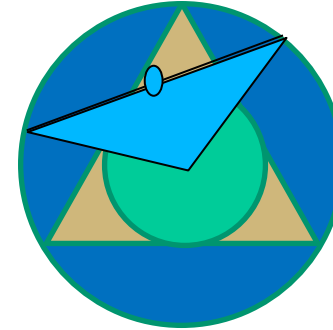
Des échecs cependant :

NASA Prior 10<sup>-4</sup>/lancement 2 échecs sur 135 lancements

Nucléaire : 10<sup>-6</sup>/réacteur an 2 observés et 0,01 attendu



# Risque = Evènement \* Vraisemblance



Comment évaluer la vraisemblance d'un événement ?

Une probabilité n'est pas une mesure intrinsèque de l'événement associé.

Proba =  $\frac{\text{cas favorables}}{\text{cas possibles}}$  demande à imaginer les possibles ((délimiter les événements considérés).

La probabilité d'un événement dépend essentiellement de l'appréciation du chemin conduisant à cet événement  
Le réel est-il limité, et le possible ?

Les ingénieurs se sont dotés d'instruments méthodologiques : APD, APR, MAC, MDS, AMDEC ..., pour  
« rationaliser » le choix et l'étude des possibles

**Une autre vision , l'approche économique Risque : Coût de l'accident / Coût de la protection**

Exemple : la centrale du Blayais en 1999

## Plan

- Introduction
  
- Outils issus des sciences de l'information
  - incertitudes –multicritère : de quoi parle t'on ?
  - outils mathématiques :
    - de quantification
    - de propagation
    - multicritères
  
- Incertitudes vers une recherche interdisciplinaire

## **Incertitudes –multicritère : de quoi parle t'on ?**

### **Incertitude - définitions « techniques » : ex métrologie ISO - BIPM**

© BIPM-JCGM 200:2008

**incertitudes de type A** : évaluable par une analyse statistique

**incertitudes de type B** : évaluable par d'autres moyens que le type A

### **Incertitudes – définition plus « communes » :**

**incertitudes aléatoires vs épistémiques** : variabilité, imprécision, indétermination

**incertitudes « pratiques »** : effet escompté – effet souhaité de nos actions

**incertitudes « axio-téléologiques »** : les principes et les finalités de nos actions

**Multicritère- définition** : qui comporte plusieurs facteurs de discernement



## Incertitudes et outils mathématiques

**incertitudes « quantitatives »** - *valeurs numériques utilisées*  
comment modéliser une connaissance sur une grandeur  
**outils de « quantification »**

**incertitudes « pratiques »** - *complétude du système relationnel*  
les modèle de transfert de connaissance : actions -> conséquences  
**outils de « propagation »**

**incertitudes « axio-téléologiques »** - *description des rationalités.*  
comment progresser vers une vision partagée ?  
**outils multicritères**

**Pour les modélisateurs : modèle Marvin Minsky  $A^* = (B \rightarrow A)$**

outils de quantification : ingrédients numériques de  $A^*$

outils de propagation : les aspects relationnels ou fonctionnels de  $A^*$

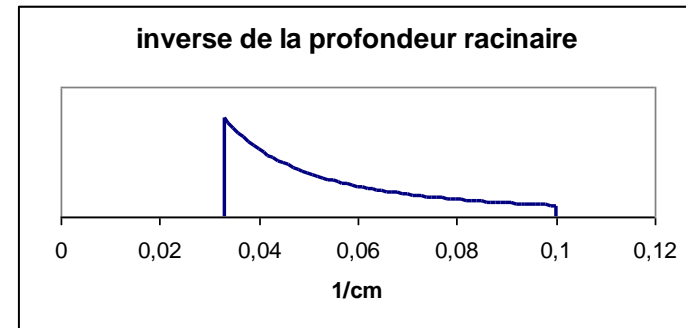
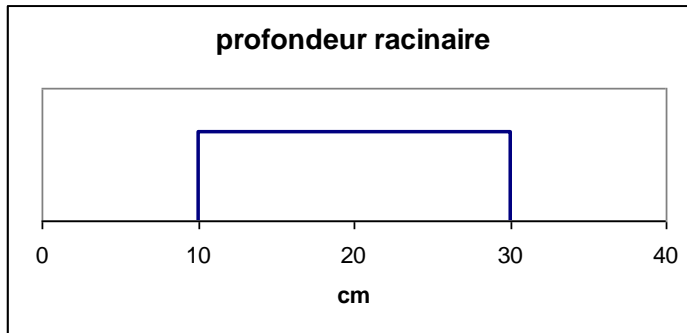
outils multicritères : le périmètre de  $A^*$

