

La catastrophe de Derna

Libye – SEPTEMBER 10-11, 2023



Government of the Netherlands



WORLD BANK GROUP

LA RUPTURE DES BARRAGES DE L'OUED DERNA



Michel Lino, Président de la CIGB
Arnaud de Bonviller, Expert hydrologue



Aix-les-Bains
30 Janvier 2025



Government of the Netherlands



WORLD BANK GROUP



BREAKING POINT AN ASSESSMENT OF THE FAILURE OF THE WADI DERNA DAMS AND LESSONS FOR ENHANCING DAM SAFETY

JULY 2024

La catastrophe de Derna

Libye – SEPTEMBER 10-11, 2023



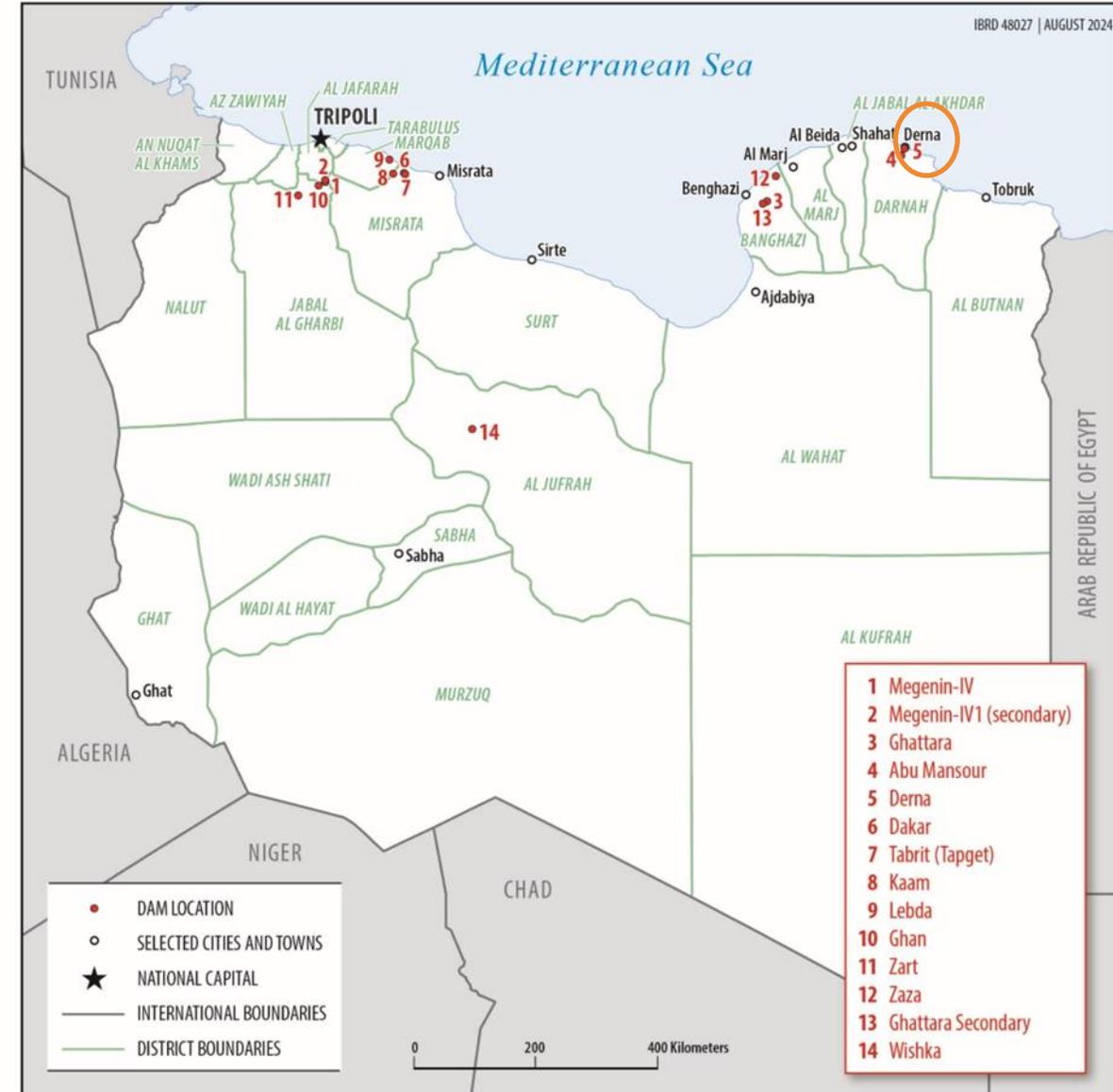
Government of the Netherlands



WORLD BANK GROUP

Les barrages de Libye

- Les barrages jouent un rôle important pour la sécurité de l'eau et la protection contre les inondations, malgré les conditions arides et la rareté naturelle de l'eau.
- Le portefeuille comprend 18 grands barrages, dont 14 sont enregistrés dans le registre des barrages de la CIGB.
- Capacité totale ~390 hm³, 3 barrages représentent >50%.
- âge moyen > 40 ans, avec 3 barrages > 50 ans
- **Derna et d'Abu Mansour ont été construits dans les années 1970 pour contrôler les inondations et protéger la ville de Derna, recharger les aquifères et fournir de l'eau au projet agricole de Fataya**



