

Réservoirs, sédimentation, innovations ?

François LEMPERIERE (1)

Luc DEROO (2)

(1)

Hydrocoop

(2)

ISL
Ingénierie



© DGBTH, Min Agric Tunisie

Perte de capacité des retenues : une fatalité ?

- Objet de la présentation:
 - Une (seule) famille de problèmes : *la perte de capacité* des retenues
 - Dans un contexte international, avec focus sur *les régions les plus impactées*
 - Avec un point de vue *généraliste (des barrages)*... pas spécialiste donc.
- Le fil rouge :
 - Problématique ancienne, devenant aigüe
 - Y a-t-il des pistes nouvelles ?
 - Pour les nombreux ouvrages construits ces 100 dernières années
 - Pour les futurs ouvrages

Un corpus technique conséquent

- Des documents et publications à vocation « nationale »
 - Japon. Par ex, *Reservoir sedimentation database and selecting suitable sediment management options in Japan* ; Sumi 2015 (ICOLD)
 - USA : USBR 2006 : *Erosion and sedimentation manual*, 2006
 - USA : *Building a Legacy of Sustainable Water Storage Reservoirs* - White paper 2019 (Randle, Morris, Annandale et beaucoup d'autres)
 - Chine. L'expérience du bassin du fleuve jaune. UNESCO : *Controlling the Yellow River – 2000 years of debate*
 - Tunisie.
- Des documents à vocation internationale
 - *Reservoir sedimentation handbook*, 950 pages (!) Morris / Fan – 1998
 - Worldbank, *Extending the life of Reservoirs*, Annandale, Morris & Karki, 2016
- CIGB :
 - Bulletin 140 : *Mathematical modelling* - 2007
 - Bulletin 147 : *Sedimentation and sustainable use of reservoirs*, sous la direction de G. Basson (RSA) - 2009
 - Bulletin 182 : *National regulations and Case studies* (y compris France, CNR & EDF & Artelia) - 2019
- IAHR :
 - <https://www.iahr.org/index/committe/105>, y compris trois bulletins *Reservoir sedimentation*

Quelques éléments quantitatifs

« peak reservoir storage »

CIGB Bull. 147 : capacités (des retenues) construites / capacités perdues. Chiffres 2007 révisés depuis – plutôt à la baisse - mais tendance confirmée.

En ordre de grandeur : dans la gamme 0,5% à 0,8% (Bull 147) par an. Avec de grandes variations.

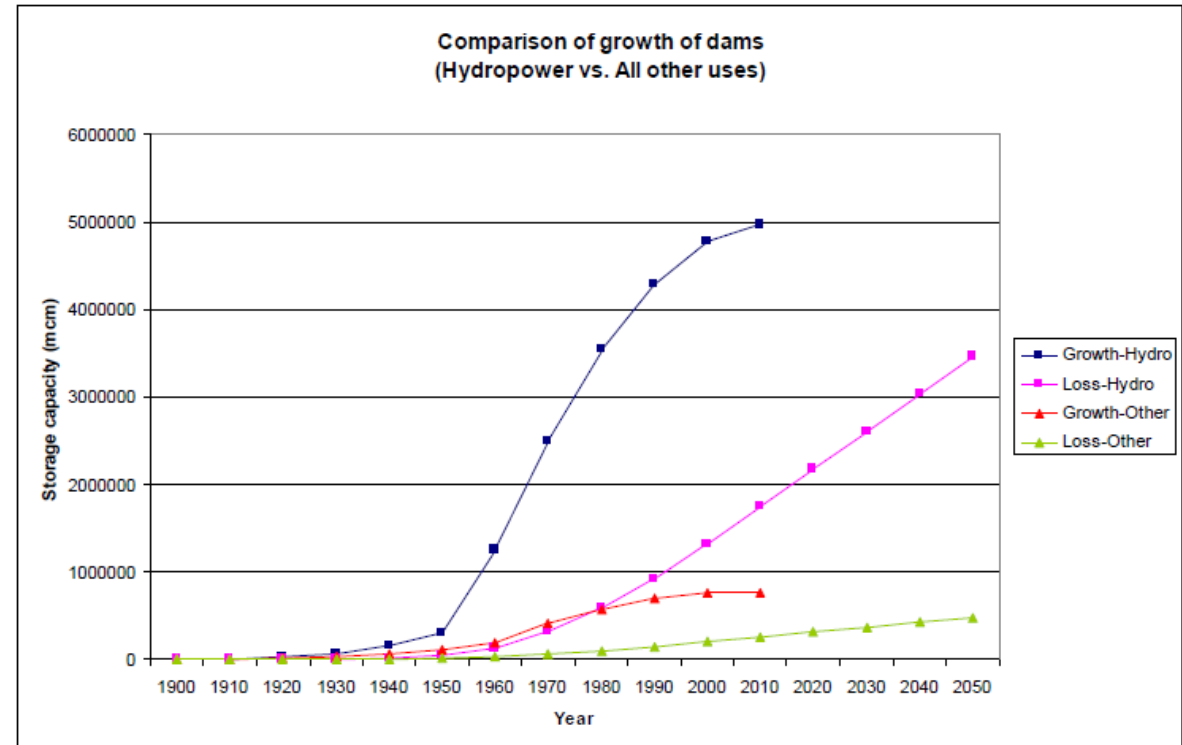


Figure 2.2-50 Global comparison of growth of dams by purpose

Source: CIGB, Bull 147

Un cas emblématique : Tarbela (Pakistan), sur l'Indus

BV 170 000 km².

