

8^{èmes} Journées
Fiabilité des
MATÉRIAUX & DES STRUCTURES
Aix-en-Provence,
9 et 10 avril 2014



ECOSYSTEMES CONTINENTaux
ECCOREV
ET RISQUES ENVIRONNEMENTaux



Classement de tours aéroréfrigérantes en fonction du risque de ruine

François Beaudouin, Christian Meuwisse
EDF R&D

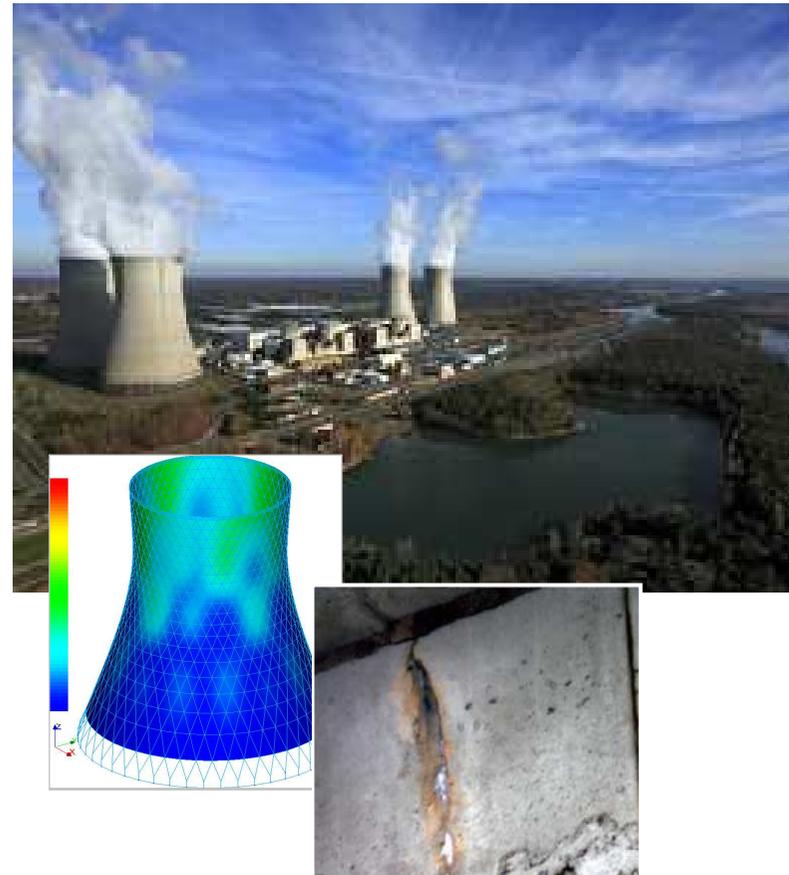


Sommaire

- Problématique décisionnelle du classement
- Fondements et description de l'approche décisionnelle
- Modélisations décisionnelles mises en œuvre et résultats obtenus
- Conclusion et perspectives

Besoin d'une approche en management des risques

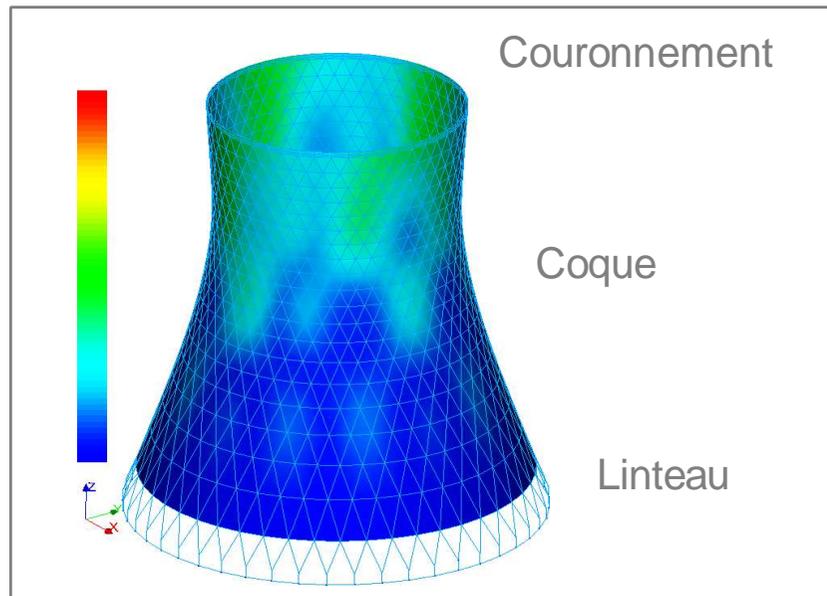
- **Préoccupation de l'exploitant nucléaire**
 - Aéroréfrigérants sièges de pathologies multiples
 - Prévenir les dégradations irréversibles
 - Nécessité d'une maintenance appropriée
- **Complexité de l'évaluation du risque et son évolution**
 - Interprétation des cartographies de risques issues du calcul mécanique
- **Difficulté à produire un classement des tours robuste et argumenté pour les instances décisionnelles**