Aix-les-Bains
30 Janvier 2025

La catastrophe de Derna

Libye – SEPTEMBER 10-11, 2023



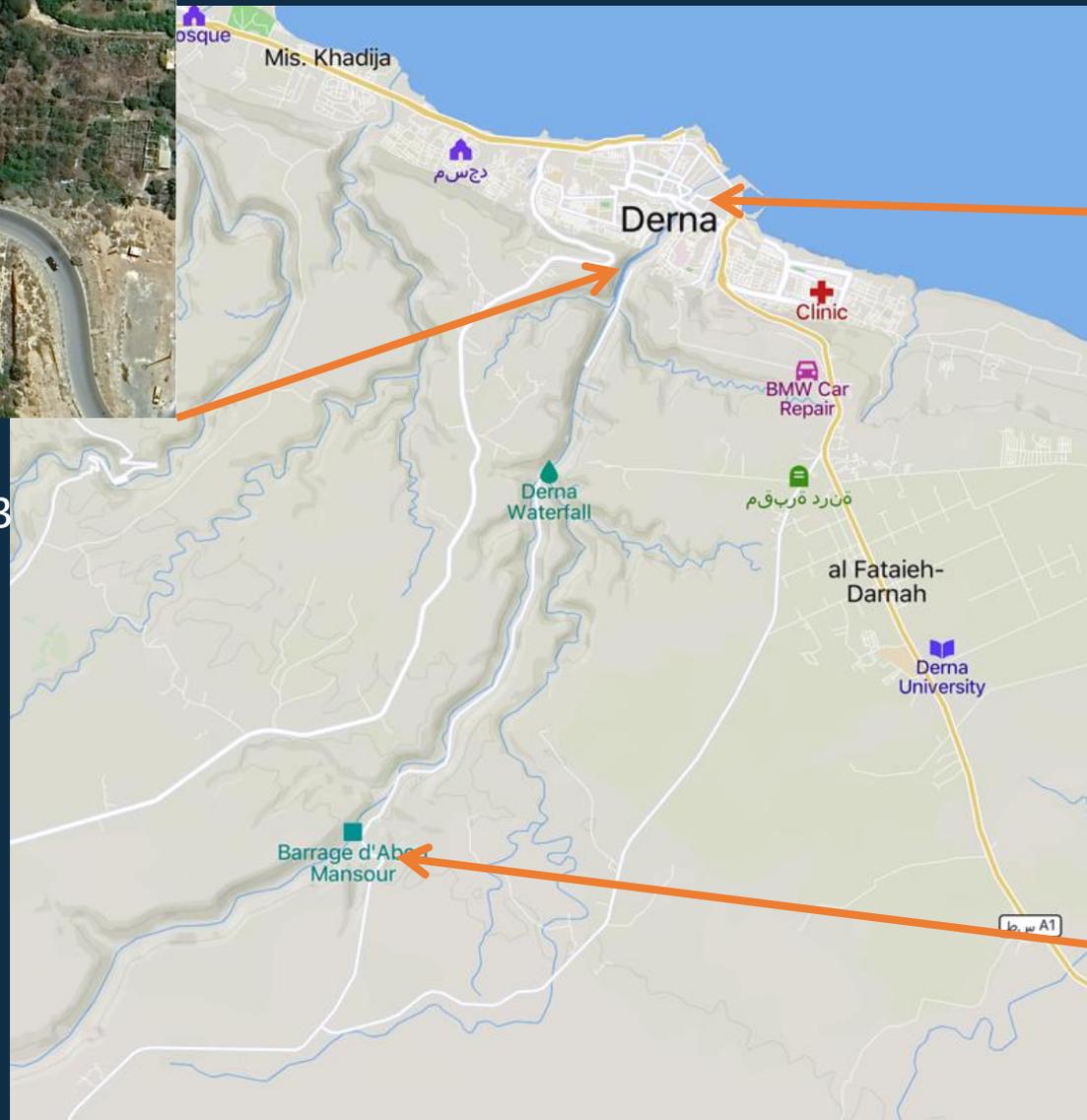
Government of the Netherlands



WORLD BANK GROUP



Le barrage de Derna
Hmax 40m (26m) - C=1.2 Mm3



Paysage de la ville de Derna avant la catastrophe



Barrage Abu Mansour
Hmax 73m (48m) - C=23.7 Mm3



Aix-les-Bains
30 Janvier 2025

La catastrophe de Derna

Libye – SEPTEMBER 10-11, 2023



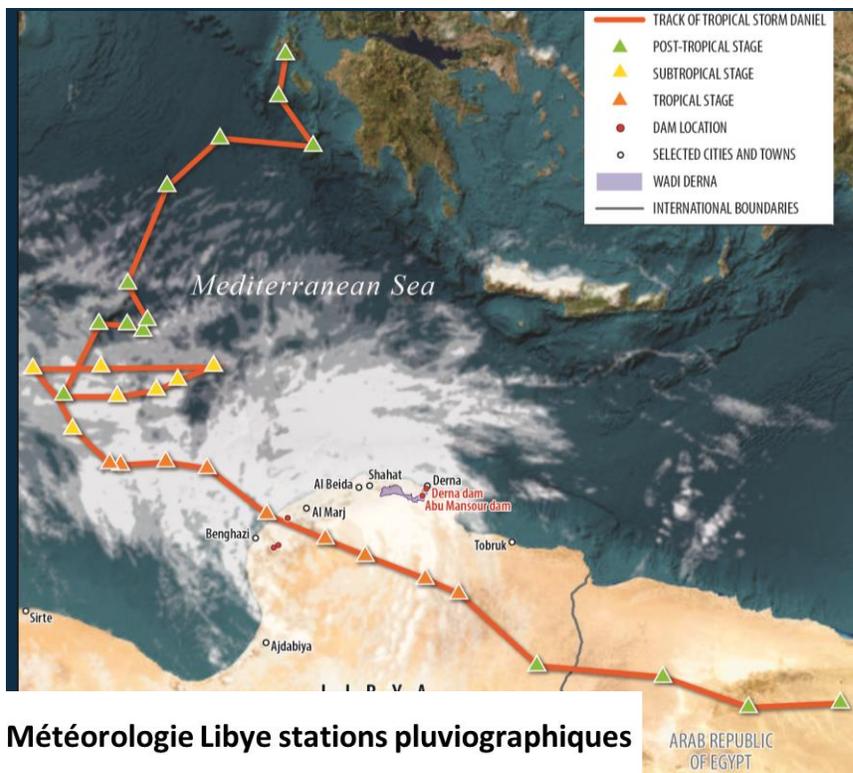
Government of the Netherlands



WORLD BANK GROUP

Les pluies

- L'évènement a concerné l'ensemble du bassin versant de l'oued Derna
- Dysfonctionnement du radar? Dépassement de la hauteur maximale mesurable à la station de Derna
- Des estimations très divergentes concernant la pluie des 10 et 11 septembre 2023
 - Stations au sol >150 mm
 - Produits satellites et de re-analyse : <100 mm
 - Imran et al, Météorologie nationale (Dr Elfadli) : ~300 mm



