

L'influence du réchauffement climatique sur l'utilisation de la ressource hydroélectrique alimentée par un glacier à l'exemple de la retenue de Tourtemagne en Valais

ALPIG / FMG

M. G.-A. Zuber

BINA Engineering SA

M. Alain Broccard

EPFL

M. Dr. Giovanni De Cesare

## Table des matières

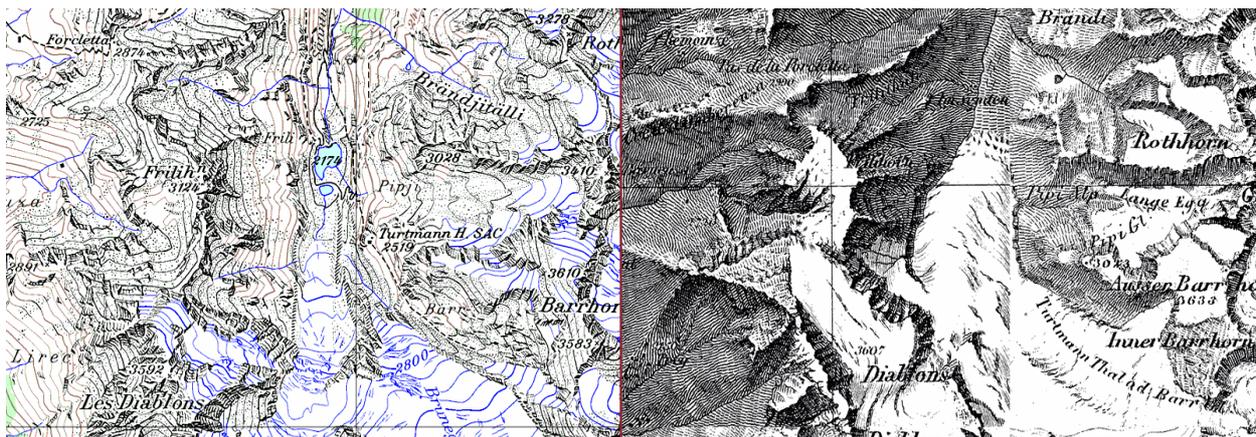
- Recul des glaciers
- Matériaux détritiques
- Transport solides
- Ensablement des ouvrages
- Solutions potentielles
- Conclusions



