

Sécurité en cas de crue

Crues de projet et de sécurité

Hochwassersicherheit

Bemessungs- und Sicherheitshochwasser

Jean-Louis Boillat



Crues et sécurité

Hochwasser und Sicherheit

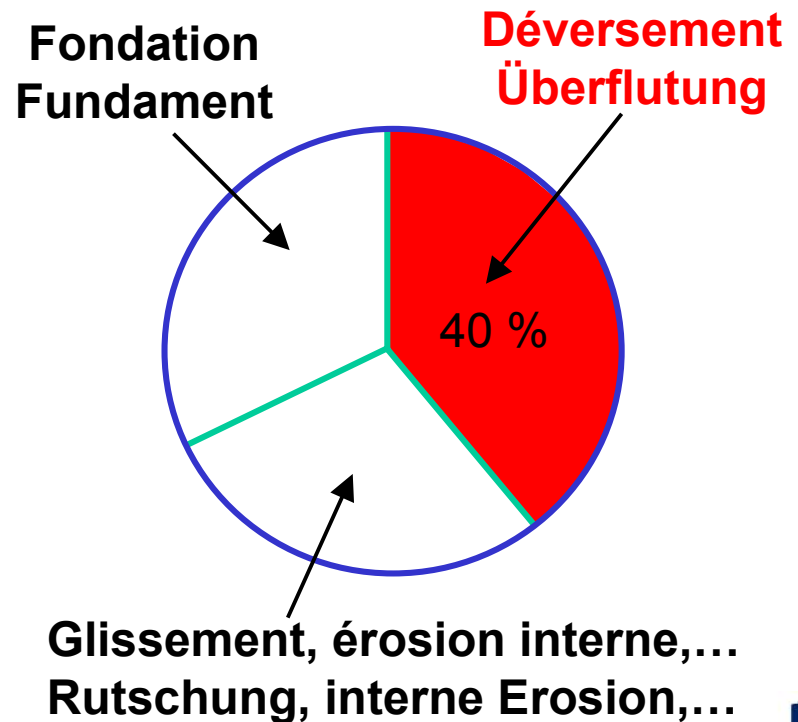
- La crue peut provoquer des dégâts importants à un ouvrage de retenue, voire entraîner sa ruine.
- Hochwasser kann bei einer Stauanlage bedeutende Schäden hervorrufen und diese sogar zerstören.



Crues et sécurité

Hochwasser und Sicherheit

- Plus de 40% des ruptures de digues sont dues à un déversement par-dessus le couronnement.
- Mehr als 40% der Dammbrüche sind die Folge einer Überflutung der Krone.



Crues et sécurité

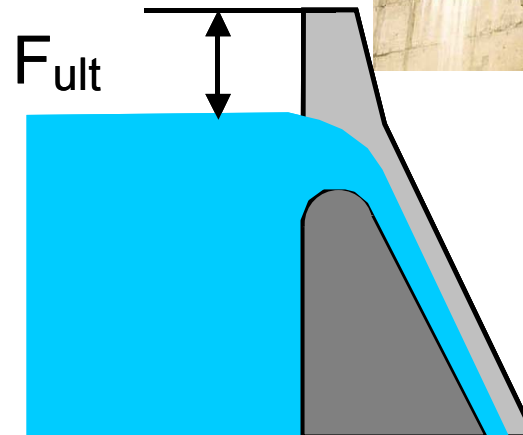
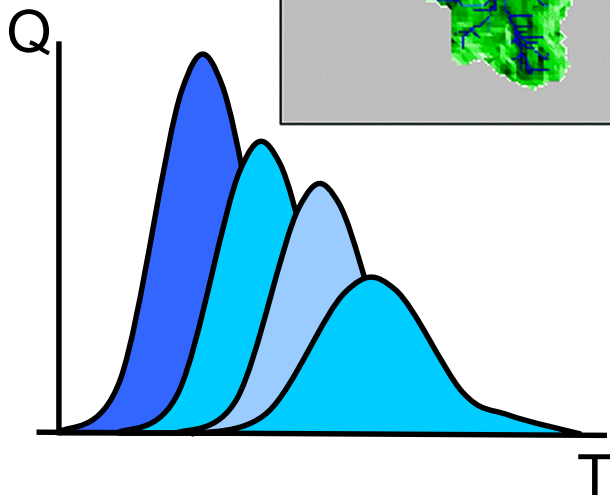
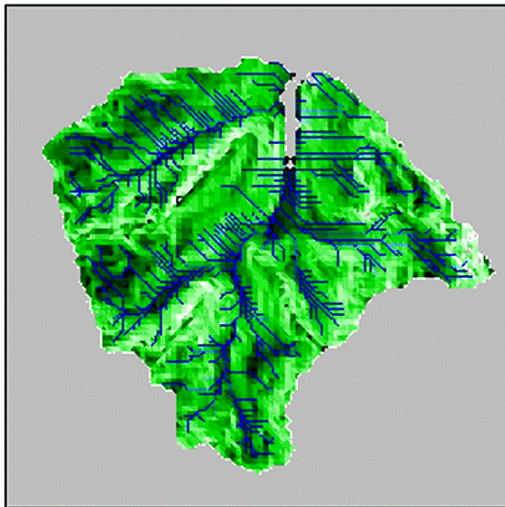
Hochwasser und Sicherheit