Météorologie Libye stations pluviographiques



- Osta et al : période de retour de la pluie de bassin
- ➔ Évènement entre 500 et 10 000 ans!
- 200 mm : 500 ans

Période de retour (ans)	Pluie (mm)
10000ans	333
5000 ans	303
1000 ans	234
500 ans	204
100 ans	135
50 ans	105

La catastrophe de Derna

Libye – SEPTEMBER 10-11, 2023



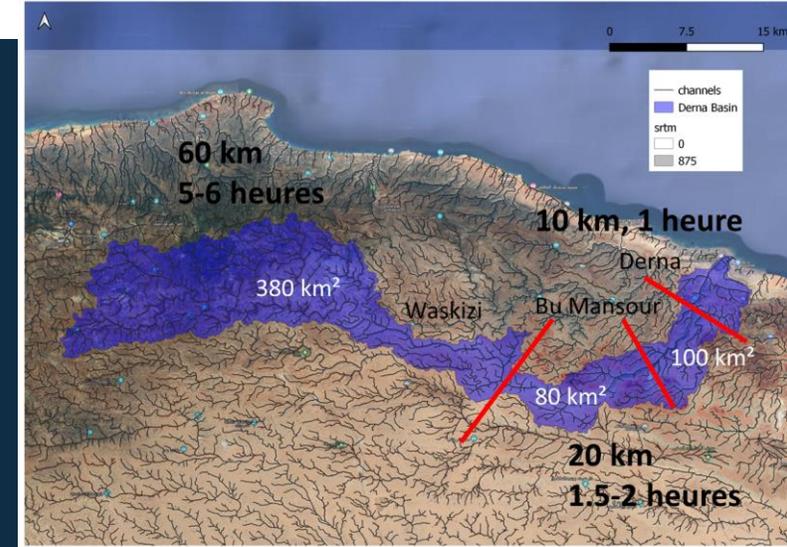
Government of the Netherlands



WORLD BANK GROUP

Les débits et volumes – pluie provoquant la surverse

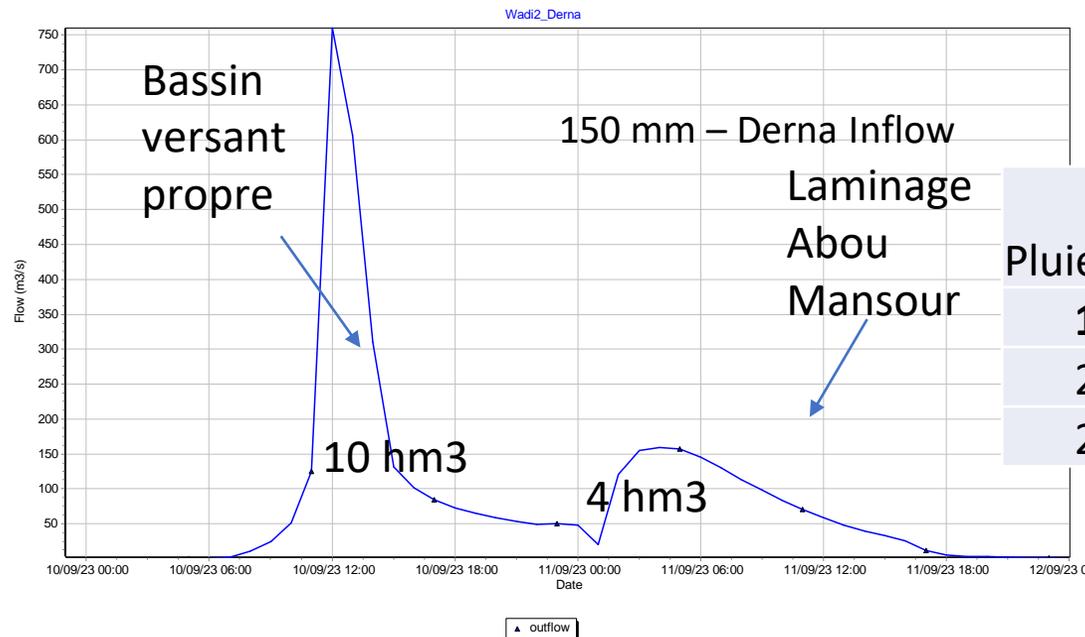
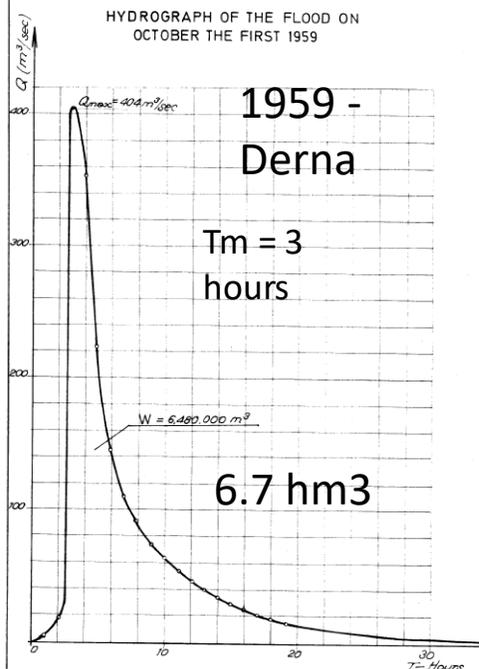
- Calibration d'un modèle HU sur les événements de 1959, 1968 et 1986
- Simulations d'évènements de cumul allant de 150 à 300 mm.



