

8<sup>èmes</sup> Journées

Fiabilité des  
MATÉRIAUX & DES STRUCTURES

Aix-en-Provence,  
9 et 10 avril 2014



ECOSYSTEMES CONTINENTAUX  
**ECCOREV**  
ET RISQUES ENVIRONNEMENTAUX



# Le retour d'expérience des études de dangers de barrages en France



Simon DIEUDONNÉ

Laurent PEYRAS

Paul ROYET

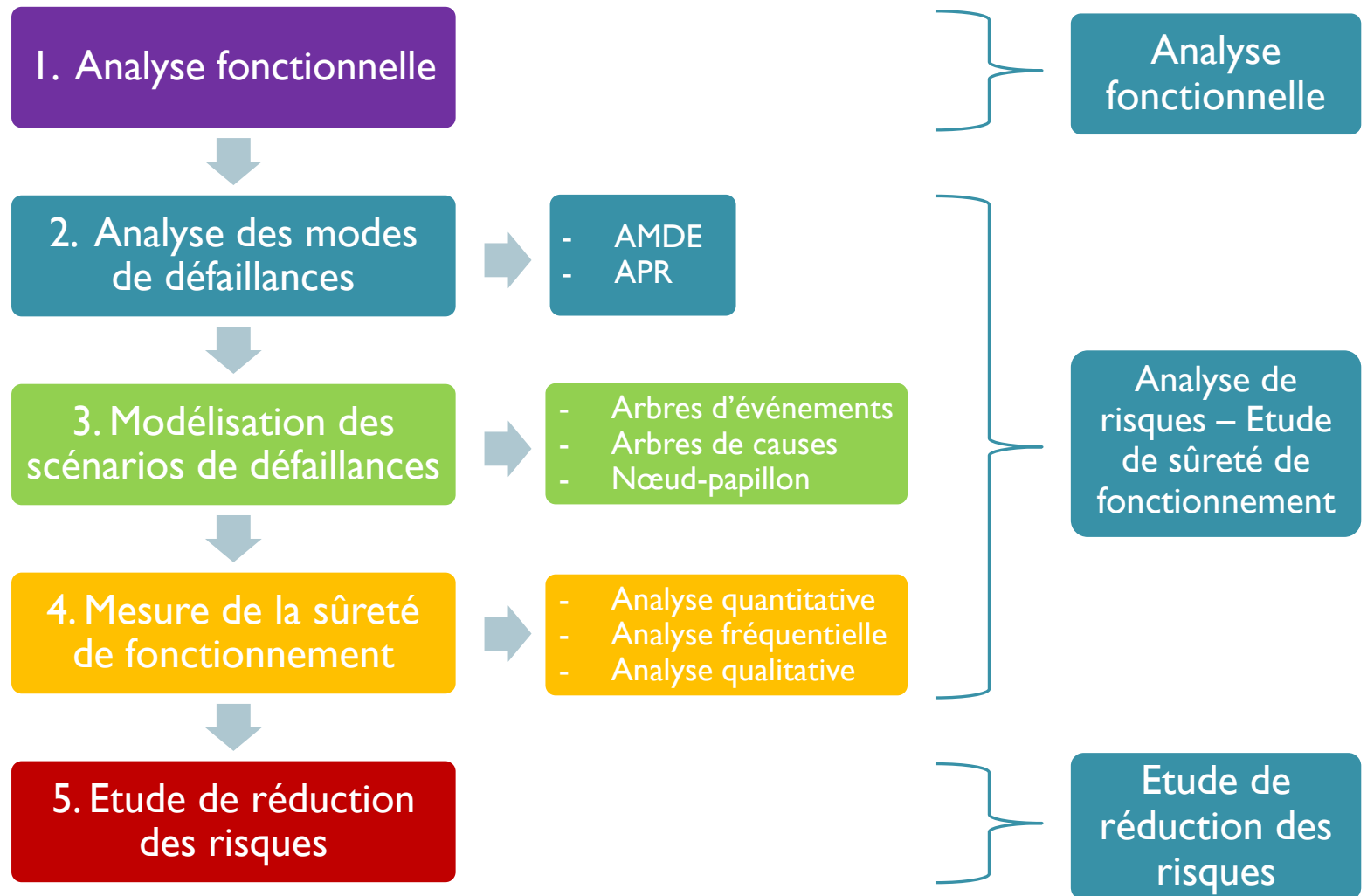
# Contexte des études de dangers de barrages

