



Barrages



Energie



Eau  
Environnement

Symposium CFBR

28 janvier 2021

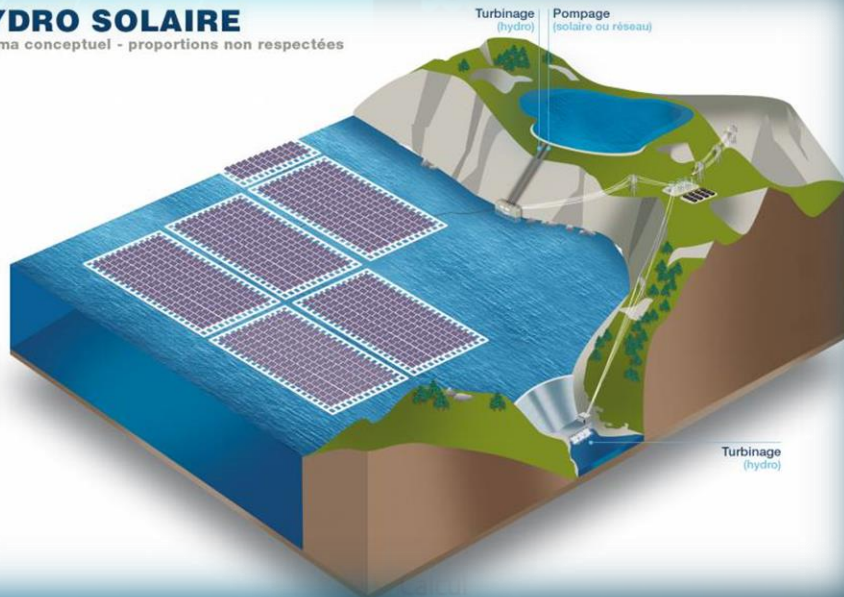
M. Bernicot (bernicot@isl.fr)



# Projets hydro-solaires en Afrique de l'Ouest

## > HYDRO SOLAIRE

Schéma conceptuel - proportions non respectées



ISL Ingénierie

**ISL**  
Ingénierie

scientifique



Barrages



Energie



Eau  
Environnement



Infrastructures  
et aménagements  
hydrauliques



Mer et côtes



Calcul  
scientifique

## Sommaire

1. Nouveaux défis de l'hydroélectricité
2. Une opportunité : l'hydro-solaire
3. Manantali (Mali)
4. Bassiéri (Burkina Faso)
5. Perspectives





# 1. Hydroélectricité : nouveaux défis

## Particulièrement en Afrique de l'Ouest

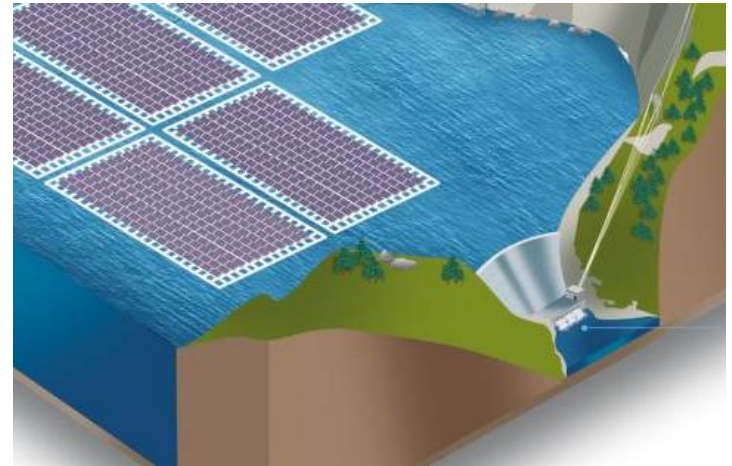
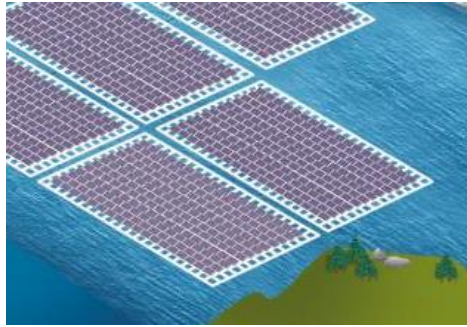
- Topographie peu marquée = **grandes retenues**
  - Forts impacts E&S
  - Importantes émissions de GES
  - Evaporation
- Une gestion de la **ressources en eau** au cœur des préoccupations
  - Saisons très marquées → stockage nécessaire
  - Retenues multi-usages → hydroélectricité pas toujours prioritaire
  - Changement climatique
- Déplacement progressif d'un usage en « base » vers un usage **en « pointe »**
  - Pilotabilité de la ressource hydro
  - Déploiement du solaire à grande échelle
  - Peu ou pas d'évolution de la rémunération des services rendus



