

## Présentation du rapport « Analyse de risques et évaluation de la sûreté des barrages en France »

Michel POUPART (expert indépendant) et Laurent PEYRAS (INRAE)

GT CFBR « **Analyse de risques et sûreté des barrages** »

Thomas ADELIN	Consultant pour ISL
Thibault BALOUIN	INERIS
Catherine CASTEIGTS	SCP
Benjamin DELARUELLE	ARTELIA
Thierry GUILLOTEAU	EDF
Frédéric LAUGIER	EDF
Jean-Charles PALACIOS	SAFEGE
Gladys PAVADAY	CNR
Guirec PREVOT	PoNSOH
Agnes VALLEE	INERIS
Eric VUILLERMET	BRLi

# Présentation du rapport « Analyse de risques et évaluation de la sûreté des barrages en France »

- **Genèse du GT CFBR « Analyse de risques et sûreté des barrages » au colloque CFBR 2016**
  - la France dispose d'une très riche expérience en analyse de risques des barrages du fait de la réglementation 2007 EDD
  - Depuis l'origine de la réglementation sur les EDD, ~ 600 études de dangers ont été réalisées en France (200 barrages de classe A et 400 de classe B) : déploiement à telle échelle unique dans le monde
  - La pratique française en AR est en pointe par rapport à la pratique internationale
  - Mais ce savoir-faire n'est pas bien connu à l'international : à titre de comparaison les pays anglo-saxons, nord-européens publient largement leurs pratiques

# Présentation du rapport « Analyse de risques et évaluation de la sûreté des barrages en France »

- GT créé mi 2017 par le CFBR avec deux objectifs :
  - ✓ *établir un document CFBR bilingue faisant état de la pratique française en matière d'analyse de risques et d'évaluation de la sûreté des barrages*
    - *Des illustrations avec des cas réels d'études*
    - *Pas de développements théoriques des méthodes*
  - ✓ *Assurer le rôle de groupe « miroir » du comité CIGB sur la sécurité des barrages*

# Présentation du rapport « Analyse de risques et évaluation de la sûreté des barrages en France »

*Organisation du rapport (111 pages avec glossaire et bibliographie)*

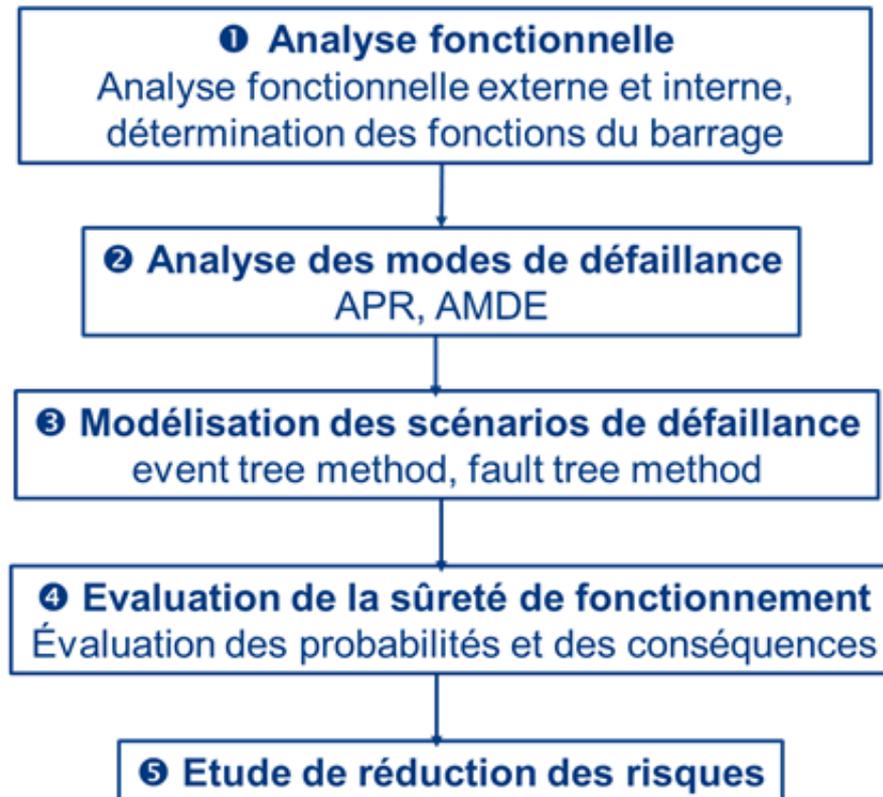
1. Démarche d'AR des barrages en France
2. Les données d'entrée de l'AR
3. Analyse fonctionnelle
4. Analyse des modes de défaillance et identification des évènements redoutés
5. Représentation des séquences accidentelles par l'emploi de méthodes arborescentes
6. Evaluation de la sûreté
7. Evaluation de la gravité des scénarios
8. Evaluation de la criticité des accidents, l'affichage des risques et mesures des réductions des risques
9. Synthèse : l'apport de l'AR des barrages en France pour leur sûreté

