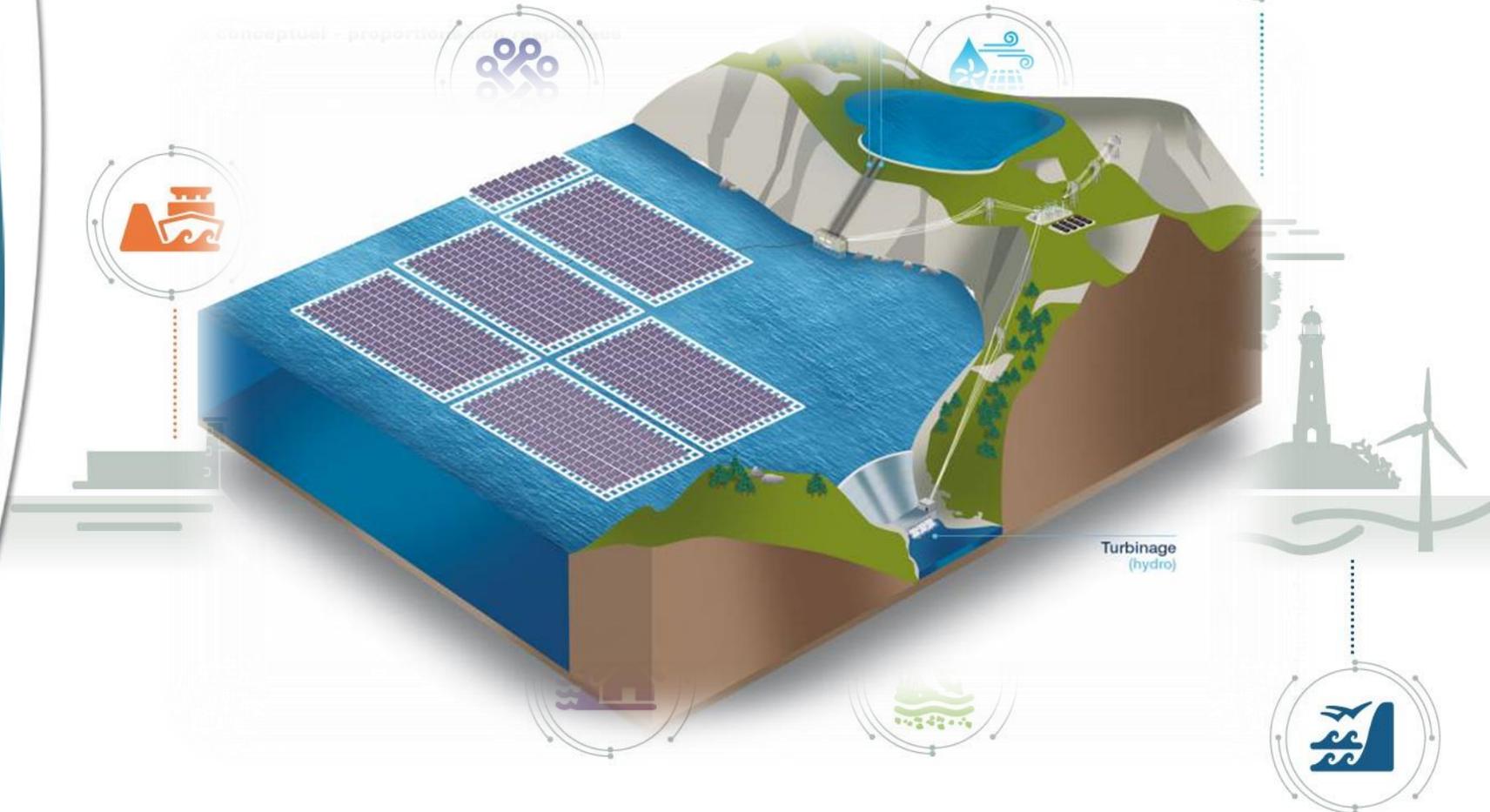




« Flexibilité de l'hydro : hybridation et digitalisation, les solutions pour le futur ? »

Hybridation solaire - hydro



Turbinage
(hydro)



