

Pré-dimensionnement d'un aménagement de STEP solaire

*Simulateur d'un outil de pilotage de mini STEP à j-1
respectant des ressources renouvelables fluctuantes*

Colloque Hydro 21 (07/12/2018)

Valentin Benoit (Ense³) - Pierre Pisterman (HPP) - Jean-Jacques Herou (consultant)



Sommaire



1 Le stockage d'énergie par pompage

2 Système couplé à des ressources énergétiques fluctuantes

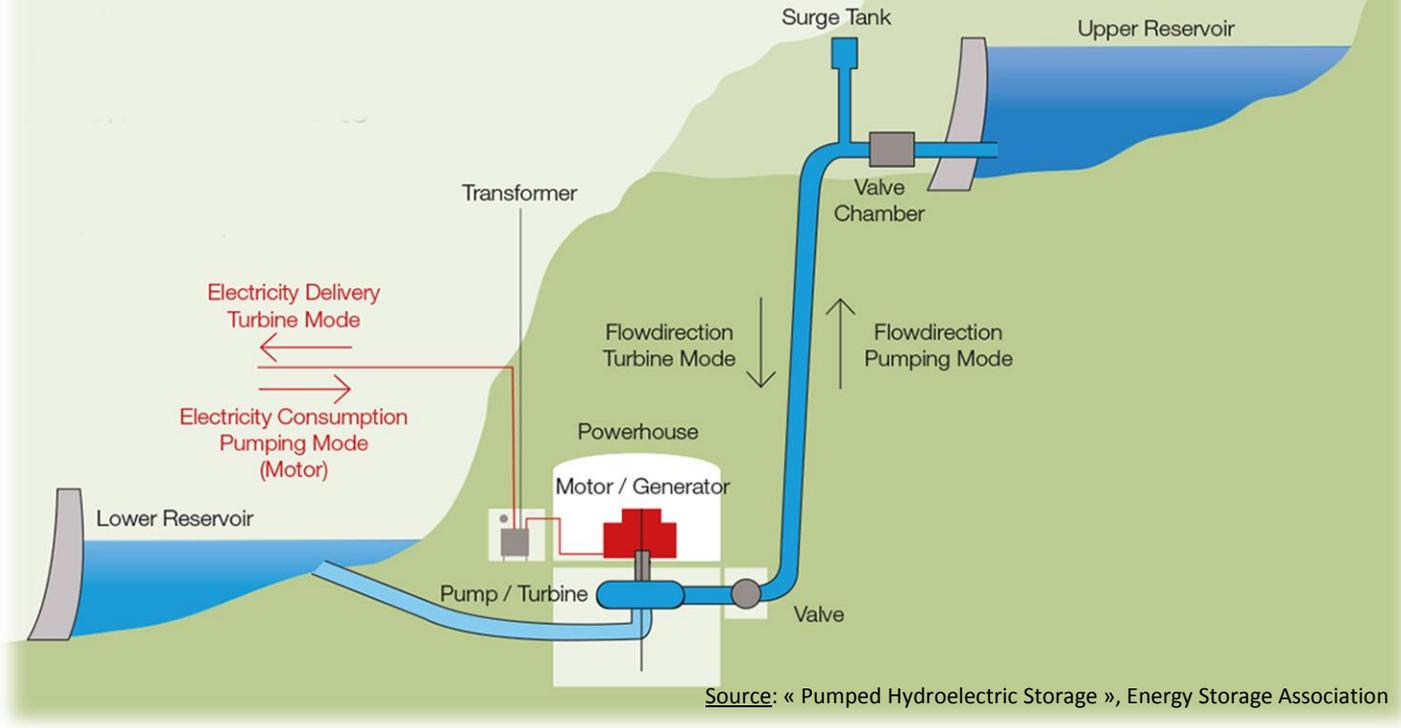
3 Dimensionnement des mini-step

4 Rentabilité de l'aménagement

5 Modèle numérique

Le stockage d'énergie par pompage

The principle:



Agriculture

Energie



Industrie

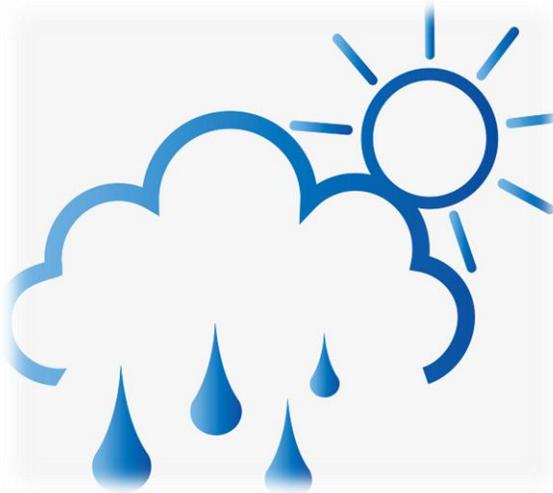


Usage domestique, collectif

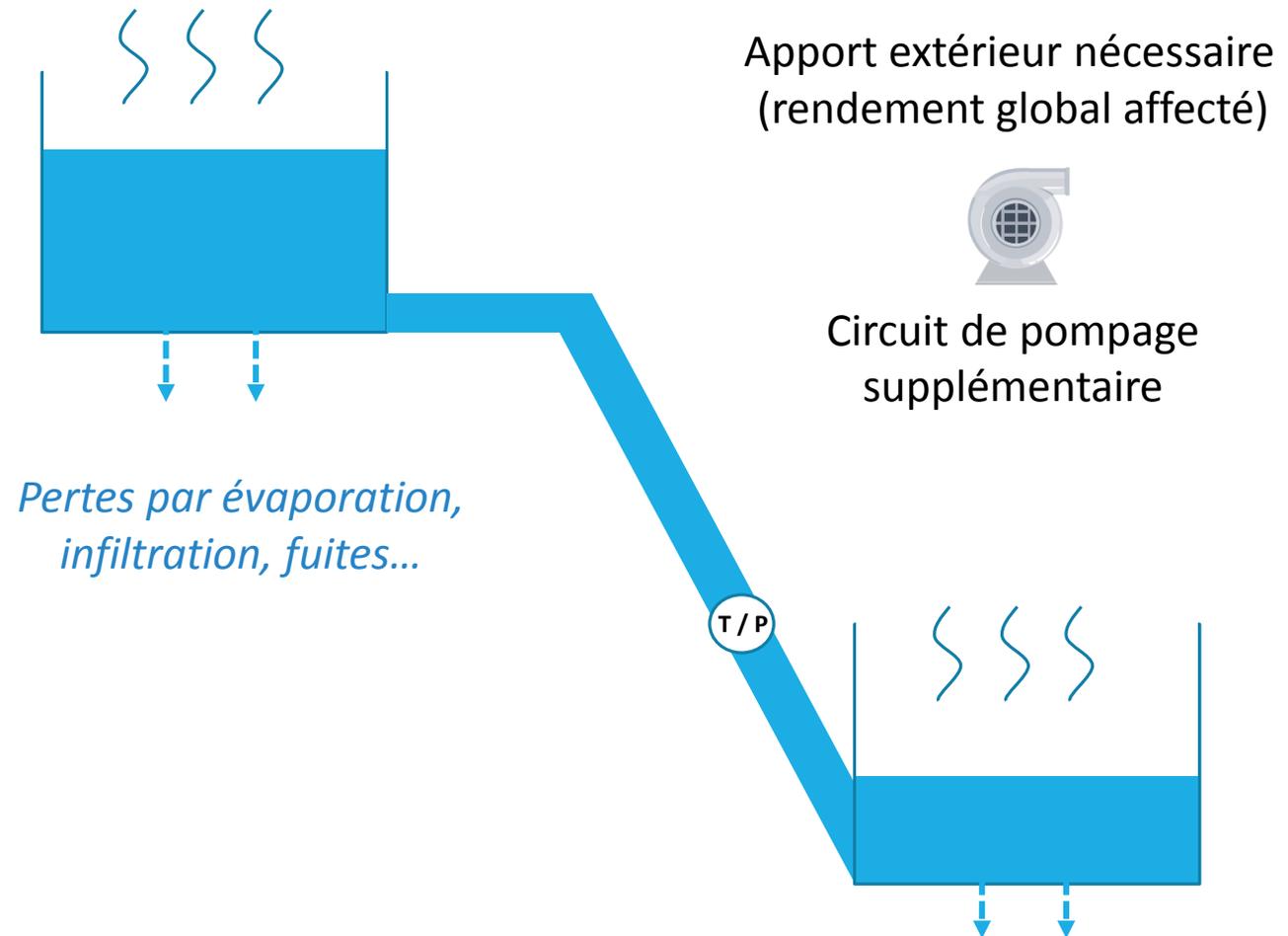
Le stockage hydraulique : un vecteur de développement au-delà de l'aspect énergétique

Le stockage d'énergie par pompage

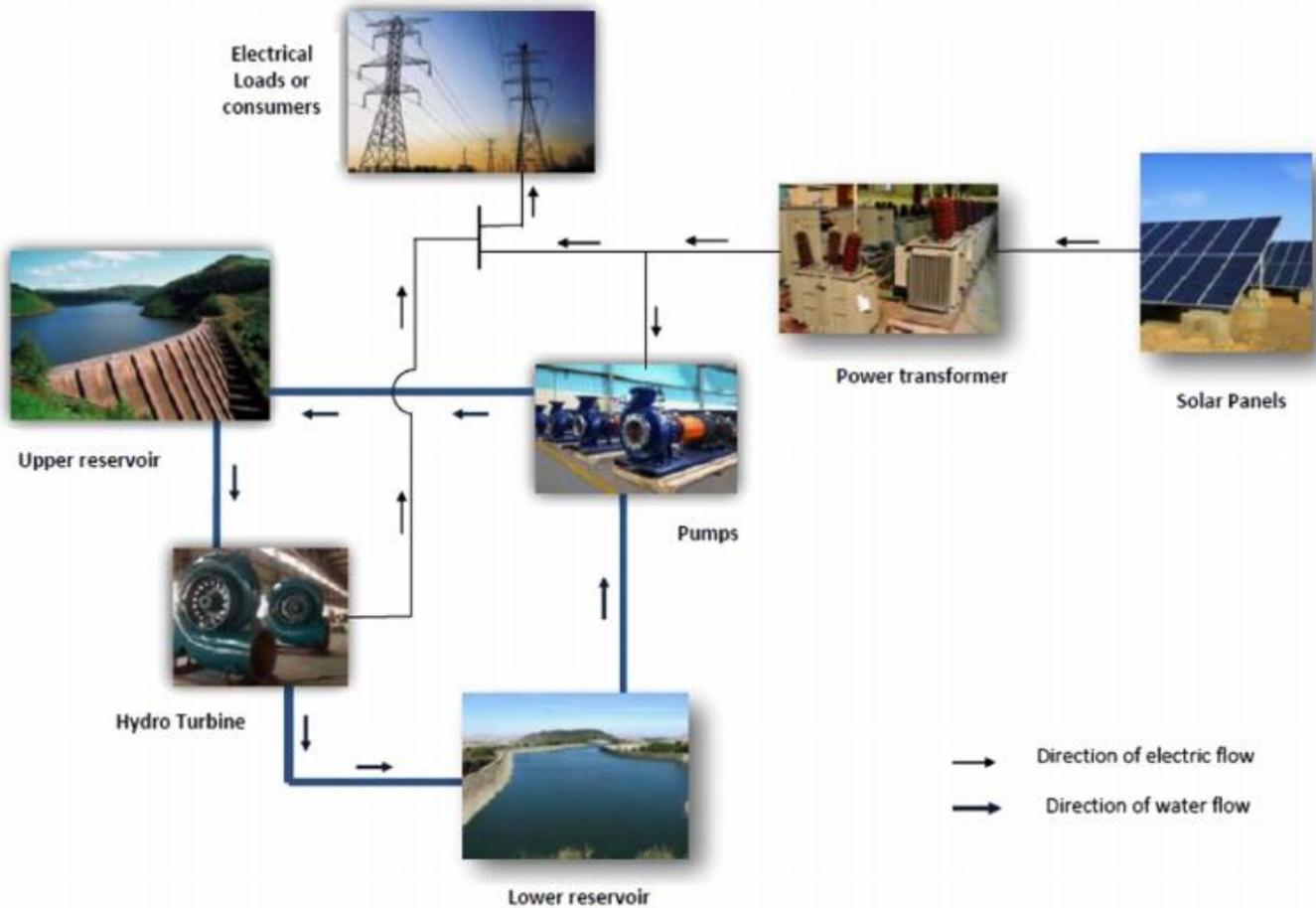
Cas d'une STEP « pure » :
comment compenser les
pertes en eau ?