Problème technique

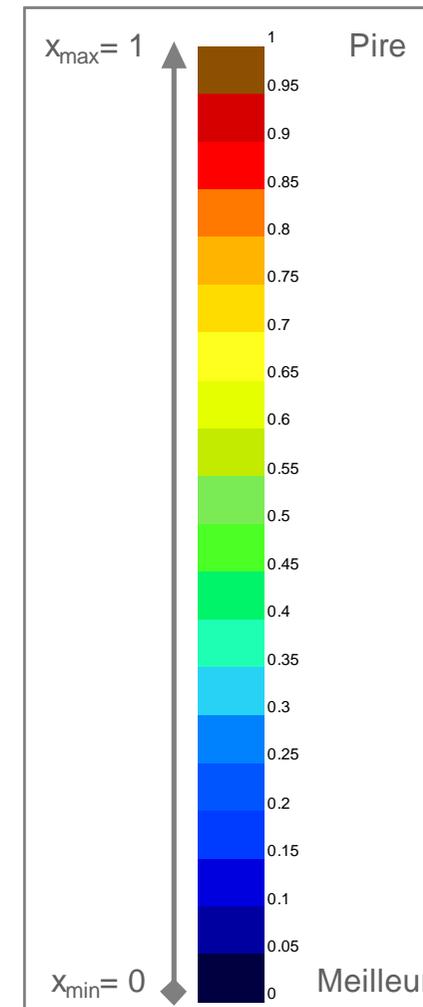
Tours soumises à divers chargements

poids propre, tassements, chargements hydriques, thermiques et éoliens.



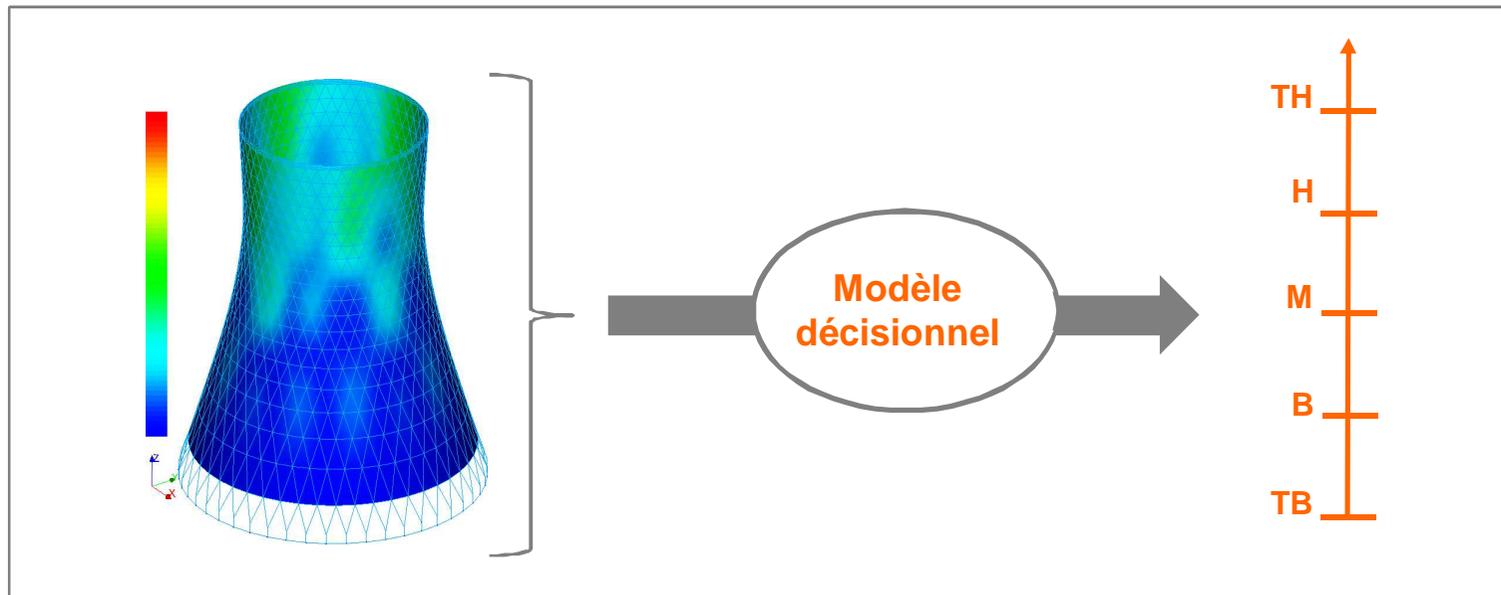
- Modélisation mécanique par éléments finis
- Un même niveau de risque X sur le couronnement ou sur le linteau a plus d'impact sur le risque global que s'il se situe sur la coque.

