

**L'approche du contrôle
pour la sécurité des ouvrages hydrauliques
L'expérience de SOCOTEC**

Par: Hafid TABET

Sommaire

- 1. Cadre réglementaire pour la sécurité des ouvrages hydrauliques**
- 2. Le contrôle de la sécurité des ouvrages hydrauliques**
- 3. Les études de danger**

Les risques d'inondation

Causes majeures

- Réchauffement du climat: Amplification des phénomènes d'évaporation et de précipitations, surélévation du niveau de la mer
- Développement de l'urbanisation: Imperméabilisation des sols et accroissement des ruissellements

Conséquences

- Crues et débordement de cours d'eau
- Fort ruissellement en surface
- Rupture d'ouvrage
- Submersion marine



La France exposée aux risques d'inondation :

- La tempête Xynthia de février 2010 et les inondations du Var de 2010
- L'état de catastrophe naturelle déclaré pour 566 communes en 2014 contre 466 en 2013
- Environ 19 000 communes sont soumises à ce risque qui a fait plus de 200 victimes et généré plus de 20 milliards d'euros de dommages entre 1982 et 2010.

Chiffres-clés du risque naturel inondation en France

- débordement de cours d'eau : 17,1M de personnes et plus de 9M d'emplois exposés aux risques d'inondations
- submersion marine: 1,4M de personnes et plus de 850 000 emplois exposés
- Plus de 200 victimes depuis 1982

➔ **près de 1 Français sur 4 et 1 emploi sur 3 sont potentiellement exposés.**

➔ **Les dommages annuels moyens sont évalués à près de 800 M€**



Ouvrages hydrauliques en France

- Près de 7 500 km de digues
- 750 barrages de plus de 10m de haut, dont 300 de plus de 20m



- ➔ **La directive européenne 2007/60/CE, dite « directive inondation ».**
Objectif: fournir un cadre aux États membres pour **réduire les conséquences négatives** des inondations sur la santé humaine, l'activité économique, l'environnement et le patrimoine culturel.

La France a renforcé, dans le cadre de cette Directive, sa politique de gestion des risques d'inondation, avec une stratégie imposant une approche proactive en matière de prévention des territoires à risques

- ▶ **3 objectifs prioritaires :**
- **augmenter la sécurité des populations exposées**
 - **stabiliser puis réduire le coût des dommages liés aux inondations**
 - **raccourcir le délai de retour à la normale des territoires sinistrés**

Evolution des textes règlementaires

La surveillance des barrages était encadrée par la circulaire établissant la notion d'ouvrage ISP (ouvrage intéressant la sécurité publique, 1970). Ce texte a été remplacé par un dispositif réglementaire comprenant :

- ▶ **Nouvelles dispositions de la loi sur l'eau et milieux aquatiques : Décembre 2006**

- ▶ **Sécurité des ouvrages hydrauliques: Décembre 2007**
 - ▷ Distingue 2 catégories d'ouvrages hydrauliques:
 - Barrages de retenue
 - Digues de protection des populations et des biens contre les inondations et les submersions marines
 - ▷ Fixe des règles de prévention globalement de même type pour assurer la sécurité
 - ▷ Engage la responsabilité des propriétaires/gestionnaires en cas de dommages à des tiers

- ▶ Prescriptions relatives à la sécurité et à la sûreté des barrages. **Février 2008**

1. Les digues de protection

Le décret de décembre 2007 a classé les ouvrages hydrauliques selon:

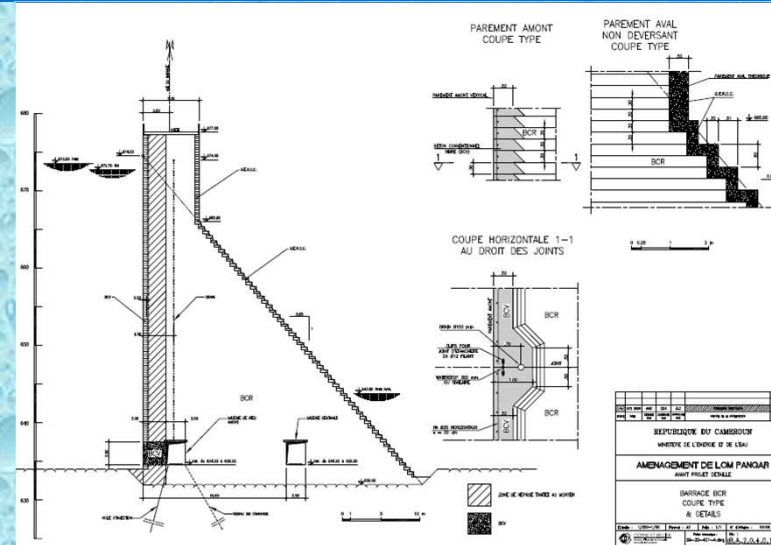
- ▶ l'envergure de l'ouvrage (hauteur et/ou volume)
- ▶ les enjeux humains et économiques