# Démarche d'analyse de risques des barrages en France

- Historique de l'évolution des pratiques de l'évaluation et de maîtrise des risques industriels et sur les barrages en France
- Rappel du cadre général du processus de gestion des risques des barrages : le bulletin 130 de la CIGB, le cadre normatif norme ISO/CEI 31010:2009 « Gestion des risques - Techniques d'évaluation des risques »
- Le cadre des études de dangers de barrages en France
- La démarche et les étapes de l'analyse de risques des barrages en France

# Démarche d'analyse de risques des barrages en France

- La démarche et les étapes de l'analyse de risques des barrages en France

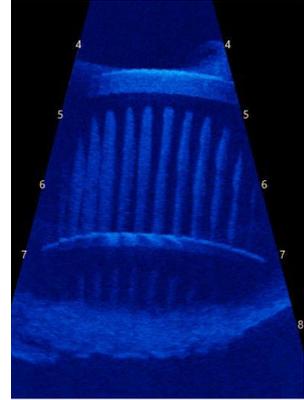


# Démarche d'analyse de risques des barrages en France

- **Positionnement des pratiques françaises des études de dangers vis-à-vis des pratiques internationales de l'analyse de risques des barrages**
  - FMEA (AMDE) et Event Tree Analysis (méthode des arbres d'événement) privilégiés
  - Analyse quantitative des probabilités : modèles probabilistes, graphes type F-N
  - Pas de généralisation de l'AR dans les réglementations et à l'échelle d'un parc national

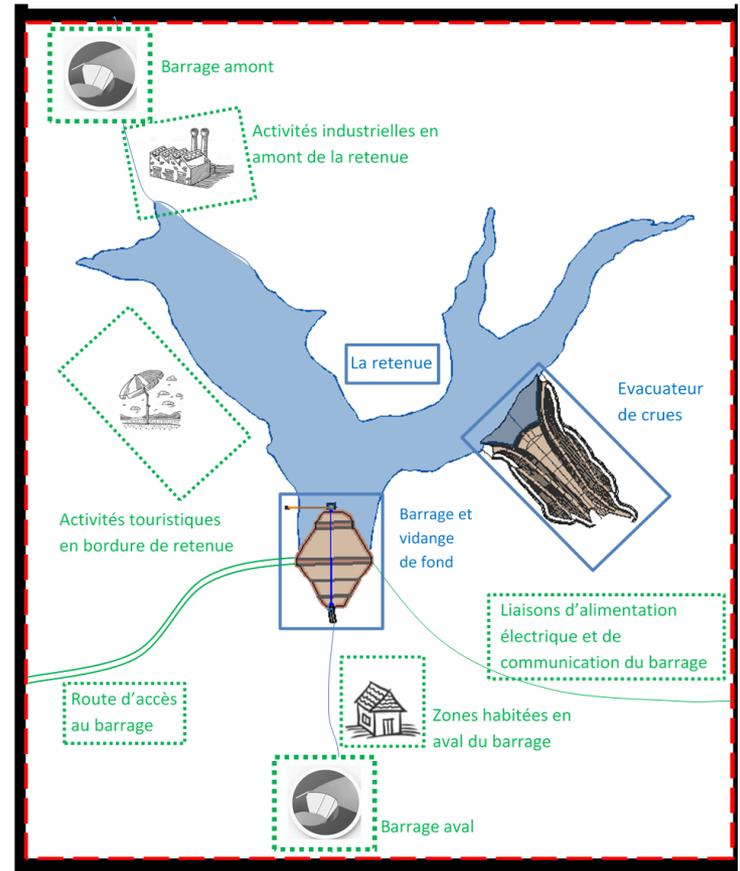
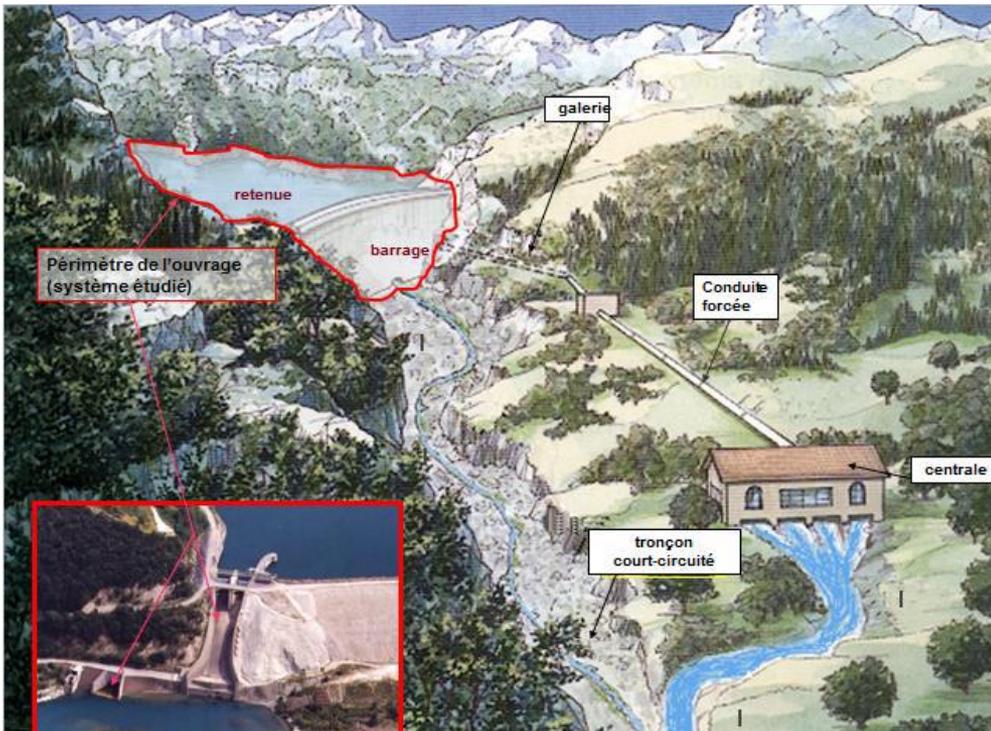
# Les données d'entrée de l'analyse de risques