## 2. L'hydro-solaire : c'est quoi ?



+



Réservoir hydro

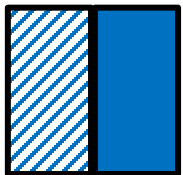
+

Ferme solaire



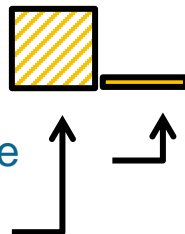
Centrale hydro-solaire

GWh/an

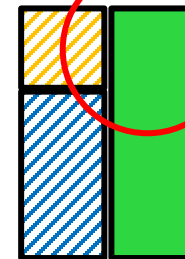


+

GWh/an



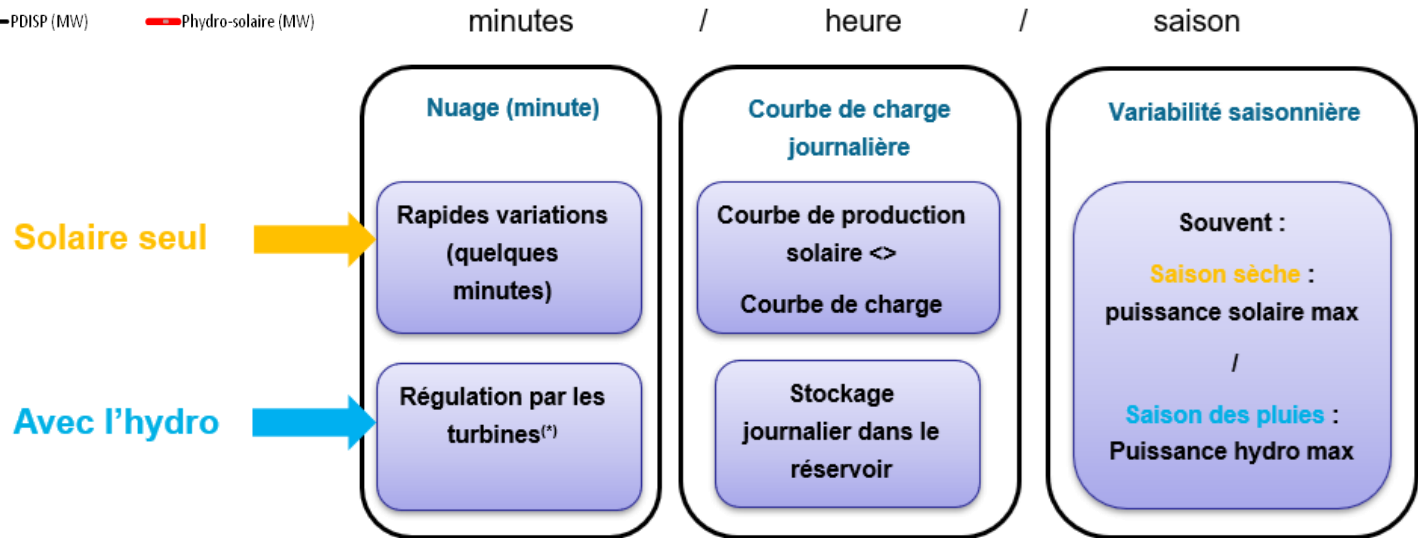
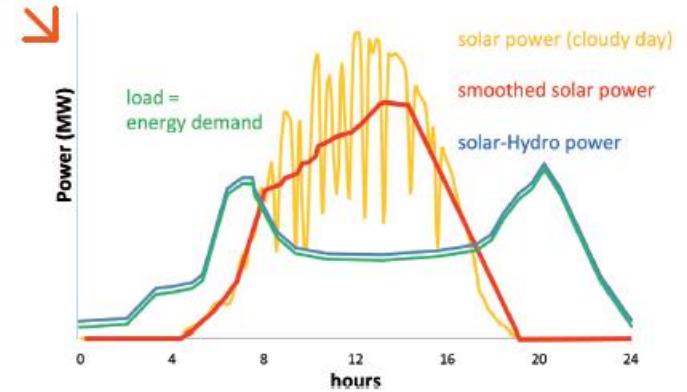
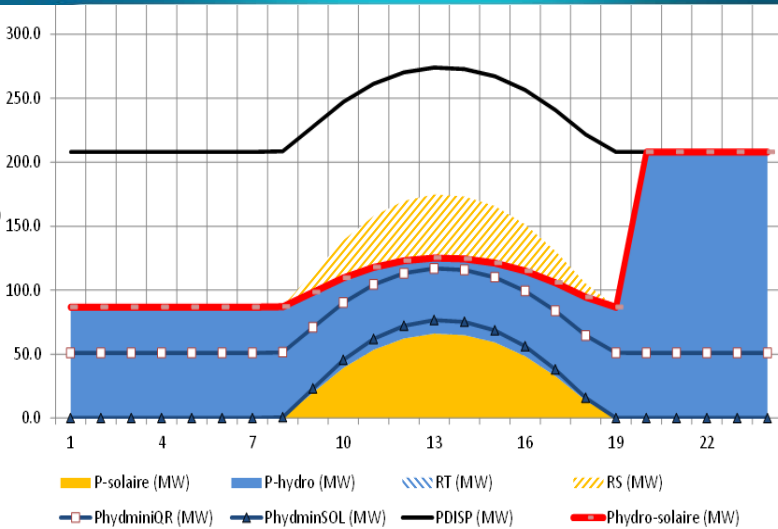
GWh/an



