

# Quels barrages en 2040?

**FRANÇOIS LEMPERIERE**

Avec la participation de Jean-Jacques Fry

CFBR Symposium du 30/01/2020

# 1 - En 2020

Les barrages:

- produisent 15% de l'électricité mondiale,
- réduisent de 10% le réchauffement climatique,
- nourrissent 10% de l'humanité.

Mais :

- Le potentiel réaliste ne fournira que 5% des besoins additionnels d'électricité.
- La sédimentation réduit beaucoup le stockage utile.
- Les meilleurs sites sont déjà utilisés.
- Les critiques liées à l'environnement sont très dissuasives pour de nouveaux barrages.



L'avenir de la construction des barrages justifie un

« **Brain Storming** ».

# 2 - Quels besoins en 2060?

## **Les barrages :**

- sont utilisés au moins pour un siècle.
- construits en 2040 doivent être adaptés aux besoins de 2060 ou 2100 et non de 2020.

## **Les besoins :**

- de production d'électricité tripleront;
- de stockage d'électricité seront multipliés par 20;
- d'irrigation doubleront;
- de protection contre les crues augmenteront;
- augmenteront également dans les régions à faible relief ; l'utilisation actuelle de barrages y est peu adaptée.

# 3- Quelle utilisation des barrages en 2060 ?

- **Traditionnellement** on utilise une rivière pour construire des barrages aussi hauts que possible et créer des réservoirs remplis **par gravité**, si possible à multi usages.
- Une **autre utilisation** des rivières, plus favorable à l'environnement, peut rendre beaucoup plus de services sur de nombreux sites.
  1. Le **stockage hors rivière par pompage** a un fort potentiel dans les régions à faible relief, y compris pour éviter les crues.
  2. L'utilisation de **barrages en mer** a beaucoup d'avenir.

Pour la plupart, ces nouvelles utilisations sont **basées sur le pompage**.

Leur impact sur l'environnement est meilleur que celui des barrages existants.

Quelques exemples sont présentés ci-après.

# 4 - Une autre utilisation du Zambèze

- Les pays pouvant être associés électriquement au Zambèze avaient en 1970 vingt millions d'habitants consommant **20 TWh/an**, en 2020 ils sont 80 millions consommant **150 TWh/an**, et en 2060 ils seront 150 millions souhaitant **500 TWh/an**.

Le Zambèze peut produire **50 TWh/an** dont 20 ont été équipés de 1960 à 1980 à Kariba et Cabora Bassa.

- On pourra produire le long du Zambèze **500 TWh** de courant solaire à 3 centimes de \$/KWh ; on peut en stocker la moitié par «Twin Dams » en modifiant ou complétant les barrages existants, pour un surcout de 2 centimes par KWh stocké ; Kariba produit 7 TWh mais pourrait produire 300 TWh autant que le Grand Inga, 3 fois autant que Itaipu ou les trois Gorges de Chine.

La conception des ouvrages actuels du Zambèze adaptée aux besoins de 1980 est inadaptée aux besoins de 2060. Il en est de même pour de nombreux fleuves. CFBR Symposium du 30/01/2020



# 5 - Eau et Energie au Burkina Faso

C'est un pays plat de 20 millions d'habitants consommant **2 TWh/an** (100 KWh par habitant). Pour 40 millions en 2060, **20 TWh** sont souhaitables. Le potentiel de **production** hydroélectrique est de 1 TWh/an mais le cout direct du photovoltaïque sera de 3 cents ; le stockage journalier pourra être par batteries mais aussi de manière efficace par pompage pour plusieurs TWh/an.



Le **stockage d'eau saisonnier ou inter saisonnier** est essentiel. Les barrages usuels de 10 m de hauteur et de **3 m** de profondeur moyenne perdent beaucoup par évaporation et sédimentation. Des bassins hors rivière de 1 Km<sup>2</sup> ou plus et 10 m de profondeur moyenne remplis par pompage ont un grand avenir en complément des barrages traditionnels.



# 6 - Protection de Paris contre les crues

Pour un bassin versant de 40 000 Km<sup>2</sup>, le débit de la crue centennale n'atteint que 2 500 m<sup>3</sup>/s mais la crue dure des semaines.

- 3 Grands lacs hors rivière à 100 Km en amont, se remplissent **par gravité** mais n'agissent que sur 20% du bassin versant et surtout pour les crues d'hiver. Il y a peu de sites semblables et le passage en 100 ans des crues du 20<sup>ème</sup> siècle causerait **50 milliards de dégâts** faute d'aménagements supplémentaires.
- Un complément de **stockage par pompage** est possible sur plusieurs sites 100 km en amont de Paris mais insuffisant.
- Une **solution complémentaire efficace** est basée sur 2 barrages en aval de Paris associés à des **stations de pompage** pour le débit de la crue sous 1 ou 2 m de charge. On peut réduire ainsi le niveau en amont des barrages et réduire de moitié les dommages pour un investissement de **500 millions** amorti en 2 ans.

Cette solution peut s'appliquer aux très grandes villes sur les fleuves à faible pente, surtout proches des estuaires.