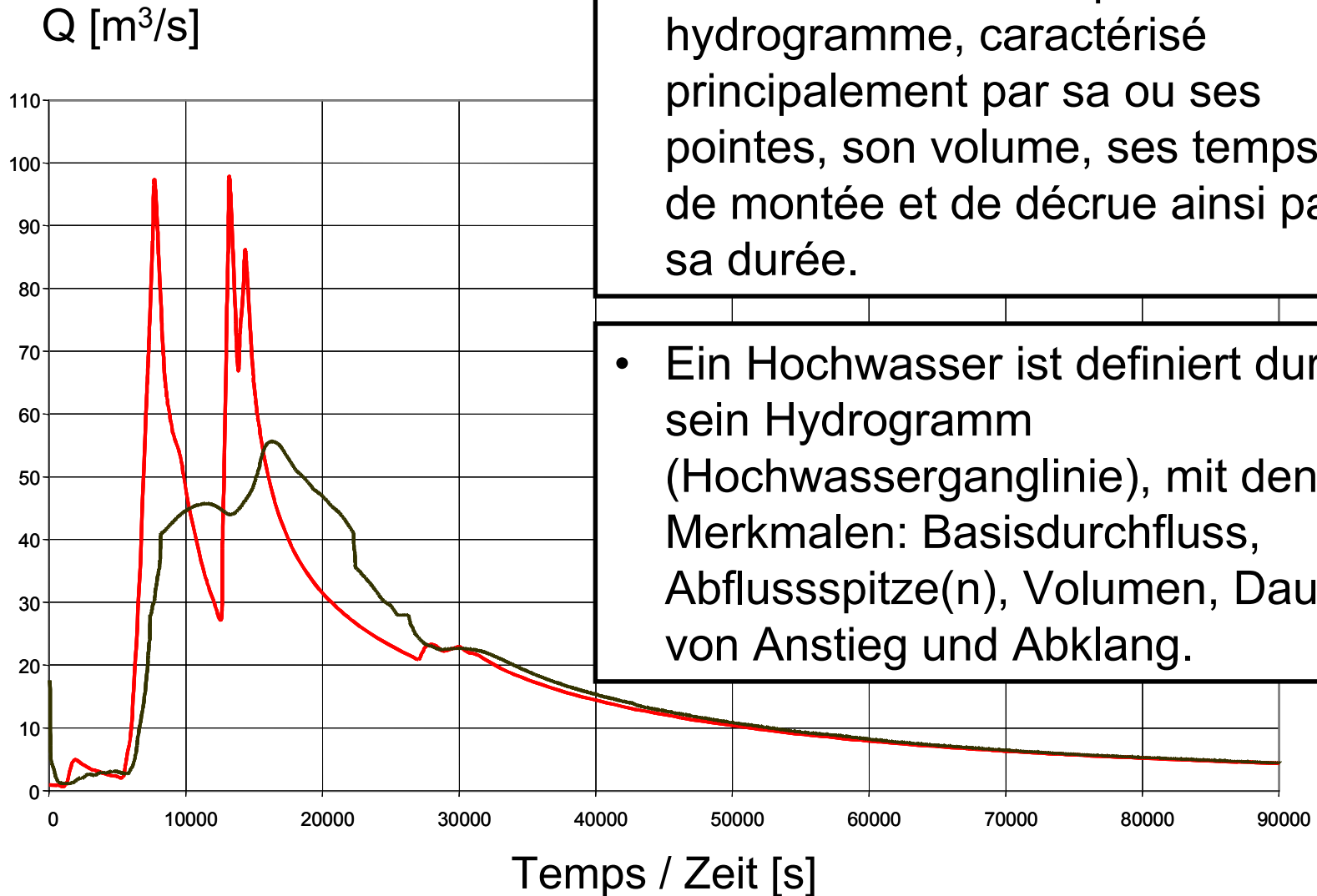
- En conséquence, les ouvrages de retenue doivent être conçus pour permettre le passage des crues sous les conditions prévues et avec la marge de sécurité fixée.
- Folglich müssen Stauanlagen so konzipiert sein, dass Hochwasser unter den voraussichtlichen Bedingungen mit einer ausreichenden Sicherheit bewältigt werden können.



Plan de l'exposé

Inhaltsverzeichnis





- Une crue est définie par son hydrogramme, caractérisé principalement par sa ou ses pointes, son volume, ses temps de montée et de décrue ainsi par sa durée.

- Ein Hochwasser ist definiert durch sein Hydrogramm (Hochwasserganglinie), mit den Merkmalen: Basisdurchfluss, Abflussspitze(n), Volumen, Dauer von Anstieg und Abklang.



- Une crue est souvent accompagnée de processus additionnels liés au transport de sédiments et de corps flottants.



Palagnedra (1978)

- Oft ist ein Hochwasserereignis begleitet von Erosion, Sedimentation, Geschiebefracht und Treibholz.



Crues considérées Massgebende Hochwasser

- Crue de projet

- Bemessungshochwasser

- Crue de sécurité

- Sicherheitshochwasser



Crue de projet Bemessungshochwasser

- La crue de projet correspond à un événement exceptionnel et doit être évacuée dans des conditions normales d'écoulement, sans provoquer aucun dommage et avec une marge de sécurité fixée par une revanche ultime.
- Das Bemessungshochwasser ist ein ausserordentlicher Fall und muss unter normalen Abflussbedingungen mit einer durch die Höhe des Bemessungsfreibords bestimmten Sicherheitsmarge abgeführt werden können ohne irgend einen Schaden zu hinterlassen.



Crue de sécurité Sicherheitshochwasser

- La crue de sécurité correspond à un événement extrême que l'ouvrage de retenue doit être capable de supporter. Son passage dans la retenue conduit au niveau maximum admis pour le plan d'eau.
- Das Sicherheitshochwasser entspricht demjenigen Hochwasser, welches die Stauanlage unter extremen Bedingungen in der Lage zu bewältigen sein muss. Im Allgemeinen erzeugt es den höchsten zulässigen Wasserspiegel in der Stauanlage.