Apports annuels en eau 80 km³ ; en sédiments 2,4 g/l

Retenue 14 km³

Mis en eau en 1974. En 2018 : 40% de la capacité a été perdue

Tarbela fournit 30% de l'eau d'irrigation et 30% de l'électricité du pays (selon Annandale)

Diminution de la disponibilité en année sèche

Impact possible sur les ouvrages (turbines, évacuateurs)

Chasses pour dévaser ? Difficile (impacts structures + aval)

Ralentir ? Bypass de contournement pour ralentir le processus.

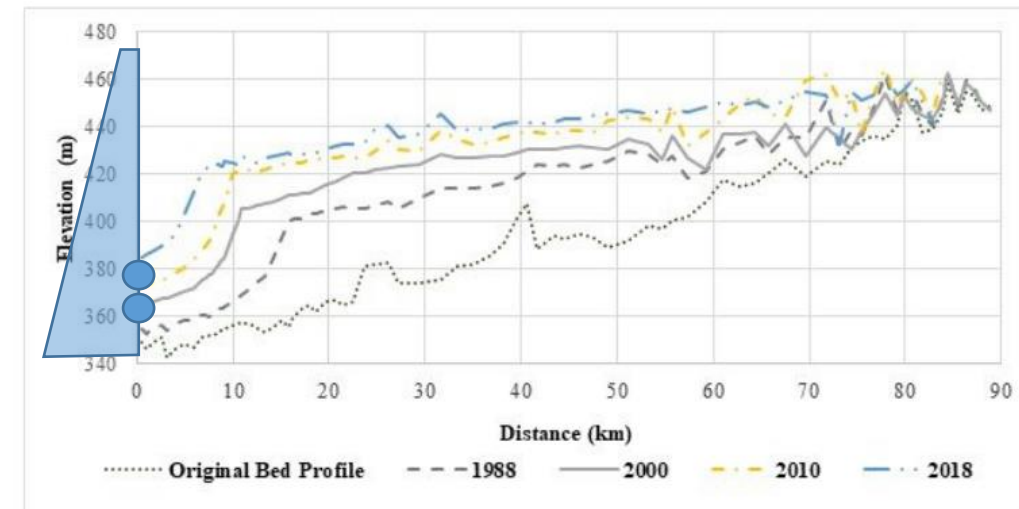
Coût significatif en termes de ressources en eau

Remonter les prises d'eau ?



Source: Wikimedia commons

Sable 60%
Limon 35%
Argile 5%



Un cas emblématique : le fleuve Jaune

Barrage Sanmexia (1960)

Apports en eau 43 km³ ; Apport solide moyen : 37 g/l (les concentrations de pic peuvent dépasser 1000 g/l)

Retenue 16 km³

Mise en eau => sédimentation rapide et inondations à l'amont du nœud de Tongguan.

La retenue a perdu 40% de sa capacité.

Aujourd'hui à l'équilibre. Au prix de :

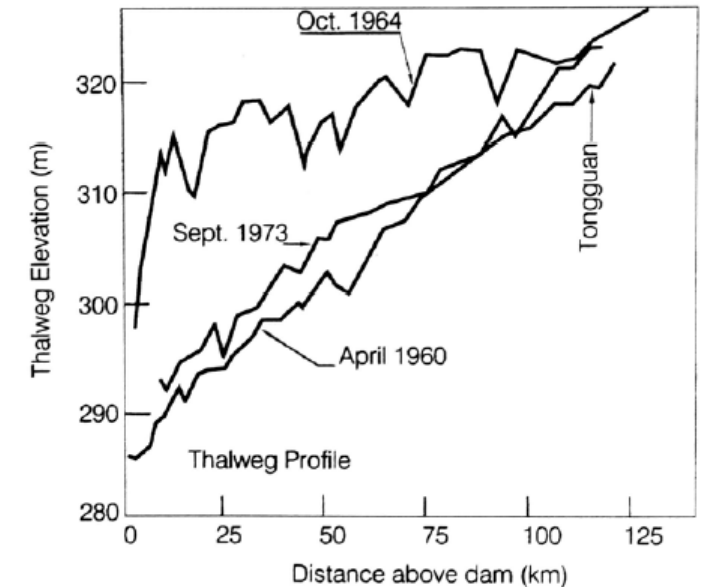
Une gestion modifiée : vidange en saison des crues ; augm. capacité de fond : 9400 m³/s ; 250 MW au lieu de 1000 MW d'origine.

Accepter l'eau chargée à l'aval : digues du fleuve Jaune, l'irrigation par « warping » et barrage Xiaolangdi



Sables fins et limons (loess)

Source: Wikimedia commons



Source: Reservoir Sedimentation Handbook

Un cas emblématique : la Tunisie

20 grands barrages agricoles

Apports en eau MAF = 1,35 km³ ; Apport solide moyen : 20 g/l (hyp trap efficiency 95%)

Retenue CAP = 2,2 km³. Régulation interannuelle.