- **Collecte des données d'entrée**
  - Données de référence descriptives des ouvrages et matériels
  - Données d'exploitation, de surveillance et de maintenance
  - Documents d'organisation et procédures d'exploitation
- ➔ Etablissement de la liste type des données nécessaires à AR
- ➔ Eléments primordiaux de la collecte : complétude et qualité des données qui conditionnent l'AR ; tâche onéreuse ; analyse critique des données
- **Identification et caractérisation des aléas naturels**
- **Examens et diagnostics pour l'évaluation de sûreté**
  - Les inspections spécifiques
  - Diagnostic de l'état, de la conception et du comportement du barrage y compris matériels hydromécaniques et systèmes de contrôle et commande des organes de sécurité



# L'analyse fonctionnelle

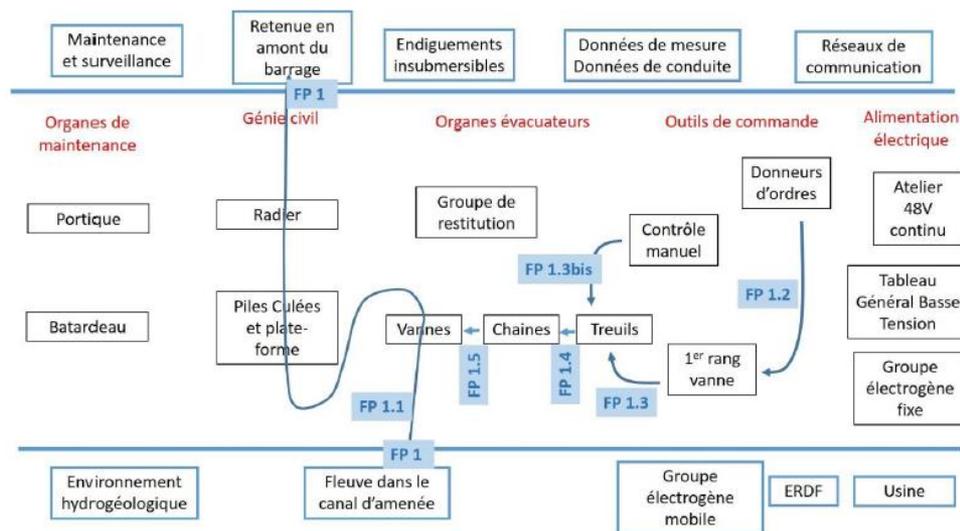
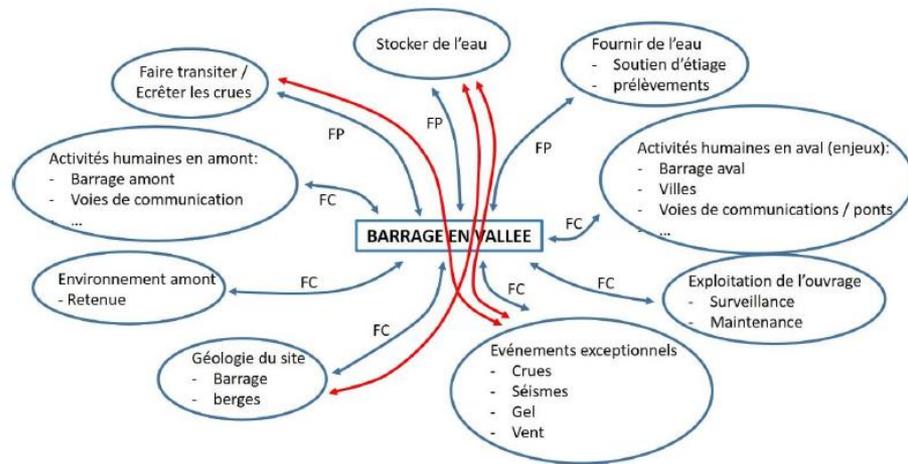
- Description du système étudié et de son environnement
  - Périmètre d'étude et zone d'étude