Energie pilotable  
Energie totale

Energie pilotable  
Energie totale

# 2. Une complémentarité à plusieurs pas de temps



(\*) fonction des caractéristiques de la centrale hydroélectrique



## 2. Plusieurs niveaux d'hybridation

### Couplage réseau / Centrales virtuelles

[Solaire lissé à l'échelle du réseau, avec l'ensemble des centrales disponibles]

**+**: Facilité de développement

**-**: Nécessite un dispatch performant

### ShSH : Slightly hybridized Solar Hydro

[Puissance PV installée jusqu'à 15/50% de la puissance Hydro]

**+**: Peu d'impact sur l'hydro => opération simple

**-**: Puissance et énergie solaire limitées

### HhSH : Highly hybridized Solar Hydro

[Puissance PV installée jusqu'à 30/100% de la puissance Hydro]

**+**: Meilleure pénétration solaire

**-**: opération plus complexe (incluant de la prévision météo) ; les variations de débit en aval peuvent requérir des mesures de compensation

### FSH : Full Solar Hydro

[Incluant une Station de Pompage Turbinage]

**+**: Puissance et énergie solaire illimitées

**-**: Fort CAPEX et prix au kWh plus élevé



## 2. Plusieurs niveaux d'hybridation

*Sur des aménagements existants...*

*Ou neufs !...*



### 3. Exemple : Manantali (Mali)



#### Centrale hydroélectrique

5 groupes de 41 MW

**840 GWh/an**

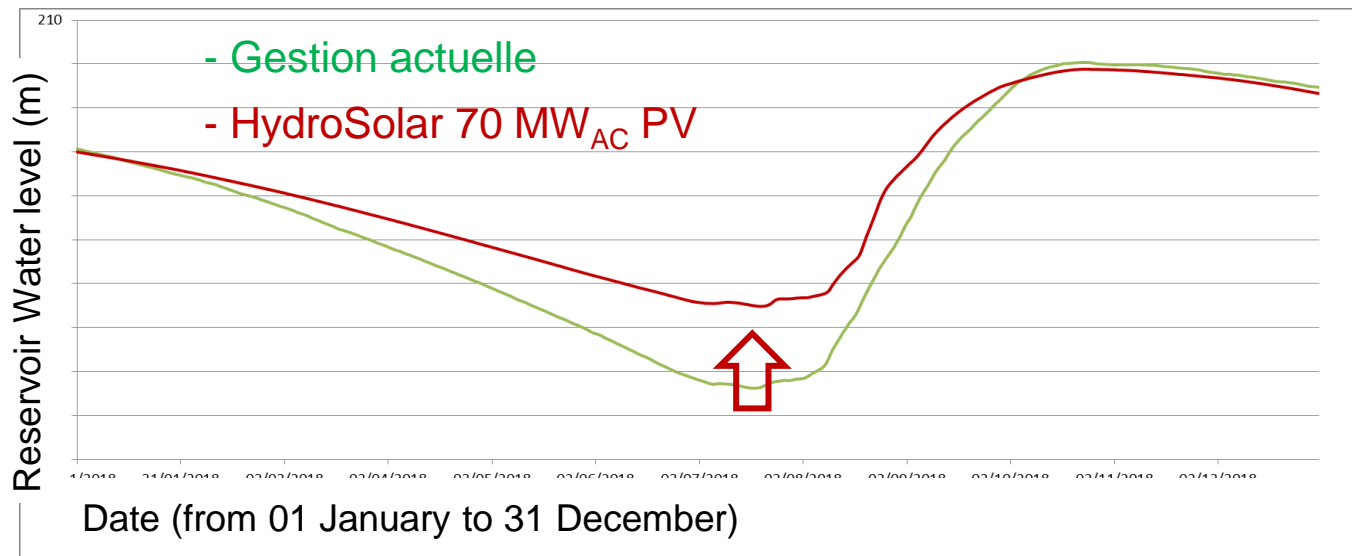
- Retenue de 12 000 hm<sup>3</sup>
- Objectif premier : hydroélectricité
- Mais aussi... soutien d'étiage, irrigation, soutien de crue
  - Qui ne sont pas toujours conciliables
  - Et qui ne génèrent pas les mêmes revenus