Crués exceptionnelles et extrêmes

Ausserordentliche und extreme Hochwasser

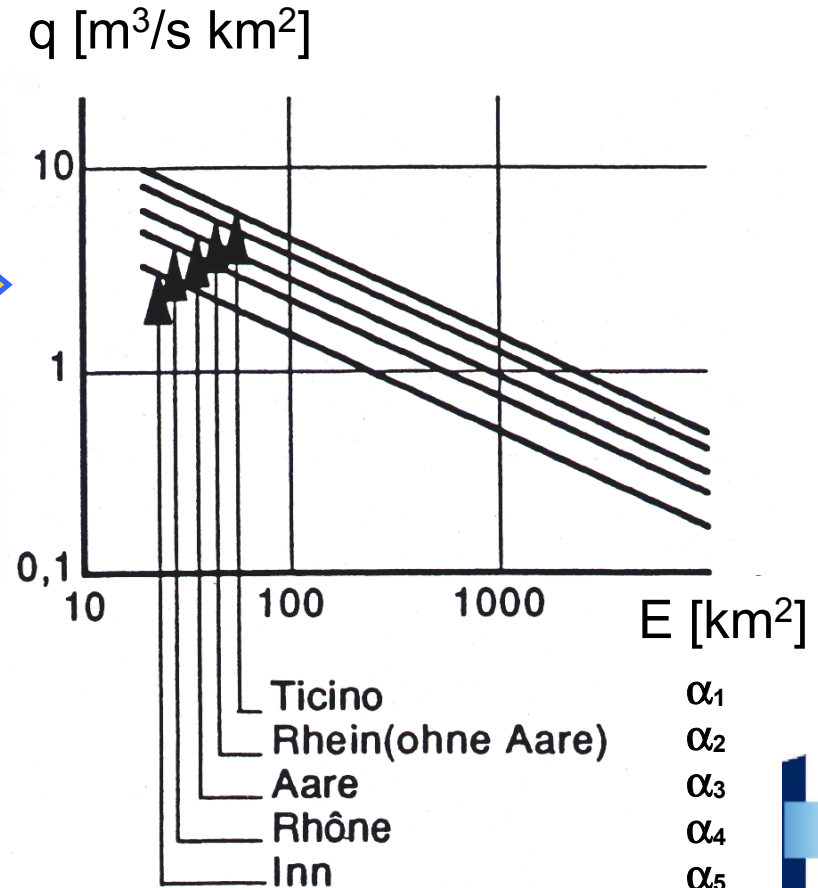
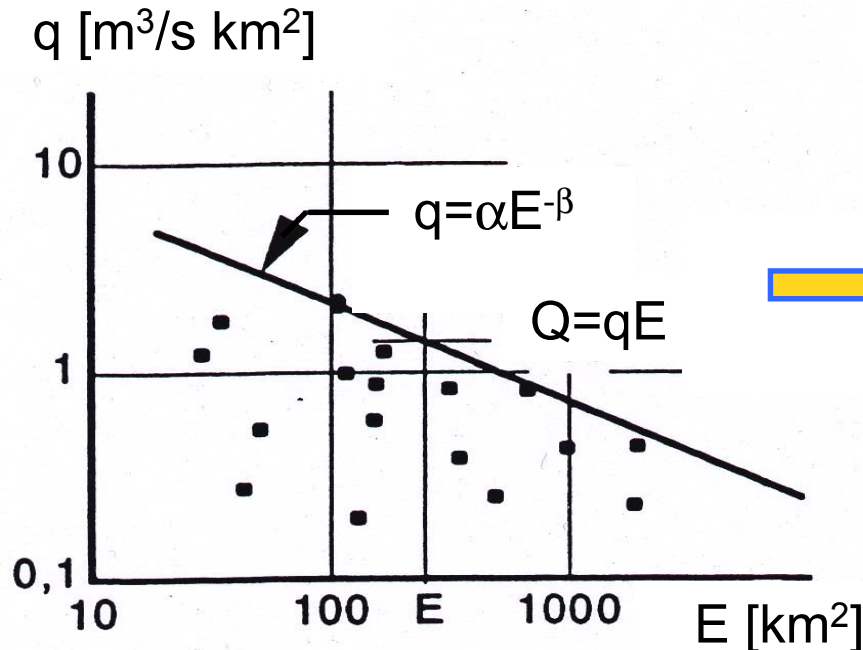
- Méthodes historiques
- Méthodes empiriques
- Méthodes statistiques
- Méthodes indirectes (faisant intervenir la pluie)
- Autres....

- Historische Quellen
- Empirische Methoden
- Statistische Methoden
- Indirekte Methoden (über Niederschlagsmessungen)
- Andere...