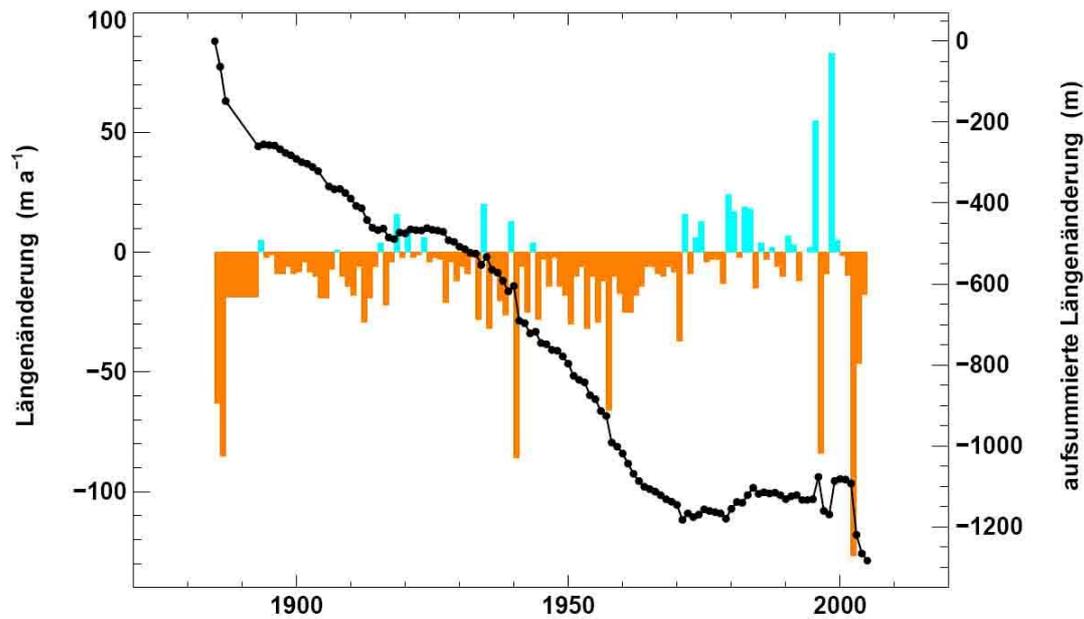
## Retrait des glaciers

**Swisstopo: 2008**

**Carte Siegfried: 1892**



- Glacier de Turtmann => - 1'284 m depuis 1885
  - - 126 m entre 2002-2003 = 10 % du retrait total
- Glacier de Brunegg => - 1'129 depuis 1934
  - - 156.9 m entre 2002-2003 = 14 % du retrait total



Source: VAW/SANW (2006)

## Evolution hydrologique à moyen et long terme

Le Tableau ci-dessous montre l'évolution du bilan hydrologique: moyenne pour les bassins versants de Zinal, Moming et Weisshorn en tenant compte d'un scénario sec et chaud (VAW, 2007)

année	Q	P	E	$\Delta S$	G (%)
1961-90	1295	1460	32	133	67
2025	1937	1566	57	-428	56
2050	1973	1551	86	-508	37
2075	1586	1535	120	-171	10
2100	1374	1520	163	-17	2

Source: VAW (2007)

Q : débits,  
P : précipitations,  
E : évaporation,  
 $\Delta S$  : changement du stock de glace  
(toutes les valeurs en mm/a)  
G pourcentage de la surface englacée

- Importante quantité de matériaux morainiques déposés à l'aval du glacier



## Érosion le long des terrasses de kame



Retrait du bord des terrasses de plus de 5 m en deux ans

## Érosion dans une courbe



Érosion régressive  
dans une courbe:  
entre 2004-2006 = 3.4 m



## Ensablement des ouvrages

Volume utile à la mise en eau = 780'000 m<sup>3</sup>  
et en 2002 = 623'000 m<sup>3</sup>  
Ensablement annuel ca. 13'000 m<sup>3</sup>

- Changement climatique ⇒ augmentation des matières solides mobilisables suite au:
  - recul des glaciers
  - dégel du permafrost