- L'analyse fonctionnelle interne
- L'analyse fonctionnelle externe

# L'analyse fonctionnelle

Des exemples des bonnes pratiques de l'AF Interne et AF externe



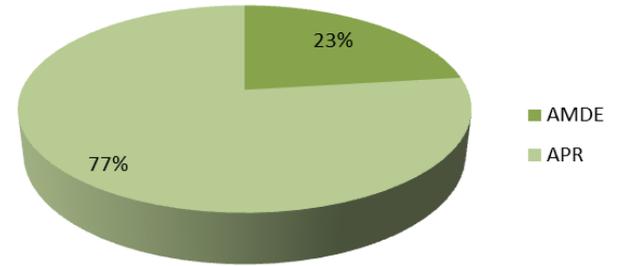
Composant principal	Sous-composant	Sous-composant	Sous-composant	Fonction technologique	
Évacuateur de crue vanné	Vanne segment	Corps de vanne	Tablier	Retenir l'eau	
			Bras	Transmettre les efforts	
			axe	Permettre la rotation	
		Organe de manœuvre	vérin	Permettre le mouvement de la vanne	
			flexibles	Transmettre les actions	
			Centrale à huile	Permettre les actions de manœuvre	
	Structure génie civil	Seuil	Armoire de commande	Commande les actions	
			énergie	Permettre le fonctionnement	
			Bajoyer amont	Assure l'étanchéité	
			Bajoyer	Reprendre les efforts au droit des axes	
	Automate	Automate	Coursier/saut à ski	Diriger les flux / dissiper l'énergie	
			Capteur de niveau	Mesurer la cote du plan d'eau	
				Capteur de position des vannes	Indiquer l'état d'ouverture des vannes

FP1	Le barrage de retenue assure la dérivation de l'eau vers l'usine
FP 1.1	L'ensemble radier, piles, vannes gère le flux d'eau
FP 1.2	Les donneurs d'ordre commandent les automates de 1 <sup>er</sup> rang
FP 1.3	Les automates de 1 <sup>er</sup> rang pilotent les treuils
FP 1.3bis	Les treuils peuvent être commandés manuellement
FP 1.4	Les treuils assurent le déplacement des chaines
FP 1.5	Les chaines assurent le déplacement des vannes

# Analyse des modes de défaillance et identification des événements redoutés

- APR et AMDE
  - Principes des méthodes, exemples des bonnes pratiques, intérêts/limites des méthodes

[1] Élément de l'ouvrage concerné	[2] Conditions d'exploitation, condition d'état, position correspondante	[3] Mode de défaillance	[4] Fonction du barrage affectée	[5] Conséquences	[6] Cinétique post accidentelle	[7] Gravité	[8] Type		[9] Cinétique pré accidentelle	[10] Commentaires et justification de la non prise en compte en ERC ou EI	
							unic. pour ERC mineur, grave	ERC= Evénement Redouté Central E+= Evénement initiateur pour un ERC			
Vanne segment, Evacuateur de Crues	Crue / sollicitée ouverte	Rupture	Retenir l'eau	Vague à l'aval de 550 m <sup>3</sup> /s Baisse du niveau de la retenue	Rapide	Grave		ERC 2		(Débit : entre Q10 et Q100) Choc par corps flottants : présence de pontons, base de loirs, embarrasements... qui en crue pourraient avec le courant arriver rapidement sur la vanne et entraîner sa rupture.	
		Ouverture intempestive	Maîtrise des variations de débit à l'aval	Vague maximale à l'aval de 550 m <sup>3</sup> /s Baisse du niveau de la retenue	Lente	Grave		ERC 3		La coupure de l'alimentation électrique (ouverture du sectionneur – pour la défaillance de l'automatisme de commande) n'a pas été conservée car la manœuvre des vannes étant faite préférentiellement depuis le local commande usine, l'agent ne serait pas sur place et la manœuvre de la vanne se ferait avec une cinétique rapide (par ailleurs, en crue les ascenseurs ne doivent pas être pris, le temps d'attente de la galerie de crête serait très long).	
		Non fermeture	Maîtrise des variations de débit à l'aval	Amont : baisse du niveau de la retenue Aval : aucune conséquence (débit déjà établi en rive)					Non retenu		
		Non ouverture	Maîtrise de la cote du plan d'eau amont	Exhaussement du niveau de la retenue					EI2 des ERC 1 et ERC 2 (par exhaussement du plan d'eau (EI1))	Lente	EI pouvant mener, par exhaussement du plan d'eau, à la rupture d'une des vannes ou du barrage par dépassement des cotes de dimensionnement de la vanne ou de la cote de danger du barrage.
		Fermeture intempestive	Maîtrise de la cote du plan d'eau amont	Exhaussement du niveau de la retenue					EI3 des ERC1 et ERC 2 (par exhaussement du plan d'eau (EI1))	Rapide	EI pouvant mener, par exhaussement du plan d'eau, à la rupture d'une des vannes ou du barrage par dépassement des cotes de dimensionnement de la vanne ou de la cote de danger du barrage. Erreur humaine possible (erreur d'interprétation). La rupture des deux chaînes n'a pas été étudiée (double défaillance), et la rupture d'une seule chaîne ne générerait que le coincement de la vanne. La coupure de l'alimentation électrique (ouverture du sectionneur) n'a pas été conservée car la manœuvre des vannes étant faite préférentiellement depuis le local commande usine, l'agent ne serait pas sur place et la manœuvre de la vanne se ferait avec une cinétique rapide (par ailleurs, en crue les ascenseurs ne doivent pas être pris, le temps d'attente de la galerie de crête serait très long).