CLASSE	CARACTÉRISTIQUES DE L'OUVRAGE et populations protégées
A	Ouvrage pour lequel $H \geq 1$ et $P \geq 50\,000$
B	Ouvrage non classé en A et pour lequel : $H \geq 1$ et $1\,000 \leq P < 50\,000$
C	Ouvrage non classé en A ou B et pour lequel : $H \geq 1$ et $10 \leq P < 1\,000$
D	Ouvrage pour lequel soit $H < 1$, soit $P < 10$



2. Les barrages

- **Classe A**
 - $H > 20$ et $H^2 V^{0,5} > 1\ 500$
- **Classe B**
 - Ouvrage non classé en A et pour lequel $H > 10$ et $H^2 V^{0,5} > 200$
- **Classe C**
 - a) Ouvrage non classé en A ou B et pour lequel $H > 5$ et $H^2 V^{0,5} > 20$
 - b) Ouvrage pour lequel les conditions prévues au a ne sont pas satisfaites mais qui répond aux conditions cumulatives ci-après :
 - i) $H > 2$
 - ii) $V > 0,05$
 - iii) il existe une ou plusieurs habitations à l'aval du barrage à - 400 m



Les obligations réglementaires

Les maîtres d'ouvrage ou exploitants d'ouvrages hydrauliques ont l'obligation de garantir la sûreté et la sécurité de ces ouvrages et de leur mise en conformité.

Cela passe par un ensemble d'études:

- Diagnostic initial de sûreté
- Visites Techniques Approfondies (VTA)
- Étude de dangers (EDD)
- Visites de surveillance (programmées, en crue et post crue)
- Consignes écrites (CE)
- Dossier de l'ouvrage (DO)

Fréquence d'intervention

Le décret n°2015-526 a modifié la nature des obligations et la périodicité de ces obligations à respecter en fonction de la classe des ouvrages

ACTIONS A RÉALISER	Fréquence		
	<i>Classe A</i>	<i>Classe B</i>	<i>Classe C</i>
Etude de dangers	10 ans	15 ans	20 ans
Rapport de surveillance	1 an	3 ans	5 ans
Visite technique approfondie - VTA	1 an	3 ans	5 ans
Auscultation	2 ans	5 ans	5 ans

* Les Etudes de danger

Méthode:

1. Prendre connaissance de l'état de l'ouvrage, de son environnement et des enjeux associés
2. Identifier les niveaux des risques à prendre en compte
3. Recommander et détailler les mesures aptes à les réduire
4. Préciser les niveaux résiduels une fois ces mesures mises en œuvre