**=> Augmentation du transport solide**

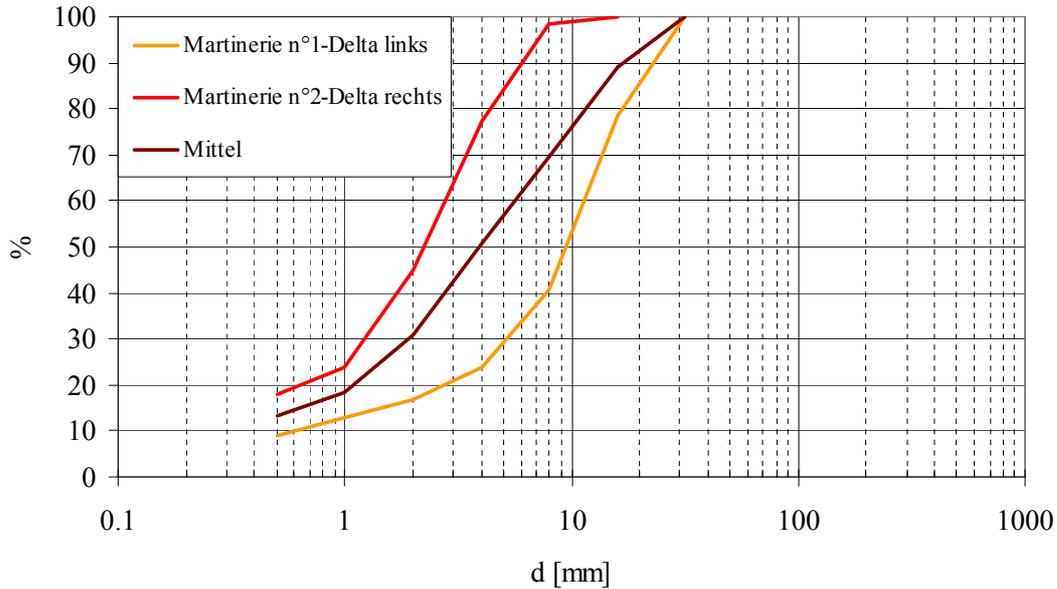
# Ensablement de la retenue



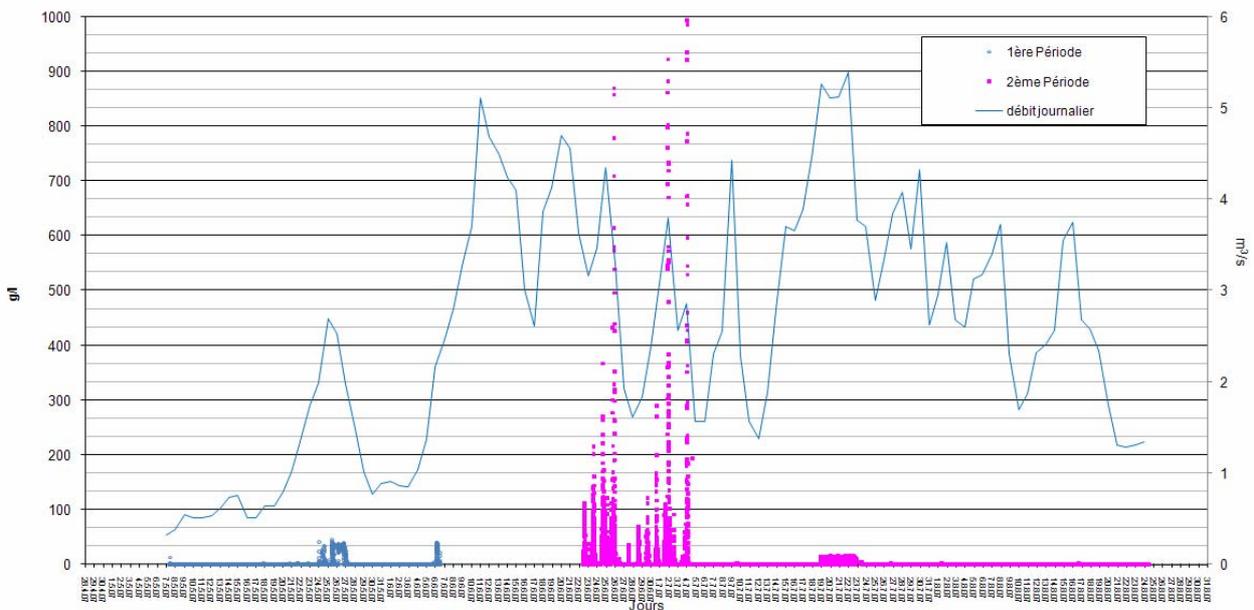
# Ensablement du bassin de décantation



## Granulométrie dans le bassin de décantation:



## Mesures de turbidité (7 mai – 24 août 2007)



$$V_a = 93 \cdot 10^{-15} \cdot H_{\text{été}}^{0.052} \cdot SE^{0.091} \cdot SV^{8.108} \cdot \Delta L_G^{0.082} + 274$$