Au niveau d'une maille
 x : réponse mécanique "locale"



Un problème de tri multicritère

- **Selon la taxonomie des problématiques décisionnelles, un problème de tri**
 - Affecter des tours à des classes pré-ordonnées de risques
 - Risque global traduit sur une échelle en 4 niveaux



La difficulté de l'évaluation

- **Problèmes cognitifs de l'évaluation**

- Evaluation fondée sur les modèles numériques
- Sujette à de nombreux biais
 - Ambiguïté due à l'incertitude épistémique des modèles mécaniques
 - Effet de certitude (Allais)

- **Problème sous-jacent de coordination car les acteurs peuvent ne pas avoir la même représentation du risque**

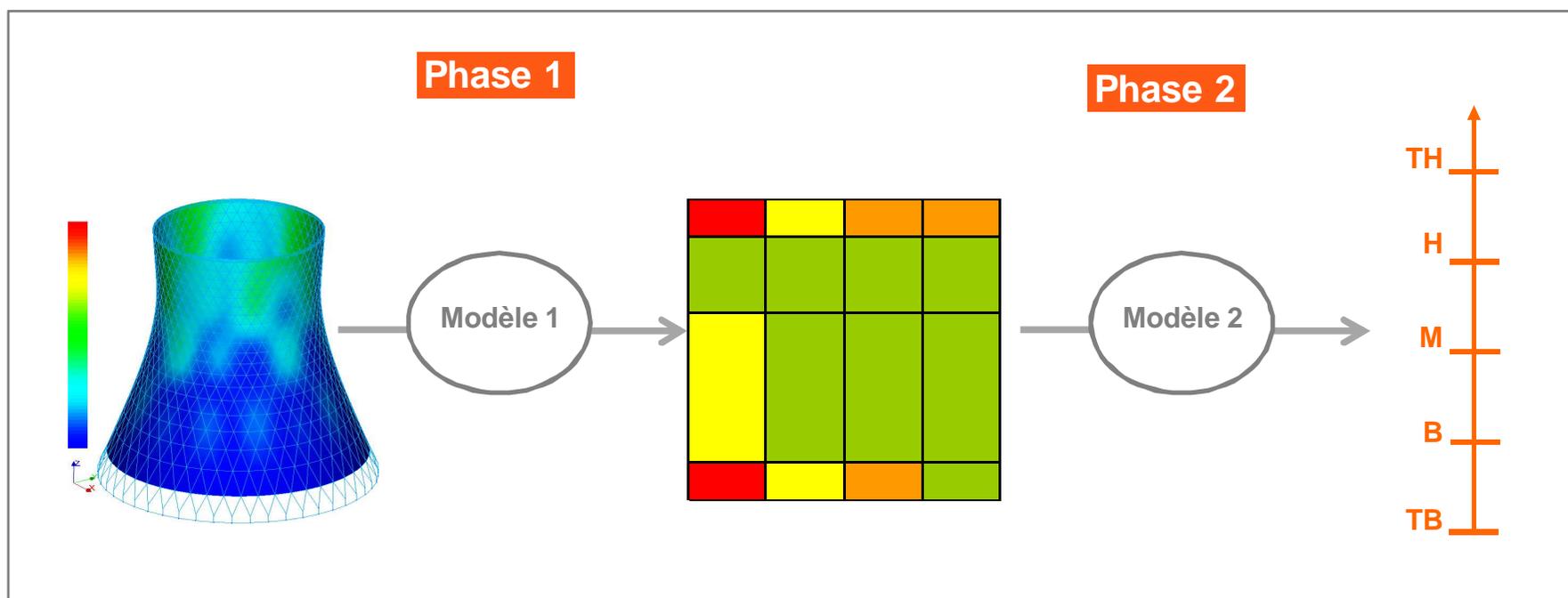
- Experts en mécanique
- Experts du terrain
- Décideurs de l'entreprise