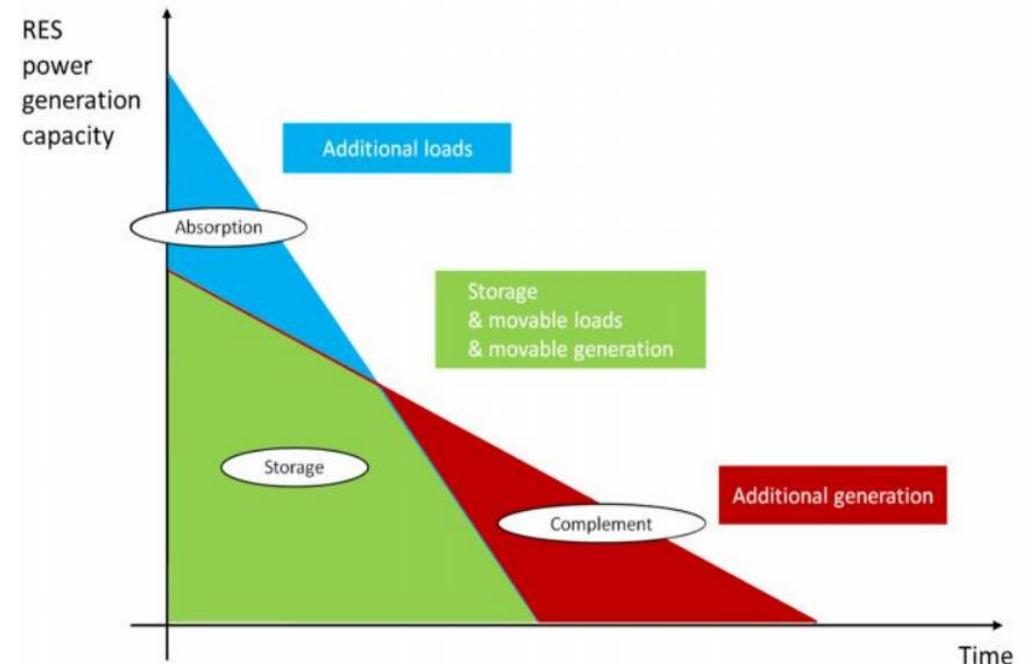
La pluie ne suffit pas !



STEP couplée à une ressource énergétique fluctuante

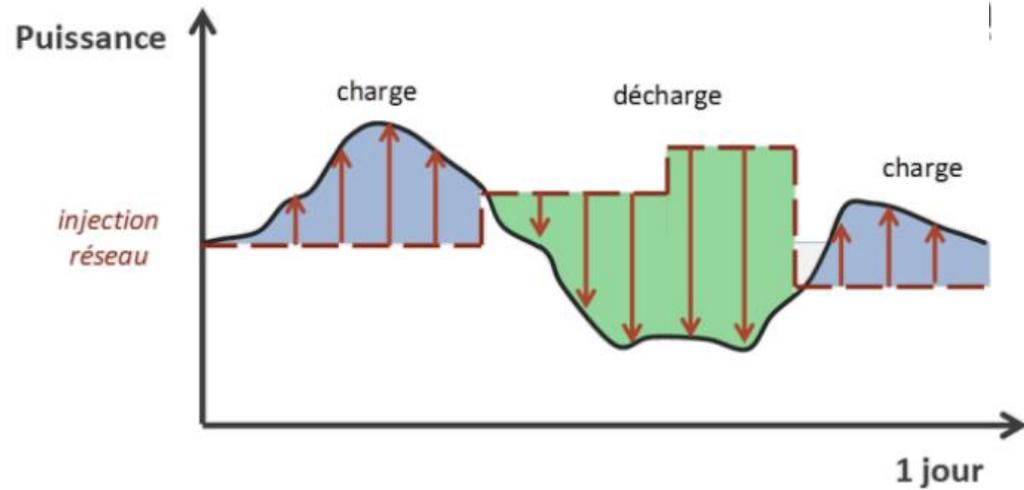


Source: « Pumped hydro energy storage system: A technological review »