# Outils de quantification de l'incertitude (1/3)

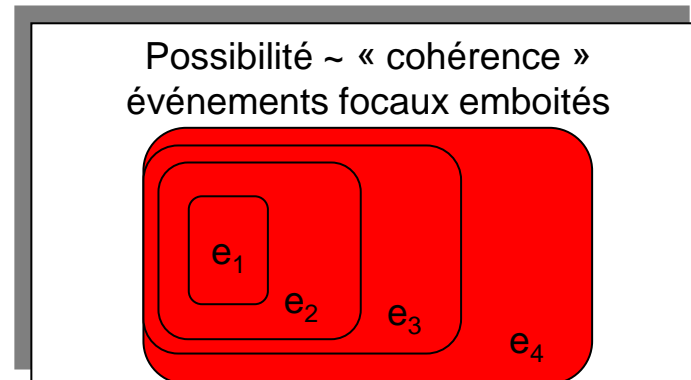
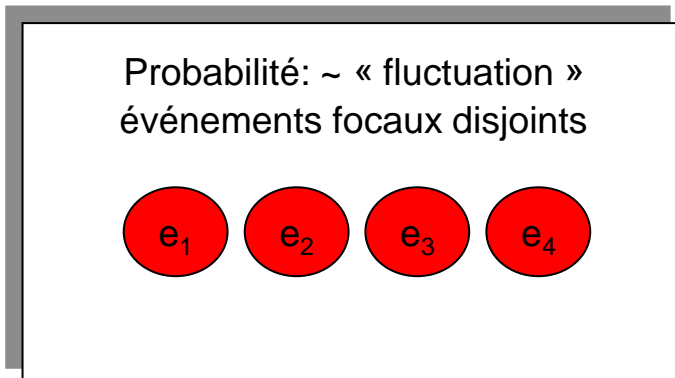
Galaxie d'Andromède :  $P(\text{non vie})$  ,  $P(\text{vie})$   
 $P(\text{non vie})$  ,  $P(\text{vie primaire})$ ,  $P(\text{vie intelligente})$  ?