- **Vers un cadre d'évaluation et de décision plus solide**

- Fondé sur des protocoles rigoureux d'élicitation du jugement d'expert
- Rendant la décision mieux étayée pour l'entreprise et les autorités réglementaires

Démarche globale en deux phases

- Phase 1
 - Evaluer et apprécier le risque localement au niveau d'une zone Z_k à partir d'un avis d'expert formalisé
- Phase 2
 - Evaluer et apprécier le risque global d'une tour à partir des évaluations sur toutes les zones Z_k



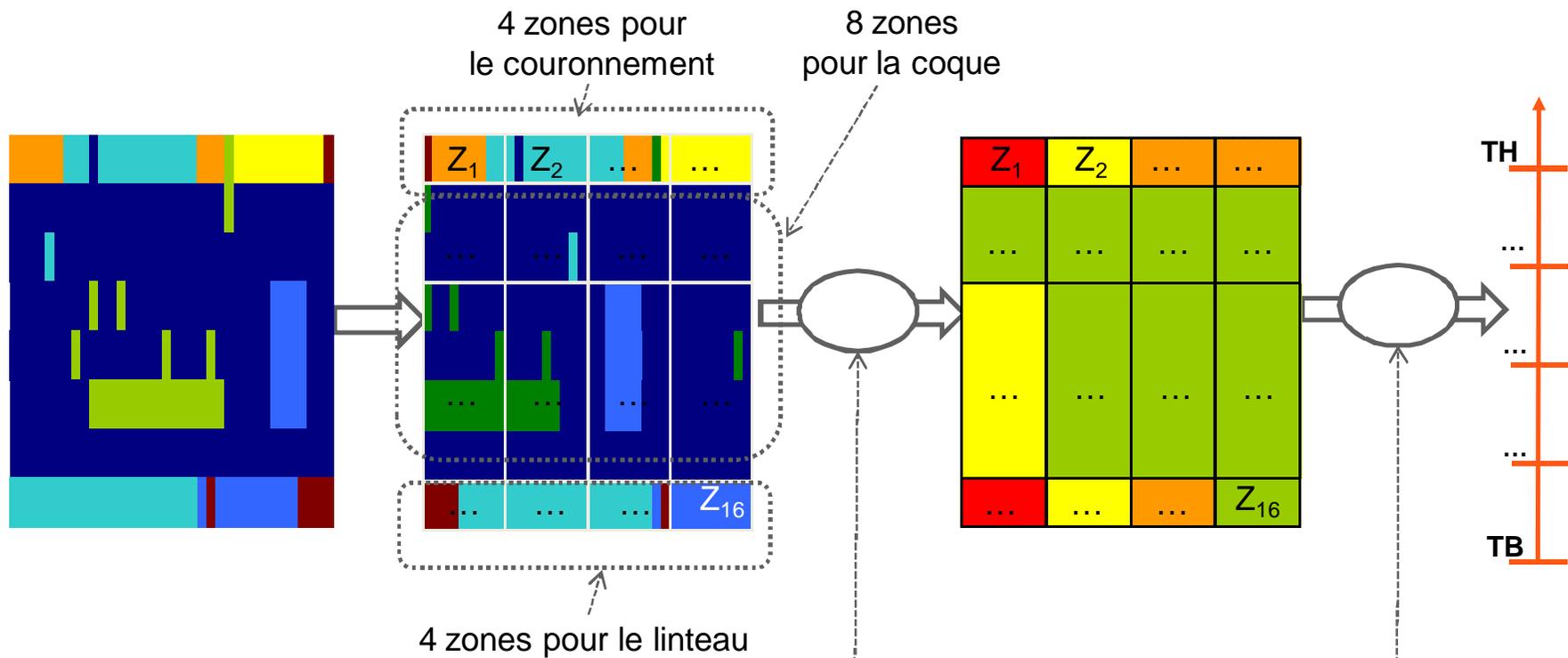
Zonage intermédiaire

Maillage de la tour $r(\theta, z)$

Décomposition en 16 zones

Carte réduite par zone

Echelle de risque global



 : modèle décisionnel formel

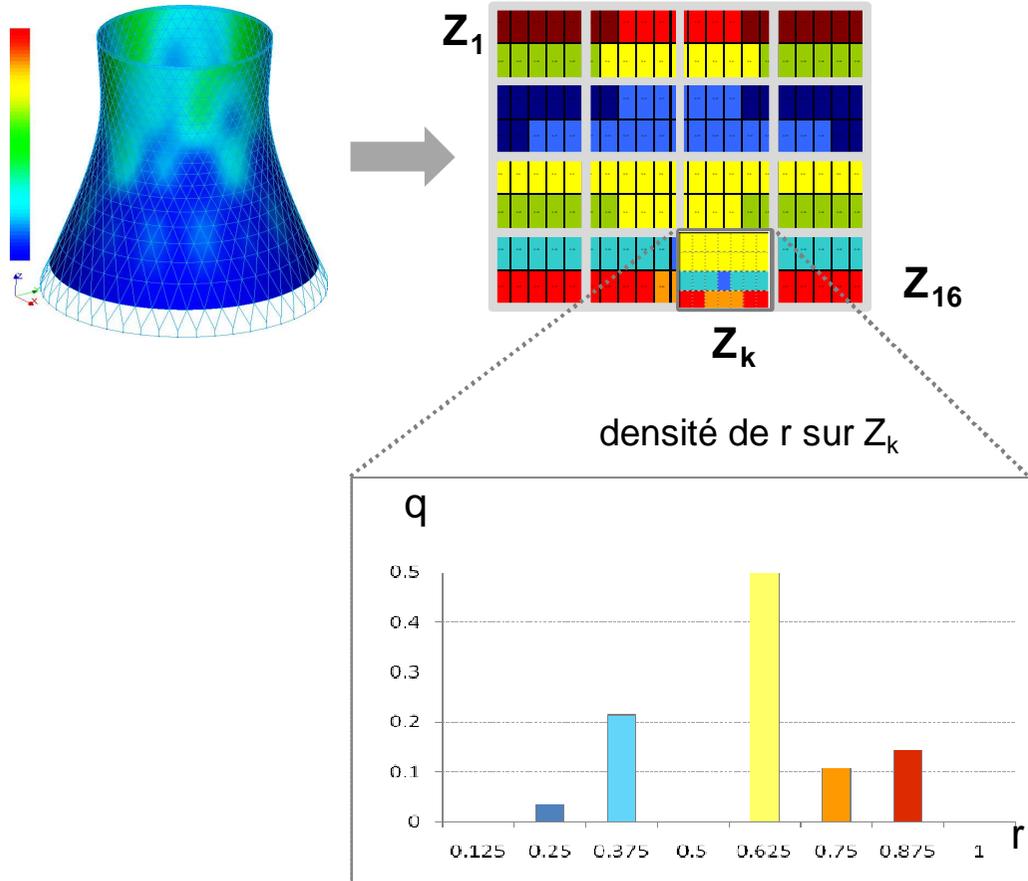
Modèle décisionnel 1

Modèle décisionnel 2



Phase 1

Tour divisée en 16 zones



$r(\theta, z)$: variable « distributionnelle » comparable à une distribution de probabilités
 $r(\theta, z) = (r_1, \dots, r_k, \dots, q_1, \dots, q_k)$

Obtenir un indicateur local d'appréciation du risque

- **Proposition : recours à la théorie moderne de la décision dans le risque**
- **Pourquoi recourir à un modèle plus large que la théorie de l'utilité espérée EU ?**
 - EU n'est pas appropriée pour traiter des risques à **faible probabilité et fort impact**
 - D'où le recours aux modèles à dépendance de rang RDU (Quiggin 1982), CPT (Kahneman & Tversky 1992)
- L'indicateur est donc évalué ainsi :



$$R(Z_i) = w(q_1) \cdot u(r_1) + \sum_{k=2}^n \left[w\left(\sum_{m=1}^{m=k} q_m\right) - w\left(\sum_{m=1}^{m=k-1} q_m\right) \right] \cdot u(r_k)$$

avec $u(r_1) \geq \dots \geq u(r_n)$, $w(0) = 0$ et $w(1) = 1$

- Remarque : RDU se confond avec EU quand la fonction de transformation est $w(q)=q$
- L'attitude de l'expert face au risque est portée par la fonction $w(\cdot)$ et par la fonction d'utilité $u(\cdot)$ dans une moindre mesure