Agrément requis pour réaliser les prestations

1. Analyse fonctionnelle de l'ouvrage et de son environnement

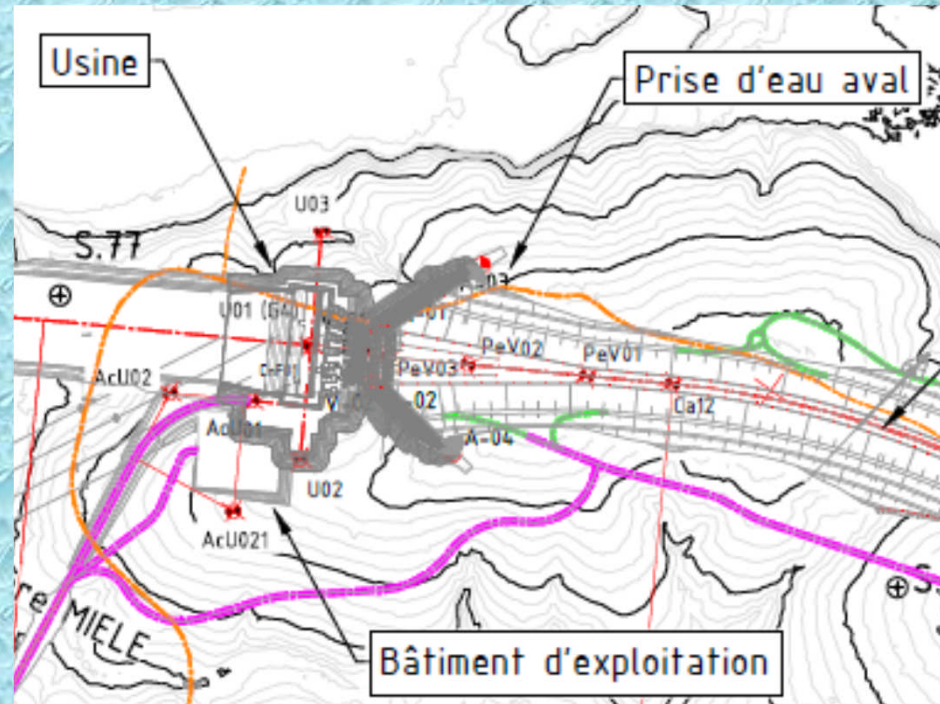
a) Comprendre l'ouvrage et son mode d'exploitation

- ✓ Analyser le fonctionnement de l'ouvrage, de ses organes de sécurité, des dispositifs de contrôle
- ✓ Vérifier les méthodes et procédés utilisés pour l'exploitation (normal, crue et essai), la maintenance et l'entretien,
- ✓ Localiser les différents composants de l'ouvrage et les agresseurs potentiels,
- ✓ Vérifier si le dysfonctionnement d'un des composants peut engendrer une défaillance de sa fonction de base

b) Analyse de l'environnement de l'ouvrage

Délimiter les zones à prendre en compte dans l'étude et s'assurer que la zone d'étude recouvre la zone d'inondation spécifique en intégrant:

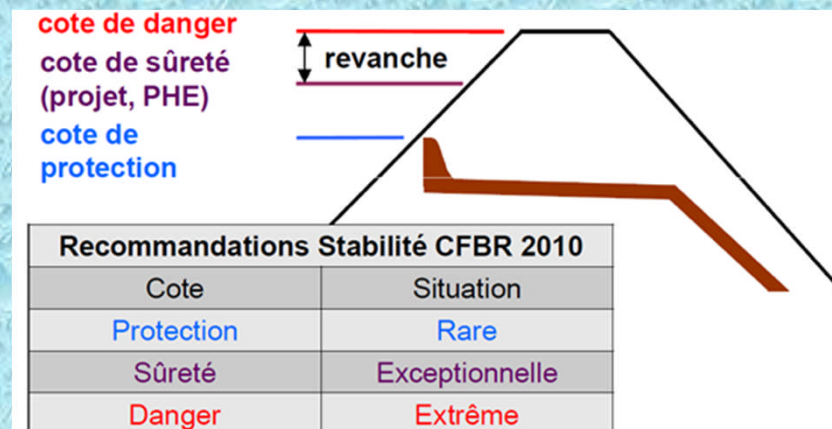
- ❑ *les ouvrages hydrauliques attenants*
- ❑ *les aménagements susceptibles de détérioration: voies d'accès et d'évacuation, habitations, nombre de personnes exposées, industrie, bâtiments recevant du public...*



2. Caractérisation des potentiels de danger

Perte de l'eau retenue par l'ouvrage par:

- Rupture ou franchissement de l'ouvrage ou combinaison des deux
- Phénomène gravitaire rapide impactant la digue
- Dysfonctionnement d'un des organes de sécurité
- Manœuvre d'exploitation inappropriée
- Les potentiels de dangers externes ou agresseurs



3. Caractérisation des aléas naturels

Caractériser l'ampleur des phénomènes naturels et leur incidence potentielle sur l'ouvrage