## Evaluation risque leucémie du Groupe Radiologique Nord Cotentin 2002

### Représentation de l'incertitude

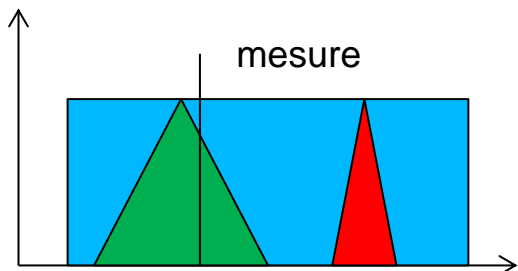


## Théorie de l'évidence : atomes de « connaissance »

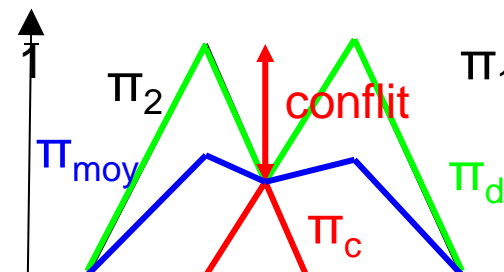


# Outils de quantification de l'incertitude (2/3)

Evaluation de trois sources : **A**, **B**, **C**

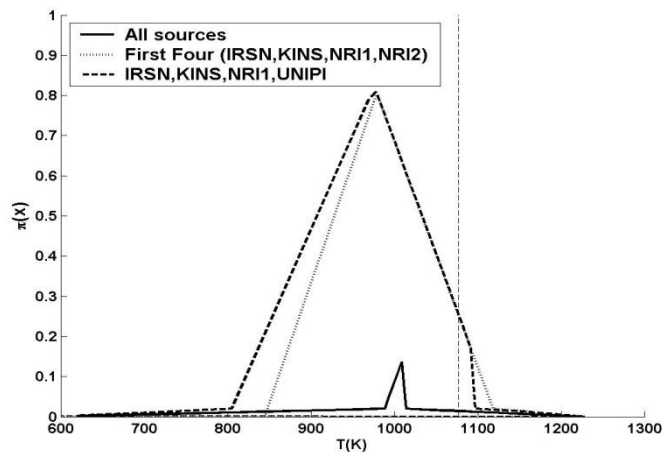
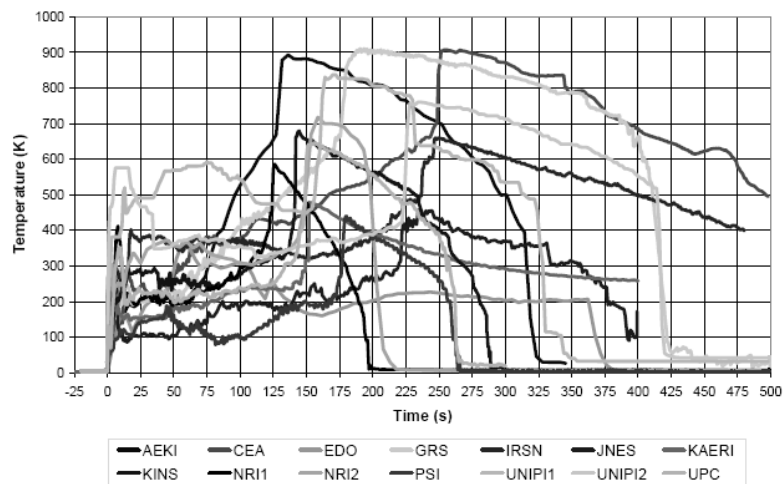


Fusion de deux sources

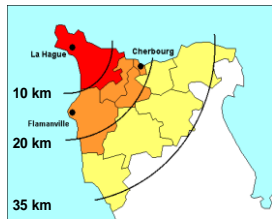


Programme OECD/CSNI BEMUSE 2002-2008 : 14 instituts

Scénario grosse brèche sur une boucle expérimentale + simulation réacteur



# Outils de quantification de l'incertitude (3/3)



## Quantification et controverse : exemple du GRNC

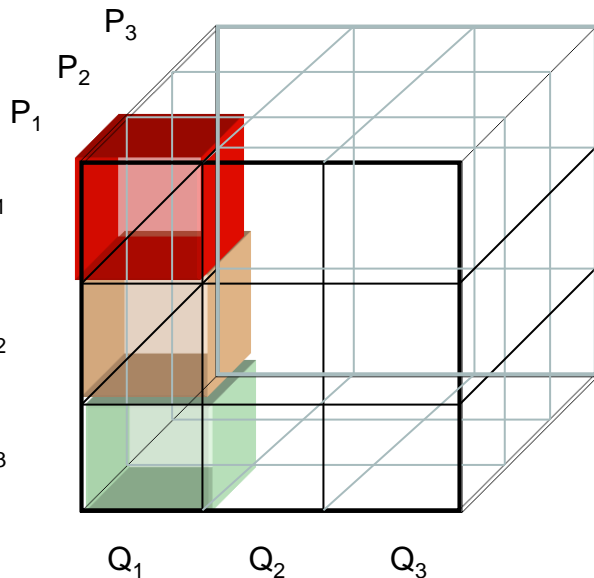
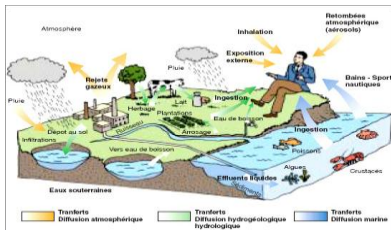
4 leucémies observées, 2 attendues

Activité nucléaire : expertise = + 0,001 cas

Oui mais incertitude :

Analyse par Monte-Carlo → [0,0012 , 0,0027]

incertitude estimée pas acceptable au vue des incertitudes individuelles



## Approche par composants élémentaires de risque

Modèle explicite de l'incertitude (intervalle ou aléatoire, dépendance stochastique ou épistémique)

Appropriation par les acteurs du chiffrage;

Consensus technique ACRO-GSIEN-AREVA-IRSN....