- Les barrages
  - Ouvrages de génie civil constituant des **retenues d'eau importantes**
  - Danger caractérisé par un **lâcher d'eau en aval**



- Les études de dangers
  - Evaluer la **fiabilité des barrages** vis-à-vis des différents mécanismes et exposer les **risques pour la sécurité publique**
  - Evaluer **l'occurrence de la probabilité des scénarios accidentels**

# Méthodes de sûreté de fonctionnement



# Objectifs de la communication

- Retour d'expérience sur le plan de la modélisation et de l'évaluation de la sûreté de fonctionnement

Diversité des  
pratiques  
employées

Evaluation des  
avantages et  
inconvénients

Les éventuelles  
difficultés dans  
leur application

- Un échantillon de **15 études de dangers** et **7 BET**

Barrages en  
remblai (terre,  
enrochements)

Barrages poids  
(BCR,  
maçonnerie)

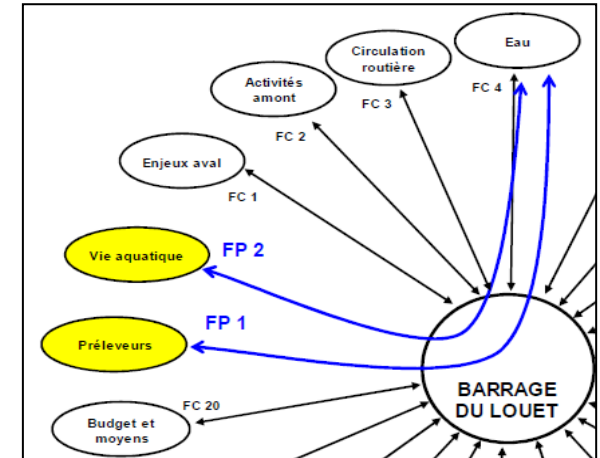
Barrages  
voûtes

Barrages à  
contreforts

# Etape I : Analyse fonctionnelle du barrage

## Analyse fonctionnelle externe

- 4/15 des études analysées :
  - **blocs diagrammes fonctionnels** → mise en interaction du **système barrage** avec son environnement ;
  - identification des **fonctions principales** de l'ouvrage.



## Analyse fonctionnelle interne

- 9/15 des études analysées :
  - **analyse structurale développée** ;
  - identification des **fonctions de conception** des composants l'ouvrage ;
- 5/15 des études analysées :
  - **analyse structurale incomplète** qui n'analyse pas l'ensemble de la granularité de l'ouvrage → **omission de fonctions**.

Ensemble	Composant	Fonctions de conception
Fondation	Fondation aval	Résister au poids de l'ouvrage aval et à la poussée de l'eau
	Fondation amont	Résister au poids de l'ouvrage
	Clé d'étanchéité et paroi moulée	Limiter les infiltrations d'eau en fondation
	Puits de décompression	Drainer la fondation aval

# Etape 2 : Analyse des modes de défaillances (1/2)

Analyse  
Préliminaire  
des Risques  
(10/15 des  
études de  
dangers)

- 6/10 des APR analysées :
  - **nb de modes de défaillances < nb de fonctions**
  - repose essentiellement sur une **connaissance experte** de l'ouvrage et peut se suffire d'une **analyse fonctionnelle sommaire**  
→ **méthode non exhaustive.**

Élément de l'ouvrage	Condition d'exploitation	Mode de défaillance	Conséquence	Cinétique post-accident	Gravité
Barrage, appuis et fondations	Toutes	Rupture du barrage	Onde de submersion ; Baisse soudaine du niveau de la retenue	Rapide	Grave

**Rappel :** une **APR** identifie les composants dangereux des barrages en examinant comment ils pourraient mener à une défaillance plus ou moins grave et en identifiant les événements conduisant à la situation dangereuse. L'effet et la gravité de l'accident potentiel sont évalués et une ou plusieurs mesures préventives sont indiquées.

