

# Nouveaux risques liés au changement climatique

## Rendre nos barrages plus résilients à la submersion

Michel LINO



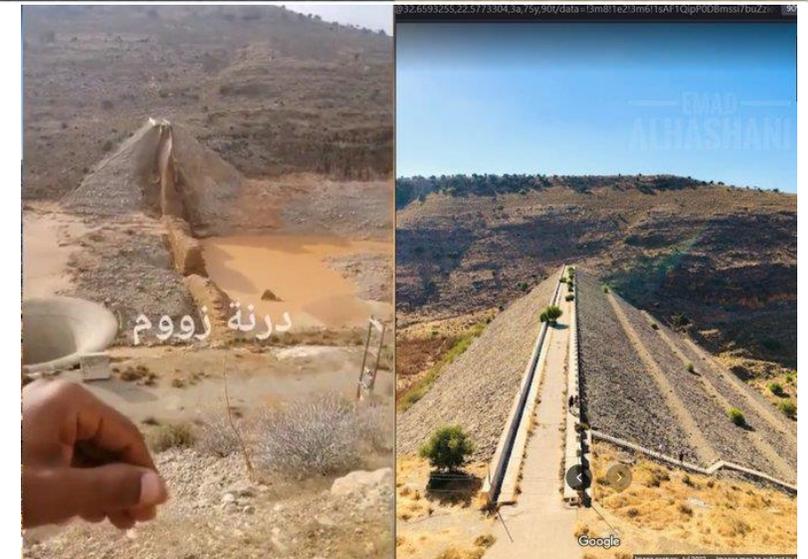
Président de la CIGB

*Avec le concours de Florian Champiré (Ponsoh)  
Frédéric Laugier (EDF CIH)  
Guirec Prévot (Ponsoh)*

# 3 ruptures catastrophiques se sont produites dans l'automne 2023

## Les barrages supérieur et inférieur de Derna en Libye ont cédé dans la nuit du 11 septembre 2023.

- Rupture en cascade par submersion, la nuit, avec des vitesses très élevées et sans avertissement.
- La population de Derna est d'environ 90 000 habitants, 25 % de la ville est inondée, la population en danger est d'environ 22 500 personnes.
- Les pertes en vies humaines et les disparus combinés sont actuellement estimés à **plus de 15,000**. Il s'agit de l'événement le plus grave lié aux barrages depuis des décennies.



- **Trois programmes coordonnés par la CIGB**

- Une action UNESCO-CIGB (mission de terrain en cours) avec un soutien par un GT du CFBR
- Une action Banque Mondiale terminée
- Une action Université de Kyoto

- **Objectifs**

- Décrire le scénario de rupture, identifier les causes, tirer les leçons
- Déterminer si le Changement Climatique a joué un rôle dans l'évènement
- Assister les autorités pour la reconstruction et la protection de Derna contre les inondations
- Auditer la sécurité des barrages en Libye
- Renforcer les capacités locales



# Catastrophe au Sikkim, 3 octobre 2023

Un barrage hydroélectrique (1200 MW) balayé par une crue de rivière Teesta dans le nord-est de l'Inde.

- Le barrage de Chungthang, CFRD de 60 m de haut, emporté en seulement 10 minutes après la rupture d'un lac glaciaire (**GLOF**) dans les montagnes du Sikkim.
- De nombreuses victimes ainsi que de lourds dommages aux infrastructures situées en aval, notamment les projets hydroélectriques Teesta V (510 MW) et Teesta VI (en cours de construction) situés en aval.



# Yaoundé, capitale du Cameroun, 8 août 2023

- Un petit barrage centenaire a cédé après près d'une semaine de précipitations.
- 30 morts sont signalés, de nombreuses maisons sont détruites
- Barrage mal entretenu
- De nombreuses maisons construites dans le lit de la rivière en aval



# 3 ruptures catastrophiques récentes

- 3 types de barrages très différents (petits, moyens, grands).
- Beaucoup de morts, en particulier en Libye, peut-être le pire accident depuis la rupture de Banqiao en Chine en 1975.
- Les trois accidents se sont produits la nuit sans que la population ait été avertie.
- Les trois ruptures sont dues à une **submersion lors d'une forte crue.**
- **Le changement climatique est clairement impliqué dans l'accident de Sikkim (GLOF), et possiblement dans le cas de la Libye.**