DERNA

Volume retenue de Derna : 1 hm^3 ,
débit tulipe : $350 \text{ m}^3/\text{s}$

DERNA : WATER LEVEL RECORDER



Pluie (mm)	Débit max Derna (m^3/s)	Volume (hm^3)	Cote dans la retenue (asl)
150	750	14	>45
200	1100	34	>45
250	1500	58	>45

Pour une pluie de 150 mm, la retenue de Derna surverse largement

La catastrophe de Derna

Libye – SEPTEMBER 10-11, 2023



Government of the Netherlands



WORLD BANK GROUP

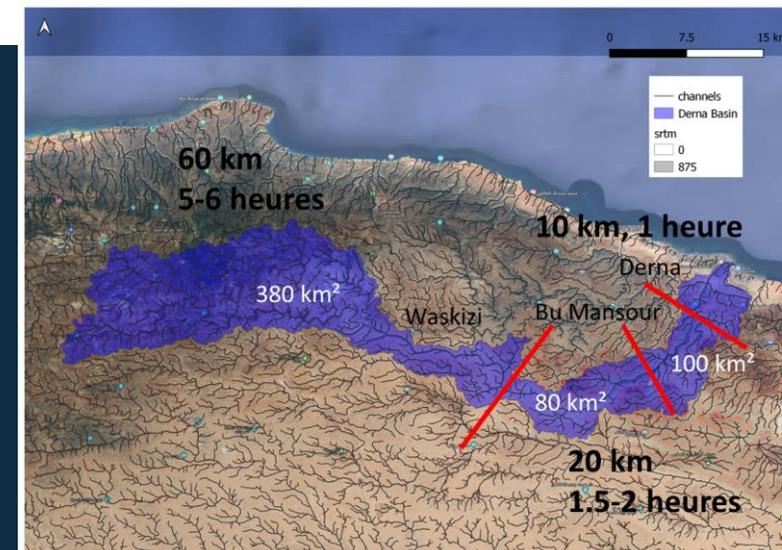
Les débits et volumes – pluie provoquant la surverse

ABU MANSOUR

Pluie (mm)	Pic Abu Mansour (m ³ /s)	Volume - Abu Niveau max atteint Mansour (hm ³)	(asl)
150	880	30	227
200	1350	50	>228
250	1900	68	>228

Pour une pluie de 200 mm, la retenue de Abu Mansour surverse.

Volume retenue d'Abu Mansour: 24 hm³,
débit tulipe : 170 m³/s



En l'absence de barrage, T=1000 ans	Pic (m ³ /s)	Volume (hm ³)
Derna	1950	78
Abu Mansour	1750	61

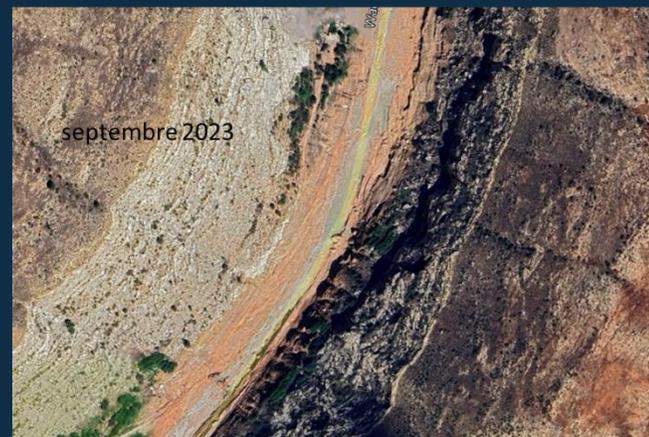
Crue de projet (volume+débit de pointe) des deux retenues : 500 ans pour Abu Mansour, <500 ans pour Derna



Estimation des débits et volumes lors de l'évènement de 2023 – comparaison avec une situation sans barrage

Traces de l'inondation et pente moyenne :
6000 à 7000 m³/s à l'aval d'Abu Mansour
(fourchette basse des estimations)

Formulations théoriques pour le débit de
pointe lié à la rupture de la retenue de
Derna : de 1500 à 5000 m³/s



Débit atteint à Derna en l'absence de
barrage pour des pluies de 200 à 300 mm
respectivement: 1400 et 2800 m³/s

Un “mur d'eau”

Capacité de l'oued dans la traversée de Derna : inférieure à $1000 \text{ m}^3/\text{s}$

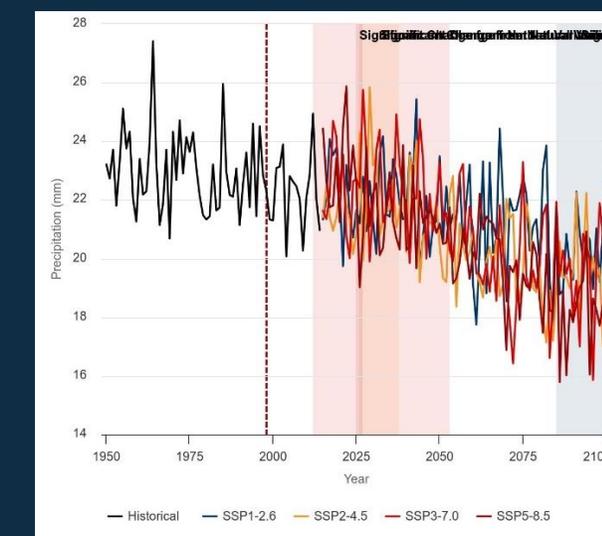
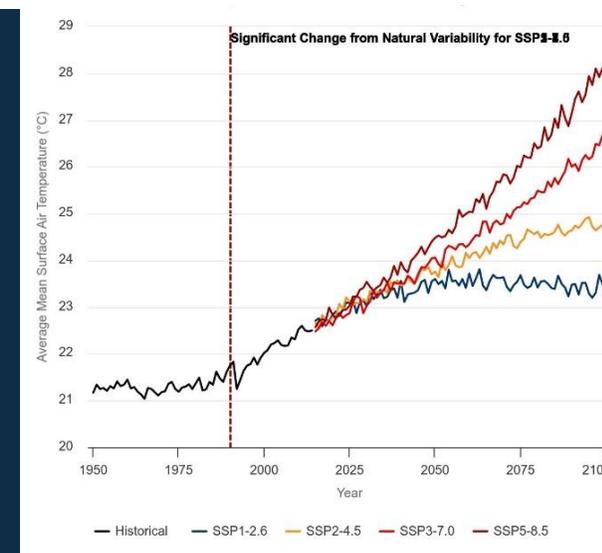
Un chenal principal de 250 mètres de large, une inondation sur une largeur de 800 mètres à l'aval