Une amélioration de la connaissance

Pas de conclusions définitives : « peu probable »

Au final → [0,0001 , 0,03]

## Outils de propagation (1/3)

### Les systèmes « extensionnels » : exemple des systèmes logiques

Si A alors B

avantage : **simplicité calculatoire** – recherche des règles et prémisses


inconvénient :

monde « fermé » : **il faut penser à toutes les règles,**

manque d'adaptabilité : **la règle est inviolable** et indépendante du contexte

**pouvoir descriptif limité** : le raisonnement contrefactuel

### Les systèmes « intensionnels » : exemple des réseaux causaux

P( A sachant B ) 

principe : une information locale dépend de l'information amont et aval

inconvénient : **opérabilité plus complexe**

avantage :

monde « ouvert » : **il peut y avoir des chemins inattendus,**

**l'adaptabilité** P(A sachant B ) ne dit rien sur P(A sachant B et C)

**pouvoir descriptif amélioré ,**

logique « théorique » vs logique du « réel » :

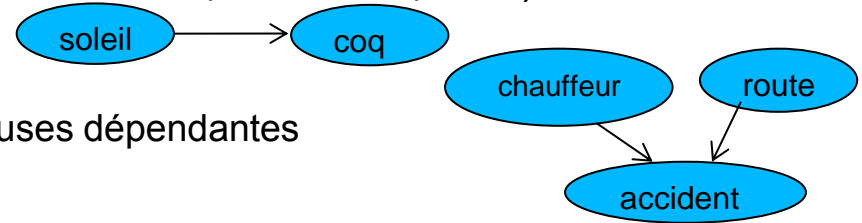
**« les droites parallèles » vs « les oiseaux volent »**

# Outils de propagation (2/3)

## Propagation

l'observation est « symétrique » cf corrélation  $P(A|B)P(B)=P(B|A)P(A)$

l'action ne l'est pas cf la causalité

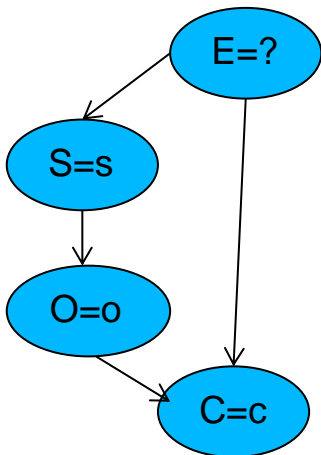


la connaissance de l'effet rend les causes dépendantes

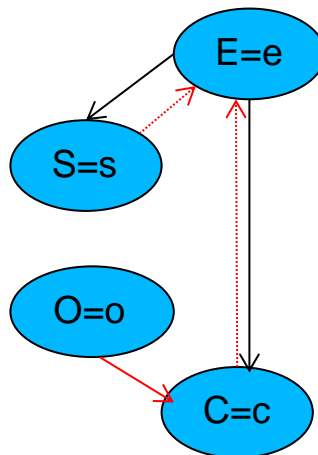
## Exemple de raisonnement contrefactuel

un système industriel dans un état  $E=e$  inconnu, émet un signal  $S=s$ , l'opérateur  $O$  fait l'action  $o$  et on observe la conséquence  $C=c$ . Que peut-on dire de  $P(\text{non } c \mid O = \text{do non } o \mid (C=c \mid O=o))$