# Une autre rupture récente

## Bfasteridfoss - Norvège

- Rupture du barrage pendant la tempête Hans qui a frappé la Norvège en août 2023
- Rupture par submersion due à la **non-ouverture des vannes de l'EVC**
- Cause : organisation de l'exploitant insuffisante, incompréhension des signaux d'alarme et exploitants dépassés par l'événement



# Ruptures récentes en crue



Edenville dam – Etats Unis (Mai 2020)



Xinfu dam (China) rupture par surverse (juillet 2021)



Igua dam – Brazil (Décembre 2021)



Annamayya dam – India (Novembre 2021)

# Rendre nos barrages et nos digues résilients aux submersions

Pour les nouveaux barrages :

- les barrages symétriques en Remblai dur/CSG/CSGR offrent une solution
  - Bonne résistance à l'érosion externe
  - Faible sensibilité à la surcharge
  - Adaptation à des fondations médiocres (roches tendres ou altérées ou alluvions rigides)
- Le barrage est conçu avec revanche normale pour la crue de projet. La surverse offre une marge de sécurité pour la crue de sûreté.
- L'option **batardeau submersible** est parfois avantageuse



Le batardeau CSGR de Hongkou, de hauteur de 35,5 m, s'est bien comporté lors d'une submersion de 8 m, pour un débit de 5500 m<sup>3</sup>/s.

De nombreux autres batardeaux CSGR ou RFC ont été soumis à des cas de charge similaires et ont montré de bonnes performances.

# Rendre nos barrages et nos digues résilients aux submersions



La digue en CSGR a résisté aux crues



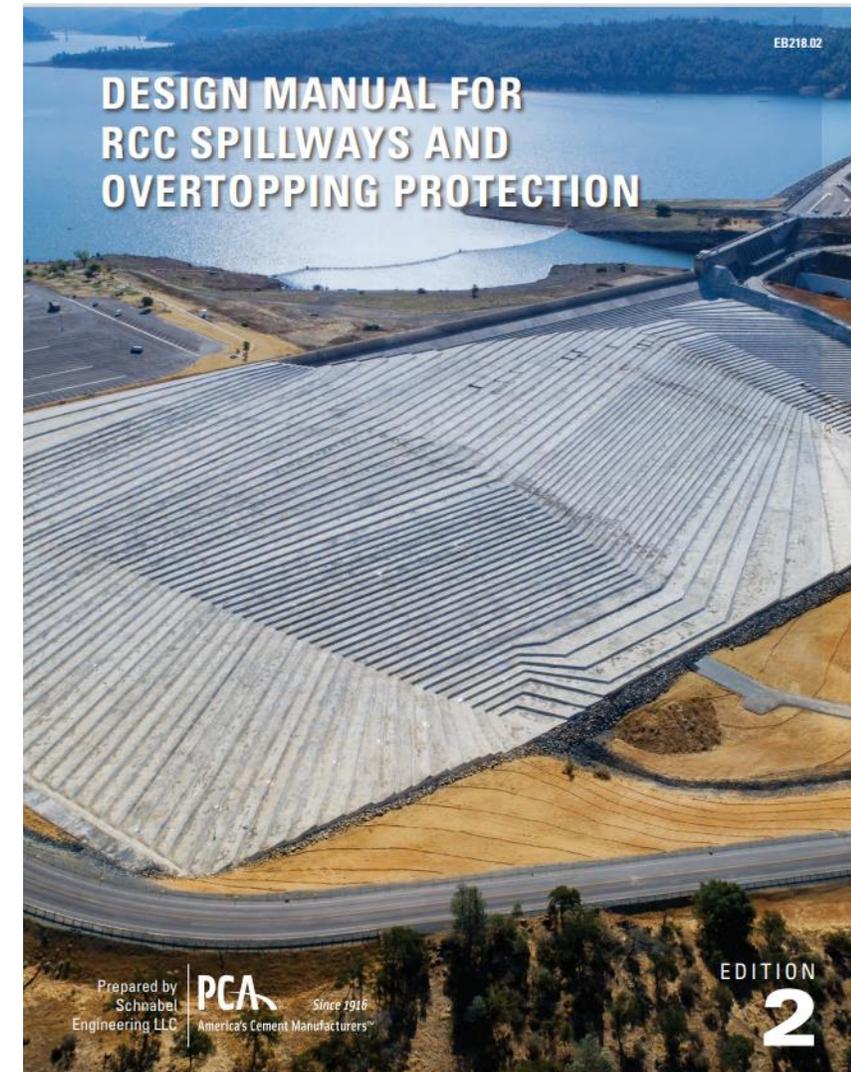
La digue en CFRD s'est rompue

pendant la saison des pluies 2020  
(crue supérieure à la crue de projet)

# Rendre nos barrages et nos digues résilients aux submersions

## Pour les barrages existants non conçus pour être submergés

- Grande expérience en matière d'évacuateurs de crues en BCR et de protection BCR aux **Etats Unis**



# Rendre nos barrages et nos digues résilients aux submersions

## Pour les barrages existants non conçus pour être submergés

- **Carapace de protection sur le parement aval**

- en BCR
- en RD/CSG/CSGR
- en sol traité (CSD)



FIGURE 1-9. Dulce Dam, NM.