Experts Hydro 2024
– 7^{ème} édition

Benjamin Peltié

peltie@isl.fr

31 rue du Nivolet, Chambéry

ISL

Ingénierie

www.isl.fr

Barrage de Manantali, sur le Bafing au Mali

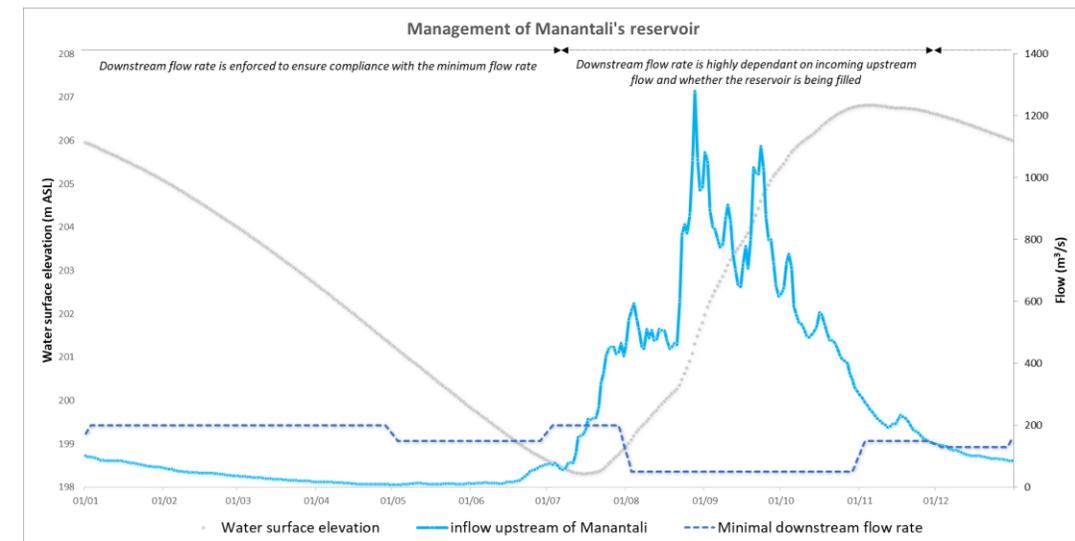
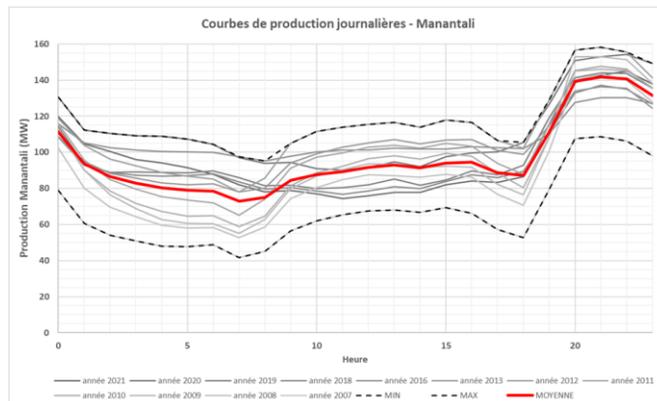
Réservoir	11,8 milliards de m ³ et 460 km ²
Débit moyen entrant	230 m ³ /s, soit 7,2 milliards de m ³
Puissance nominale	205 MW
Turbines	5 x 41 MW Kaplan

Un barrage à usages multiples :

1. Ecrêtement de crue pour les inondations
2. Soutien d'étiage : jusqu'à 100% du débit du Sénégal en saison sèche
3. Production d'hydroélectricité : 580 GWh/an
4. Soutien de la crue annuelle, pour l'agriculture

Et un atout essentiel pour la stabilité du réseau :

- Réserve primaire/tournante : 5 MW/turbine en fonctionnement
- Inertie / régulation fréquence : 2 turbines en rotation au minimum



Barrage de Manantali - hybridation d'une centrale solaire de 87,5 MWc



... visant à :

- Maintenir le soutien d'étiage
- Maintenir les services réseaux : conservation de la réserve tournante
- Intégrer et lisser 87,5 MWc solaire dans une courbe de charge donnée
 - L'hydro compense les variations solaires
 - Le solaire en excès est plafonné (*ou injecté sur le réseau sans être lissé*)