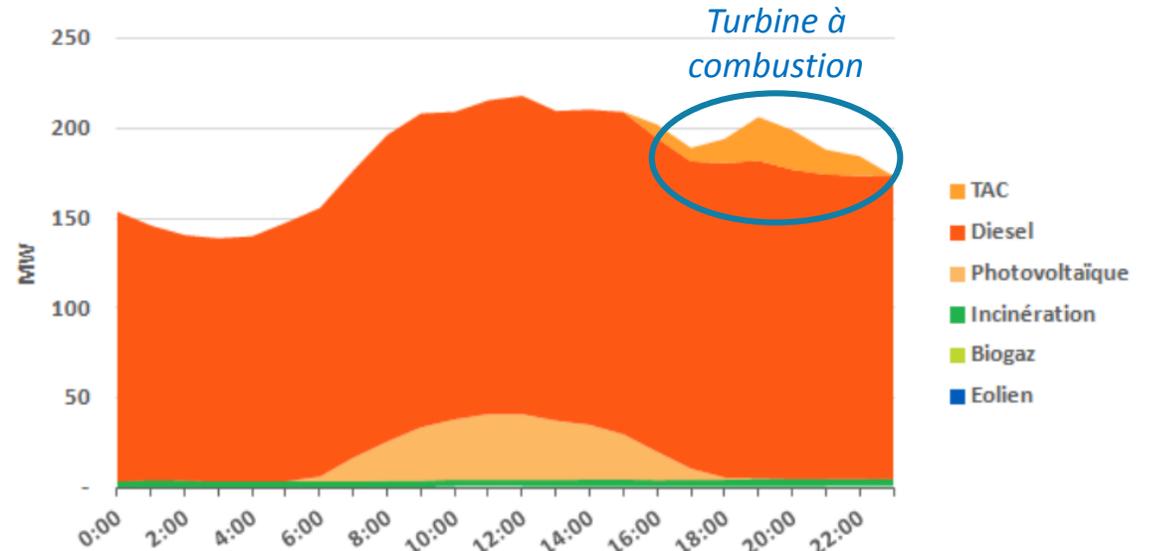
Source : « Decentralised storage: impact on future distribution grids », Eurelectrics

Gestion des périodes de pointe



Source: « Le stockage d'énergie », Enea Consulting

Valoriser la production à un moment où on en a besoin !