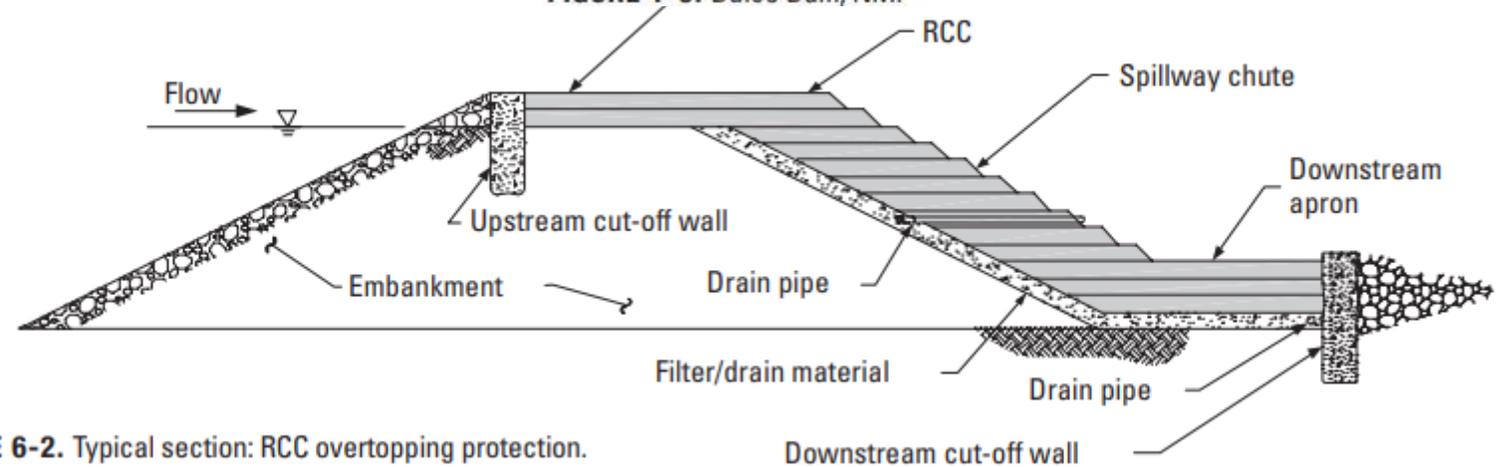
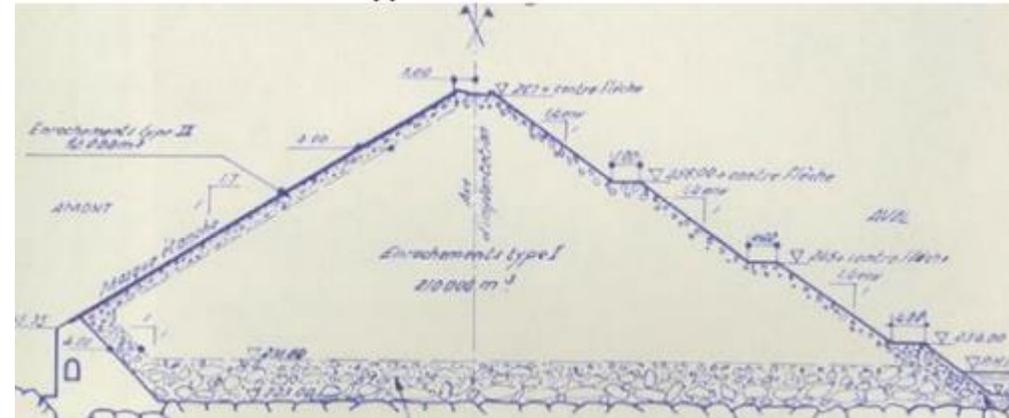


FIGURE 6-2. Typical section: RCC overtopping protection.