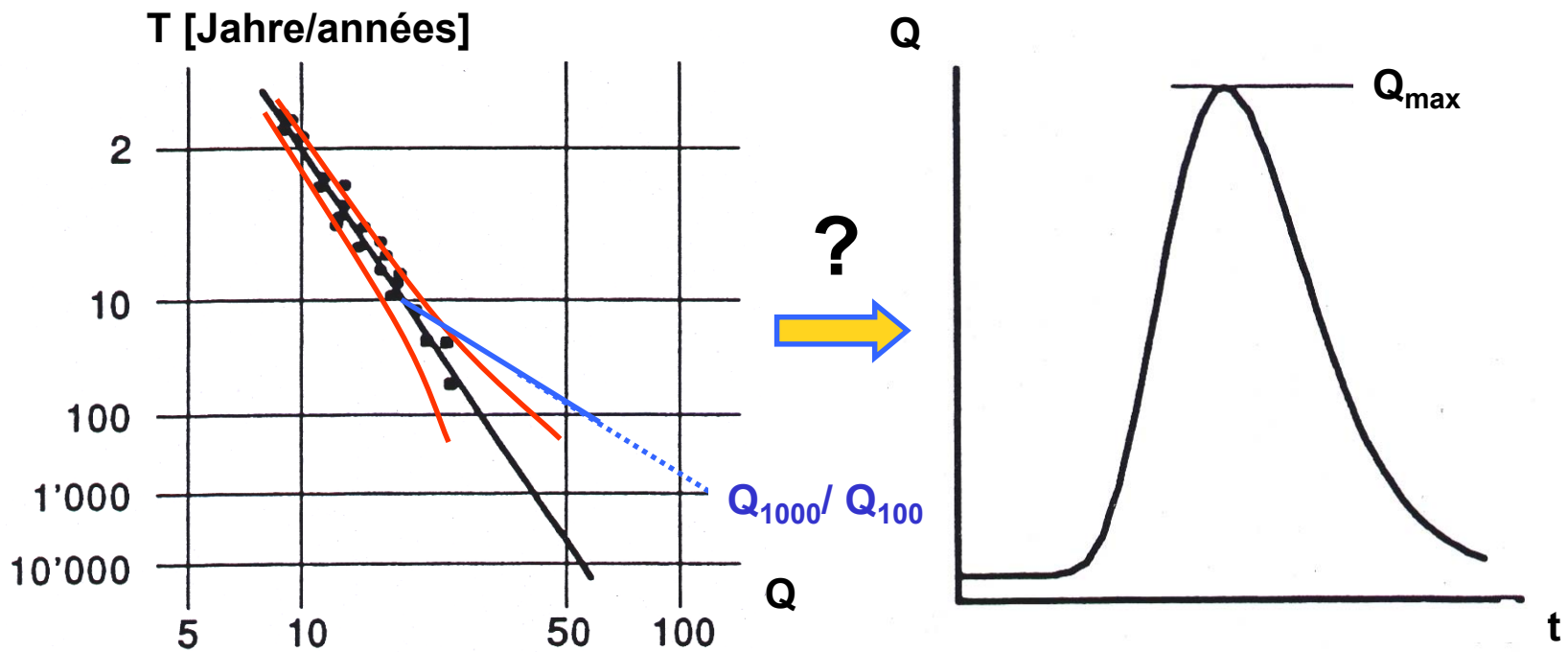
Méthodes historiques et empiriques

Historische Quellen und empirische Methoden

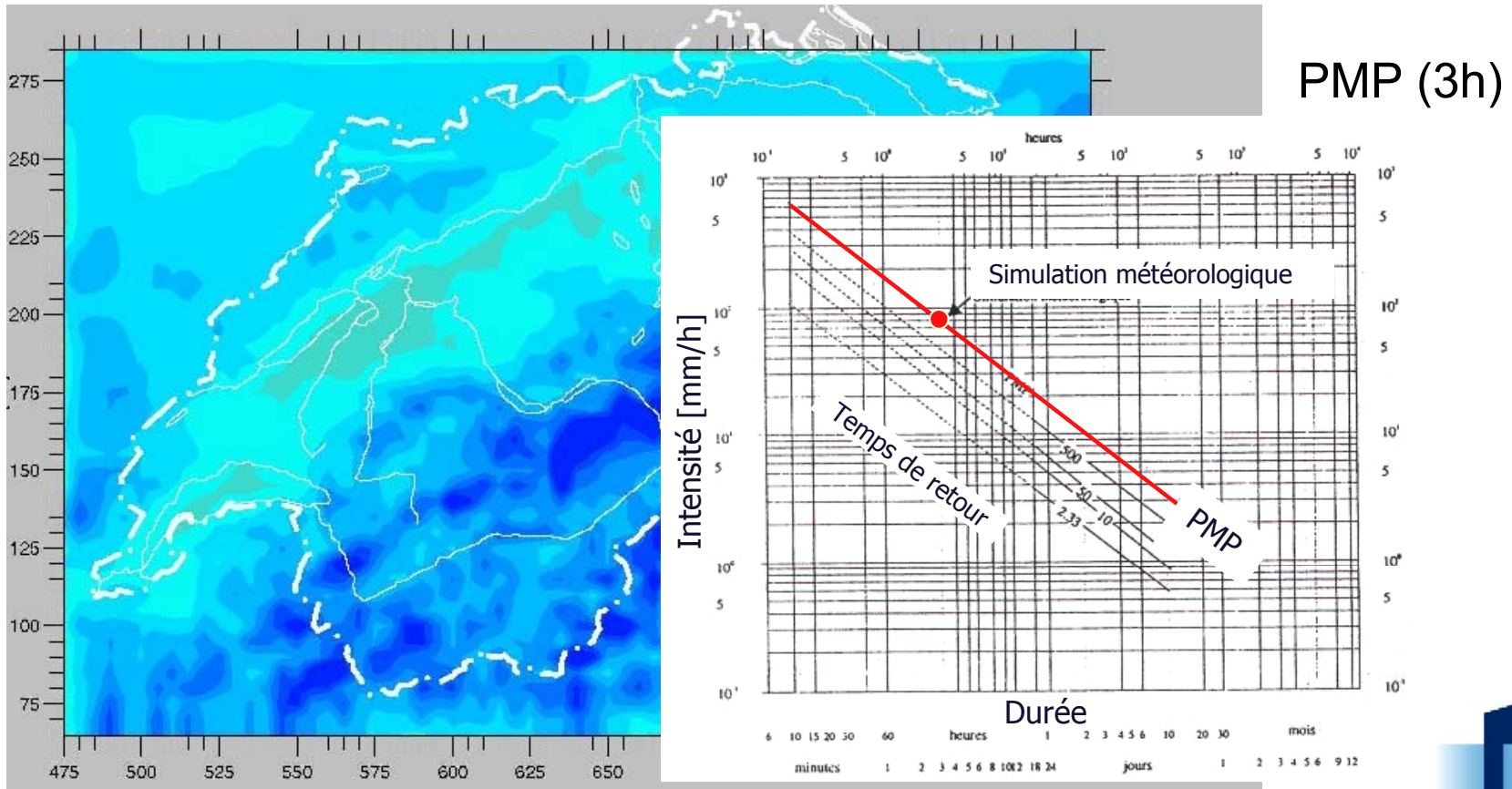


Méthodes statistiques

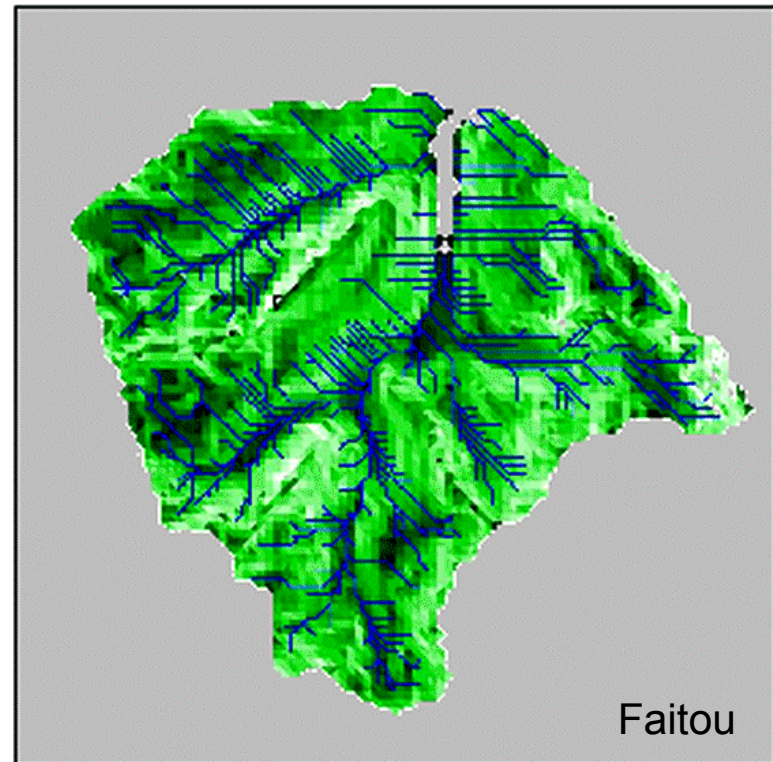
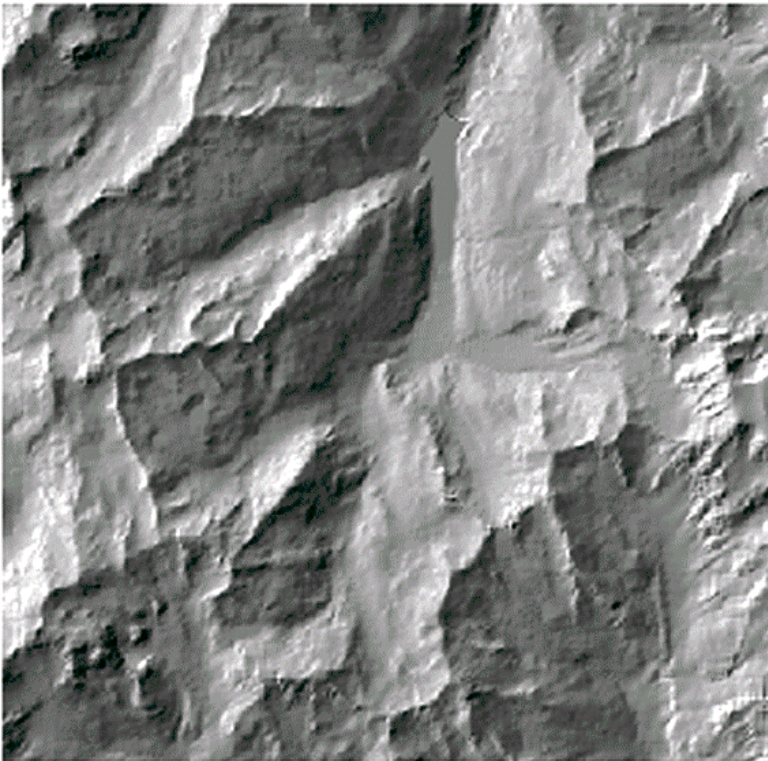
Statistische Methoden



Méthodes indirectes (pluie-débit) Indirekte Methoden (Regen-Abfluss)



Méthodes indirectes (pluie-débit) Indirekte Methoden (Regen-Abfluss)



Principe de base Grundprinzip

- L'importance et la probabilité de dépassement des crues prises en compte pour la vérification sont choisies de façon à garantir la sécurité des ouvrages de retenue face à la rupture.
- Die Grösse eines Hochwassers und dessen Eintretenswahrscheinlichkeit sind so gewählt, dass die Sicherheit einer Stauanlagen gegen Bruch gewährleistet ist.



Période de retour Wiederkehrperiode

Événement	Exceptionnel	Extrême
Période de retour (ans)	1000	n x 1000 PMF

Ereignis	aussergewöhnlich	extrem
Wiederkehrperiode (Jahre)	1000	n x 1000 PMF



Période de retour Wiederkehrperiode

- En général $1.3 \leq n \leq 1.5$

Si $n \leq 1.5$, il faut apporter la preuve que le débit résultant d'une rupture reste inférieur au débit transitant lors de la crue millénale (Q_{1000}).

- En général $1.3 \leq n \leq 1.5$