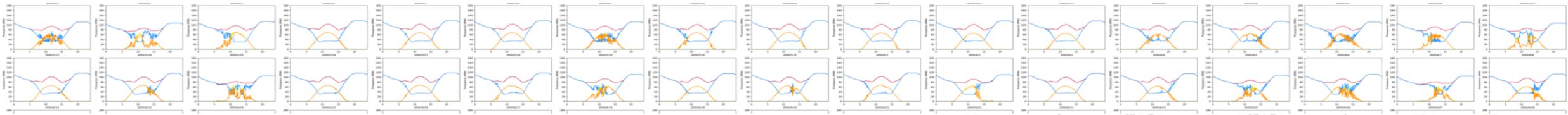
... et simulée à l'aide d'un outil d'hybridation développé par ISL Ingénierie :

0. Scénario de référence (pas de solaire)
 1. Maximiser l'intégration de la production solaire
 2. Maximiser la production d'énergie pendant le pic de consommation du soir
 3. Maximiser la production annuelle d'énergie
- Et l'impact des nouveaux barrages planifiés et du changement climatique

.... grâce à :

- Prévisions météorologiques à 15 minutes
 - pour anticiper les nuages (baisse production)
 - démarrer les groupes, pour compenser
- Un Energy Management System (EMS)
- Dans les limites physiques des turbines

Simulations pour des années hydrologiques typiques : plus de 250 années de simulation à un pas de temps d'une minute.



Barrage de Manantali - Conclusions

L'hybridation hydro-solaire permet :

1/ Une énergie hydro-solaire lissée et flexible, malgré les fortes variations solaires (*jour/nuit, nuage/soleil*)

2/ Peu de solaire non lissé (<2%), pas de perte hydroélectrique

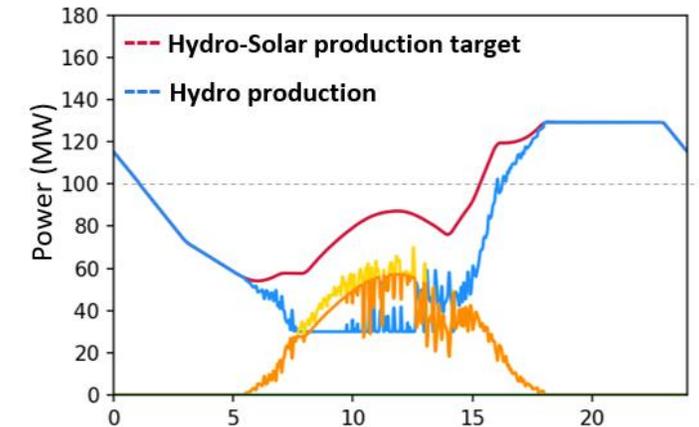
3/ Une meilleure gestion de la production électrique :

- **Puissance garantie à 95 %** : jusqu'à +30% les années sèches
- **Production en heure de pointe** : +4 à +7% suivant les années
- **Production hydroélectrique annuelle (décalage saisonnier)** : +2 à 4% en année moyenne, 0% en année sèche (débits contraints par les usages aval) - **cas de Manantali**
- **Résultats dépendants de l'hydrologie**

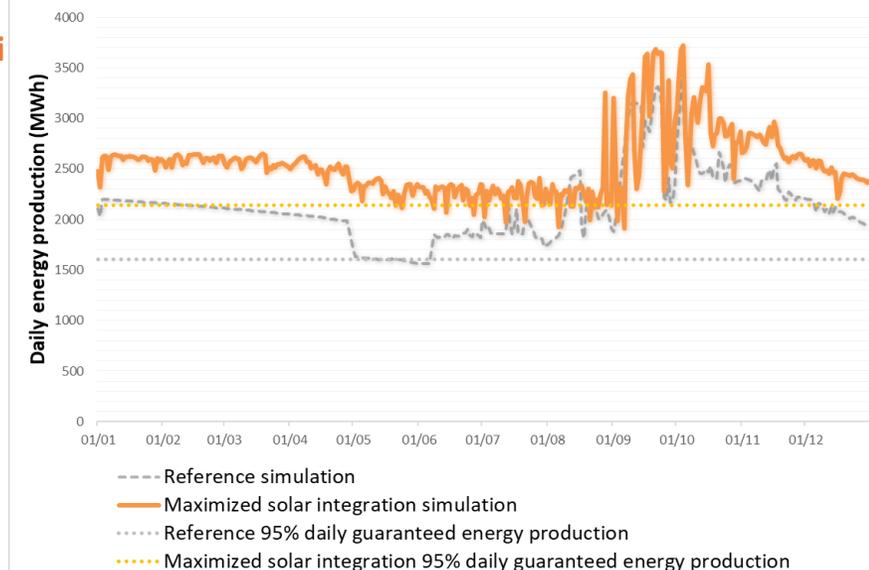
... grâce à des simulations à l'échelle **pluriannuelle** (variabilité hydrologique), **de l'année** (saison sèche/humide), **de la journée** (variation de la demande électrique) et **de la minute** (passage des nuages)