# Rendre nos barrages et nos digues résilients aux submersions

## En France : Sainte Cécile d'Endorge

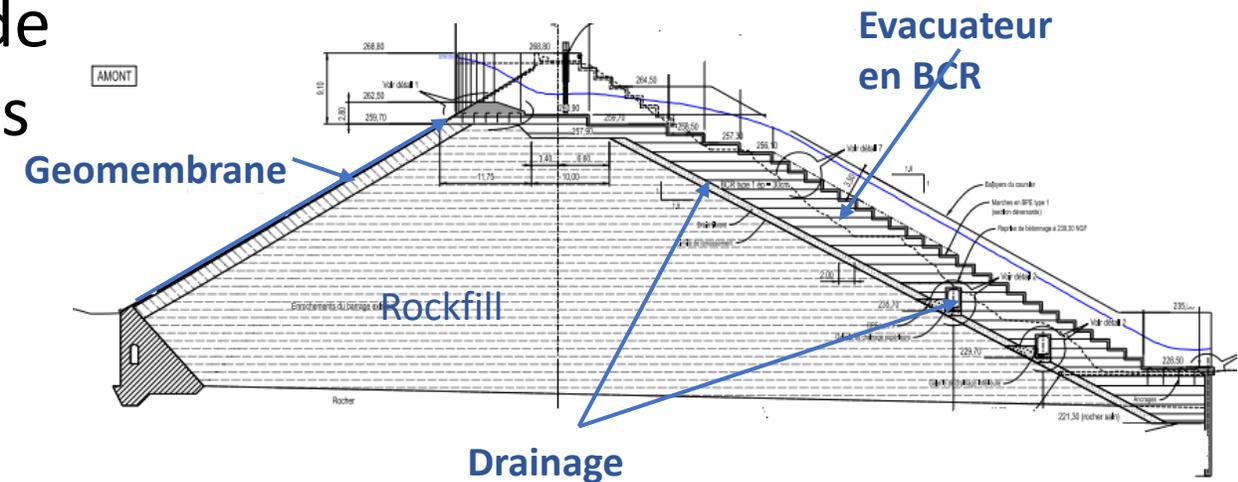
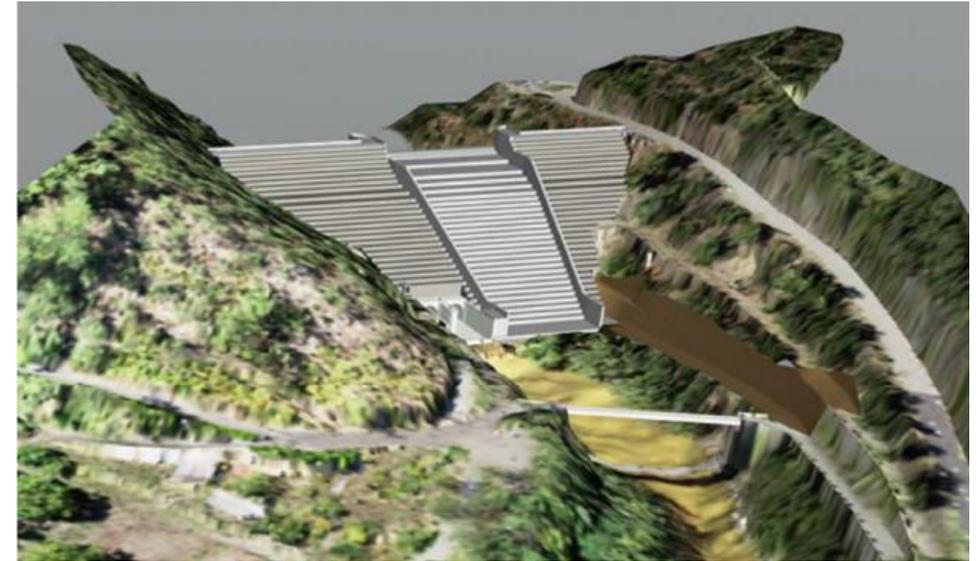
- Barrage en enrochement de 45 m construit en 1966-1967
- Masque amont en béton bitumineux
- Déversoir en tulipe d'une capacité limitée (920 m<sup>3</sup>/s)
- Crue de projet (10,000ans) ~ 2,520 m<sup>3</sup>/s
- Crue extrême ~3,300 m<sup>3</sup>/s