Für $n \leq 1.5$ ist zu beweisen, dass der von einem Dammbbruch resultierende Ausfluss niedriger bleibt als derjenige eines 1000-jährlichen Hochwassers (Q_{1000}).

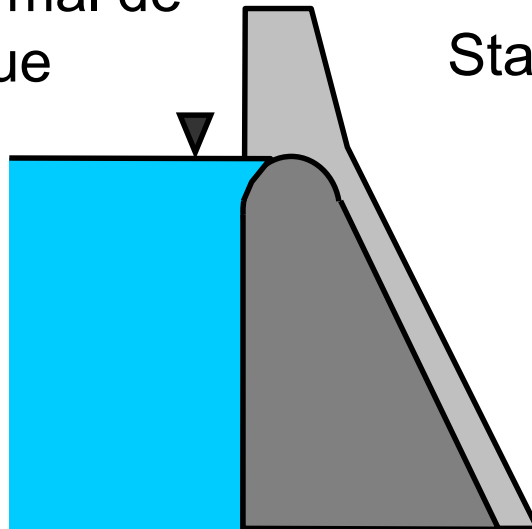
PMF (Probable Maximum Flood) Déluge / Sintflut

- La PMF critique est la crue qui peut être attendue de la plus sévère combinaison de conditions météorologiques physiquement possibles dans une région donnée et dont le passage dans la retenue, conduira au niveau maximum du plan d'eau.
- Das Hochwasser, welches für die schlimmste Kombination von meteorologischen, physikalisch möglichen Bedingungen in einer bestimmten Region erwartet werden kann und dessen Zufluss zum maximalen Seestand führt.

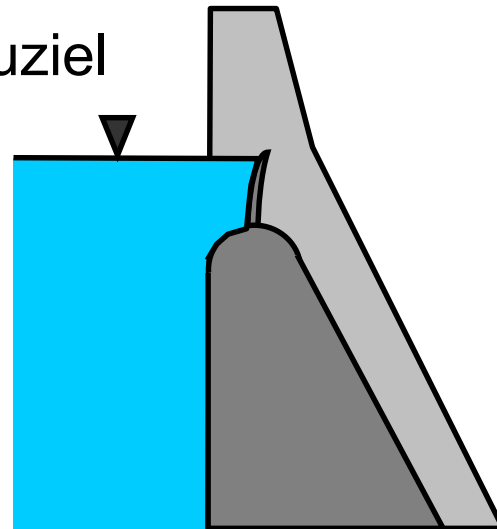


Conditions initiales Anfangszustand

Niveau normal de
retenue



Stauziel



Conditions de fonctionnement Betriebsbedingungen

Conditions Bedingungen	Barrage en béton Betonsperre		Digue Damm	
	Crue de projet Bemessungs- hochwasser	Crue de sécurité Sicherheits- hochwasser	Crue de projet Bemessungs- hochwasser	Crue de sécurité Sicherheits- hochwasser
[n- 1] organes mobiles en service [n- 1] Organe in Betrieb	OUI JA		OUI JA	OUI JA
Turbinage* Turbinierung*	NON NEIN		NON NEIN	NON NEIN
[n] organes mobiles en service [n] Organe in Betrieb		OUI JA		
Turbinage* Turbinierung*		NON NEIN		