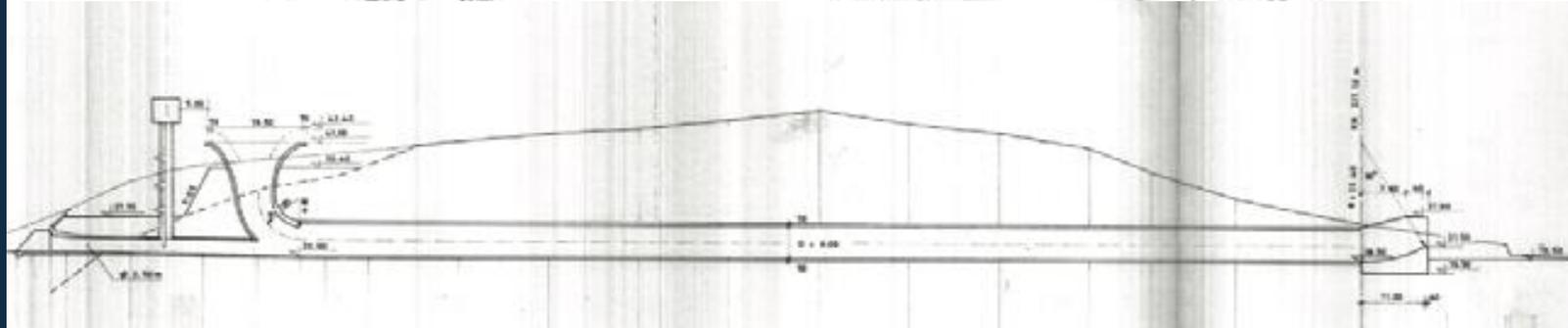
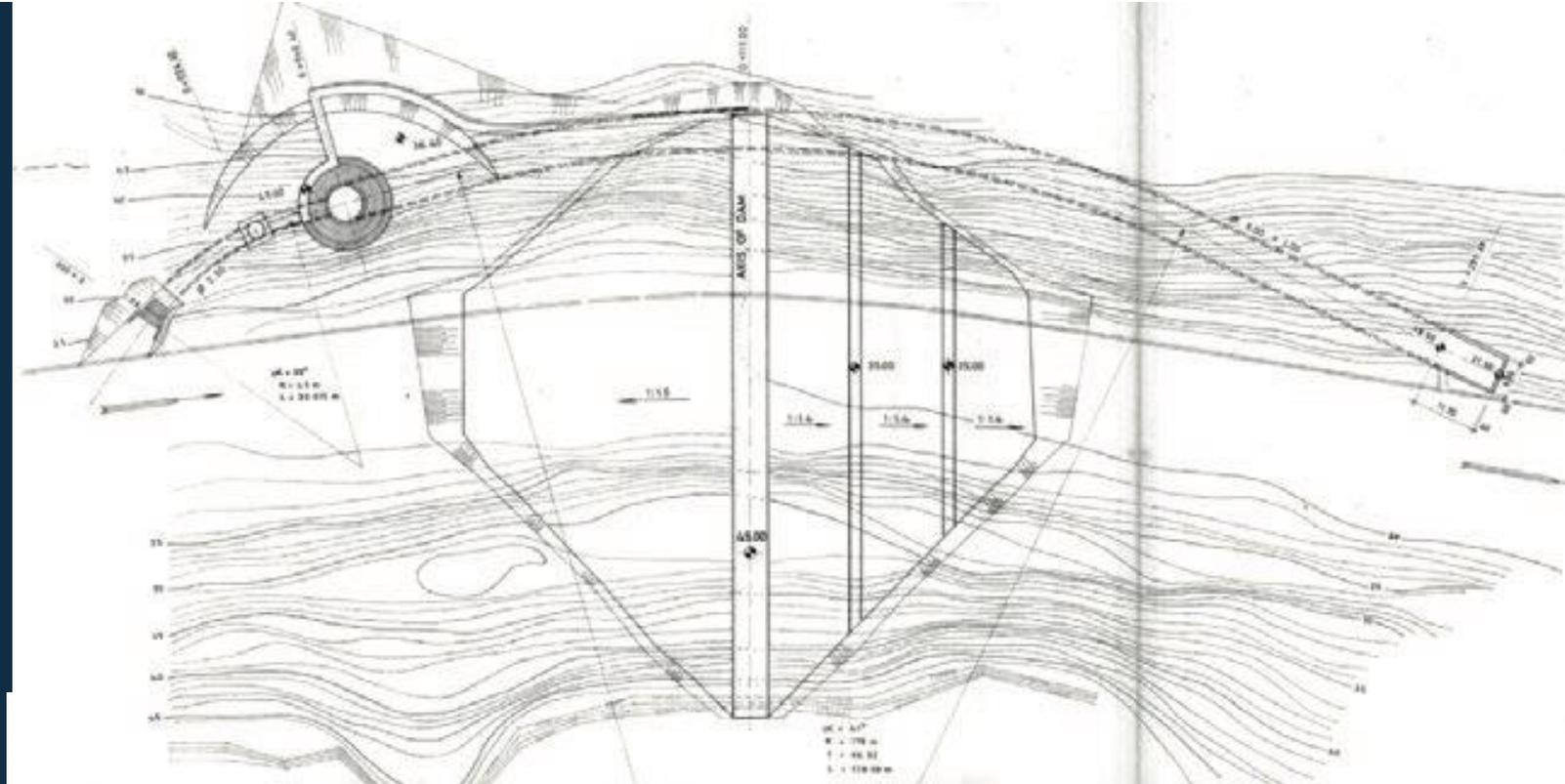
Impact du changement climatique

- Région sud-méditerranéenne : réchauffement plus rapide de 20% par rapport aux moyennes mondiales.
- principes thermodynamiques : $+1^{\circ}\text{C} = \sim +6 \text{ à } 7\%$ précipitations
- Ecart projeté par rapport à la variabilité naturelle (voir figure) : tendance à la baisse des précipitations pour la Libye.
- Attribution de cet évènement au changement climatique? , difficile à démontrer du fait de l'absence d'évènements analogues et de chroniques suffisamment longues ; une étude attribue cependant l'évènement « Daniel » sur la Grèce, Turquie et Bulgarie au changement climatique