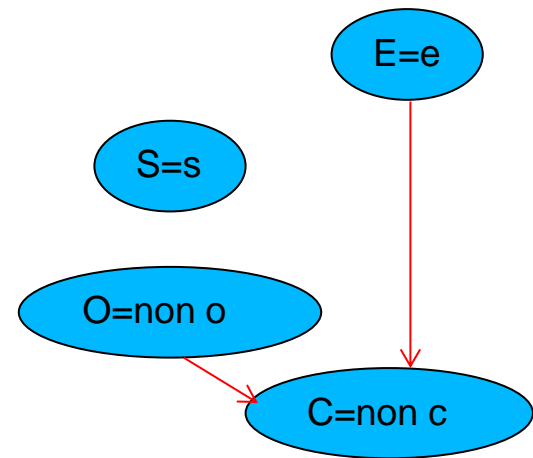
Etape 1 :  
description du système



Etape 2 :  
Inférence sur l'état  $E$  compte-tenu  
des observations



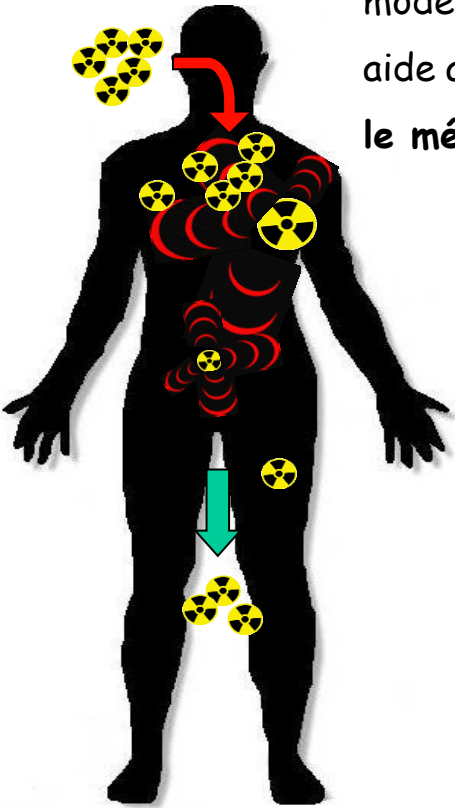
Etape 3 :  
Inférence sur la conséquence après  
modification de l'action opérateur



## Outils de propagation (3/3)

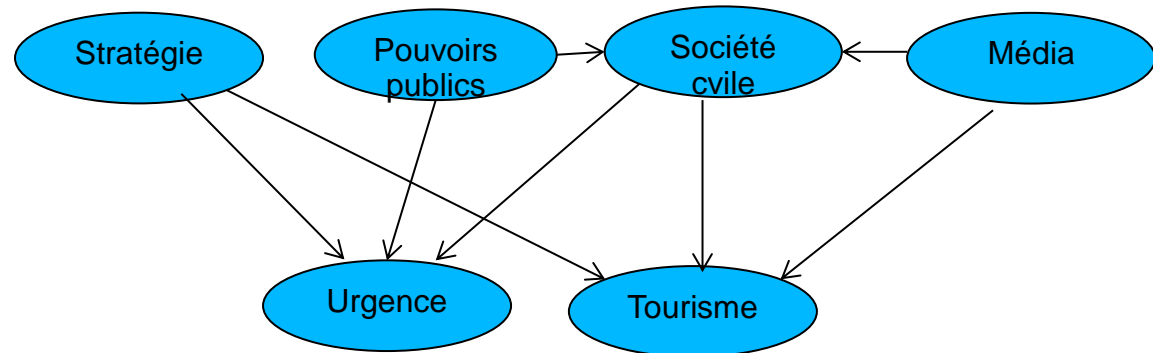
### Suivi médical de travailleurs

modélisation des inférences inter-causales,  
aide au choix des programmes de surveillance et d'intervention :  
le médecin devient acteur du choix.



Identification des mécanismes de résilience :

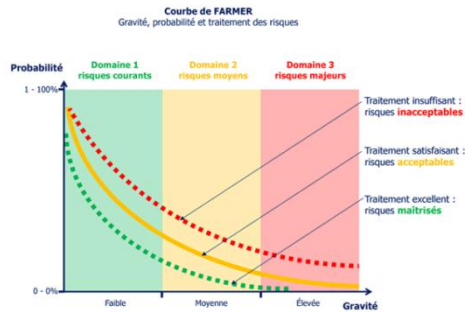
Justifier des préconisations en rendant « opérable » des raisonnements



# Outils multicritères - exemple (1/3)

**Risque** = (fréquence , gravité)

**Objectif** = attribuer un niveau de risque : faible, modéré, inacceptable.



Matrice de criticité

		1	2	3	4
F R É Q U E N C E	4	4	16	36	64
	3	3	12	27	48
	2	2	8	18	32
	1	1	4	9	16
		1	2	3	4
		GRAVITE			

**Imaginons :**

- trois situations à risque :  $R1 = (F^-, G^+)$  ,  $R2 = (F, G)$  ;  $R3 = (F^+, G^-)$
- trois acteurs : A :  $R1 > R2 > R3$  ; B :  $R2 > R3 > R1$  et C :  $R3 > R1 > R2$
- Majorité :  $R1 > R2$  car A et C le disent,  $R2 > R3$  car A et B le disent,

Donc par transitivité :  $R1 > R3$ .