→ Vérification du comportement des turbines hybridées et en tenant compte d'une prévision dégradée : étude à l'échelle de la milliseconde

Production en heure de pointe



Maximisation de l'énergie garantie



Barrage de Manantali - Gérer la fatigue des turbines

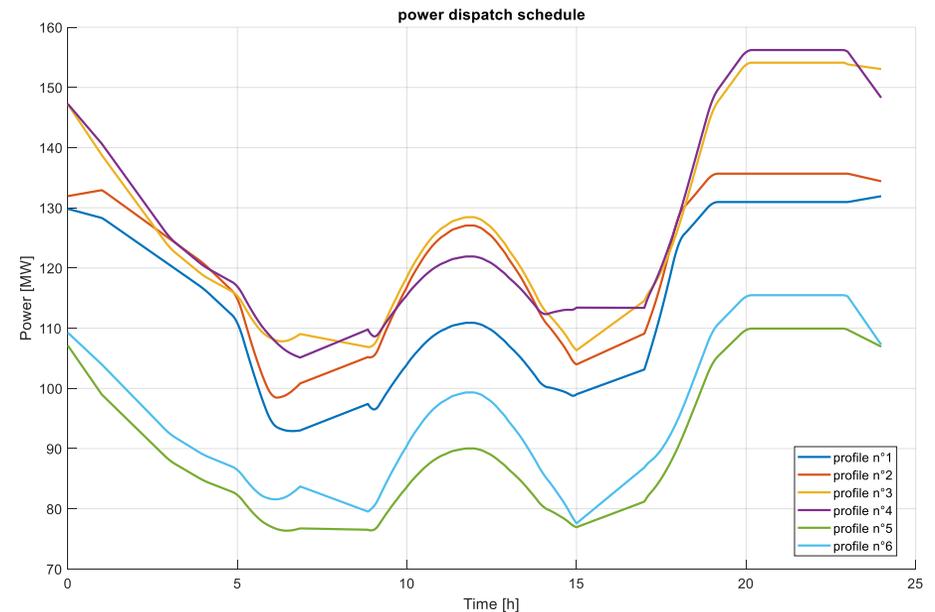
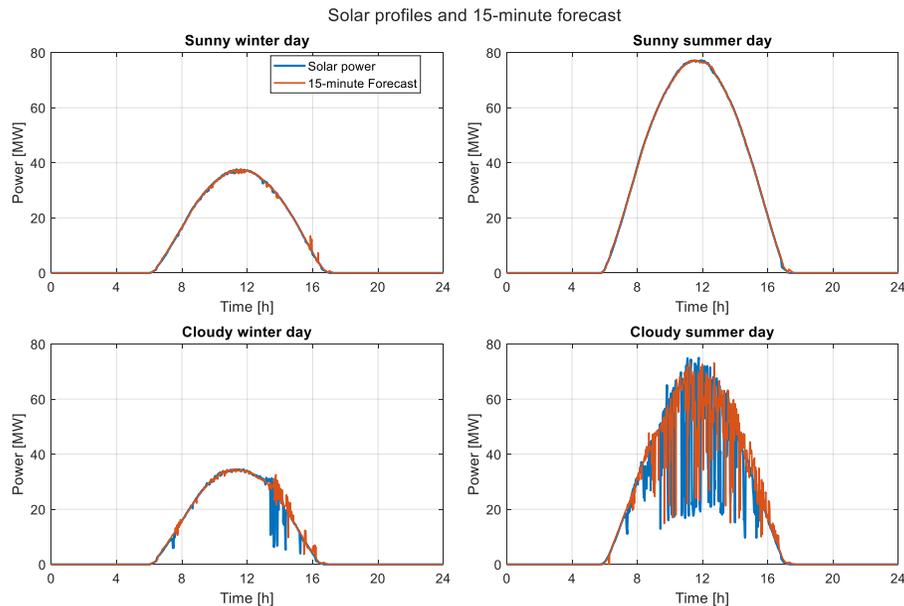