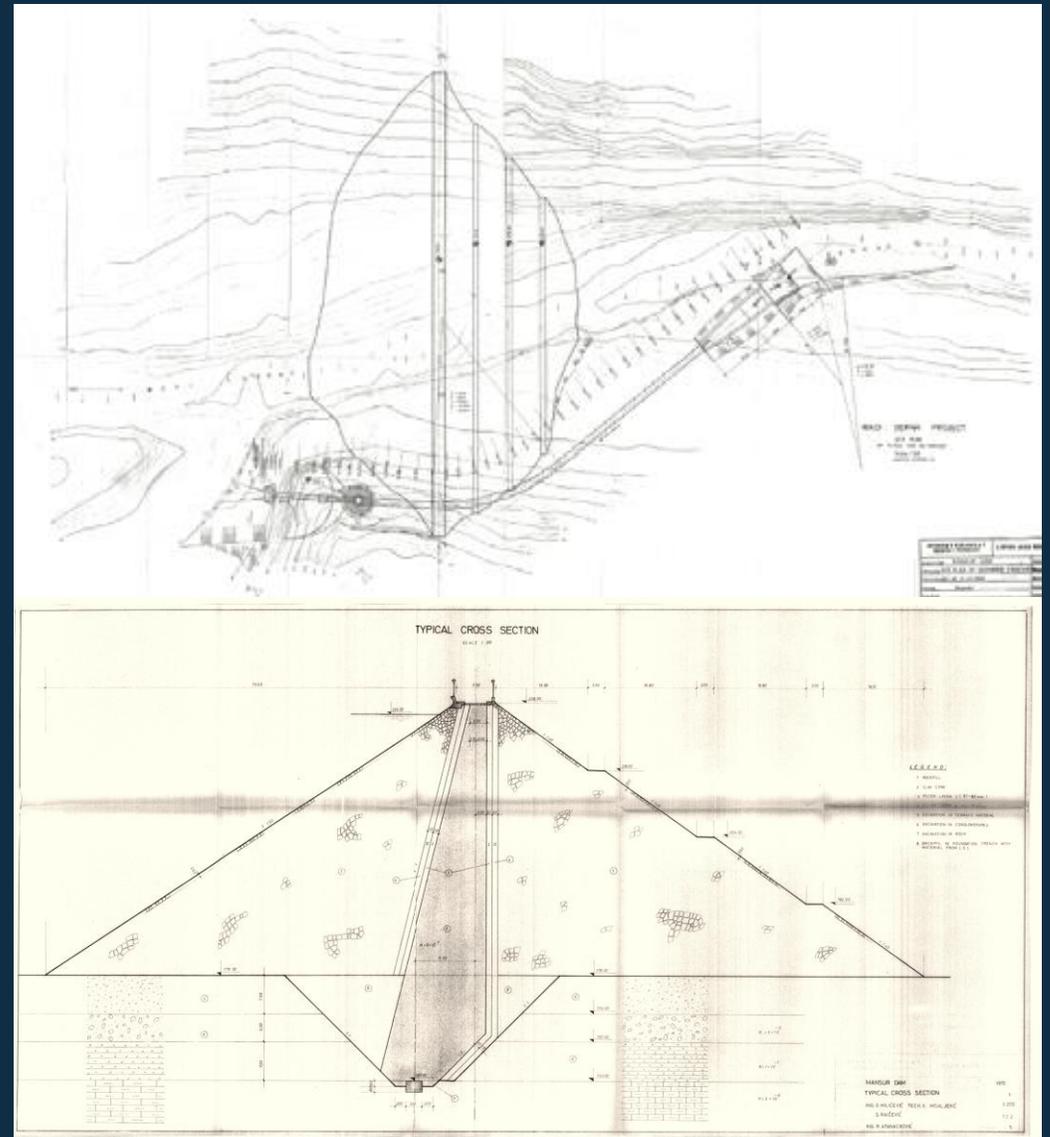
Barrage Derna

- Barrage en remblai avec un noyau mince en argile
- Situé à ~1 km en amont de la ville de Derna
- Bassin versant = 575 km²
- Hauteur = 40 m sur fondation
- Stockage = 1,15 hm³
- Déversoir de type Tulipe
- Capacité du déversoir = 350 m³/s



Barrage Abu Mansur

- Barrage en remblai avec un noyau d'argile mince
- Situé à ~11 km en amont du barrage de Derna
- Bassin versant = 476 km²
- Hauteur = 73 m sur fondation
- Stockage = 23,7 hm³
- Déversoir de type tulipe
- Capacité du déversoir = 170 m³/s



Géologie difficile

- Socle : calcaire marneux (Eocène / Oligocène) à grain fin à microcristallin avec un faciès calcaire comprenant des cherts et de la substance bitumineuse.
- Preuve de karstification et de dolomitisation
- **Moyennement à fortement perméable**
- **Érodable**