Perte de capacité moyenne de l'ordre de 1% par an. Ce qui est considérable au regard de « CAP / MAF »

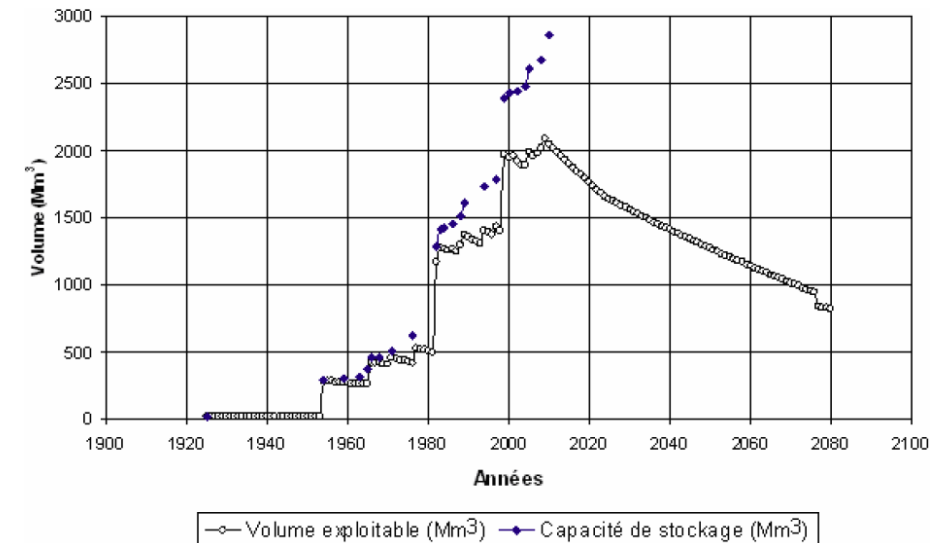
Perte des capacités de vidange (sécurité)

Perte de capacité utile => impact sur ressources en eau (nécessité vitale)

Construction d'une nouvelle génération de barrages, pour compenser la perte.