- ❖ **Aléas dû au couple hauteur - débit**
- ❖ **Aléa sismique** en termes d'intensité et de périodes de retour
- ❖ **Risques géotechniques**

* Analyse du mode de défaillance

Source

Niveaux d'eau
Précipitations/Débit de crue
Remontée de nappe
Vagues/tempêtes

Cible

Populations
Activités économiques
Infrastructures
Patrimoine culturel

Risques

Franchissements/surverse
Brèches/Rupture
Contournement hydraulique



4. Risque en terme de probabilité d'occurrence, d'intensité et de cinétique des effets et de gravité des conséquences

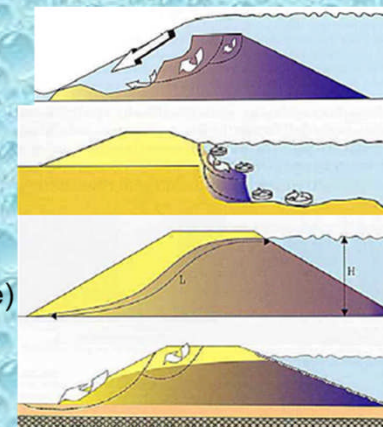
- Définir les scénarios d'accident grave dans la vie de l'ouvrage
- Hiérarchiser ces scénarios de défaillance en fonction de leur probabilité d'occurrence et de leur gravité (via une matrice de criticité).
- Identifier les conséquences et évaluer les risques

Exemples de scénarios

- S1 : Rupture de la stabilité générale de la digue
- S2 : Brèche - Rupture par érosion interne dans le corps de la digue
- S3 : Brèche - Rupture par surverse
- S4 : Brèche - Rupture par érosion du pied de digue
- S5 : Disfonctionnement d'une vanne
- S6 : Panne système de télécommande
- S7 : Disfonctionnement de l'évacuateur de crue
- S8 : Surverse avec $Q_{1000 \text{ ans}}$

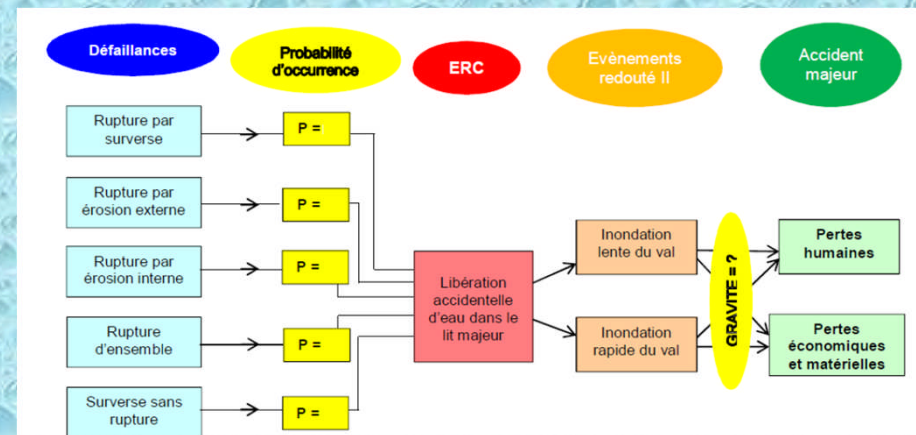
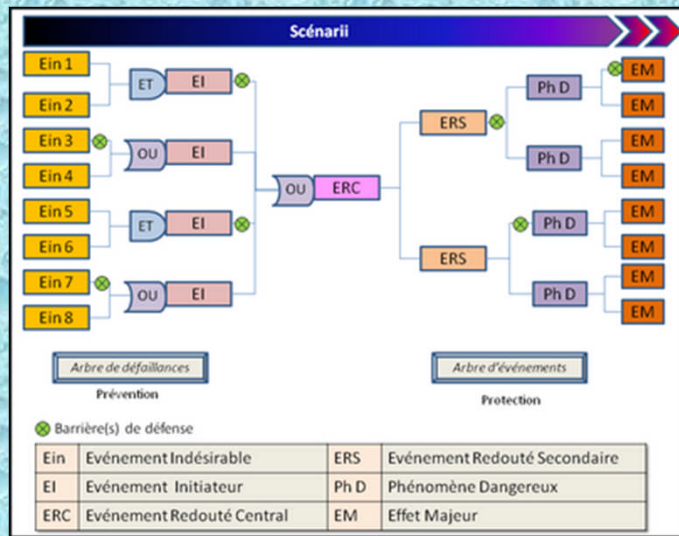
► Pathologies