Mais  $R3 > R1$  car B et C le disent et donc le système majoritaire est-il irrationnel ?

**Conclusion** : un indice unique (une couleur) ne peut rendre compte de cette complexité, il faut accepter une pluralité de la rationalité



## Outils multicritères (2/3)

**Objet multicritère : objet qui comporte plusieurs facteurs de discernement**



Définition formelle :  $O = (C1, C2, \dots)$

Objectif : décrire, classer, trier, sélectionner des objets

**Approche utilité multi-attribut : chaque attribut est ramené dans la même unité**

approche orientée attribut

$U(O) = U(C1) + U(C2) + \dots + U(\{C1, C2\}) + \dots$

difficulté pratique d'élicitation des rationalités multiples

difficulté théorique de concepts : indifférence non transitive, incomparabilité ...

**Approche « théorie sociale » : chaque attribut est ramené dans la même unité**

approche orientée objet

comparaison deux à deux des objets : Aide à la détermination de critères

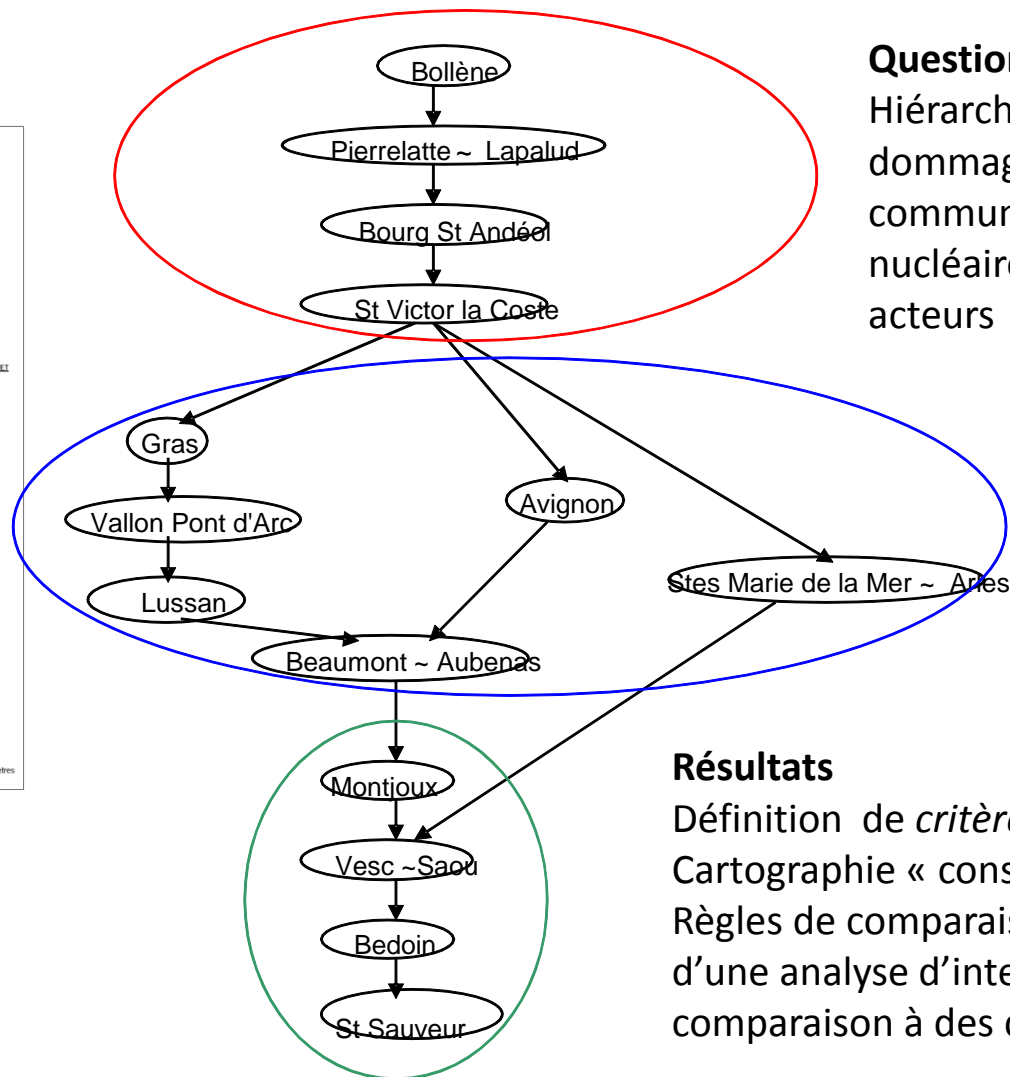
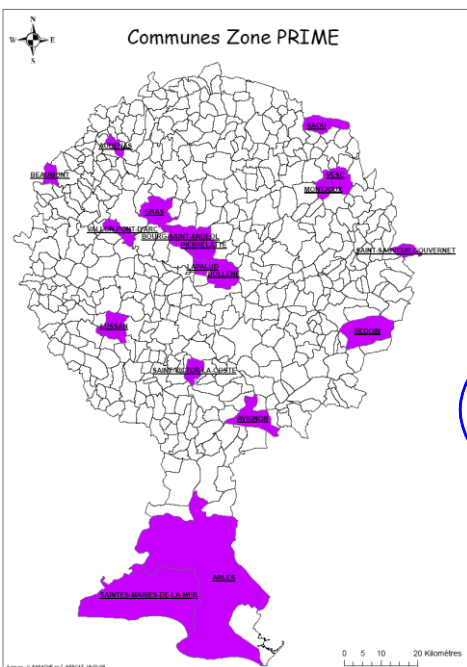
impossibilité théorique théorème d'Arrow (1951) d'un ordre optimal