* Turbinage toujours considéré avec turbines Pelton / Turbinierung immer angenommen mit Pelton Turbinen



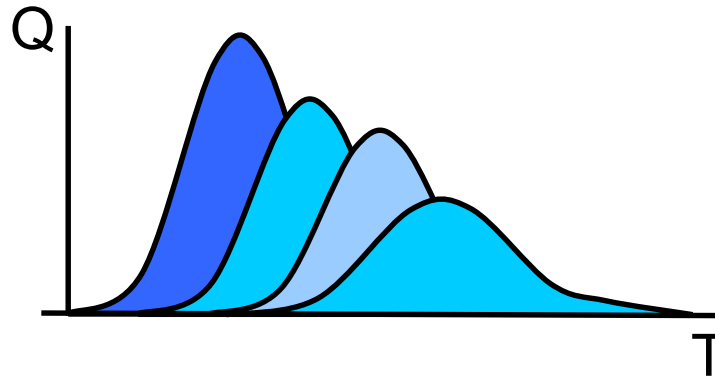
Evacuation des crues Ableitung der Hochwasser

- Partant des hydrogrammes de crue, les calculs permettent de connaître (1) le débit maximum évacué, (2) la surélévation maximale du plan d'eau due à l'évacuation de la crue (3) la tranche de stockage de la crue.
- Ausgehend vom Hydrogramm des Beckenzuflusses ergeben die Berechnungen (1) den maximalen Ausfluss, (2) den maximalen Wasserspiegel und (3) den Hochwasserrückhalt.



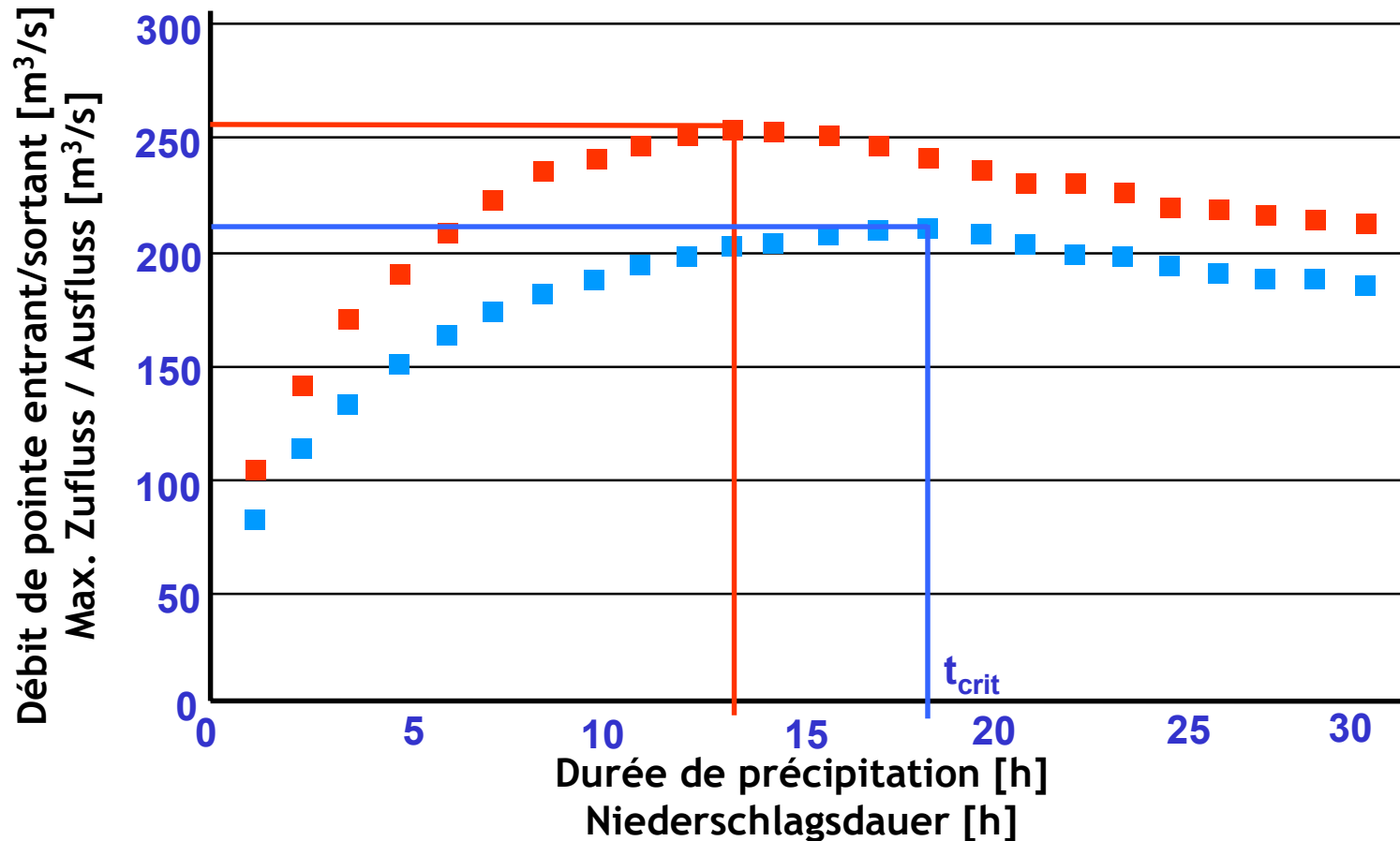
Crue critique Kritisches Hochwasser

- Il s'agit de rechercher l'hydrogramme qui engendre la situation la plus critique pour l'ouvrage d'accumulation compte tenu des possibilités de rétention et d'évacuation.



- Die Analyse von Hydrogrammen unter Berücksichtigung der Retentions- und Entlastungskapazität ermöglicht die kritischste Situation für eine Stauanlage zu bestimmen.

