



Le stockage hydraulique d'EDF : Etat des lieux et perspectives pour les enjeux de flexibilité

Arnaud KOEHL

EDF Hydro – Centre d'Ingénierie Hydraulique

Colloque « Focus HYDRO »

07/12/2018



Sommaire

1. Quelques éléments de contexte.

2. La contribution et le rôle du **fil de l'eau**.

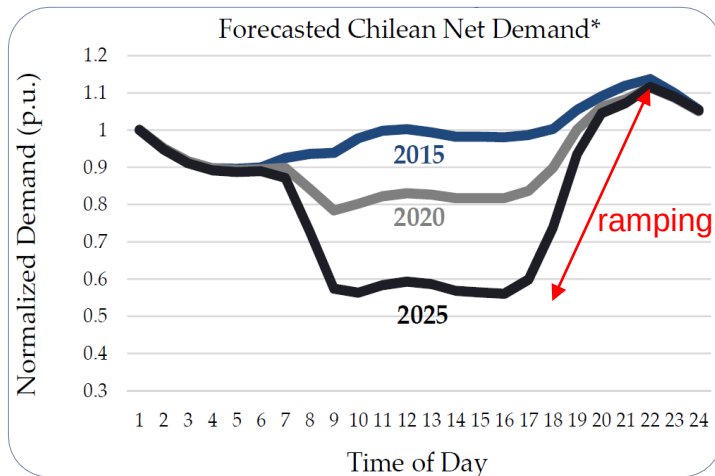
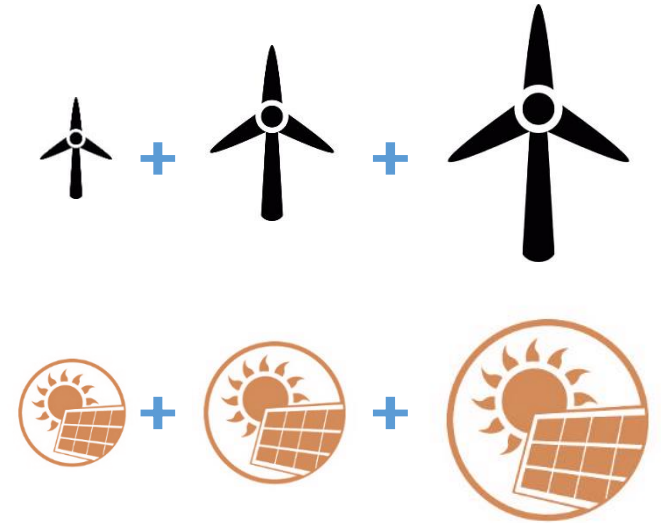
→ *Développements et réalisations récentes pour les besoins de flexibilité.*

3. La contribution et le rôle des **STEP**.

→ *Développements et réalisations récentes pour les besoins de flexibilité.*

Quelques éléments de contexte

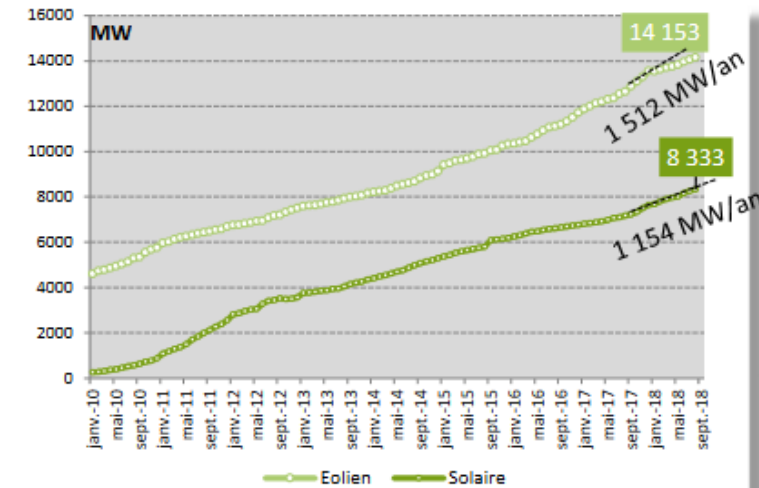
- Pourquoi stocker ? pour produire au bon moment selon le besoin de flexibilité dirigé par : les besoins du réseau, l'intégration des ENR, la demande totale / résiduelle.
- Une demande résiduelle en constante évolution au cours de l'intégration des ENR fatales et intermittentes.
- L'intégration des ENR accroît le besoin de flexibilité.