- ▷ Surverse
- ▷ Érosion externe ou affouillements
- ▷ Érosion interne (gradient hydraulique)
- ▷ Instabilité d'ensemble



5. Analyse du risque et évaluation de la gravité

- ▶ **Étude des risques intrinsèques à l'ouvrage et ses organes de sécurité:** état de l'ouvrage
- ▶ **Analyse Préliminaire des Risques APR** - son comportement/risques potentiels liés : défaillances potentielles en fonctionnement normal et en crue
- ▶ **Étude détaillée des Événements Redoutés Centraux – ERC:** l'APR permet de sélectionner le point central du Nœud Papillon dits ERC (perte d'intégrité physique)



La partie gauche s'apparente à un arbre des défaillances s'attachant à identifier les causes de la perte de confinement.

La partie droite s'attache à déterminer les conséquences de cet événement redouté central

Construction, pour chaque ERC identifié:

- Arbre de défaillance (causes)
- Arbre d'évènements (conséquences) sous la forme d'un nœud papillon,

avec l'évaluation, pour chaque ERC d'un niveau d'occurrence :

Niveau d'occurrence	A	B	C	D	E
Echelle qualitative	Courant	Probable	Improbable	Très improbable	Possible mais extrêmement peu probable
	S'est déjà produit et/ou peut se produire à plusieurs reprises pendant la durée de vie de l'ouvrage malgré d'éventuelles mesures correctives	S'est déjà produit et/ou peut se produire pendant la durée de vie de l'ouvrage	S'est déjà produit au niveau mondial sans que les corrections intervenues depuis apportent une garantie de réduction significative de sa probabilité	S'est déjà produit au niveau mondial mais des mesures correctives significatives ont réduit significativement sa probabilité	N'est pas impossible au vue des connaissances actuelles mais non rencontré au niveau mondial sur un très grand nombre d'années d'implantation d'ouvrages
Echelle quantitative		0.1	0.01	0.001	0.0001

Classification des occurrences des évènements

Classification des risques et gravités des conséquences

□ Cotation des probabilités

Probabilité qualitative de l'évènement	Probabilité quantitative			Définition	Cotation
Certain	1	1/1	1	S'est produit sur l'ouvrage considéré et/ou peut se produire à plusieurs reprises pendant la durée de vie de l'ouvrage malgré d'éventuelles mesures correctives	A
Probable	0.3	1/3	$3 \cdot 10^{-1}$	S'est produit et/ou peut se produire pendant la durée de vie de l'ouvrage	B
Peu probable	0.1	1/10	10^{-1}		
Très peu probable	0.03	1/30	$3 \cdot 10^{-2}$	Un évènement similaire déjà rencontré sur ce type d'ouvrage au niveau mondial sans que les éventuelles corrections intervenues depuis apportent une réduction significative de sa probabilité	C
Improbable	0.01	1/100	10^{-2}		
Très improbable	0.001	1/1000	10^{-3}	S'est déjà produit sur ce type d'ouvrage mais a fait l'objet de mesures correctives réduisant significativement sa probabilité.	D
Extrêmement peu probable	0.0001	1/10000	10^{-4}	N'est pas impossible au vu des connaissances actuelles, mais non rencontré au niveau mondial sur un très grand nombre d'années d'observations	E

□ Cotation des gravités

Classes de gravité proposées par le guide de lecture des études de dangers de barrages

	Nombre de personnes susceptible d'être mises en danger (cinétique plus rapide)	Nombre de personnes susceptible d'être mises en danger (cinétique plus lente)
5. désastreux	$\geq 1\ 000$	$\geq 10\ 000$
4. catastrophique	≥ 100 et $< 1\ 000$	$\geq 1\ 000$ et $< 10\ 000$
3. important	≥ 10 et < 100	≥ 100 et $< 1\ 000$
2. sérieux	≥ 1 et < 10	≥ 10 et < 100
1. modéré		≥ 1 et < 10