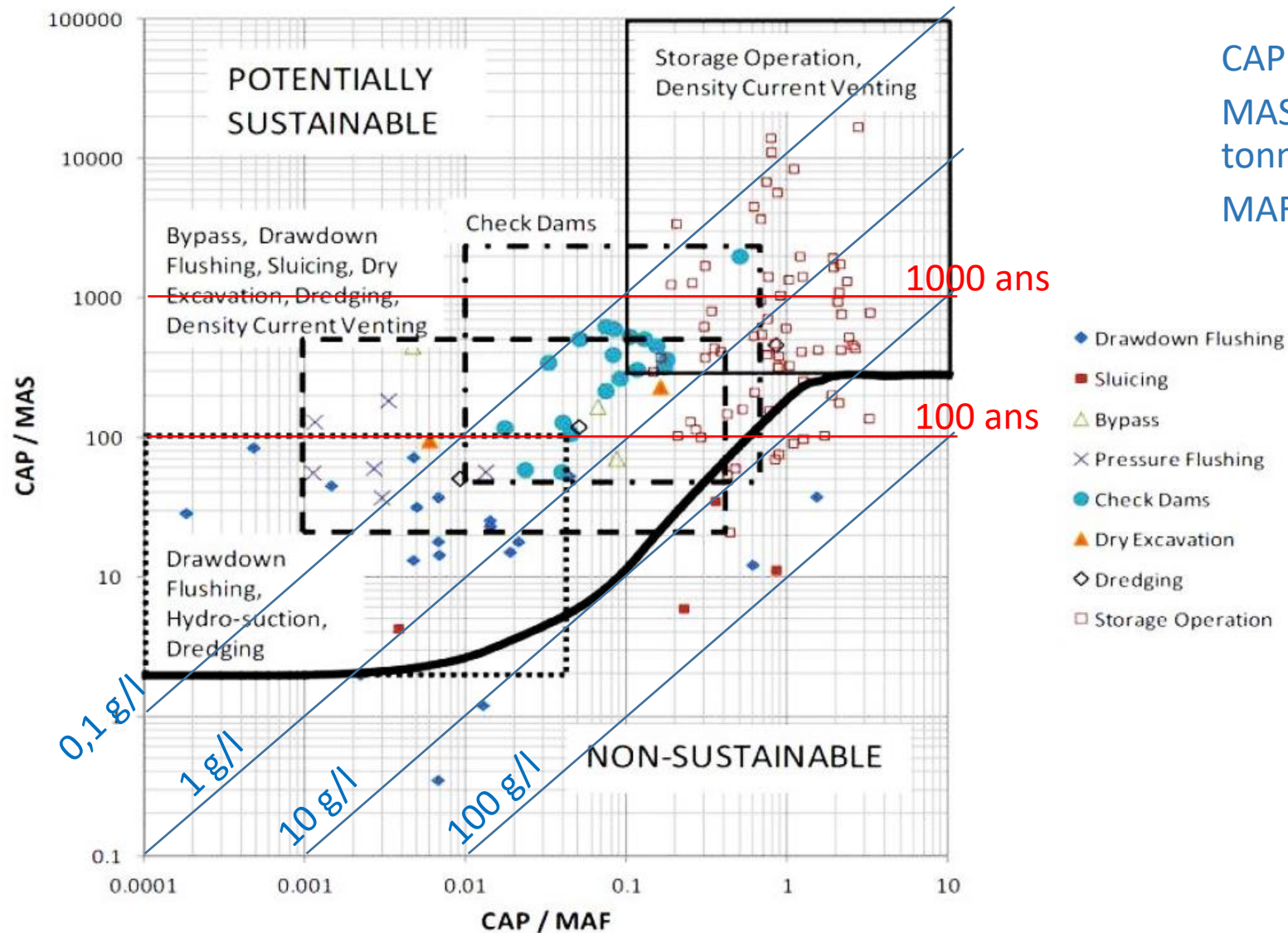


© DGBTH, Min Agric Tunisie



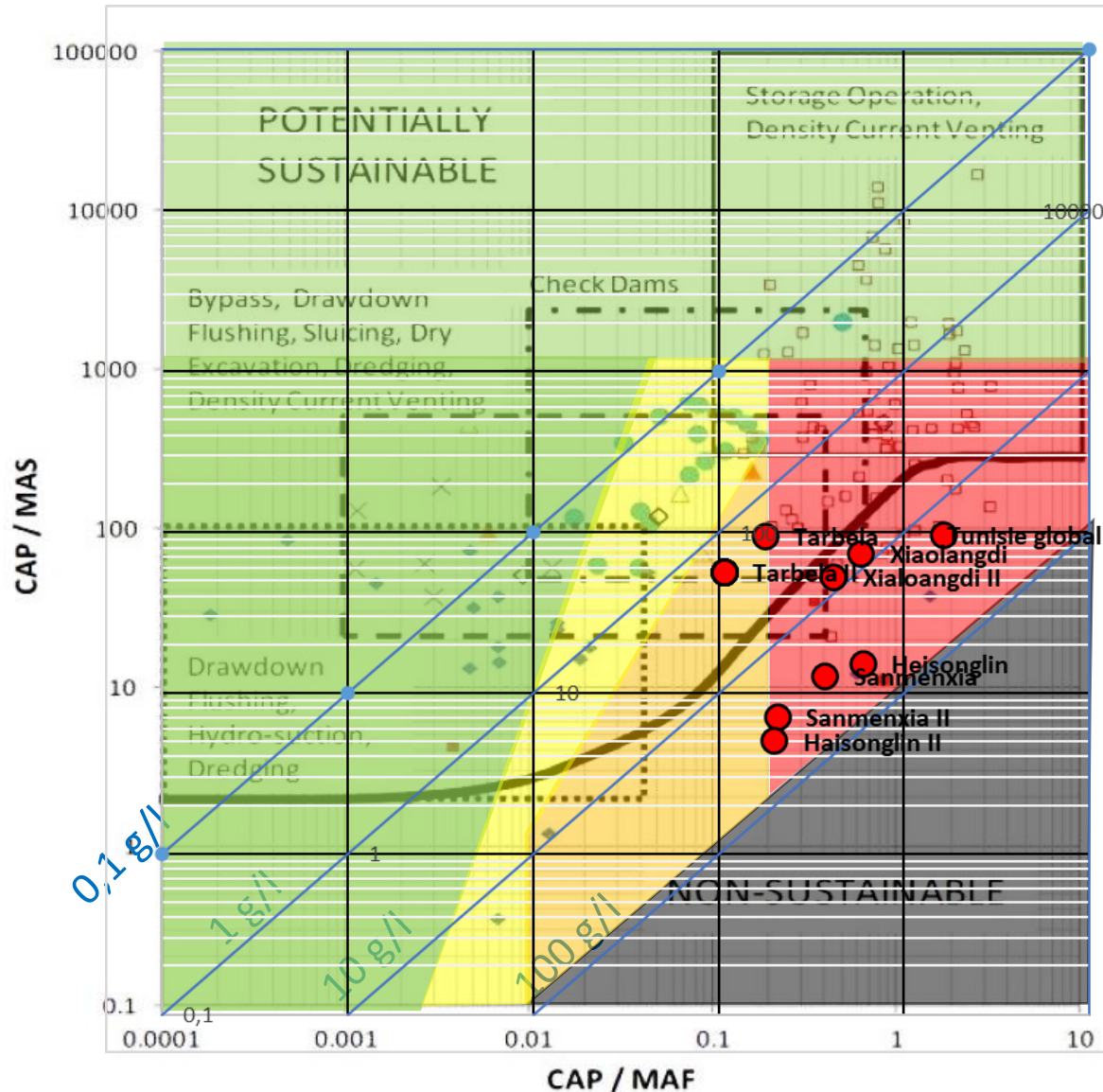
Ref : Abdallah Ben Mammou et M. H. Louati , Évolution temporelle de l'envasement des retenues de barrages de Tunisie, Revue des sciences de l'eau - Volume 20, numéro 2, 2007, p. 201-210

Le diagramme Sumi / Annandale



CAP : capacité de la retenue (en m³)
 MAS : Mean Annuel Sediment yield (en tonnes)
 MAF : Mean Annuel runoff (en m³)

Discussion du diagramme Sumi / Annandale



-  Plus de 100 g/l : hors du périmètre
-  Pas assez de ressources en eau pour pratiquer le dévasement : non soutenable
-  Dévasement nécessite des quantités d'eau importantes (>10% des apports annuels) [hyp : 20% de MAF utilisé en dévasement ; concentration moy. Acceptable jusqu'à 5 fois supérieure à MAS/MAF]
-  Dévasement nécessite des quantités d'eau substantielle (>2% des apports annuels)
-  Gérable avec des apports en eau relativement modestes [hyp : 2% de MAF utilisé en dévasement ; concentration moy. < 1 g/l ou < 3 MAS/MAF]