# Rendre nos barrages et nos digues résilients aux submersions

## En France : Sainte Cécile d'Endorge (en cours)

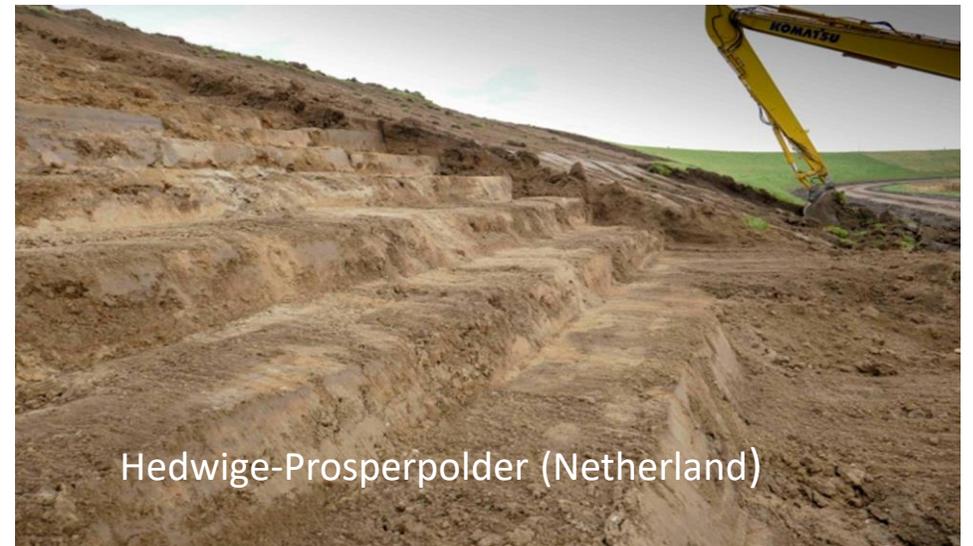
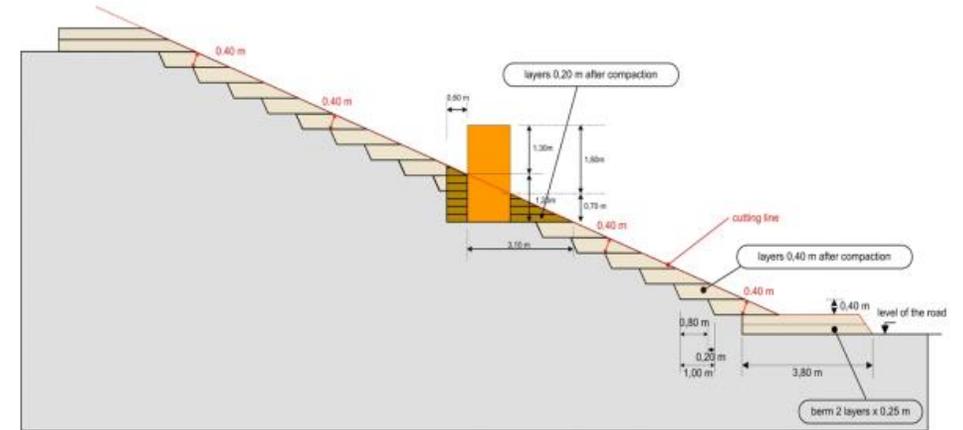
- Nouveau déversoir RCC fondé sur le talus aval en enrochement
- Dimensionné pour la crue de crue de projet et la crue de sûreté (y compris tulipe existante).
- Protection BCR de l'ensemble de la face aval conçue pour une crue **supérieure à la crue de sûreté**



# Rendre nos barrages et nos digues résilients aux submersions

## Pour les barrages existants non conçus pour être submergés

- **Carapace en sols cimentés** en développement en Europe et en Chine
- **Exemple** du talus aval de la digue maritime de protection de l'Hedwige Polder contre les franchissements en cas de tempêtes



Hedwige-Prosperpolder (Netherland)



# CONCLUSIONS

- **Des ruptures catastrophiques en 2023**
- **Le risque de submersion** s'accroît avec le changement climatique.
- Les ruptures par submersion représentent **jusqu'à 50 %** des ruptures des petits barrages dans certains pays, y compris la Chine.
- Avec les nouveaux risques liés au changement climatique, **les barrages cohésifs et résistants à l'érosion** devraient être choisis de plus en plus fréquemment.
- Le BCR et les CMD sont des **matériaux résistants à l'érosion**. Le retour d'expérience des déversoirs et protections en BCR est excellent.
- Les barrages en Remblai Dur/CSG/CSGR peuvent être construits sur (presque...) n'importe quel site et offrent une **alternative aux barrages en remblai**.
- Pour les petits barrages en remblai, la **carapace en sol cimenté** offre une bonne solution pour améliorer la résistance à la surverse.

# Merci de votre attention