- $V_a$  : volume spécifique de l'apport annuel en sédiments [ $\text{m}^3\text{km}^{-2}\text{an}^{-1}$ ]
- $H_{\text{été}}$  : hauteur des précipitations moyennes tombées entre juin et septembre [mm]
- $SE$  : pourcentage de la surface du bassin versant constitué de sols érodibles [%]
- $SV$  : pourcentage de la surface du bassin versant sans couvert végétal [%]
- $\Delta L_G$  : changement annuel de la longueur des glaciers par rapport à leur longueur totale [%]

**=> En tenant compte de scénario de réchauffement climatique:  $V_a = + 3'000 \text{ m}^3$**

## Changements climatiques et transports de sédiments

Selon l'Association suisse pour l'aménagement des eaux, KOHS 2007

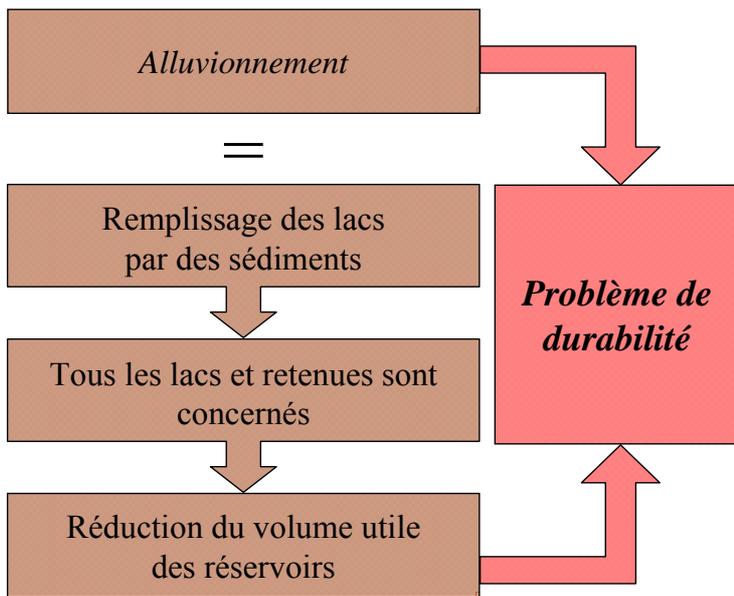
### **Plus de matières solides mobilisables par l'érosion car:**

- recul des glaciers
- fonte du permafrost

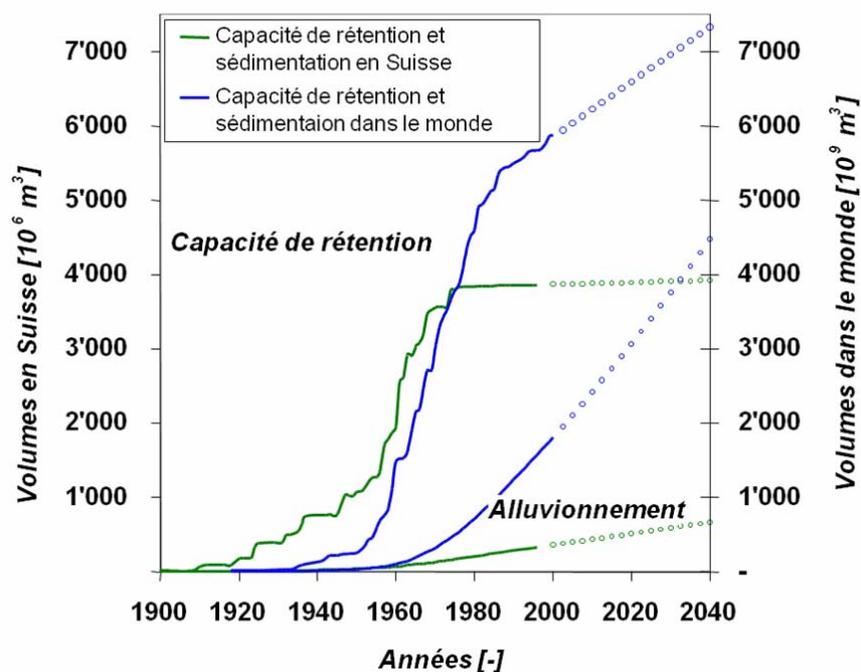
### **Plus de transport de sédiments au niveau des cours d'eau car:**