(*) à condition de pouvoir opérer le dévasement : disposer des organes hydrauliques adéquats, être compatible avec les enjeux aval

Les enjeux

1/ **Stabiliser** : Difficile sans opération d'abaissement du niveau des retenues (*Drawdown flushing*)

Permettre le « drawdown » autant que possible (organes, disponibilité)

Et s'assurer de son efficacité – ce qui n'est pas toujours simple (érosion des dépôts fins)

2/ **Retarder** : Dérivation / Passage par le fond / Chasses / Evacuation des courants de densité
(*Bypassing, Sluicing, Flushing, Venting*)

Limiter l'entrée des vases dans la retenue (efficacité potentiellement forte, >> 50%)

Optimiser le transit sédimentaire (efficacité très variable, souvent << 50%)

Limiter l'effet de piégeage dans les retenues (efficacité incertaine)

1+2/ Maîtriser les charges sédimentaires relarguées lors des opérations de chasses

3/ Trouver des solutions lorsque **Stabiliser** / **Retarder** ne sont pas disponibles. Ex : Tunisie.

Quelles moteurs ? Quels outils ?

Moteurs d'évolution : changement de paradigmes :

vers des solutions plus « durables » (par principe) ... 100 ans >> 1000 ans et plus.

alors que par ex. Tarbela conçu pour « une durée de service de 50 ans »

vers une valorisation économique plus complète, incluant les externalités

prise en compte de la continuité sédimentaire & des impacts négatifs des opérations de dévasement par les chasses

Outils pour faire mieux ?

REX !

meilleure compréhension de la physique (?) et de l'écologie (?)

technologie nouvelles : de modélisation

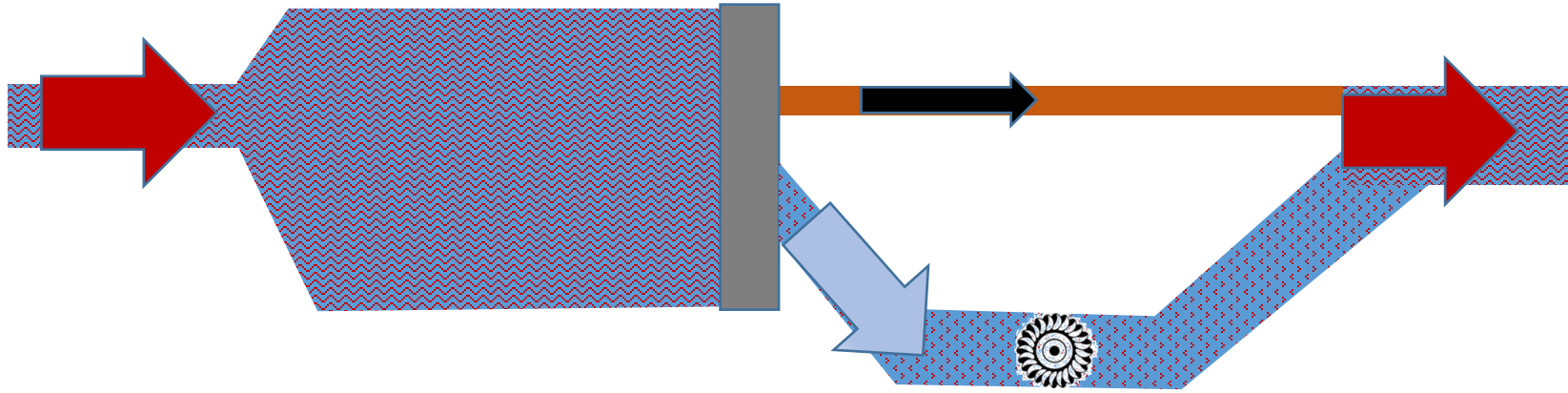
technologie nouvelles : de mesures en temps réel (ultrasons, réflectométrie, autres ?)

technologie nouvelles : électricité renouvelable pas chère (mais intermittente)

Un autre point de vue à considérer : consommation

Ressource en eau abondante & « bon marché » Pas de consommation d'eau (hydroélectricité) ex: Rhône	Ressource en eau abondante & « bon marché » Avec consommation d'eau (irrigation) ex: fleuve Jaune
Ressource en eau limitée ou « chère » Pas de consommation d'eau (hydroélectricité) ex: Hydro haute chute	Ressource en eau limitée ou « chère » Avec consommation d'eau (irrigation) ex: Tunisie

Barrages hydroélectriques, eau abondante & bon marché



En théorie : un équilibre peut être trouvé

En pratique : nécessite des opérations de fortes concentrations relâchées & accepter de perdre de la production électrique