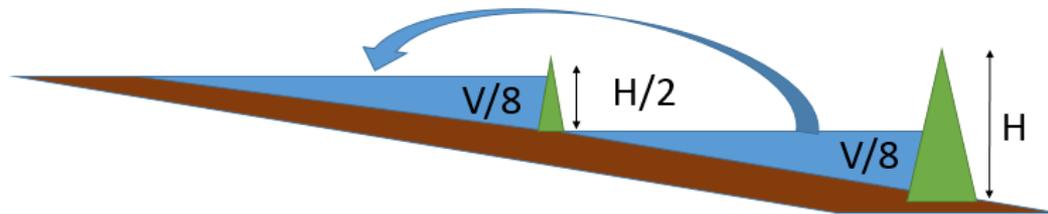


# 7 - L'électricité mondiale au milieu du siècle

La consommation électrique triplera à 70 000 TWh/an, 8 000 GW en moyenne, à base d'énergies intermittentes.

Une **capacité de stockage par pompage** de 3 à 4 000 GW évitera l'équivalent de plus de 10% des émissions mondiales actuelles de CO<sub>2</sub>. C'est économiquement très justifié et nécessite l'investissement de **100 GW/an**. L'hydroélectricité actuelle de 1 400 GW a été réalisée en 70 ans : **20 GW par an**. C'est l'investissement majeur futur pour les barrages; justifié qu'après 2030. Il peut se répartir en:

- Solutions **traditionnelles en montagne** avec tunnels et dénivelées de 100 à 1 000 m.
- **Twin Dams** sans tunnels avec dénivelée de 20 à 100 m.



- **Stations à la mer** avec dénivelée de 20 à 100 m.

# 8 - Stockage mondial d'énergie électrique

Trois solutions de stockage seront complémentaires :

1. Les **batteries** utilisées quelques heures par jour, 500 heures par an.
2. Les **stations de pompage** (STEPs), pompant 2 ou 3 000 heures par an, pour le stockage surtout journalier.
3. **L'hydrogène ou le gaz.**

70% de l'électricité sera probablement utilisée directement :

- quelques % stockés par batterie,
- **10% à 15 % stockés par pompage,**
- 10% stockés par hydrogène ou provenant du gaz avant 2050.

# 9 - Twin Dams et Lacs Emeraude

1. Le potentiel mondial réaliste de **stockage** d'énergie par **Twin Dams** est supérieur au potentiel de **production** hydroélectrique, mais il est proportionnel à la hauteur et au volume stocké. Il est donc assez faible en Europe.
2. Le potentiel de grands réservoirs de **stockage en bord de mer** est lié à l'existence de falaises. Le potentiel est très important sur tous les continents, y compris l'Europe. Placer le bassin haut **sur la falaise** peut être très économique mais les sites favorables limités. Le potentiel avec bassin haut **accolé à la falaise** est très important, y compris en Europe.

# 10 - Quels stockages d'eau hors rivière? (STEP)

Le besoin de stockage d'eau s'étend aux régions à faible relief. Le remplissage par pompage de bassins de l'ordre de 1 Km<sup>2</sup> ou plus et de 5 à 10 m de profondeur moyenne peut résoudre 2 problèmes :

1. Le **stockage saisonnier** en pompant quelques m<sup>3</sup>/s pendant 1000 heures/an pour des bassins versants de plus de 10 Km<sup>2</sup>.
  2. L'**écrêtement des crues** en pompant des dizaines ou centaines de m<sup>3</sup>/s pendant quelques dizaines d'heures tous les dix ans pour des bassins versants de centaines ou milliers de Km<sup>2</sup>.
- L'association des deux objectifs pour le même bassin.

Le bassin peut être assez éloigné de la rivière sur un terrain 10 ou 20 m plus haut. La profondeur de 5 à 10 m en moyenne peut varier de 0 à 20 m ; le problème d'étanchéité est proche de celui de 100 000 petits barrages actuels.

# 11 - Quelles pompes en 2040?

## 1. Pompes turbines:

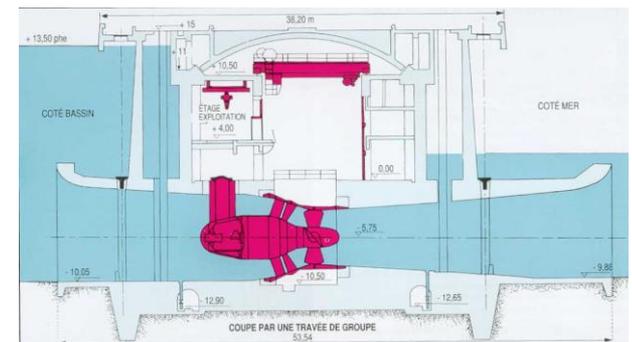
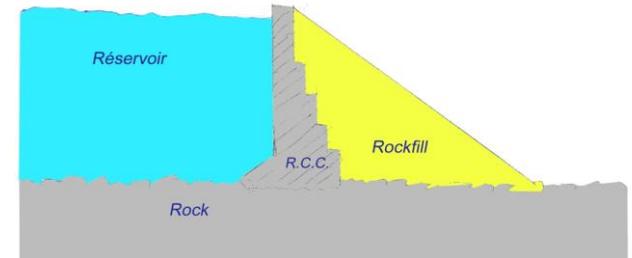
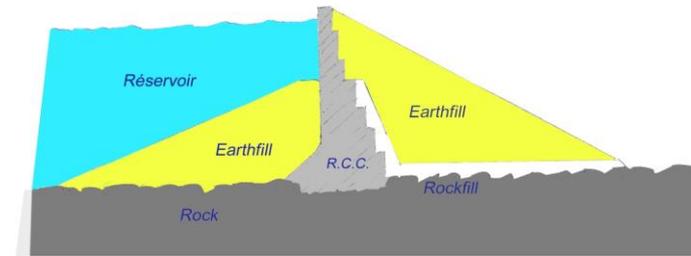
- Pour les STEP en montagnes avec tunnels sous une charge de centaines de m, les problèmes et solutions seront les mêmes qu'actuellement avec pompes à axe vertical adaptées à chaque site.