- précipitations plus sous forme de pluie que de neige
- précipitations de plus forte intensité

# Alluvionnement des retenues - problématique



# Alluvionnement des retenues - un problème mondial

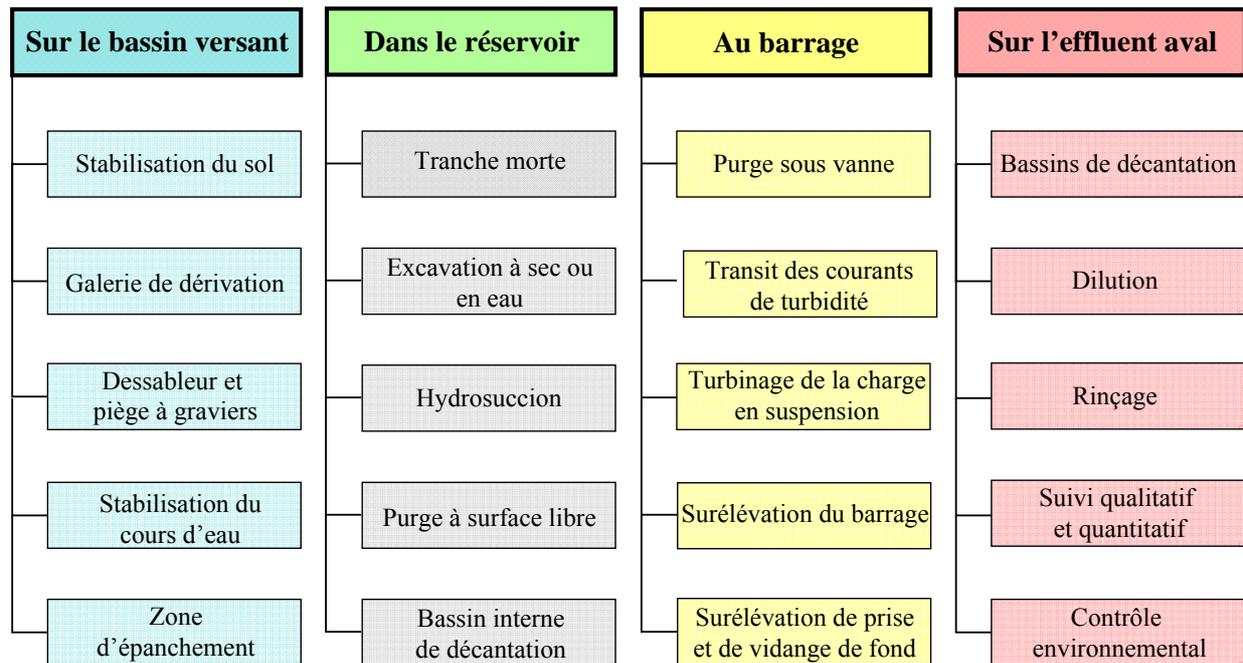


- La plupart des retenues alpines ont été construites dans la seconde moitié du XX<sup>ème</sup> siècle (Mauvoisin, Grande Dixence, Luzzone, etc.)
- La tranche morte (prévu souvent pour 50 ans) est généralement pleine.
- Cela devient une préoccupation pour l'exploitation des ouvrages de prise d'eau (production hydroélectrique) et de vidange de fond (aspect de sécurité).
- L'importance à accorder à la gestion sédimentaire est amplifiée par les effets récents des changements climatiques, qui conduisent au retrait des glaciers et à l'élévation de la limite du permafrost.