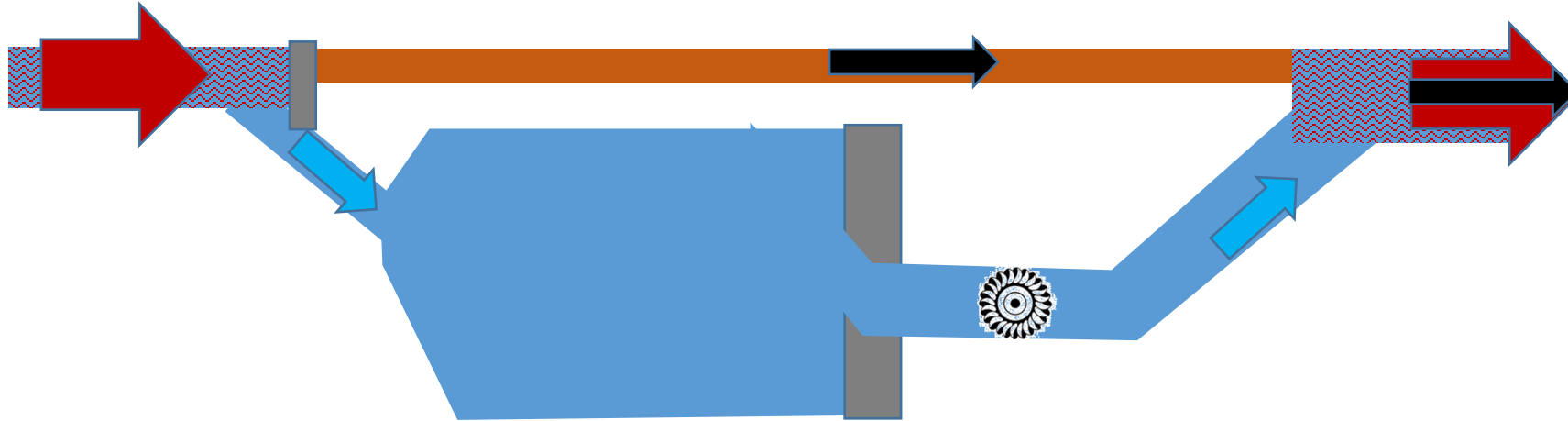
Exemple : Tarbela ... ou le Rhône

Innovations ? Apprendre à maîtriser & optimiser le processus.

- Mesures temps réel (en rivière, dans la retenue)
- Simulations prédictives
- Dispositifs de remise en suspension ?
- Approche économique globale

... mais aussi : .../...

Barrages hydroélectriques, eau abondante & bon marché



... le barrage hors rivière, solution efficace lorsque la topographie le permet !

Le pré-barrage :

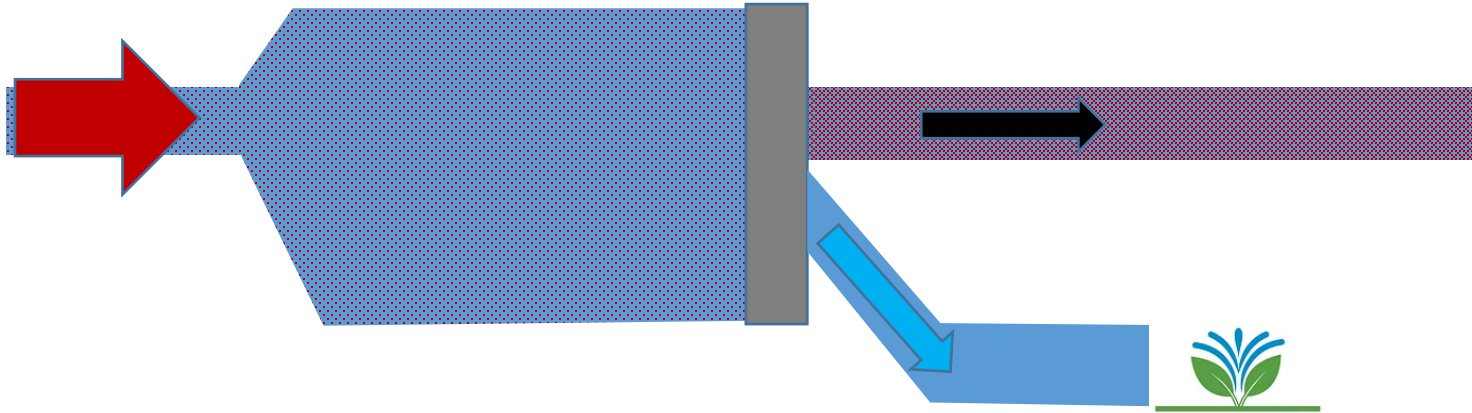
- Permet une dérivation des eaux de crue les plus chargées

ET/OU

- Permet de gérer l'évacuation des sédiments (stockage dans pré-barrage puis chasse par abaissement)

Très grande efficacité potentielle. Outils de conception / optimisation [hydro+sédimento] non disponibles aujourd'hui.

Barrages irrigation, eau abondante & bon marché



Plus difficile, car il y a consommation d'eau !

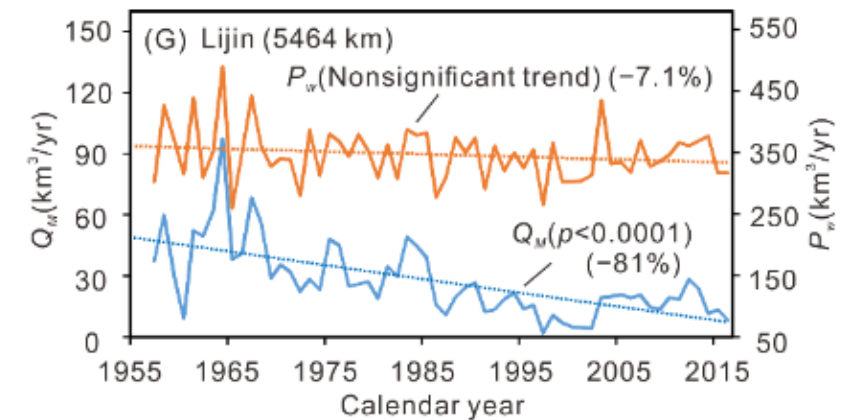
- En théorie le dévasement est possible
- Mais quid de l'équilibre sédimentaire aval ? ($\nearrow$ concentration g/l)

Exemple limite : fleuve Jaune (« warping » & envasement du lit aval).