Durée critique de précipitation Kritische Niederschlagsdauer

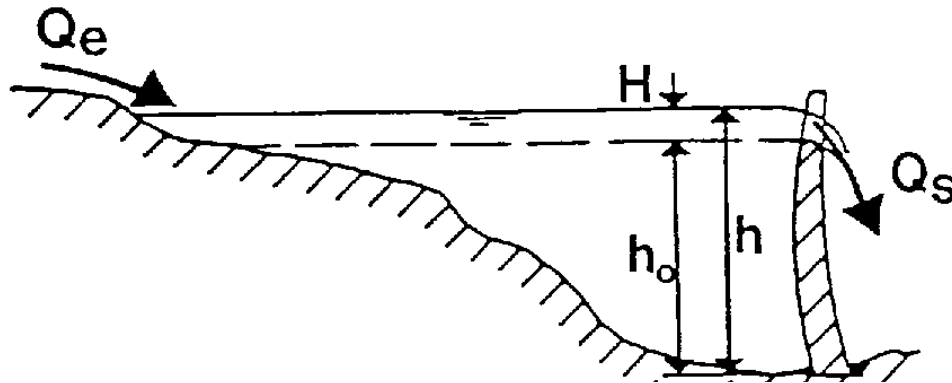


Effet de laminage Retentionswirkung

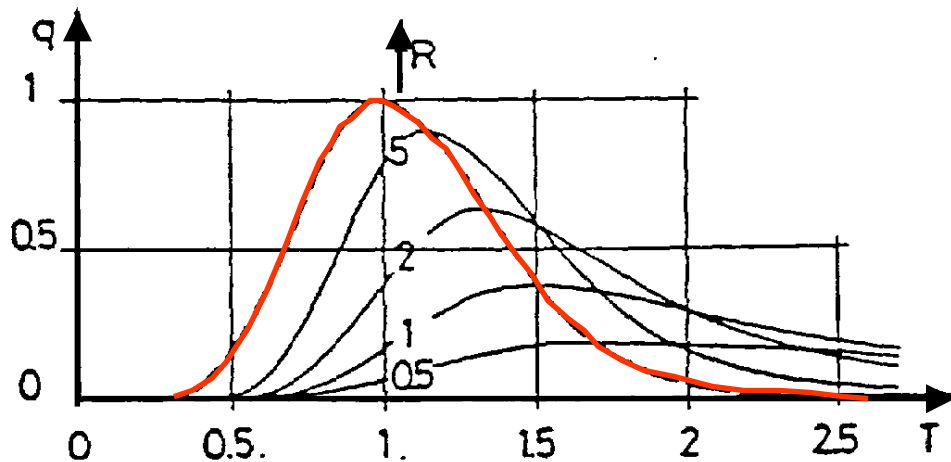
- Le laminage d'une crue dépend simultanément de l'hydrogramme de crue, de la capacité de rétention de la retenue et de la capacité de l'ouvrage d'évacuation.
- Die Retentionswirkung eines Hochwassers hängt gleichzeitig vom Hydrogramm des Hochwassers, der Retentionskapazität des Staubeckens und der Abflusskapazität der Hochwasserentlastung ab.



Paramètre de rétention Retentionsparameter



$$\frac{dV}{dt} = Q_e - Q_s$$



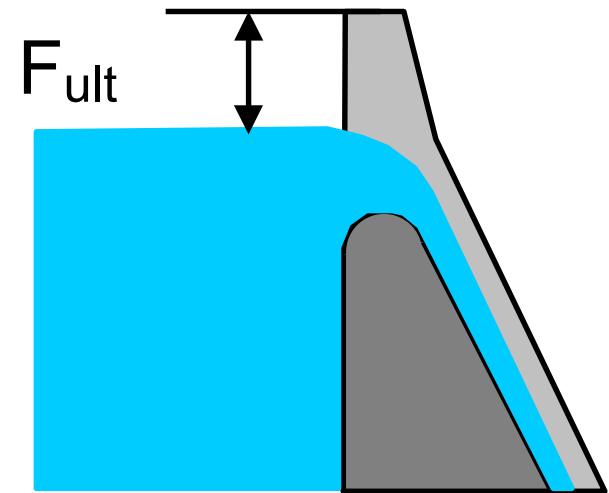
$$R = \frac{C^{2/3} Q_p^{1/3} t_p}{F_o}$$

Hager (1978)



Revanche ultime Restfreibord

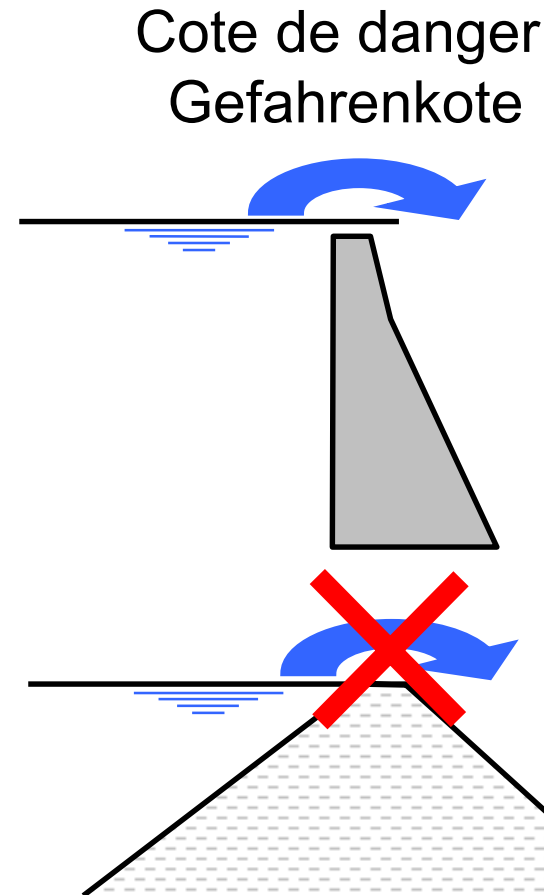
- La revanche ultime est comprise entre le niveau du couronnement et le niveau max du plan d'eau atteint par le passage de la crue de projet.
- Das Restfreibord ist der Bereich zwischen Krone und dem höchsten maximalen Wasserspiegelanstieg beim Bemessungshochwasser.



Cote de danger Gefahrenkote

- Le niveau atteint par la crue de sécurité ne doit pas dépasser la cote de danger.