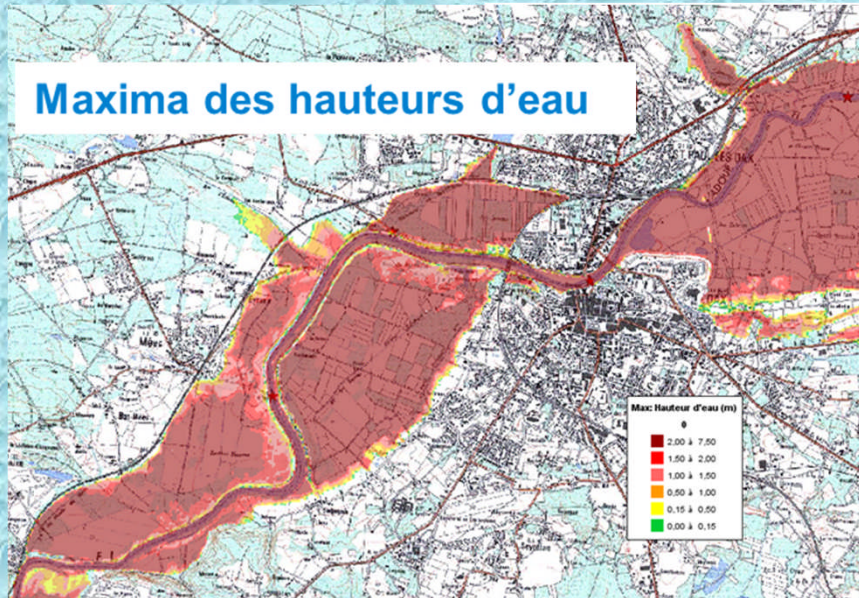
Modélisation de la propagation de l'onde (TELEMAC, RUBAR3 et RUBAR20)

Objectifs de l'étude d'onde de rupture

- caractériser l'écoulement à l'aval de l'ouvrage en terme de hauteur, de vitesse, de temps d'arrivée
- décrire et cartographier la nature des zones potentiellement inondées avec emprise des zones submergées et le temps d'arrivée de l'onde avec reports sur des cartes
- Évaluation des paramètres intensité, cinétique et gravite