Jugements d'experts observés

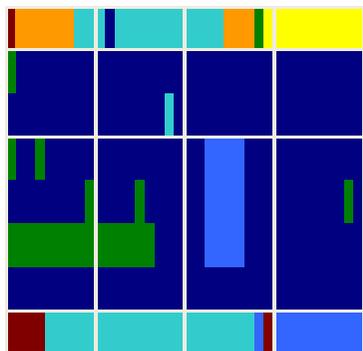
- **Elicitation des fonctions $w(\cdot)$ et $u(\cdot)$ portant le jugement de l'expert**
 - Les dires d'experts exprimés et quantifiés directement sont **sujets à de nombreux biais et donc peu fiables**
 - Donc recours ici à des protocoles d'élicitations rigoureux issus de l'économie expérimentale

 - **Éléments observés à partir de l'élicitation du jugement réalisée auprès des experts**
 - Les experts (rationnels) ne raisonnent pas en suivant une règle d'espérance mathématique (Paradoxe d'Allais)
 - Plus précisément, les experts tendent à traiter la densité de $r(\theta, z)$ de manière non linéaire dans leurs évaluations

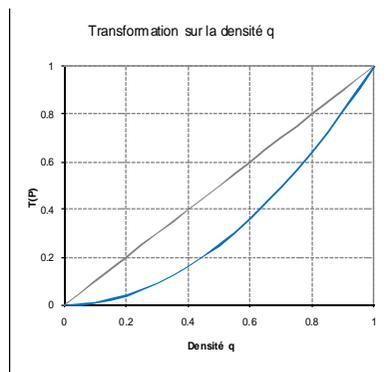
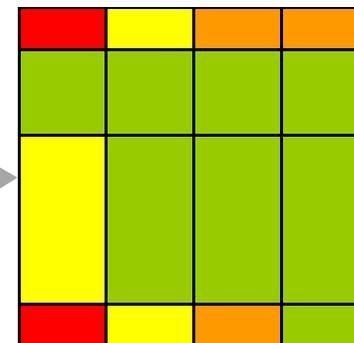
 - **Éléments d'interprétations de l'attitude des experts face au risque**
 - Convexité de la fonction $w(\cdot)$: signe de pessimisme ou encore forme d'aversion à l'incertitude inhérente au modèle numérique
 - Aversion amplifiée par la concavité de $u(\cdot)$
 - D'une certaine manière, $w(\cdot)$ reflète la **confiance que l'expert accorde aux données**
- Permet alors de calculer une « marge supplémentaire » par précaution



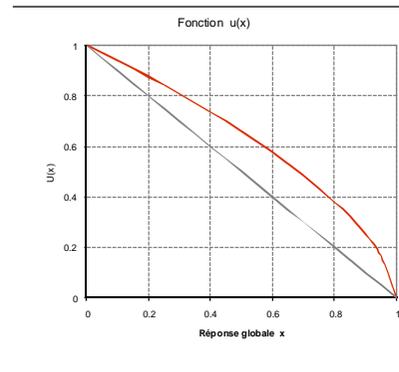
Phase 1: mise en œuvre du premier modèle décisionnel



Modèle 1



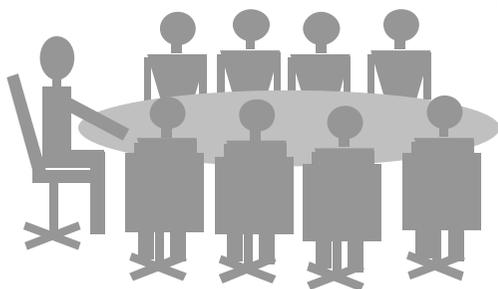
Fonction de transformation $w(.)$ convexe



Fonction d'utilité $u(.)$ concave

Aversion forte au risque

Fonctions $w(.)$ et $u(.)$ obtenues par itération avec les experts et ajustées ici paramétriquement



Pourquoi un second modèle ?