## 2. Pompes:

- Le stockage de quelques  $\text{m}^3/\text{s}$  sous 10 m peut se faire par les pompes standards existantes peu coûteuses.
- Des débits de cent  $\text{m}^3/\text{s}$  sous 10 m pour les crues peuvent utiliser des groupes bulbes ou des solutions spécifiques.

# 12 - Quels barrages ?

1. 2 ou 3000 GW de stockage par Twin Dams ou en mer nécessiteront plus de 1 000 Km de barrages d'une cinquantaine de m de hauteur fondés au rocher. La solution des barrages hybrides BCR parait la plus économique (Figure à droite) ).
2. Les barrages usines correspondants à 2 000 GW de STEP sous 50 m totaliseront une longueur de l'ordre de 500 Km, probablement pour des pompes turbines à axe horizontal (Figure ci-dessous).
3. Le stockage hors rivière pour des centaines de  $\text{Km}^3$  nécessitera des dizaines de milliards de  $\text{m}^3$  de digues dont l'économie et la technologie seront plus proches des autoroutes que des barrages traditionnels. Les conceptions peuvent être spécifiques et on peut tester des solutions originales.



# 13 - Impacts sur l'environnement et sur la sécurité

- Les **Twin Dams** sont plus favorables qu'un barrage unique :
  - Beaucoup plus d'énergie par Km<sup>2</sup>.
  - Sédimentation réduite et meilleure qualité de l'eau.
  - Peu d'impact en aval.
  - Risque par TWh plus faible.
- Le **stockage d'eau hors rivière** occupe moins de place à volume égal et perturbe peu la rivière. Le risque majeur lié aux crues est évité.

# 14 - Quels barrages pour l'Énergie en Europe en 2040 ?

## - Production Hydroélectrique :

Actuellement 200 GW produisent 600 TWh. Le potentiel additionnel est de l'ordre de **50 GW**.

## - Stockage d'énergie par les STEP:

Il est actuellement de 50 GW. Un complément de **200 GW** sera justifié, réalisable d 2030 à 2060, par STEPs en montagne ou marines.

## - Énergie marémotrice :

Un potentiel de 150 TWh par 50 GW est réaliste, principalement en France et U.K. C'est au total 300 GW entre 2030 et 2060, 10 GW par an. 200 GW ont été réalisés surtout de 1950 à 1980, environ **5GW/an**.

- Pour la France, le potentiel est de 20GW de STEP et 20 GW d'énergie marémotrice réalisable entre 2030 et 2060 de l'ordre de **1GW/an**.

- La capacité actuelle est de  $20 + 5 = 25$  GW réalisés en 50 ans : **0,50GW/an**.

# 15 - Stockage d'eau et contrôle des crues en Europe

- Le besoin de stockage d'eau est plus faible en Europe qu'en Asie ou Afrique. L'usage du stockage hors rivière par pompage peut répondre à ce besoin dans les zones à faible relief notamment dans le Nord de l'Europe.
- Les dommages liés aux crues peuvent être très importants pour les grandes cités ; beaucoup sont en plaines proches de la mer. Deux solutions nouvelles sont prometteuses :
  1. Le **stockage hors rivière par pompage** très en amont de ces agglomérations.
  2. Les **stations de pompage à l'aval** de ces grandes cités pompant le débit de crues sous 2 m de charge.

# 16 - Quels barrages construire dans le monde en 2040 ?

- La **production hydroélectrique** traditionnelle augmentera de **10 à 20 GW/an**.
- Le **stockage** par STEP augmentera de **50 à 100 GW/an**.
- L'**énergie marémotrice** pourra se développer à **5 GW/an**.
- Le **stockage d'eau** saisonnier peut s'accroître de **20 Km<sup>3</sup>/an**, en grande partie hors rivière.
- L'**écrêtement des crues** justifiera beaucoup d'investissements, surtout en zones à faible relief.

Les investissements annuels en barrages pourront être très supérieurs aux investissements passés :

- **La plupart seront liés au pompage.**
- **L'impact sur l'environnement sera un critère essentiel.**
- **L'innovation aura un rôle clef.**