Gravite des conséquences

Maxima des hauteurs d'eau

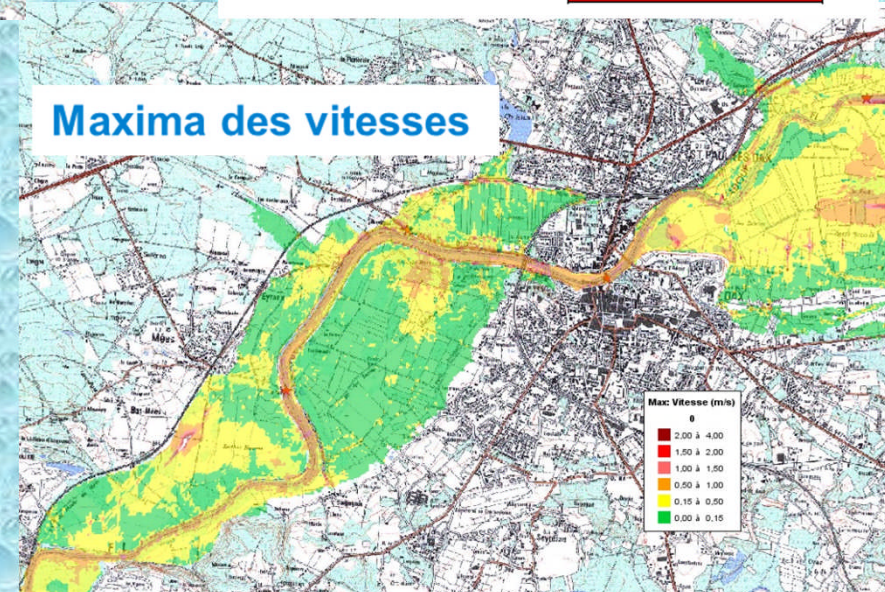


1 à 15 cm
15 à 50 cm
50 cm à 1 m
1 m à 1.50 m
1.50 m à 2 m
> 2 m



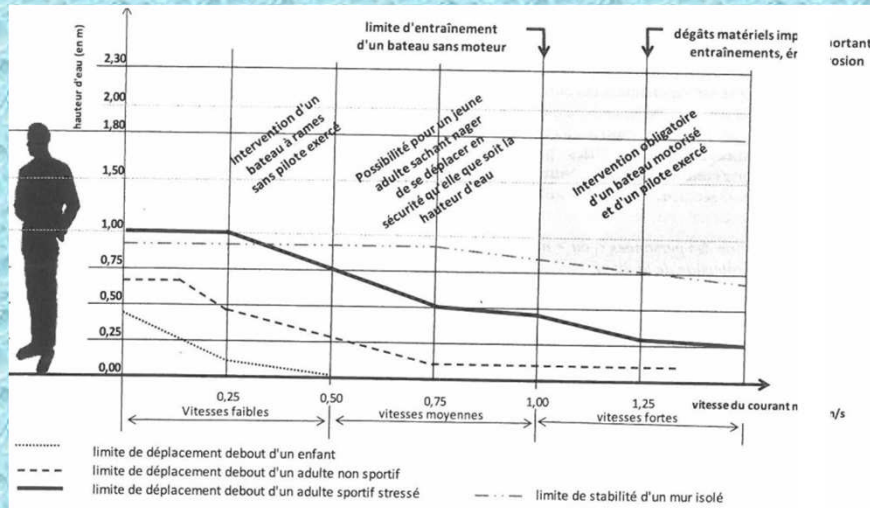
1 à 15 cm/s
15 à 50 cm/s
50 cm/s à 1 m/s
1 m/s à 1.50 m/s
1.50 m/s à 2 m/s
> 2 m/s

Maxima des vitesses



Niveaux d'aléas et indice de gravité

Niveaux d'aléas



Vitesse	$V < 0,5$ m/s	$0,5 < V < 1$ m/s	$1 < V$ m/s
Hauter d'eau			
$H < 50$ cm	Aléa faible	Aléa moyen	Aléa très fort
$0,5 \text{ m} < H < 1 \text{ m}$	Aléa moyen	Aléa fort	Aléa très fort
$1 \text{ m} < H$	Aléa très fort	Aléa très fort	Aléa très fort

Limites de déplacement des personnes en fonction de la hauteur et de la vitesse de l'eau (Source CETE Méditerranée et Guide sur les PPRN (2004))

Indice de gravité

Indice de gravité	Qualification	Population susceptible d'être mise en danger
5	Déastreux	Supérieur à 1000
4	Catastrophique	Entre 100 et 1000
3	Important	Entre 10 et 100
2	Sérieux	Inférieur à 10
1	Modéré	Aucune personne exposée

Criticité des scenarii

		Gravité				
		5- Désastreux	4- Catastrophique	3- Important	2- Sérieux	1- Modéré
Probabilité	E - Extrêmement peu probable	Brèche 7_ Remblai SNCF				
	D - Très improbable		Brèche 4 – Mur du Parc Théodore Dénis	Brèche 10_Digue du Truol à ST Paul		
	C - Improbable	Brèche 6_ digue Gare-Sablair	Brèche_3 : Endiguement Mur SNCF	Brèche_1 : Digue du Quartier Berdot Brèche_2 : Digue ZAC des bords de L'Adour Brèche_8 : Digue Boulogne/Saubagnac		
	B - Probable		Brèche_5 : Murs des hôtels du centre-ville (Tronçon 2)		Brèche 9 – Digue Mées-Angoumé	Surverse sans rupture (sur les zones prévues, déversoirs de Boulogne et de Saubagnac)
	A - Certain					

Trois niveaux d'acceptabilité de la criticité :

- **Niveau de risque acceptable (en vert)** : niveau pour lequel l'ouvrage est réputé sûr compte tenu de la nature des dangers, des conséquences potentielles, le cas échéant des mesures nominales existantes (procédures d'exploitation, de maintenance, de surveillance...)
- **Niveau de risque intermédiaire (en orange)** : niveau pour lequel l'ouvrage n'est pas entièrement satisfaisant du point de vue de la sécurité.
- **Niveau de risque inacceptable (en rouge)** : niveau pour lequel l'exploitant doit proposer des mesures de réduction du risque en réduisant la probabilité d'occurrence de l'accident son ou le niveau de gravité, voire les deux.