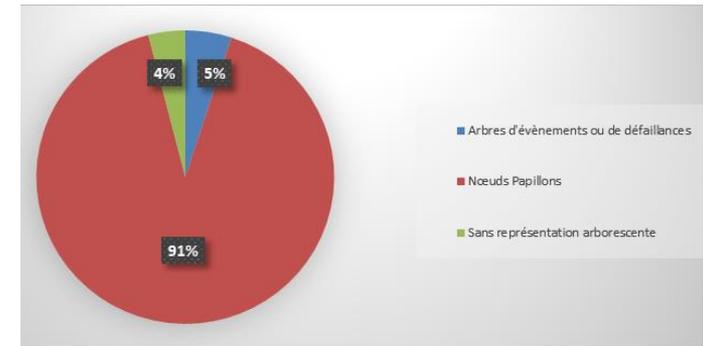
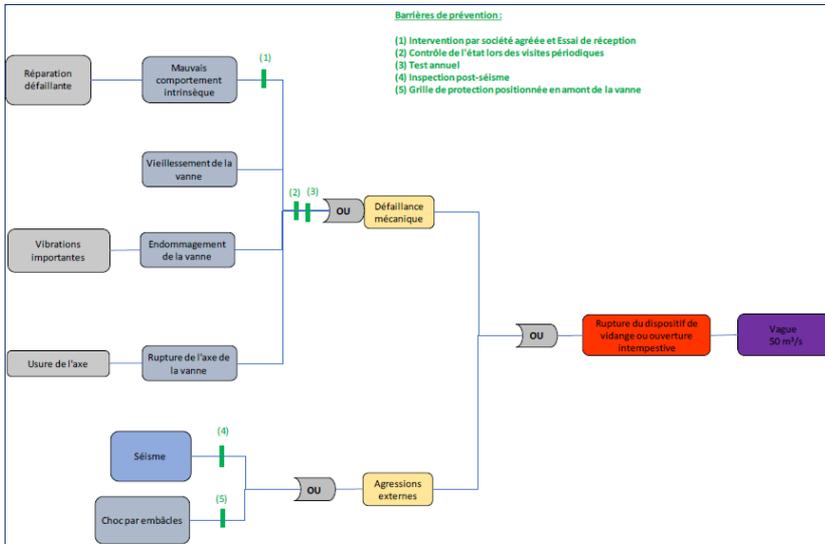


Analyse Fonctionnelle				AMDE		
N°	Composant	Fonction principale	Fonction technologique / Contrainte	Mode de défaillance	Causes	Effet
3	Fondations du barrage					
3.1	Fondations du barrage	Transmettre les efforts au sol  Limiter les infiltrations d'eau	Résister aux contraintes mécaniques (déformation, poinçonnement, liquéfaction)  Résister aux sollicitations hydrauliques (érosion interne, infiltrations)	Déformation/Rupture	Tassement différentiel  Erosion interne  Sollicitations sismiques (liquéfaction)	Perte des capacités de reprise des efforts mécaniques du barrage    Infiltrations vers la fondation aval
3.2	Dispositif d'étanchéité (niveau d'injections)	Améliorer l'étanchéité en fondation	Résister aux sollicitations hydrauliques	Infiltrations excessives d'eau	Déplacement ou déformations des fondations Dissolution, dégradation du rideau d'injections	
4	Dispositif de prise d'eau et de vidange					
4.1	Ouvrage de prise d'eau amont	Prélever de l'eau en fond de retenue	Résister au risque d'obstruction	Prélèvement impossible	Embâcles, envasement	Impossibilité de vidanger
4.2	Botte d'arrêt amont	Assurer la coupure du débit restitué  Permettre le transit des eaux de prise, de restitution et de vidange	Résister aux sollicitations mécaniques et hydrauliques	Vanne bloquée en position ouverte  Vanne bloquée en position fermée	Manque d'essais de fonctionnement Défaillance du système de manœuvre hydraulique Déformation (système) Corrosion avancée  Manque d'essais de fonctionnement Défaillance du système de manœuvre hydraulique Déformation (système) Corrosion avancée	Impossibilité de réaliser des travaux sur les vannes    Impossibilité de vidanger en cas de travaux ou d'inspection ou d'urgence
4.3	Tour de prise et de vidange	Abriter les équipements hydrauliques et les organes de manœuvres des vannes	Résister aux contraintes mécaniques (déformation, rupture)	Effondrement de la tour et/ou de la passerelle	Dégradation du béton / Sollicitations sismiques excessives	Déformation excessive du corps du barrage
4.4	Vanne papillon DN700	Permettre le transit des eaux de vidange	Résister aux sollicitations mécaniques et hydrauliques	Effacement intempestif de la vanne	Rupture d'un composant Défaut de fonctionnement (défaillance système commande hydro)	Léger non maîtrisé de flux hydrauliques vers l'aval