Deux objectifs :

- Évaluer la fatigue des turbines amenée par l'hybridation
- Identifier les performances de l'ajout d'un BESS (10MW / 5MWh)

Modèle Simulink réalisé par SuperGrid Institute : 5 turbines, circuits hydrauliques amont et aval, centrale PV, batterie, signal fréquence du réseau

Différents scénarios solaires et d'objectif de production



Barrage de Manantali - Gérer la fatigue des turbines

Conclusions



	Écart à l'objectif de production [MW]/[%]	Démarrage et arrêts des groupes /jour	Distance parcourue par l'actionneur m/jour	Changements de direction des actionneurs /jour	Eau économisée Mm3/jour
Hydro seul	1,1MW 1,0%	1,5	1618	11 325	0
Hydro + PV	14,3MW 14,8%	6	2007	9 864	3,1
Hydro + PV + prévisions	5,0MW 5,4%	2,6	3130	16 745	3,1
Hydroélectricité + PV + prévision + BESS	0,6MW 0,7%	2,6	749	654	3,1

Amélioration des performances

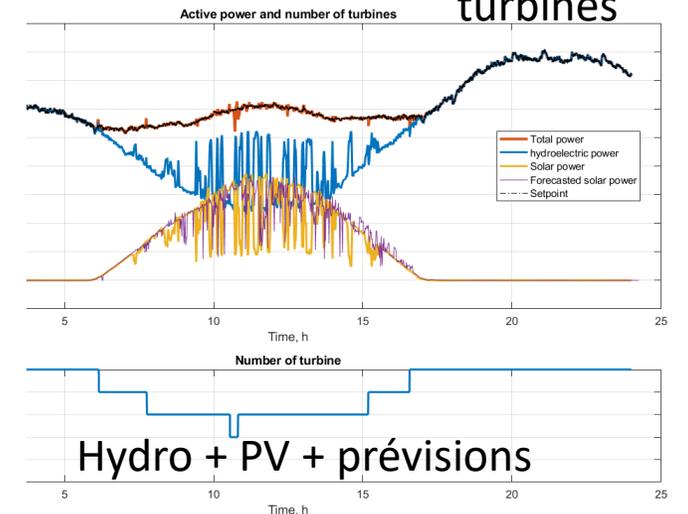
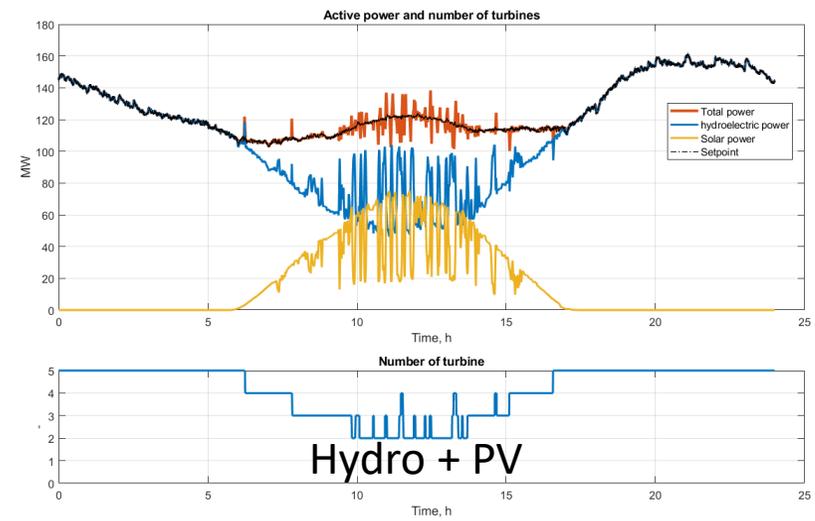
Augmentation de la sollicitation des turbines

Amélioration des performances

Diminution de la sollicitation des turbines

→ Durée de vie des éléments capacitifs de la batterie : de l'ordre de 2 ans

→ Optimisation possible du réglage de l'EMS : compromis entre sollicitation de la batterie et usure des turbines/qualité de l'hybridation



JE VOUS
REMERCIE POUR
VOTRE
ATTENTION



Benjamin Peltié
Directeur de projets hydroélectriques et solaires

peltie@isl.fr

31 rue du Nivolet
73000 Chambéry