Vidange au Barrage de Jiroft (IRAN)





## Alluvionnement des retenues - Tourtemagne

- Recherche d'une solution à long terme, durable et économiquement viable
- Évaluation de 13 variantes
- En tenant compte de la fin de concession en 2029, de futures règles et contraintes d'exploitation (débit minimaux, protection contre les crues) et des possibilités de financement
- Afin de prévenir la perte complète de la capacité de stockage
- En respectant l'éco-morphologie du système hydrique par une approche globale
- Analyse multicritère, classement de chaque variante, et sélection de la meilleure solution

Les alternatives peuvent être classées en quatre catégories:

- A. Évacuation (mécanique) du matériel déjà déposé du réservoir et du bassin de décantation et mise en décharge proche
- B. Évacuation du matériel grossier\*, mise en décharge proche et transit du matériel fin
- C. Transit de "tous" les sédiments
- D. Autres solutions, p.ex. évacuation continue des sédiments fins

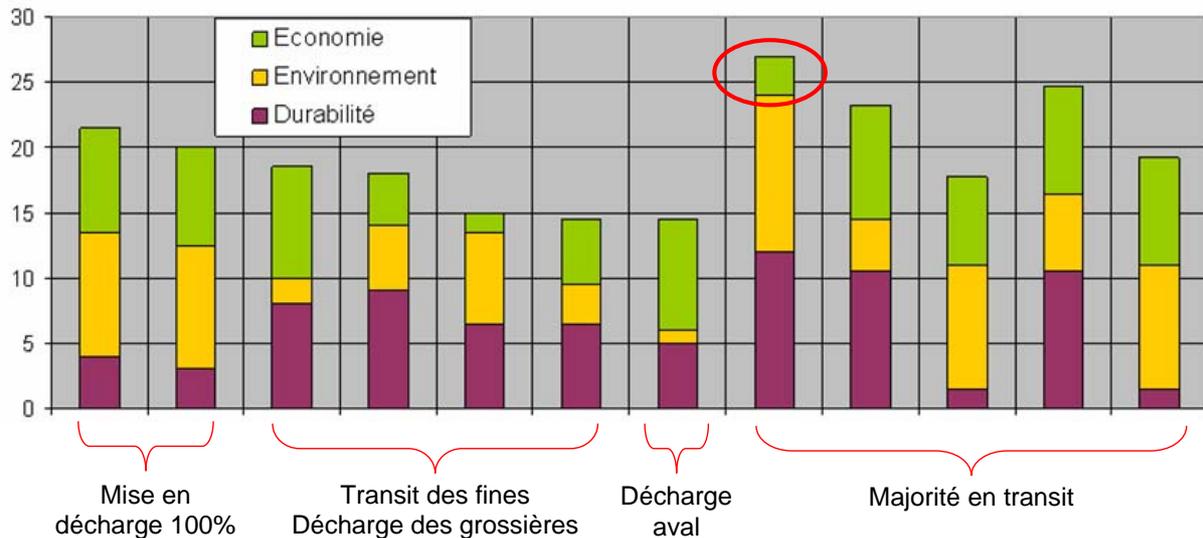
\* Distinction entre particules fines (< 1mm) et matériel grossier (> 1 mm)

## Critères d'évaluation

- Efficacité
  - réduction de l'alluvionnement (volume de sédiments évacué par année)
- Durabilité
  - efficacité pour une durée déterminée ou continue, système autonome
- Incertitudes, adaptabilité
  - Variante innovante. Manque de données hydrologiques et sédimentaires
- Environnement, paysage distinction amont et aval
  - amont, ouvrages/zones de dépôts, dérangement pendant les travaux
  - aval, modification de l'équilibre actuel (hydrologie, hydraulique, morphologie)
- Économie
  - Coût d'investissement et d'exploitation par année
  - Pertes d'eau