Des exemples d'APR et AMDE

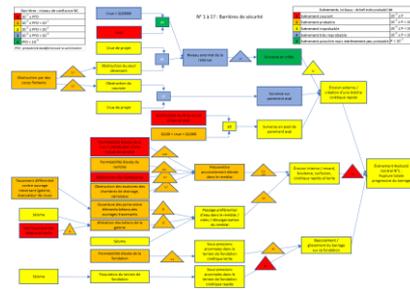
# Représentation des séquences accidentelles par l'emploi de méthodes arborescentes

- Méthodes des arbres de défaillance, de l'arbres d'événement, du Nœud Papillon
- Principes des méthodes, exemples des bonnes pratiques, intérêts/limites des méthodes



Événement initiateur	Drain-filtre aval : Filtrer les fines provenant du noyau	Noyau : Résister à l'érosion interne	Recharge aval : Résister à l'érosion interne	Probabilités Conséquences
				Probabilité : $p = x$ Onde de rupture : $x$ m <sup>2</sup> /s
			BS : suivi des débits de drainage et surveillance visuelle	
		Erosion interne du noyau		
	Filtration insuffisante de fines provenant du noyau			
Sollicitations Hydrostatiques				

*Des exemples de méthodes arborescentes*



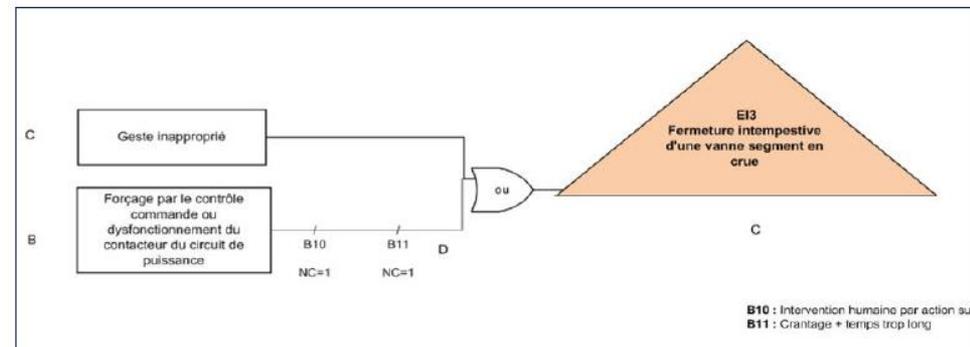
# Evaluation de la sûreté

- Travail en Panel d'expert
- Barrières de sécurité : principes, critères de validité, niveau de confiance, prise en compte des barrières de prévention

Réf	Intitulé de la barrière	Critères	Validité	Justifications	Décote
B3	Dispositif de crantage	Indépendance	OUI	Pas besoin d'intervention humaine et indépendant de l'automate du barrage	1
		Efficacité	OUI	Deux dispositifs indépendants agissant sur le premier rang. - Crantage mécanique : stoppe la manœuvre après 25cm de distance (hachage tous les 20 cm) - Surveillance par temporisation : stoppe la manœuvre après un temps continu trop long  Cette barrière permet de stopper la manœuvre continue d'une vanne	
		Temps de réponse	OUI	Réponse immédiate et compatible avec le temps d'ouverture de la rehausse	
		Test, maintenance	OUI	Essais fréquents sans remontée de défauts particuliers	
		Niveau de confiance	1		
B11	Coupure manuelle de la vanne	Indépendance	OUI	Barrière indépendante de l'automate et de la barrière B3	
		Efficacité	OUI	Arrêt immédiat de la manœuvre même avec un premier rang en défaut	
		Temps de réponse	OUI	La vanne s'ouvre complètement en 85 min. Soit l'exploitant est sur place, soit l'exploitant d'astreinte peut arriver sur le site en maximum 20 min, comme le prévoit l'organisation du groupement d'usines. L'alerte sera réalisée par l'APB suite à une incohérence entre les paramètres amont et aval.	
		Test, maintenance	OUI	Essais fréquents sans remontée de défauts particuliers	
		Niveau de confiance	1		