un compromis à définir entre indépendance binaire et transitivité.

# Agrégations de données incommensurables (3/3)

Projet Prime 2007-2010 : Evaluation d'un préjudice

(8 parties prenantes , objet multicritère commune = Rhône, littoral, bâti, forêt, agriculture, nappes)



**Question :**

Hiérarchiser la gravité du dommage subi par une commune suite à un accident nucléaire intégrant la vision des acteurs

**Résultats**

Définition de *critères* : *ex trait de côte*  
Cartographie « consensuelle »  
Règles de comparaison déduites à partir d'une analyse d'interviews par comparaison à des cas de référence.

# Validation & contrat de connaissance

## Exemple : Limiter l' effet « utilisateur »

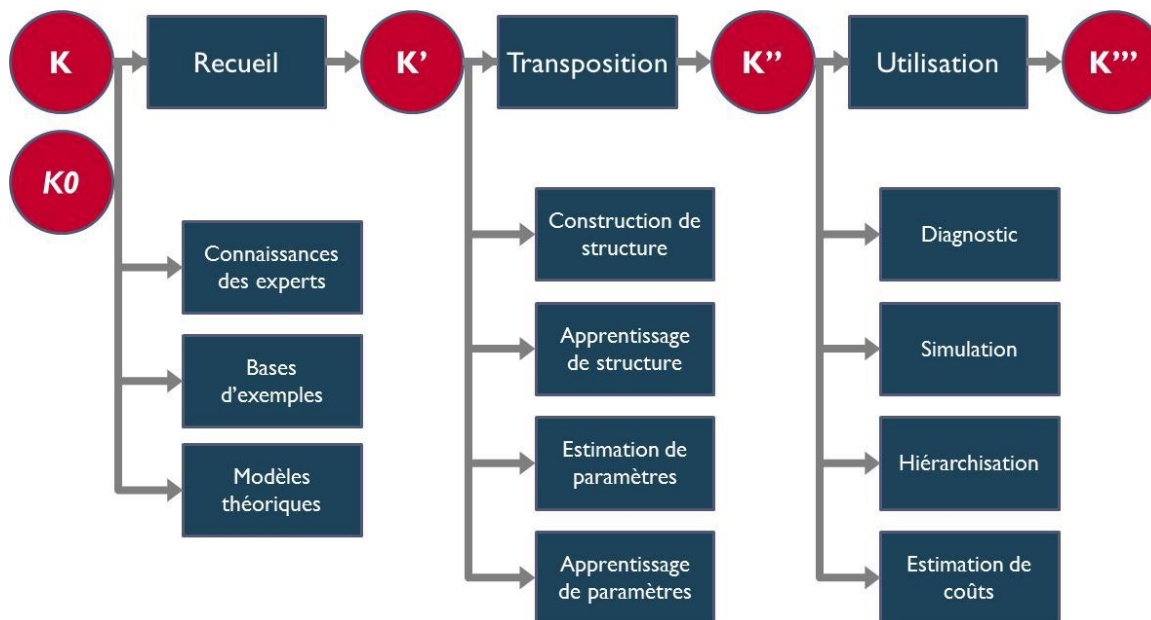
Scénario, logiciel,  
Matrice de validation...