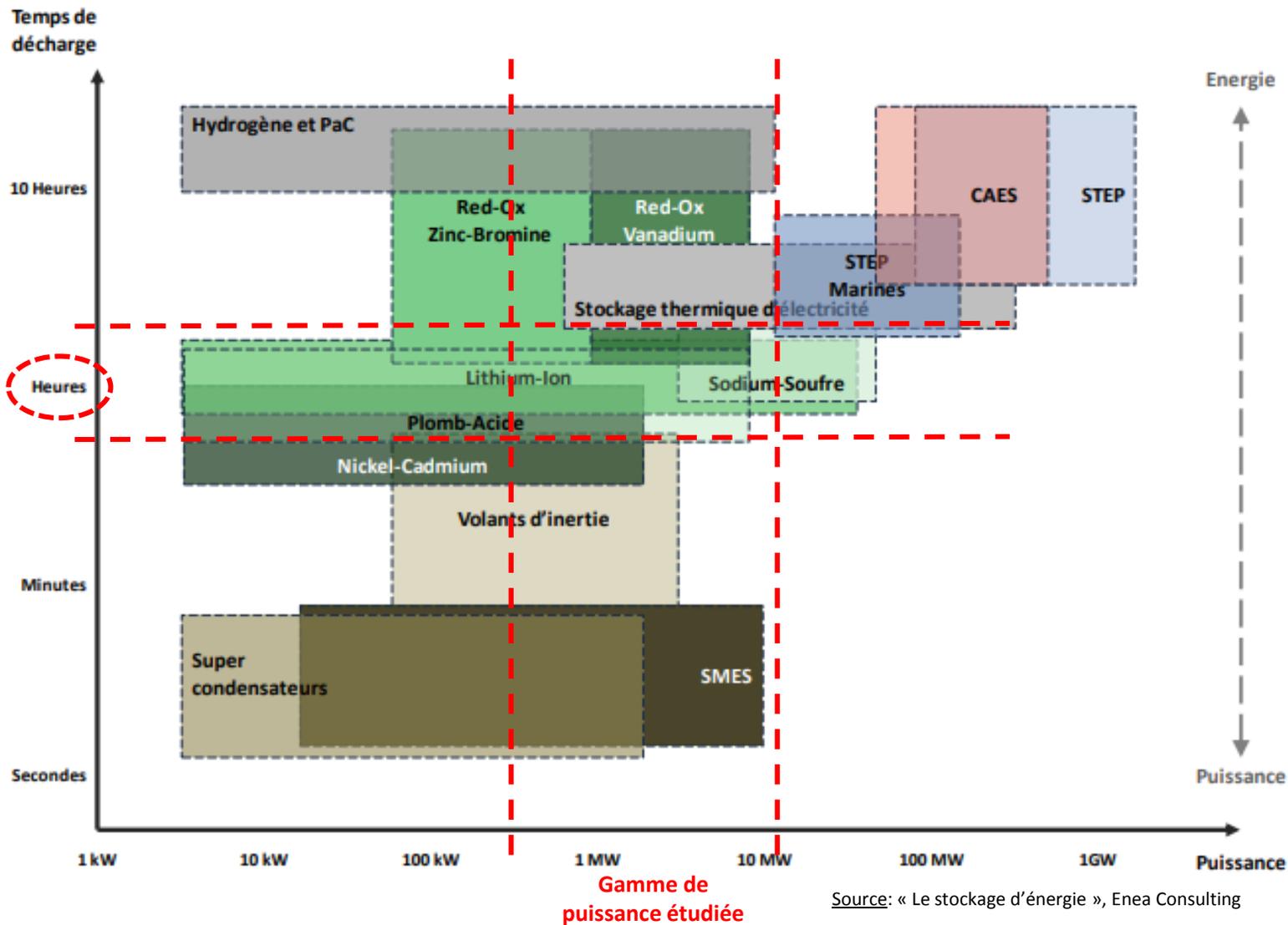


Source: « Systèmes énergétiques insulaires », EDF

Exemple d'empilement sur une journée de production en réseau insulaire sans hydro

➤ **Eviter l'allumage coûteux d'une TAC (thermique de pointe, allumage rapide)**

Domaine d'existence des mini-step



- Temps de décharge de plusieurs heures
- Puissance comprise entre 0,5 MW et 10 MW
- Domaine des DSO plutôt que TSO

➤ En concurrence directe avec le type de stockage « batterie lithium ion » et ses limitations



Durée de vie

Rentabilité long terme ?

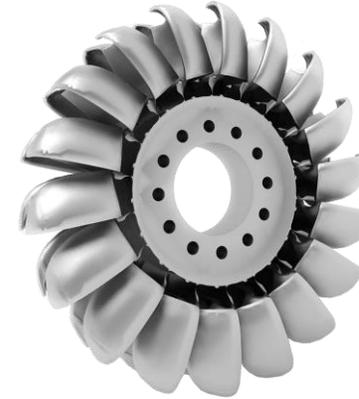
Impact environnemental

Quel dimensionnement technique?



Réservoir(s)

Volume amont : doit garantir une marge de sécurité en cas de creux solaires consécutifs (pompage impossible)



Hauteur de chute

Solution rentable pour les hautes chutes (>250m) : privilégier les roues Pelton.

Pompes

- Vitesse fixe en base (pas d'opération de vannage énergivores)
- **Vitesse variable indispensable** pour absorber les fluctuations solaires
 - Compromis à trouver entre coût électronique de puissance et volume effectivement pompé



Stockage intermédiaire

Batteries chargées sur le surplus solaire. Possibilité de s'affranchir de groupes diesel lors des **black-start**. Temps de réponse rapide permettant de faire tampon sur les petites fluctuations solaires.

Quel dimensionnement économique ?

- **Rentabilité de l'aménagement :**
 - CAPEX élevé
 - Ne pas oublier le rendement énergétique global $\geq 75\%$
 - Charges d'exploitation
 - **Valorisation de services supplémentaires :**
 - Fonctionnement en compensateur synchrone
 - Reprise des creux de tension / variations de fréquence
 - Possibilité de black-start en cas d'effondrement du réseau
- ➔ Négociations nécessaires avec le gestionnaire de réseau : fixer un contrat d'achat pertinent
Quelle intégration dans le mécanisme des capacités fixé par la loi NOME ?

Développement d'un outil de pré-dimensionnement et d'aide à la décision

Données d'entrée :

- Caractéristiques hauteur / débit
- Données d'ensoleillement du site
- Volumes des réservoirs
- Caractéristiques conduite forcée
- Plages horaires de prix (pointe)
- Tarifs d'achat