# Etape 2 : Analyse des modes de défaillances (2/2)

Analyse des Modes de Défaillances et des Effets  
(5/15 des études de dangers)

- **méthode exhaustive** adaptée aux études présentant une **analyse fonctionnelle de qualité**.

Composant	Fonctions	Causes possibles de défaillance	Effets possibles	Indicateurs	Moyens de détection
Remblai amont	Assurer l'étanchéité du barrage	Réalisation	Rupture par effet renard dans le talus aval	Augmentation du débit de fuite	Observation visuelle
		Écoulement possible par mauvaise mise en œuvre		Turbidité de l'eau	Mesures de débits de fuite, de piézométrie, de cellules de pression
		Évolution des matériaux			
	Participer à la stabilité interne de l'ouvrage	Évolution des caractéristiques mécaniques du remblai (pression interstitielle)	Rupture par ouverture d'une brèche	Tassements	Observation visuelle
			Mouvement de remblai	Fissures	Mesures topographiques

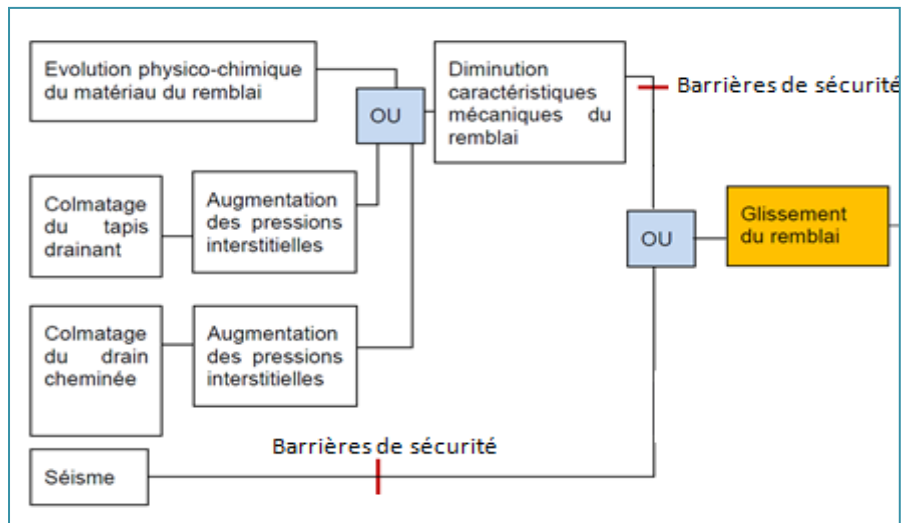
**Rappel :** une **AMDE** présente pour l'ensemble des couples {composant ; fonction} une identification des modes de défaillances de la fonction considérée et une caractérisation des causes de ces modes de défaillances et de leurs effets sur les composants du barrage.



# Etape 3 : Modélisation des scénarios de défaillances (1/2)

## Méthode du nœud-papillon (12/15 études de dangers)

- en réalité, la méthode appliquée s'apparente plus à celle des **arbres de causes** ;
- repose essentiellement sur une **connaissance experte de l'ouvrage** et peut se suffire d'une **APR sommaire** → **méthode non exhaustive.**