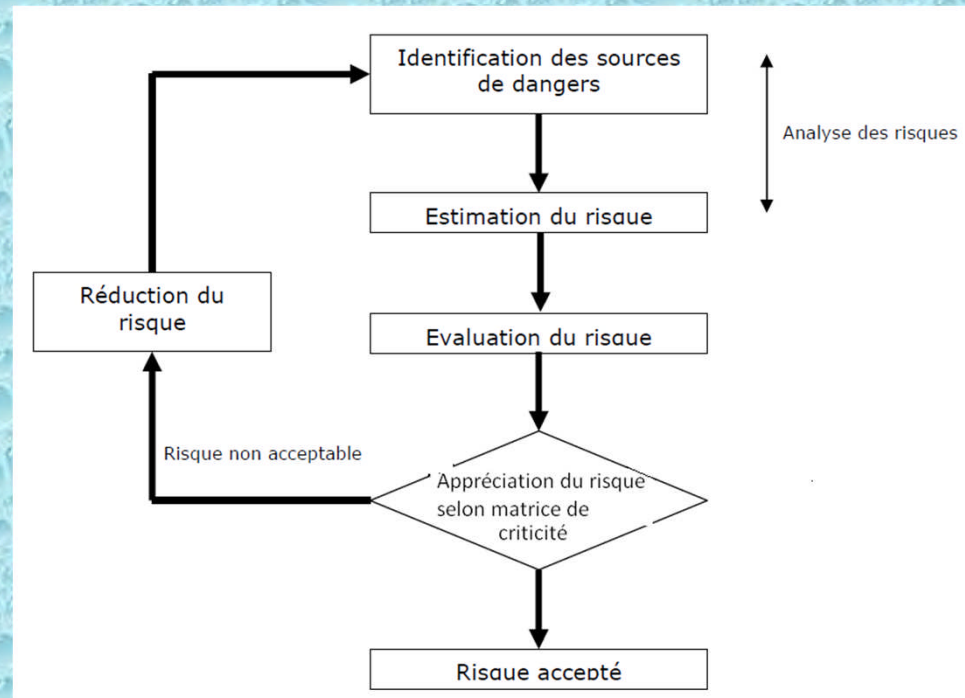
6. Réduction des risques

- Méthodes de réduction des risques en tenant compte des moyens et dispositifs disponibles
- Évaluer leur efficacité

Moyens de prévention et de sécurisation de l'ouvrage

Mécanisme de rupture	Options de confortement	objectifs du confortement, domaine/contraintes d'application
Surverse	Suppression des points bas ou rehaussement de la digue. Déversoir amont.	Adaptation de la côte d'arase en veillant à l'étanchéité de la rehausse. Limitation de la cote de crue au droit de la levée.
Erosion de talus & affouillement	Protection du pied côté fleuve. Protection/revêtement du parement du talus.	Zone en contact direct avec l'eau (risque de remise en mouvement du fond d'alluvion), en complément, ou non, d'une protection du pied.
Renard hydraulique	Recharge drainante côté val. Masque étanche côté fleuve (paroi moulée, écran mince au coulis, rideau de palplanches) Lutte contre les fouisseurs. Traitement des points singuliers.	Nécessité de respecter les règles de filtre au contact recharge/talus de la digue. Limitation des débits de fuite et/ou augmentation de la longueur des lignes de fuite. Capture des animaux, protections grillagées, etc. lorsque ceux-ci sont à l'origine du risque de renard
Instabilité d'ensemble	Recharge du talus côté val et/ou côté fleuve. Masque étanche côté fleuve ou paroi moulée dans corps.	Selon le talus concerné (en général, du fait d'une pente trop forte). Pour stabiliser le talus côté val en rabattant la ligne de saturation dans la digue.

Enchaînement des différentes étapes



Cas d'études de dangers sur des ouvrages hydrauliques



Digues de la Baie d'Authie
Conservatoire du Littoral
France



Ouvrages portuaires
Saint-Malo



Etude de Risques Ouvrages Hydrauliques
Seine



Diagnostic Barrage Hartmann



Barrage du Mervent



VTA Barrage de l'étang de la Molière
France