*Des exemples de barrières*

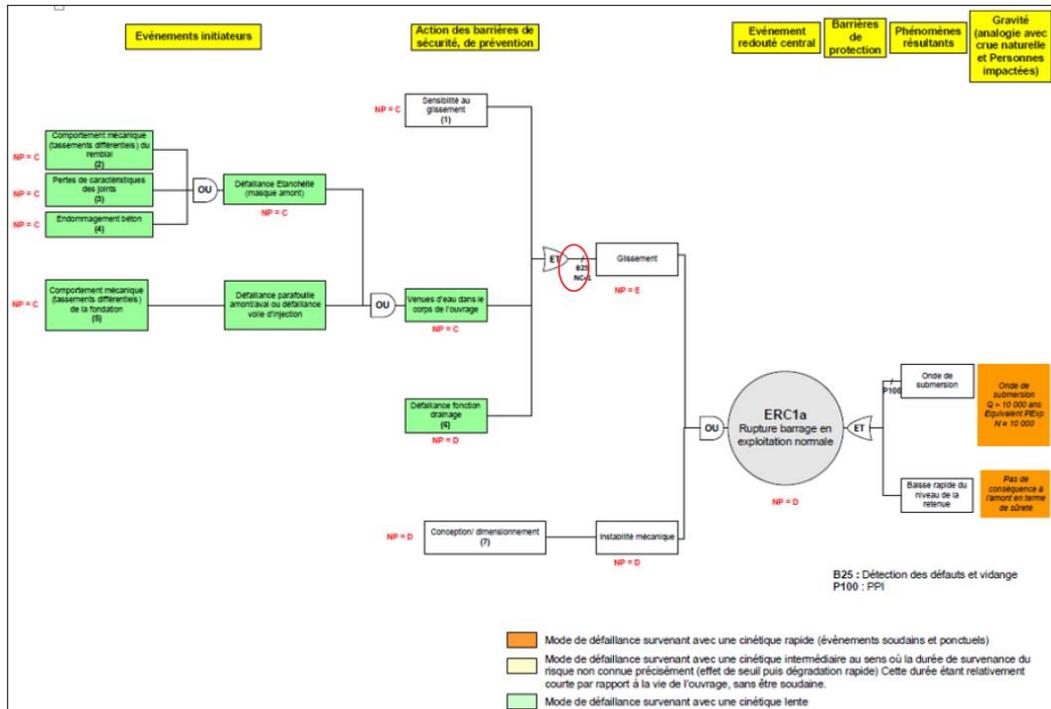
Tableau 6.1 : Exemple de justification et cotation de barrière dans les EDD



**B10** : Intervention humaine par action sur  
**B11** : Crantage + temps trop long

# Evaluation de la sûreté

- Prise en compte du facteur humain : geste inapproprié, défaillance humaine
- Approche semi-quantitative d'évaluation de la sûreté
  - Évaluation des occurrences des EI et Ei, grilles semi-quantitatives, règles d'agrégation dans les NP
- Approche quantitative d'évaluation de la sûreté
  - Démarche probabiliste, fréquentielle, déclarative à base de dire expert



## Des exemples d'évaluation

Evénement initiateur	Evacuateur de crues : évacuer la crue Ti	Recharge aval : résister à l'érosion externe	Probabilités Conséquences
		0,1	Probabilité : $p = 10^{-6}$ Onde de rupture : 2500 m3/s
		Erosion du talus aval : ouverture d'une brèche autour du coursier	
	$10^{-1}$	Défaillance du dispositif d'évacuation des crues : perte (ou insuffisance) c la capacité du coursier	
	1/10 000		
Crue Ti	non	non	
	oui	oui	

# Evaluation de la gravité des scénarios

- Modélisation de l'onde de rupture et cartographie de l'onde
- Les enjeux : enjeux recherchés dans les EDD, sources de données, hypothèses sur les personnes exposées, pratiques pour l'évaluation des impacts