- **Modèle RDU (modèle 1) mis en œuvre au niveau d'une zone Z_k**
 - Or les zones ne contribuent pas de la même manière au risque global selon leur position sur le linteau, le couronnement ou la coque
- **Raisonnement de l'expert fondé sur des principes décisionnels non compensatoires lorsque celui-ci évalue la contribution du risque local d'une Z_k au risque global de la tour**
 - Par exemple : effet de veto
 - Une zone Z_k cotée à un niveau élevé de risque suffit à considérer que le risque global est lui-même très élevé
- **Proposition : second modèle fondé sur les système à base de règles**
 - Paradigme bien adapté pour rendre compte de la complexité du jugement d'experts

Phase 2 : système à base de règles

- **De plus en plus de travaux**

- Voir par exemple (Azibi et al 2003), (Chen et al 2011), (Beaudouin et al. 2009)

- **Syntaxe intuitive et proche du langage naturel**

*SI [conditions sur les critères] ... **ALORS** [affectation à une classe]*

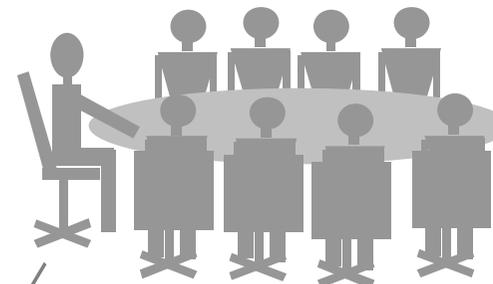
- **Intérêt des systèmes décisionnels à base de règles**

- **Important pouvoir descriptif** des règles flexibles (Slowinsky et al. 2002)
- Plus flexible que la théorie multi-attribut ou du surclassement

- **Prix à payer : nécessité d'une validation formelle pour garantir certaines règles essentielles du choix rationnel**

- Complétude, monotonie, exclusivité

Base de règles obtenue



Règles	Zones risquées Niveau TH		Zones plutôt risquées Niveau H		Zones plutôt saines Niveau B		Zones saines Niveau TB		Niveau global de risque
	Linéau couronnement	Coque	Linéau couronnement	Coque	Linéau couronnement	Coque	Linéau couronnement	Coque	
R1 :
...									
Rk :	0	0	0	$1 \leq s'' \leq 5$	$6 \leq t'$				MH
...							
R17 :

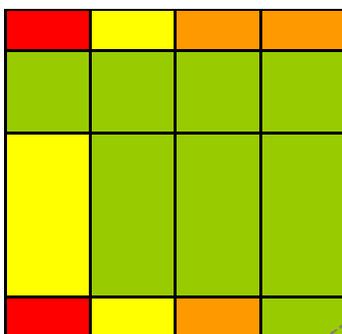
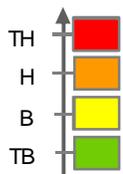
Construction d'une base de 17 règles disjonctives

Les arbitrages opérés par les experts ne sont pas les mêmes, selon qu'ils portent sur :

- la partie {linéau, couronnement}
- la partie {coque}

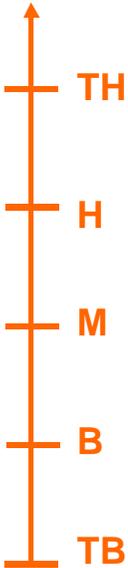
Phase 2 : affecter les tours à des classes prédéfinies