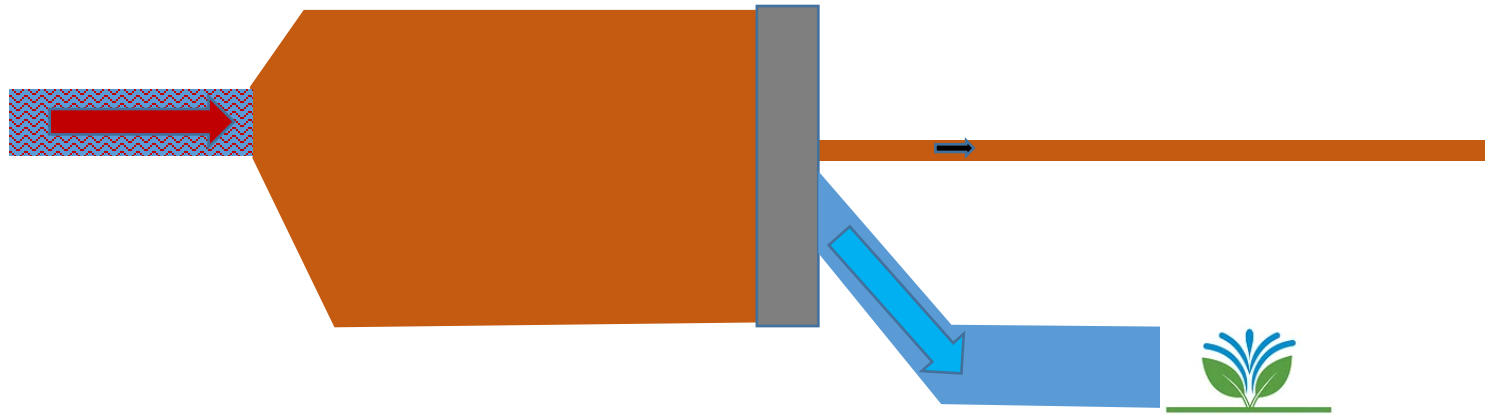
=> Une question supplémentaire.

Innovations ?

- sortir des sédiments du système : valorisation de l'eau chargée ?
- transit sédimentaire à forte concentration, jusqu'à la mer. Modélisation ?



Barrages irrigation, faible disponibilité en eau



Pas suffisamment d'eau pour opérer le dévasement. Accumulation de sédiments dans la retenue

Pas suffisamment d'eau pour reprendre les sédiments éventuellement évacués.

Il faut sortir les sédiments du système

- Extraction mécanique : le coût n'est pas forcément rédhibitoire & l'impact énergétique maîtrisé si EnR
- Que faire des sédiments ?

Même dans ce cas le plus difficile, une option est : hors rivière

Transformation du réservoir existant en réservoir hors rivière.

Ouvrage neuf

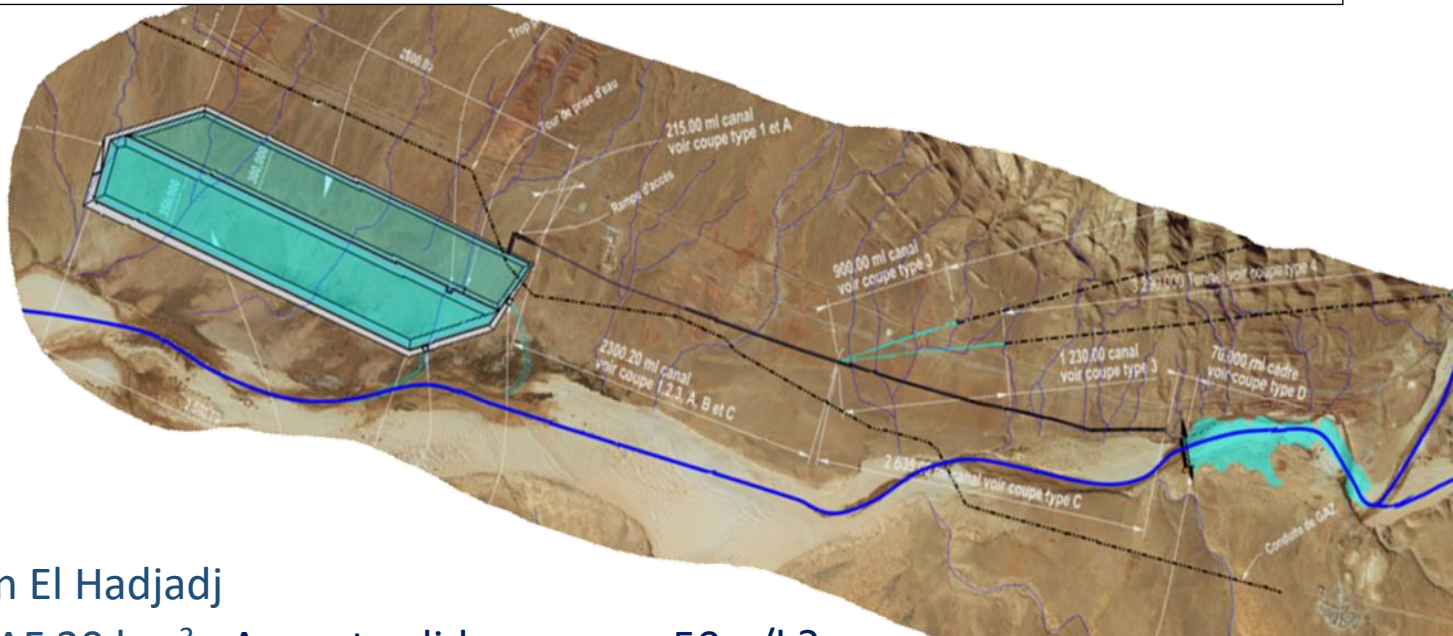
Barrages irrigation, faible disponibilité en eau