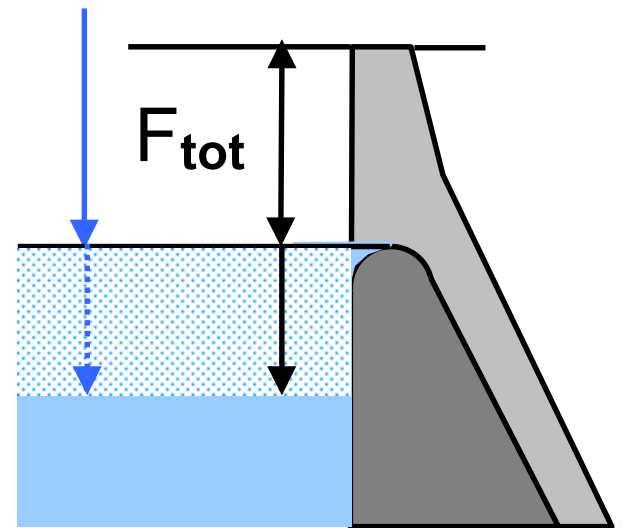
- Der höchste Wasserspiegel des Sicherheitshochwassers darf die Gefahrenkote nicht übersteigen.



Revanche totale Gesamtfreibord

- La revanche totale F_{tot} est comprise entre le couronnement et le niveau normal de retenue, ou le niveau supérieur de la tranche de stockage de la crue.
- Das Gesamtfreibord F_{tot} ist die vertikale Distanz von der Mauerkrone oder dem Dammscheitel einer Sperre zum Wasserspiegel des Stauziels.

Niveau normal
de retenue
Stauziel



Submersion du barrage Überfluten der Talsperre

- Barrages en béton

Il s'agit de vérifier que la stabilité est assurée pendant et après le débordement et les conditions au pied aval le permettent (par exemple, pas de risque d'affouillement).

- Betonsperren

Es ist nachzuweisen, dass die Stabilität während und nach dem Überströmen gewährleistet ist und die Verhältnisse am talseitigen Mauerfuss dies auch erlauben (z.B. keine Kolkgefahr).

Submersion du barrage Überfluten der Talsperre

- Barrages en remblai
Aucun débordement ne doit être toléré. Dans le cas contraire, des mesures adéquates doivent être prises.
- Dämme
Überströmen ist nicht zulässig. Andernfalls sind geeignete Massnahmen für die Sicherheit des Dammes vorzusehen.

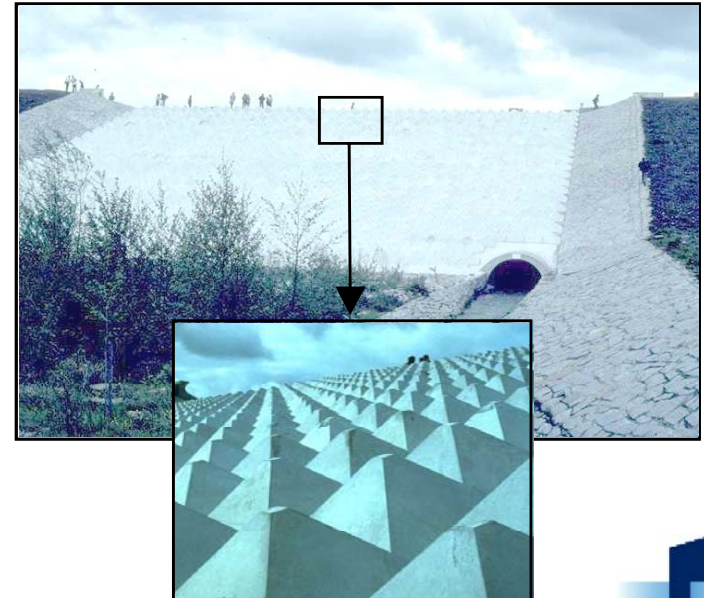


Stabilisation du parement aval Stabilisierung der talseitigen Ansichtsfläche

- Revêtement submersible en béton
- Überströmbare Deckschicht aus Beton



Digue de Melton (Australie, Chanson 2000)



Digue de Leithen (Autriche, 1983)



Projet de recherche en cours Laufendes Forschungsprojekt



**Marches conventionnelles
Normale Treppe**



**Nez de marches alternés
Treppe mit Makrorauigkeiten**



Création d'une tranche de stockage Zusätzliches Hochwasserrückhaltvolumen

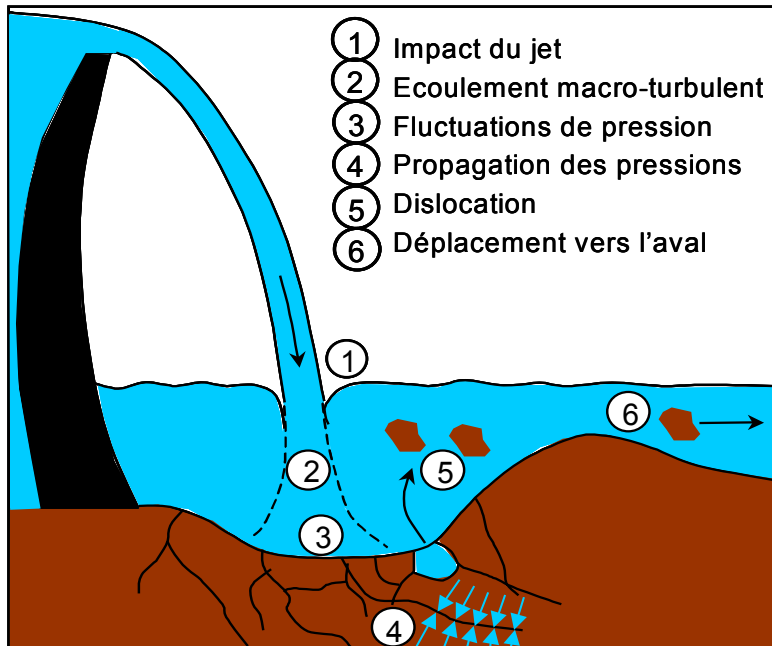


Mattmark (2001)



Projet de recherche en cours Laufendes Forschungsprojekt

- Affouillement du rocher sous l'effet de jets à haute vitesse
- Felserosion unter dem Einfluss eines Wasserstrahls



LCH-EPFL