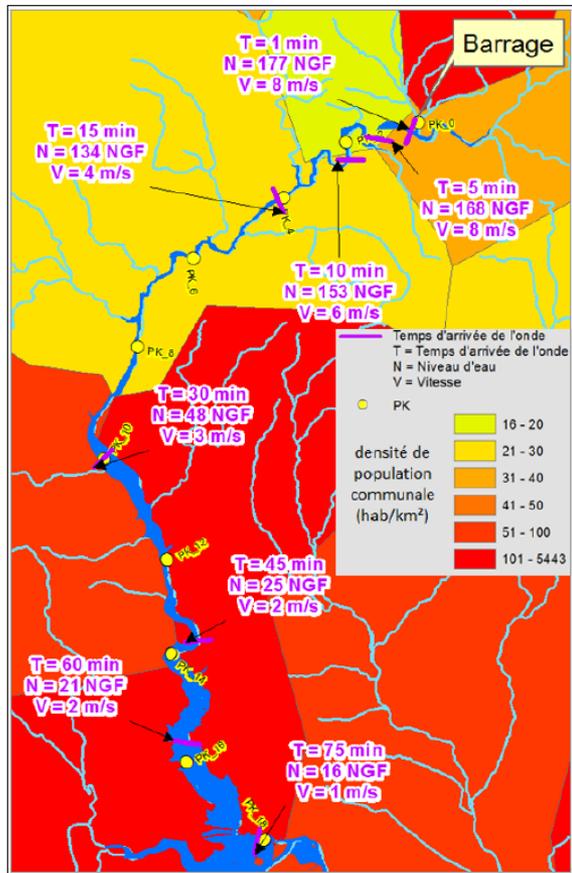


Figure 7.2 : Exemple de cartographie de zones inondables avec densité de population

*Des exemples de représentation des impacts*



Exemple de cartographie de zones inondables avec données INSEE de population carroyées

# Evaluation de la criticité des scénarios , affichage des risques et mesures des réductions des risques

- Des exemples d'évaluation de la criticité des scénarios
- Les MMR et MRR : principes, exemples

Probabilité	Fréquent	A	Yellow	Red	Red	Red	Red
	Probable	B	Green	Yellow	Red	ERC 1	Red
	Peu probable	C	Green	Green	ERC 2 ERC 3	Red	Red
	Rare	D	Green	Green	ERC 4	Yellow	Red
	Extrêmement rare	E	Green	Green	Green	Green	Yellow
			Mineure	Significative	Sévère	Critique	Catastrophique
			Gravité				

*Des exemples d'évaluation de la criticité*

Gravité	Probabilité d'occurrence des accidents potentiels				
	E	D	C	B	A
V. Dévastateur	Yellow	Red	Red	Red	Red
IV. Catastrophique	Yellow	Yellow	Red	Red	Red
III. Important	7	Yellow	Yellow	Red	Red
II. Sérieux	5, 6, 8, 9, 10	2	3	Yellow	Red
I. Modéré	4	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow

Gravité	Probabilité d'occurrence des accidents potentiels				
	E	D	C	B	A
V. Dévastateur	Yellow	Red	Red	Red	Red
IV. Catastrophique	Yellow	Yellow	Red	Red	Red
III. Important	7	Yellow	Yellow	Red	Red
II. Sérieux	5, 6, 8, 9, 10	2	3	Yellow	Red
I. Modéré	4	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow

Figure 8.4 : Evolution de la matrice de criticité après application des mesures de réduction des risques.

# Synthèse : l'apport de l'analyse de risques pour la sûreté des barrages en France

**Les impacts positifs de l'analyse de risques conduites dans les EDD, de l'avis de tous les acteurs, pour la sûreté des barrages :**

- Nouvelle approche fonctionnelle multi-métier allant au-delà de la traditionnelle approche « Génie civil »
- Amélioration notable de la connaissance générale et exhaustive des ouvrages
- Identification et interclassement des scénarios et des risques majeurs
- Réduction effective des risques par la mise œuvre d'actions de MMR et MRR

# Synthèse : l'apport de l'analyse de risques pour la sûreté des barrages en France

- **Communication autour des EDD :**
  - à l'externe : vulgarisation nouvelle de l'analyse des risques liée aux barrages, résumé non technique
  - en interne : un outil pour communiquer sur la sûreté des barrages auprès de l'ensemble des acteurs de la sûreté.
- **Appropriation des EDD par les différents acteurs évoluant sur le barrage :** implication du personnel exploitant, des différents experts, du responsable de l'ouvrage
- **Intérêt pour le contrôle de la sûreté des barrages :** connaissance des risques et planification des MRR, travail pragmatique et opérationnel

*« L'Etude de Dangers est désormais, en France, un document essentiel, par lequel le responsable de l'ouvrage démontre la sûreté de son barrage en toutes situations d'exploitation. Il s'agit d'un document utile à tous les acteurs, y compris à l'autorité de contrôle, qui permet d'identifier les points saillants de la sûreté du barrage. »*

# Usage et intérêt du rapport CFBR

## « Analyse de risques et évaluation de la sûreté des barrages en France »

- Synthèse des bonnes pratiques françaises illustrées par l'exemple
  - Faire valoir le savoir faire français à l'international (traduction en anglais à prévoir à court terme)
  - Mais aussi document de référence de l'analyse de risques des barrages
- ➔ Document très utile pour les différents acteurs : exploitants, maitres d'ouvrages, bureaux d'études et services de contrôles
- **Perspectives :**
    - Organisation d'un Workshop sur l'AR (REX en France), ouvert aux praticiens des EDD de barrages. Sous parrainage CFBR - fin 2020 ?
    - une session de formation sur l'Analyse de Risques – EDD au congrès CIGB Marseille 2021