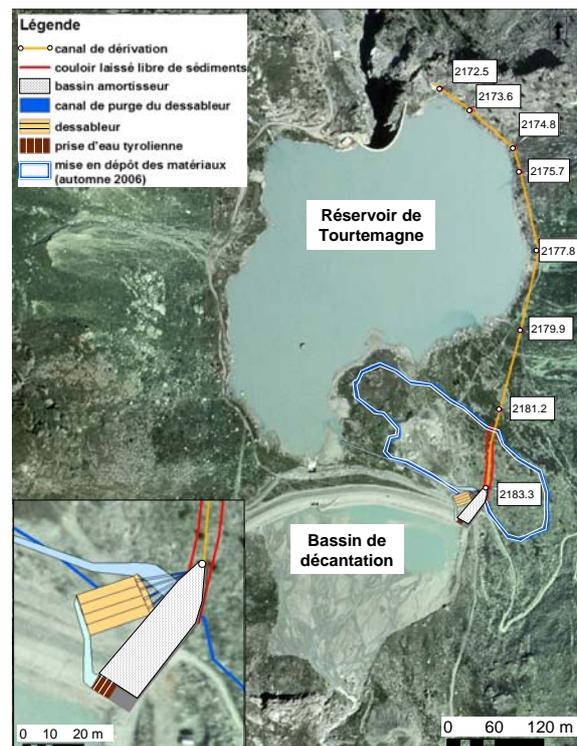
## Résultats - analyse selon les 3 critères principaux avec le même poids:

- Durabilité
- Environnement et paysage aval
- Économie (investissement + pertes annuelles)

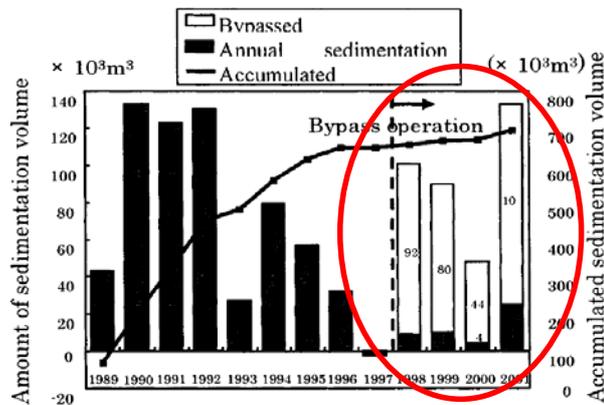


## Solution proposée

- Prise d'eau tyrolienne sur la digue du bassin de décantation
  - Jusqu'à 10m<sup>3</sup>/s dessablage purgé dans un canal de dérivation
  - Eau claires dans le réservoir
  - Au-delà de 10 m<sup>3</sup>/s (crue annuelle), dérivation directe dans le canal jusqu'à 60 m<sup>3</sup>/s
- les FMG ont opté pour une solution par décharge en accord avec les autorités cantonales compétentes



Exemple d'un solution par by-pass, Kataoka Réservoir, Japon (Sumi, 2004), en règle générale, la dérivation ne fonctionne que quelques jours par année



No	Name of Dam	Country	Tunnel Completion	Operation Frequency
1	Nunobiki	Japan	1908	-
2	Asahi	Japan	1998	13 times·yr <sup>-1</sup>
3	Miwa	Japan	2004	-
4	Matsukawa	Japan	Under construction	-
5	Egshi	Switzerland	1976	10 d·yr <sup>-1</sup>
6	Palagnedra	Switzerland	1974	2 d·yr <sup>-1</sup> - 5 d·yr <sup>-1</sup>
7	Pfaffensprung	Switzerland	1922	~200 d·yr <sup>-1</sup>
8	Rempen	Switzerland	1983	1 d·yr <sup>-1</sup> - 5 d·yr <sup>-1</sup>
9	Runcahez	Switzerland	1961	4 d·yr <sup>-1</sup>

## Des solutions existent pour préserver cette magnifique ressource