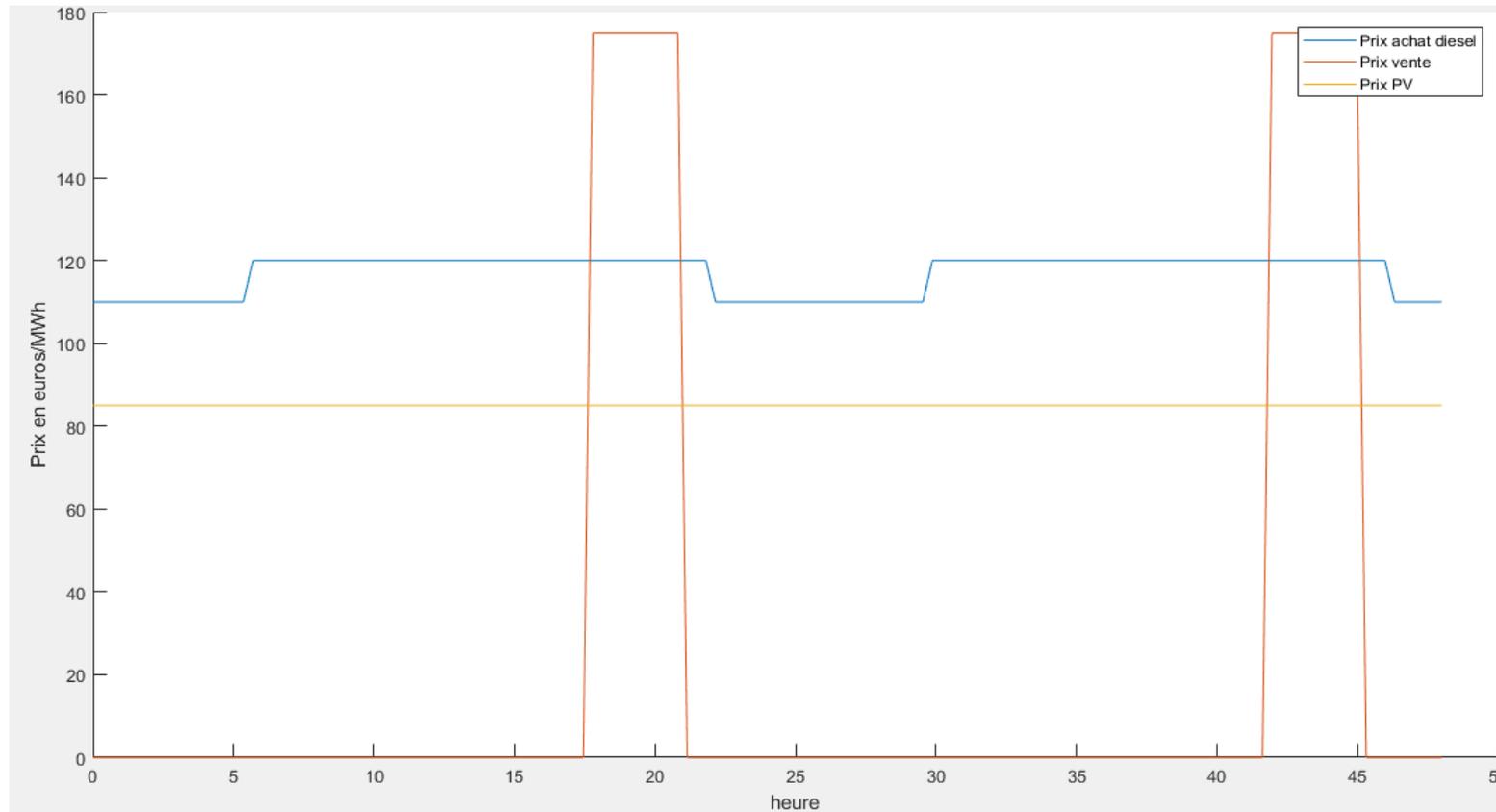


En sortie :

- Débits optimisés (pompage turbinage)
- Puissances hydrauliques et électriques associées
- Evolution du volume des réservoirs
- Gain (ou perte) réalisé

➤ **Un outil d'aide à la conception d'un système**

Exemple sur un poste de prix simplifié (1/3)



(2 journées consécutives)

Achat d'électricité sur le réseau

- Heures pleines (6h-22h) : **120 €/MWh**
- Heures creuses (22h-6h) : **110 €/MWh**