Jeu de données,  
Simulations & ,analyses



Recommandations,  
décisions



## ■ Incertitudes vers une recherche interdisciplinaire

**Un constat : l'appropriation des incertitudes, des aspects multifactoriels, et de leur agrégation est un élément clé dans la concertation et la décision sur les systèmes socio techniques à risques.**

- L'approche mécaniste des incertitudes :

stabilité >> bruit faible : hypothèse de règles universelles et pérennes, contrôle de l'aléa ...;  
ex randomisation de Fisher

**la modélisation mathématique est un succès.**

- L'approche sociologique des incertitudes :

stabilité << bruit fort : hypothèse le processus est déterminant, l'effet système est dominant  
ex évolution du vivant : reproduction / mutation

**la modélisation mathématique est un leurre car fondée sur des réductions multiples des questions à analyser.**

## ■ Voies de recherche interdisciplinaire

On a Identifié quelques raisons des échecs de l'approche mécaniste des incertitudes  
la causalité a-t-elle un sens (une direction) :

soleil & coq, ,poule & œuf, ~ tension & intensité, banquier & parapluie (Keynes)

L'importance du processus, et des irréversibilités (singularités historiques)  
le paradoxe de Bertrand, l'expérience de Polya

La pluralité des modes de rationalité  
impossibilité de K Arrow, le paradoxe de M. Allais

et quelques outils mathématiques d'amélioration :

incertitudes « aléatoires vs épistémiques » : théorie de l'incertain – les atomes de connaissance  
incertitudes « pratiques » - systèmes experts – mécanismes de raisonnement  
incertitudes « axio-téléologiques » - analyse multicritère – pluralité des rationalités.  
validation .

**Peut-on inventer des mécanismes d'intégration des approches « mécanistes » et « sociologiques » ?**

La décision se fonde-t-elle vraiment sur une minimisation des risques ?

Quel est l'apport de la concertation dans le processus de décision ?

# Gestion des incertitudes dans les analyses multicritères

## Conclusion

### **Les incertitudes , cela complique tout !**

« La poésie, ça sert surtout à compliquer les choses, non? Mais peut être qu'en les compliquant, on les comprend mieux. Et en les comprenant, on les simplifie. au bout du compte. »

F. Vargas

### **Les incertitudes : une question à intégrer dans une démarche scientifique.**

« L'esprit scientifique nous interdit d'avoir une opinion sur des questions que nous ne comprenons pas, sur des questions que nous ne savons pas formuler clairement. Avant tout, il faut savoir poser des problèmes. Et quoi qu'on dise, dans la vie scientifique, les problèmes ne se posent pas d'eux-mêmes ».

G. Bachelard

### **Les incertitudes : l'essentiel repose sur l'identification des bonnes questions.**

« Si je disposais d'une heure pour résoudre un problème et que ma vie en dépende, je consacrerai les 55 premières minutes à définir la question appropriée à poser, car une fois cela fait, je pourrais résoudre le problème en moins de cinq minutes. »

A. Einstein