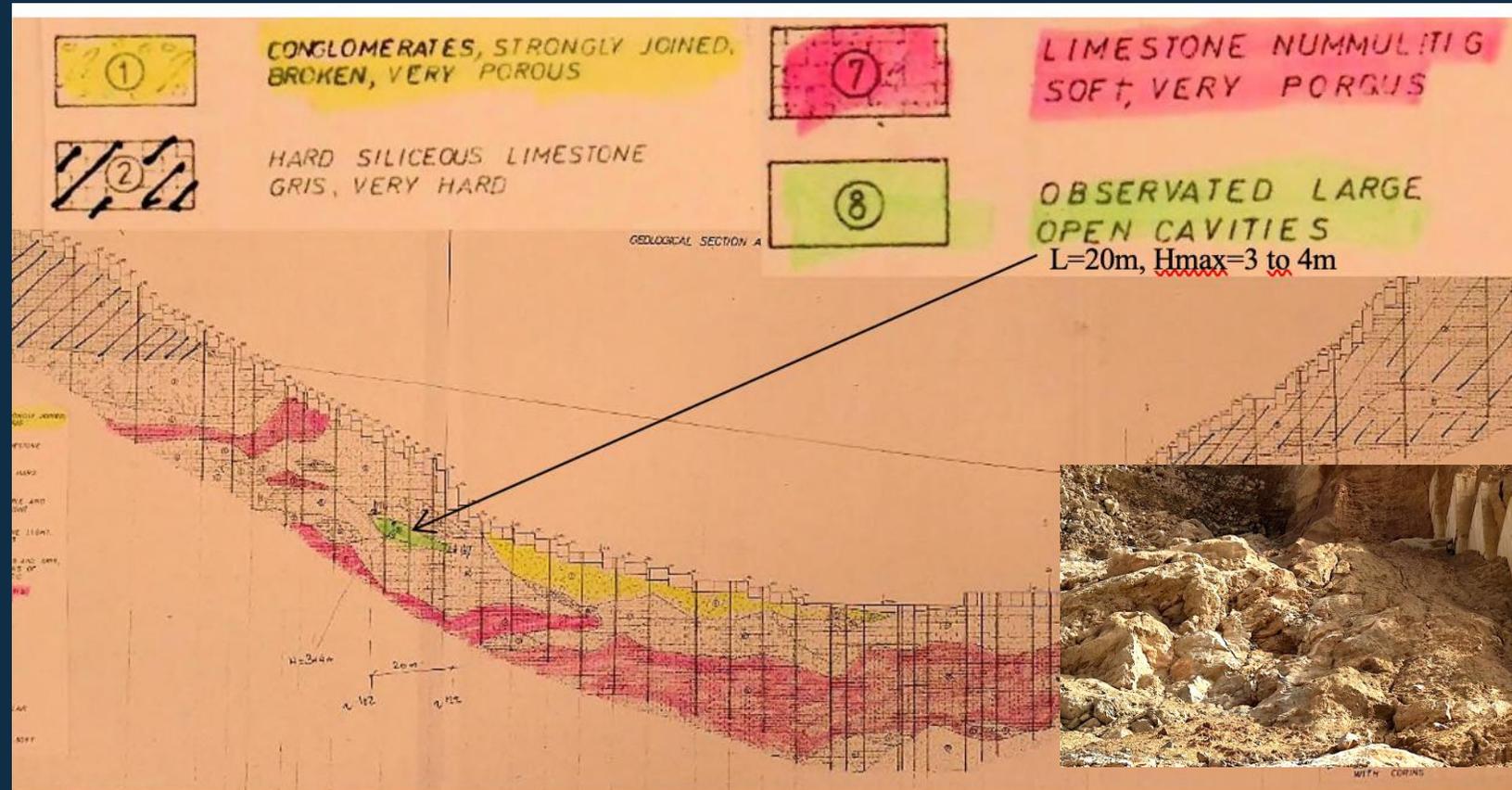


Figure 4-4: Bu Mansur dam: Geological cross section along the foundation of the core (Hidroprojekt, 1975/76)

Les deux barrages étaient en très mauvais état

- Le concepteur a ausculté le comportement des deux barrages jusqu'en 1985.
- Il a mis en évidence un tassement excessif des deux barrages (jusqu'à 4 % de la hauteur) et signalé un problème d'étanchéité sur les deux barrages
 - 3 m³/s de fuite sous une charge de moins de 14 m à Abu Mansur,
 - développement de 3 fontis à Derna.
- Recommandation de limiter le niveau maximum du réservoir à Derna à 30 asl (0,2 Mm³) !

La sécurité des barrages a été réexaminée en 2003 après 25 ans par Stucky, mais aucune mesure corrective préconisée n'a été mise en œuvre.



La crue de 1986

Abu Mansur

Niveau d'eau maximum : 216,65 asl (H=38m, V=13 Mm³)

Le déversoir n'a pas fonctionné (224,50 asl)

Infiltration : 15 m³/s dans la retenue et à travers le barrage et les fondations

Eau blanchâtre en aval (présence de fines)

Derna

Niveau maximal : 41,60 asl

Déversoir (41 asl) : déversement de 60 cm sur la corolle
(33,40 asl en 1988, 39,70 asl en 1991, 36,80 asl en 1993)

La catastrophe de Derna

Libye – SEPTEMBER 10-11, 2023



Government of the Netherlands



WORLD BANK GROUP

Mauvaise conception géotechnique

- Noyau d'argile très mince
- Filtres minces à l'amont et à l'aval
- Excavation profonde pour fonder le noyau
- Marches en béton de 3m dans l'axe du noyau