### 3. Exemple : Manantali (Mali)

#### PROJET SOLAR-HYDRO : 70 MW<sub>c</sub>

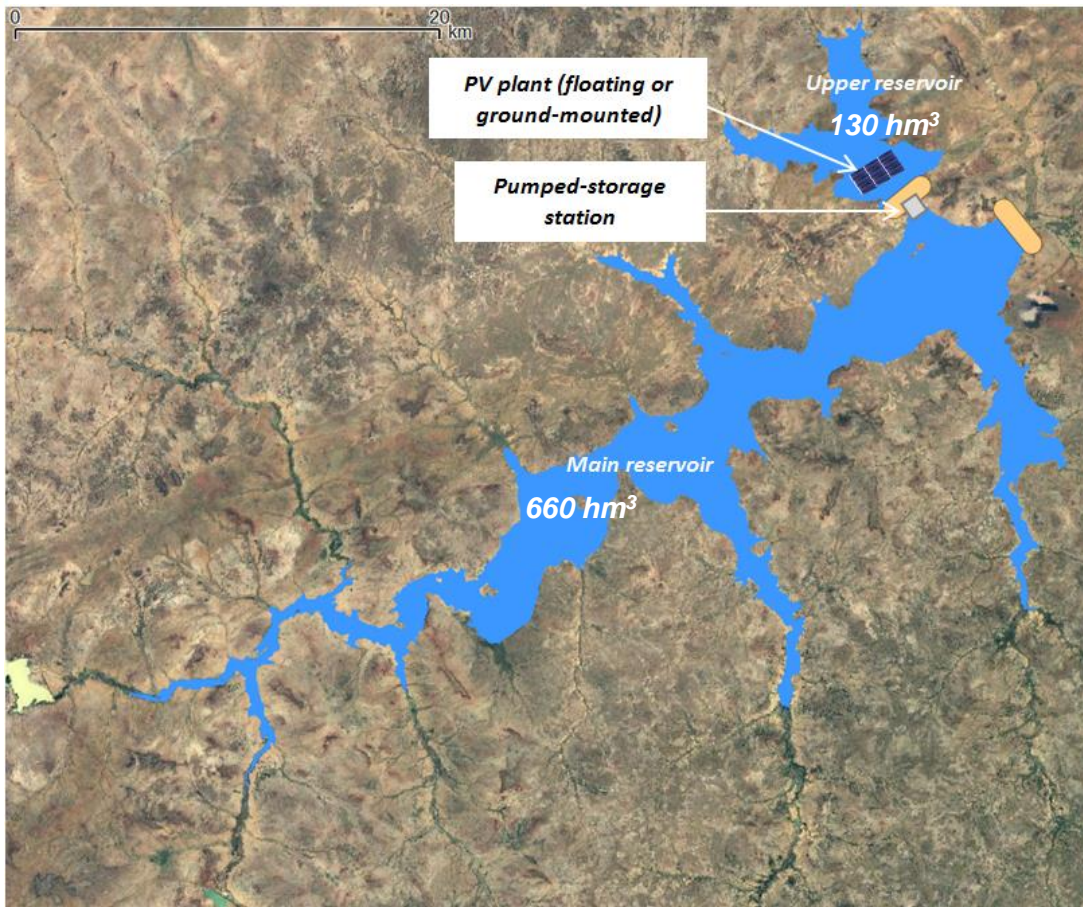
Avec 70 MW<sub>AC</sub> solar → Energie annuelle 992 GWh Puissance garantie durant la pointe du soir 114 MW