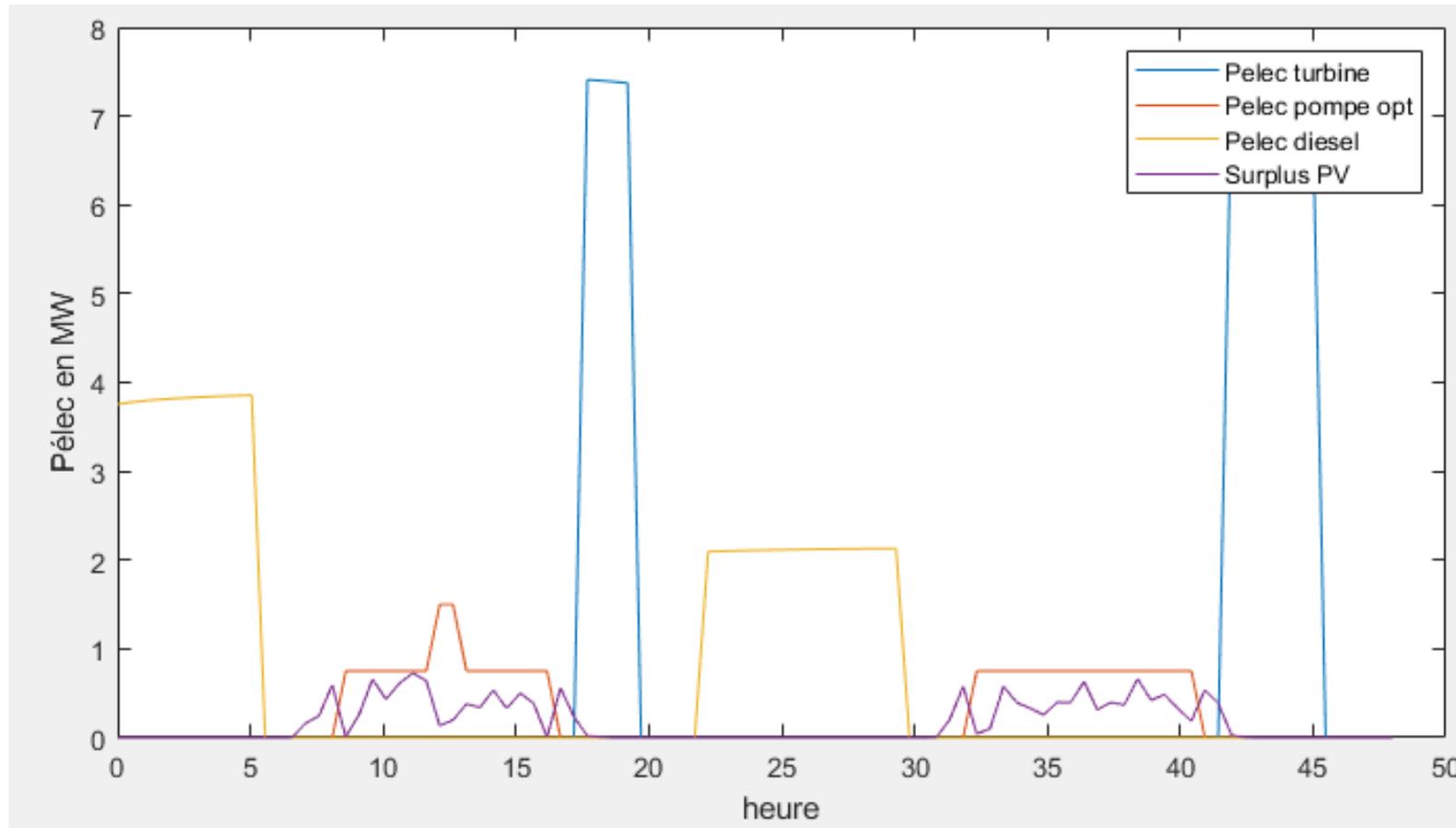
Vente d'électricité

- Vente sur la période de pointe du soir (18h-21h) : **175 €/MWh**
- Vente du surplus solaire : **85 €/MWh**

Caractéristiques aménagement :

- Chute : 350 m
- Débit : 2,3 m³/s
- Turbines : 2 Pelton

Exemple sur un poste de prix simplifié (2/3)



Production électrique

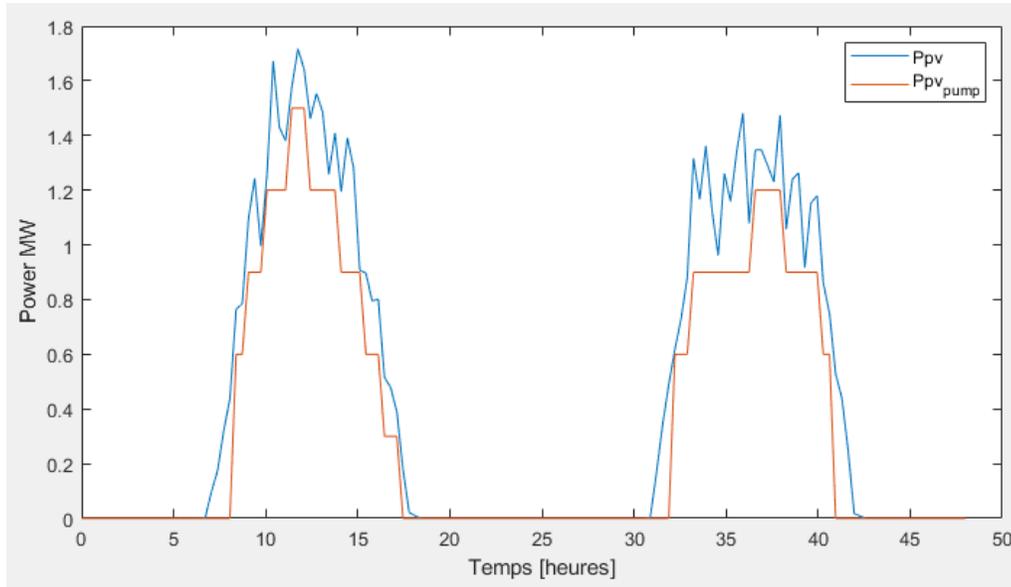
- Turbinage au débit max en période de pointe ~ 7,5 MW

Consommation via pompage

- Solaire insuffisant pour satisfaire le pompage
- Pompage sur diesel en heures creuses

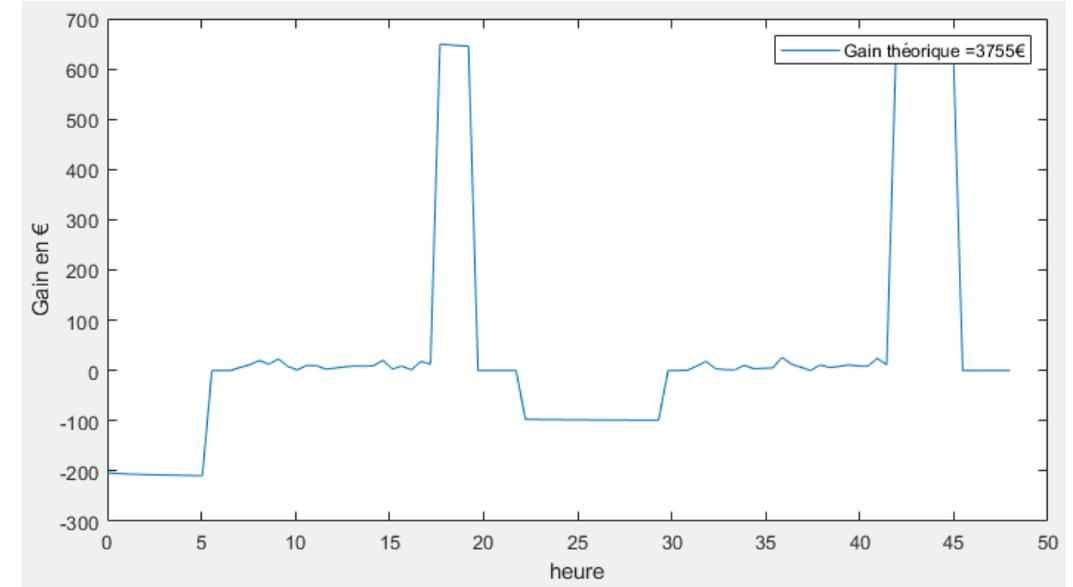
➤ Système de pompage mal dimensionné (pompage variable nécessaire)