➤ **risque élevé d'effet d'arc dans le noyau et d'érosion interne**

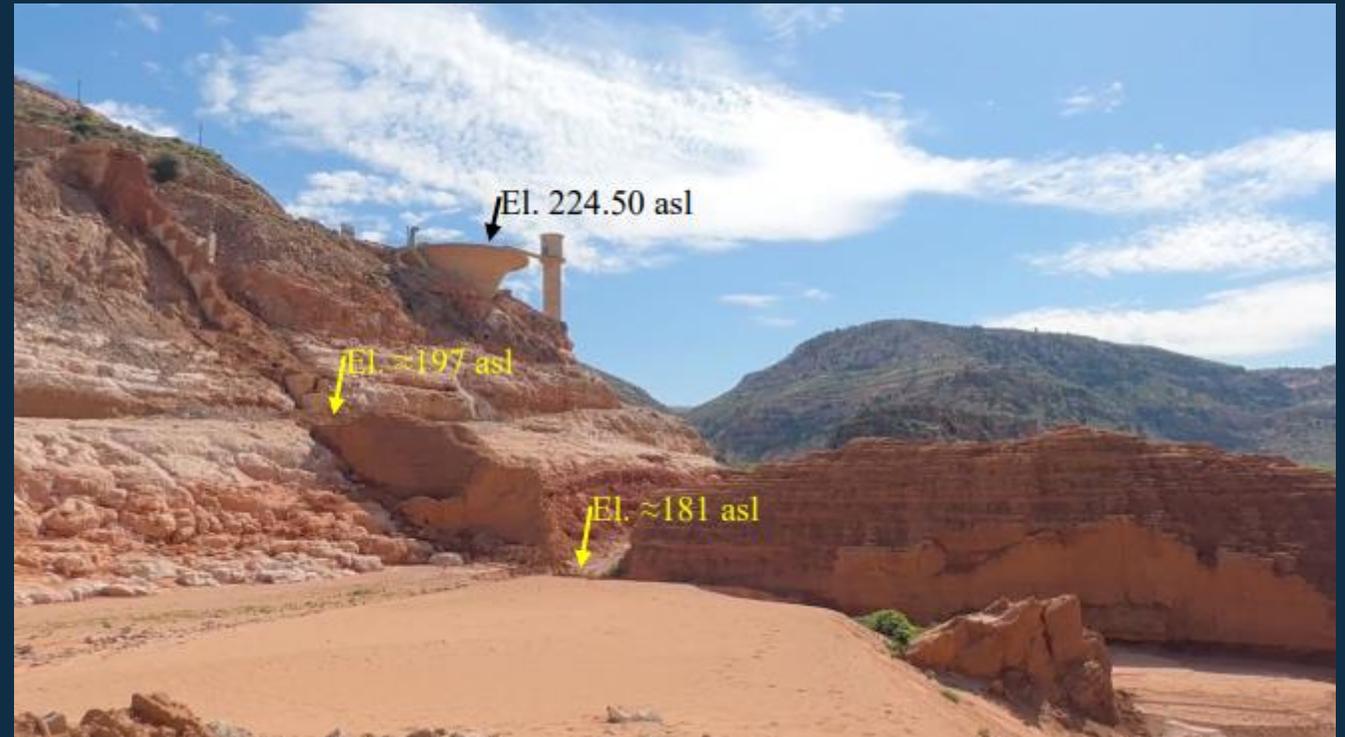


Rive droite d'Abu Mansur

Mauvaise conception hydraulique

- Capacité des retenues très faible ($23,7 \text{ hm}^3$ et 1.2 hm^3 par rapport au volume de crue (61 et 78 hm^3) : laminage insignifiant.
- Déversoir en tulipe de capacité limitée (170 et $350 \text{ m}^3/\text{s}$) sans proportion avec les débits de crue estimés (1750 et $1950 \text{ m}^3/\text{s}$ pour une période de retour 1000 ans)

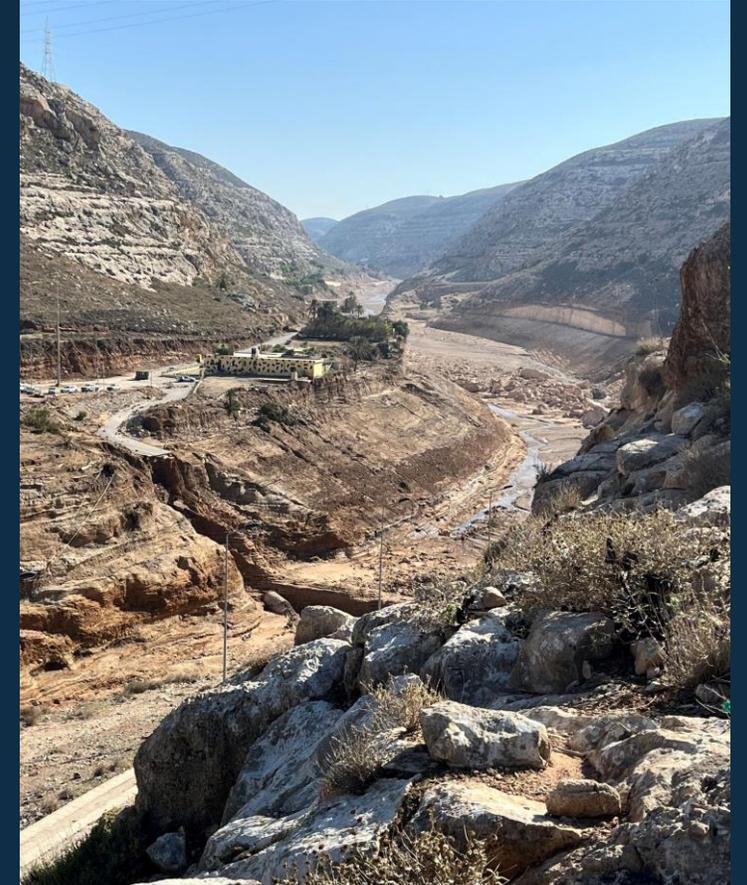
➤ **Surverse et rupture inévitables des deux barrages**



Abu Mansur vue d'aval

La pire catastrophe liée à un barrage depuis des décennies

- L'oued Derna a été soumis à des précipitations extrêmes. Une incertitude subsiste quant aux quantités de précipitations réelles.
- Le changement climatique a rendu l'événement plus probable.
- L'événement est considérablement plus élevé que les estimations initiales de la conception des barrages.
- Le scénario de rupture le plus probable est la surverse des deux barrages et la rupture du barrage de Derna intervenant en premier.
- Des périodes de retour plus faibles ($< T=500$) auraient conduit au déversement et donc à la rupture catastrophique.



Abu Mansour, vue d'amont

Enseignements tirés

Les trois piliers de la sécurité des barrages en défaut

1. Stabilité structurale non assurée et sous dimensionnement hydraulique
2. Évaluation et surveillance périodiques de la sécurité insuffisante et aucune mesure corrective n'a été prise
3. Pas de plan de préparation aux situations d'urgence, pas de système de prévision des crues, pas de système d'alerte

✓ **Cause première du désastre** : une conception totalement inadéquate aggravée par une surveillance et maintenance défailtantes,

✓ Aggravée par **l'impact du changement climatique** sur les crues extrêmes

✓ Aggravée par la **défaillance institutionnelle et organisationnelle**

La catastrophe de Derna

Libye – SEPTEMBER 10-11, 2023



Government of the Netherlands



WORLD BANK GROUP

Merci de votre attention



Michel Lino, Président de la CIGB
Arnaud de Bonviller, Expert hydrologue



Aix-les-Bains
30 Janvier 2025