- Augmente la puissance garantie sans utilisation d'eau additionnelle
- Améliore la production hydro en augmentant le niveau du réservoir en saison sèche, donc la puissance / m<sup>3</sup> d'eau turbinée
- OU Pour la même énergie produite, augmente le volume d'eau disponible pour d'autres usages



## 4. Exemple : Bassiéri (Burkina Faso)



- Barrage multi-usage : irrigation, eau potable et hydroélectricité

- Puissance installée de 3.5 MW seulement

- **STEP hydro solaire :**

- $P_{PV} = 350 \text{ MW}$  (~ 300 ha)

- $P_{\text{firm}} = 85 \text{ MW}$  (saison sèche)  
60 MW (saison pluvieuse)

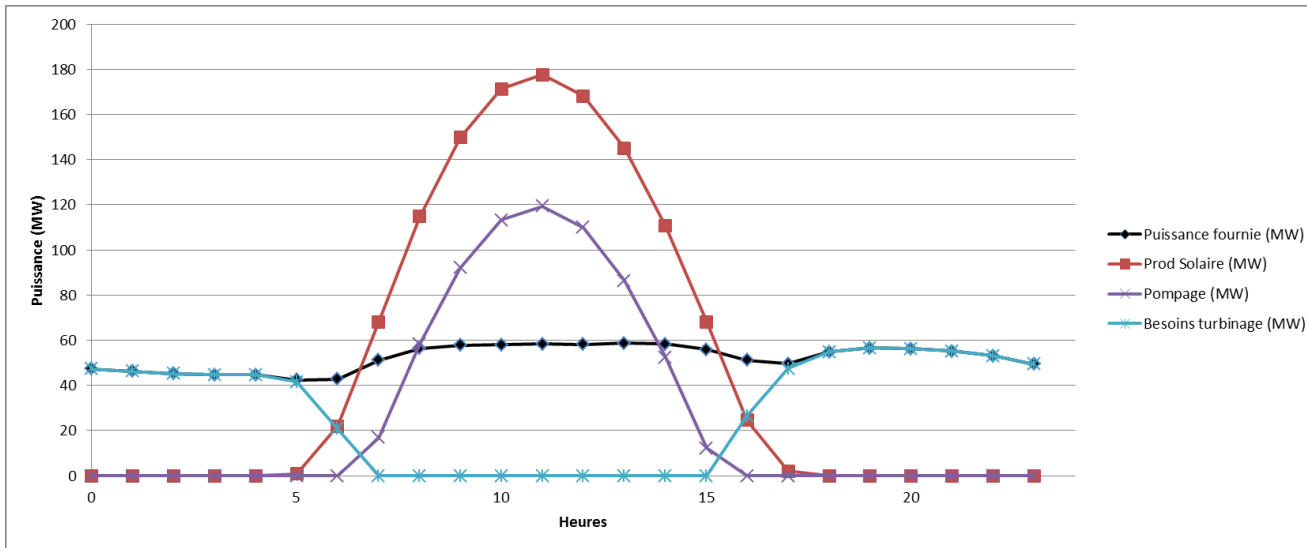
→  $Q_d = 670 \text{ m}^3/\text{s}$

- $P_{\text{pump}} = 120 \text{ MW}$

→  $Q_d = 1160 \text{ m}^3/\text{s}$

Basse chute (10 – 15 m) → Turbines bulbe réversibles

## 4. Exemple : Bassiéri (Burkina Faso)



*Jour nuageux typique*

- $E > 590$  GWh / an, **100% pilotable**, toute l'année
- **100% renouvelable**, avec les services d'une centrale thermique
- Electricité stable, sans pression supplémentaire sur le dispatch
- LCOE  $< 0,1$  to  $0,13$  €/kWh  $\rightarrow$  rend économiquement viable un projet aux nombreuses facettes non « rentables »
- Emissions  $T_{eqCO_2}$ /kWh plus faibles, meilleurs performances E&S
- ...



## 5. Perspectives

Meilleures performances environnementales

Des MWh (solaires) + des MW (hydro)

Baisse de la pression sur l'eau

Taux d'utilisation des équipements

### Mais l'hydrosolaire c'est aussi des défis...

- Variations rapide du débit aval
- Fatigue des équipements hydro
- Sûreté barrage en cas de PV flottant
- Complexifie l'exploitation: prédiction & communication entre hydro & PV
- Peut entraîner des pertes de production si non géré de manière optimale

Contourne la non rémunération des services réseaux

***A systématiser sur les aménagements neufs ?***

### ... Et l'équilibre n'est pas simple à trouver

- Dépend des contraintes de chaque site
- **Probablement plus facile si opérateur unique PV / hydro**