Exemple sur un poste de prix simplifié (3/3)



Stratégie de pompage améliorée

- Sous conditions : seuil de rendement minimum, temps de fonctionnement
- À mettre en perspective avec les coûts en électronique de puissance



Gain réalisé sur la durée de simulation

- Revente du solaire négligeable
- Forte valorisation de la disponibilité en période de pointe
- Achat sur le réseau (sensible aux variations du prix du combustible)

➤ **Ecart de prix déterminant au bon dimensionnement de l'ouvrage**

Interface graphique utilisateur

GUI

Paramètres généraux de simulation

Pas de temps (min): 30
 Nombre de jours: 1

(€/ MWh) Heure début / fin

Prix pointe	175	18	21
Prix hp	120	6	22
Prix hc	110	22	6
Prix solaire	85		

Réservoir am Réservoir av

z min	200	50	(m)
z max	207	54	(m)
V min	0	0	(m3)
V max	40000	40000	(m3)
V init	5000	35000	(m3)

Paramètres parc solaire

Surface: 12000 (m²)
 Fluctuations aléatoires de l'ensoleillement: 10 %
À compléter

Paramètres conduite

À définir
 Pertes de charges % (par exemple)

Paramètres machines hydrauliques

Turbine
 Nombre de turbines: 2 Francis Pelton
 Débit max total: 2.37 (m3/s)

Pompe

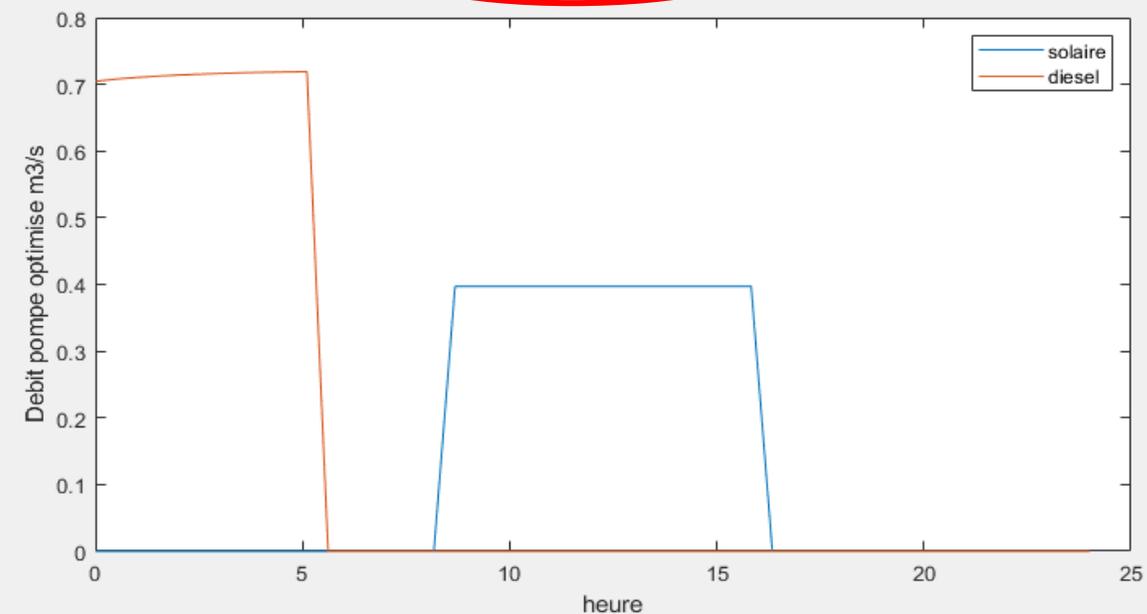
	Nombre	qmax/pompe	Pélec/pompe	
Vitesse fixe	2	0.4 m3/s	750	kW
Vitesse variable	1	0.52 m3/s	550 980	kW
		1.32	min max	

Rendements machines hydrauliques

q/qmax	10 %	20 %	30 %	40 %	50 %	60 %	70 %	80 %	90 %	100 %
eta turbine	0	0	0.65	0.76	0.822	0.853	0.88	0.903	0.917	0.926
eta p var	0.2	0.4	0.58	0.7	0.78	0.81	0.84	0.85	0.86	0.83
eta p fixe (constant)	0.82									

Résultats : Débit pompé

Prix: [dropdown]



Debit pompe optimise m3/s

heure

— solaire
— diesel

Conclusion

Pour mener à bien une étude de mini Step hybride, il est fondamental au préalable de :

- Bien définir les objectifs et les besoins auxquels doit répondre l'aménagement (puissance appelée, intermittence, durée de la pointe etc..)
- Adapter les technologies aux fluctuations de la ressource énergétique intermittente (dimensionnement pompes, réservoirs, turbines, PV, stockage batterie, etc.)
- Valoriser adéquatement la production de pointe (Prix de vente vs. Prix d'achat vs. autoconsommation, flexibilité de la production)
- Valoriser des moyens de rémunération supplémentaires (compensation synchrone, stabilisation réseau, utilisation alternative de l'eau, capacité, dessalement eau de mer, etc.)

Merci de votre attention !

Des questions ?

Colloque Hydro 21

Pré-dimensionnement d'un aménagement de STEP solaire