Laisser dans le cours d'eau les crues les plus chargées.

Bypass / Stockage hors rivière

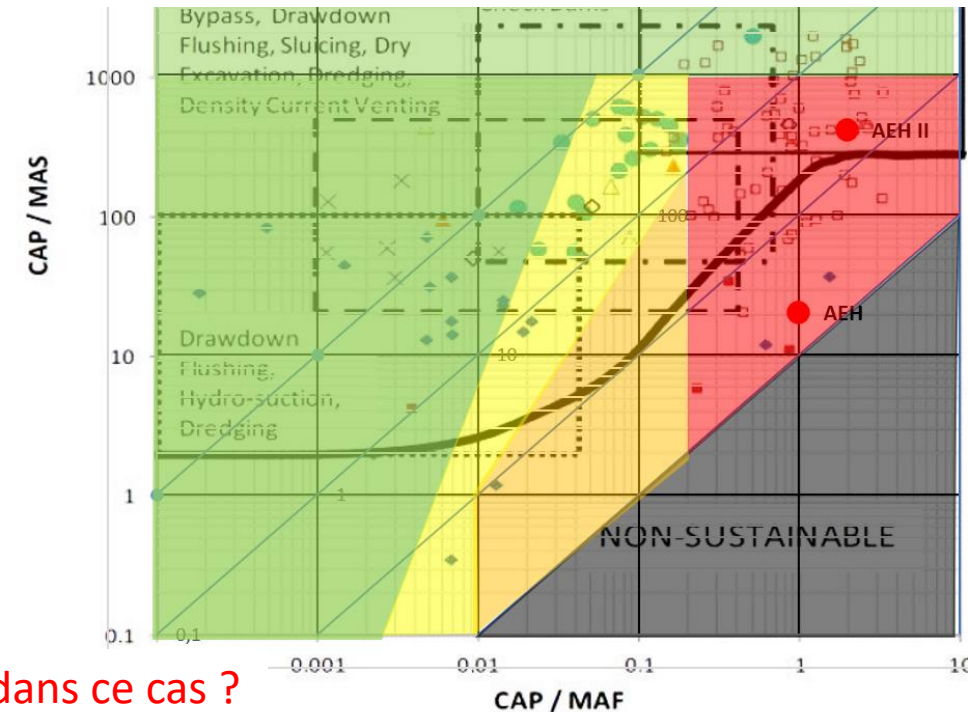
[Bypass + Nettoyage du réservoir amont] seraient proches de l'optimum : pour ralentir l'envasement ; pour la capacité d'accueil des milieux aval.

Il reste à curer les bassins aval ... mais volumes plus faibles



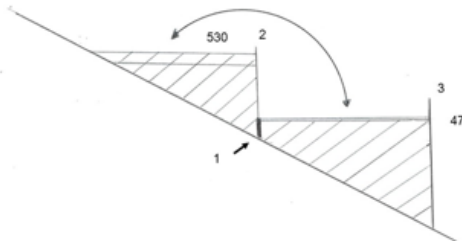
Aïn El Hadjadj

MAF 20 hm³ ; Apport solide moyen : 50 g/l ?



Simulation réaliste du TS dans ce cas ?

Solutions innovantes de réservoirs & Sédimentation

<i>Idée nouvelle</i>	<i>Motivations principales</i>	<i>Incidence sur la sédimentation</i>
Stockage saisonnier hors rivière (pompage) « <i>LLORD</i> » Ecrêtement des crues par pompage hors rivière (ex : La Bassée) Le <i>LLORD</i> associé à un barrage existant	Empreinte environnementale plus faible (que pour barrage classique) Moins d'évaporation	Améliore sensiblement le bilan sédimentaire [dérivation + chasses pré-barrage] Permet de tendre vers l'équilibre sédimentaire en exploitant le barrage principal plus bas
Stockage d'énergie STEPs STEP Marine (ex : Okinawa)	Evite l'emprise sur les rivières	Evite la problématique de sédimentation
Twin Dams 	Transforme un barrage « classique » en un duo de deux barrages. Augmentation considérable de la puissance (en W et W/m ²)	Augmente sensiblement l'agitation dans les retenues => diminution de <i>trap efficiency</i> . Combien ? Permet d'envisager des chasses sous abaissement.