Risque par zone



Modèle à base de règles

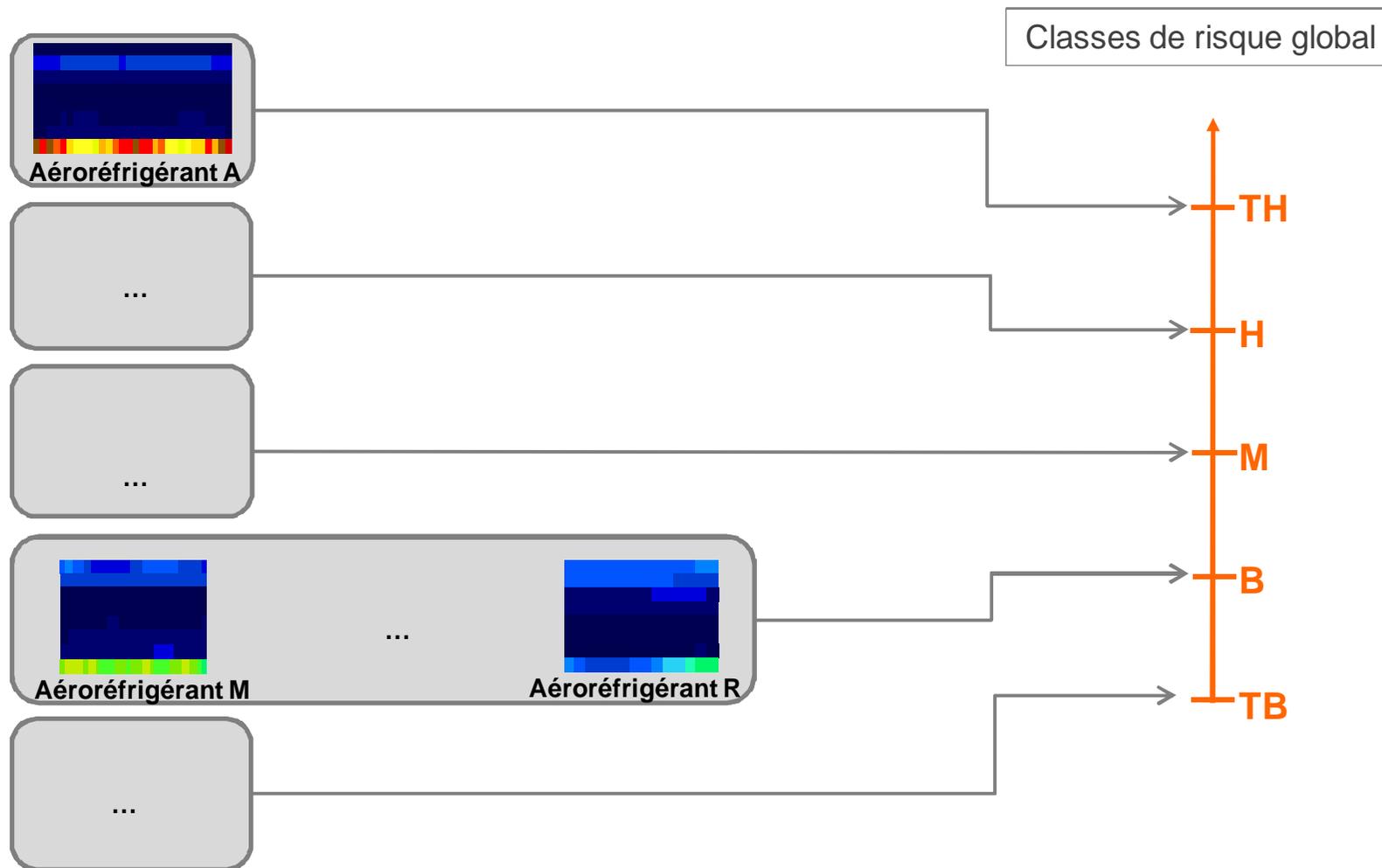
Classes de risque global



Règle 1: Si $\bigwedge_{i=1}^{n^1} [\text{Pred}_i^1(\Delta_i^1, n_i^1, A_i^1, G_i^1)]$ alors Risque global \mapsto Catégorie C_1
 ...
 Règle m: Si $\bigwedge_{i=1}^{n^m} [\text{Pred}_i^m(\Delta_i^m, n_i^m, A_i^m, G_i^m)]$ alors Risque global \mapsto Catégorie C_m

La base est construite de manière itérative avec les experts

Exemple de résultats – Affectation des tours à une classe de risque global

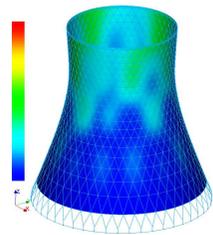


Conclusion et perspectives

- En recourant à des modélisations fondées sur des bases théoriques solides, le système de décision garantit la cohérence entre :
 - L'information disponible
 - Le jugement et les arbitrages
 - Modèle permettant, d'une certaine manière, **d'intégrer la confiance que l'expert accorde aux données**
- Modèles 1 et 2 articulés de façon à éviter l'effet « **boîte noire** »
 - Modèles « auditables » : gage d'acceptation
 - Accueil très favorable de l'approche par les praticiens du domaine
- Approche décisionnelle enrichie ultérieurement par des modèles complémentaires prenant en compte les données d'observations
 - Enjeu fondamental : croisement des données de simulation et d'observations

Perspectives : modélisation décisionnelle intégrant les données d'observations

Modèle mécanique



Données d'observations

Modèle d'aide à la décision

Quel est le risque global de ruine ?