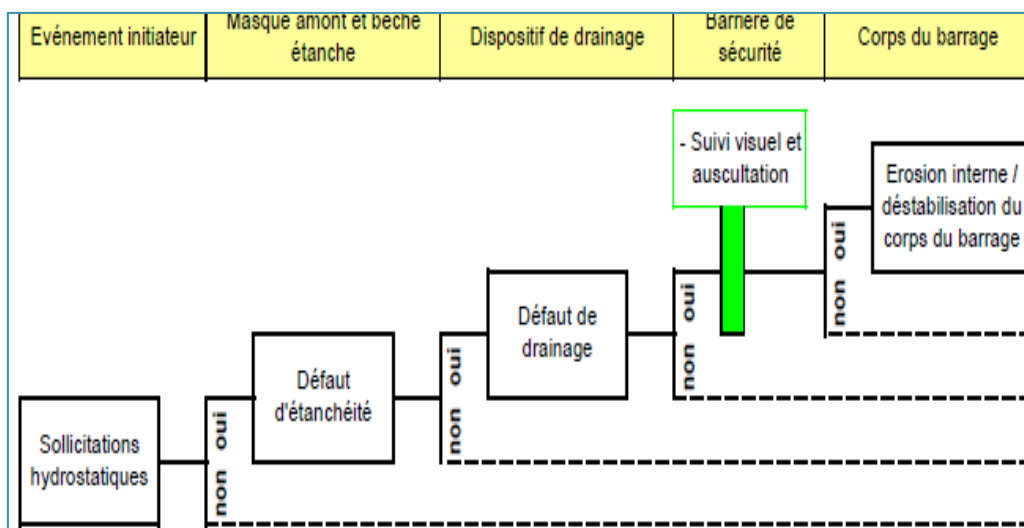
**Rappel :** la **méthode du nœud-papillon** expose les scénarios d'accidents en partant des causes initiales de l'accident jusqu'aux conséquences. Elle combine un arbre de causes, qui décrit les scénarios conduisant à un ERC, et un arbre d'événements qui expose l'enchaînement des conséquences découlant de cet ERC.



# Etape 3 : Modélisation des scénarios de défaillances (2/2)

## Méthode des arbres d'événements (1/15 étude de dangers)

- **méthode exhaustive** adaptée aux **AMDE de qualité** ;
- permet le calcul des probabilités de manière **semi-quantitative ou quantitative**.



**Rappel :** la **méthode des arbres d'événements** décrit les scénarios de fonctionnement du barrage à partir d'un événement initiateur. La dérive du système est déterminée en envisageant systématiquement le fonctionnement ou non des barrières de sécurité.

# Etape 4 : Mesure de la sûreté de fonctionnement

## Probabilités d'occurrence

- Approche semi-quantitative (9/15 des études analysées) :
  - **cotation des événements élémentaires** par classes de probabilités ;
  - calcul de l'occurrence des scénarios par **combinaisons de probabilités** ;
- Approche qualitative (6/15 des études analysées) :
  - **évaluation globale** des scénarios à dire d'expert.

## Gravité des conséquences (en nombre de personnes exposées)

- 13/15 des études analysées :
  - estimation par **superposition cartographie onde de rupture/carte occupation des sols** ;
- 2/15 des études analysées :
  - **échelle de gravité** construite relativement à des **crues équivalentes** sans prendre en compte les enjeux menacés.

# Etape 5 : Analyse et étude de réduction des risques

Analyse de risques  
(toutes les études de dangers)

- **acceptabilité du risque** des scénarios prononcée sur une **matrice de criticité** (probabilité d'occurrence VS gravité des conséquences) ;
- très peu d'études de dangers procèdent à une **évaluation mathématique du risque**.

Occurrence (%)		10 <sup>-5</sup>	10 <sup>-4</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-2</sup>	
		E	D	C	B	A
5	désastreux	ERC 1				
4	catastrophique					
3	important					
2	sérieux			ERC 2 à 5		
1	modéré					

Etude de réduction des risques  
(toutes les études de dangers)

- **mesures de réduction** des risques présentées par catégories d'actions et avec **leur efficacité espérée**.

# Conclusions et perspectives

- Pratique actuelle repose sur une **modélisation simple**



- L'expression du besoin de recherche tend vers des **analyses de plus en plus quantitatives**



- Qui permettrait d'envisager des **couplages de sûreté de fonctionnement-fiabilité** :
  - incluant des **modélisations probabilistes des données d'entrées** ;
  - prenant en compte le **caractère aléatoire** des sollicitations et **l'incertitude** des propriétés des résistances ;
  - proposant des modèles spécialisés pour le **traitement expertise**.