Source : Marathon Capital (2018), Chilean Renewable Energy Project Pipeline.

■ Exemple du système électrique chilien :

- ENR : **18%** du mix énergétique en **2018** et **43%** en **2035**.
- Effet « **duck curve** » croissant avec l'intégration des ENR :
 - Un écart peak/off-peak de la demande résiduelle qui croît.
 - Un gradient de rampe de plus en plus important.
- Stratégies pour lisser l'effet : développement des interconnexions, de l'éolien, **du stockage !**



Source : RTE, aperçu mensuel de l'énergie électrique, septembre 2018.

Quelques éléments de contexte

- L'hydraulique contribue fortement au besoin de flexibilité en cumulant les capacités STEP et éclusées.
- **BP RTE 2017** : les moyens de flexibilité existants indispensables dans tous les scénarios, et des moyens supplémentaires à développer dans 2 scénarios sur 4.
- **Plan Stockage EDF** : ambition de développer **10 GW** de nouveaux moyens de stockage dans le monde d'ici à **2035** en plus des **5 GW** déjà exploités par le Groupe.
 - **Pour le marché des services : optimiser la performance et l'équilibre des systèmes électriques.**
- **Quel place pour l'hydraulique ?**
 - Développer de nouvelles capacités de stockage.
 - Développer / optimiser l'existant : des compétences « digitales » au service de la performance d'exploitation :
 - **Développer et optimiser la fonction éclusée.**
 - **Les STEP : premier outil de flexibilité du système électrique actuel !**



**9,1 GW en turbinage
4,2 GW en pompage**

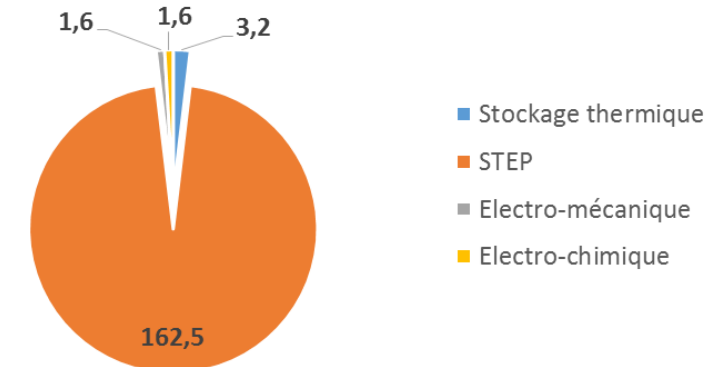


21,3 GW de PV et d'éolien



Source : Capacités installées en France à fin 2017, RTE, Panorama de l'électricité renouvelable 2017.

Puissance mondiale des différents types de stockage (GW)



Source : DOE Global Energy Storage Database.

Les STEP : le parc EDF en France

- **6 STEP (5 GW en turbinage et 4,2 GW en pompage) :**
 - **2,7 GW** de flexibilité **hebdomadaire** (temps de décharge > 30h).
 - **2,3 GW** de flexibilité **journalière** (temps de décharge de quelques heures).
- **STEP « pure » :** optimisation tenant compte du rendement de cycle pompage/turbinage (~75%), des capacités de stockage limitant (amont ou aval), du placement des Services Systèmes.
- **STEP « mixte » :** turbinage guidé par la gestion du réservoir amont (en fonction des apports), trajectoires mixtes (lac + recyclage) ou (éclusées + recyclage).



	Montézic	Revin	Grand Maison	Super Bissorte	La Coche	Le Cheylas	Total
UP	Centre	Est	Alpes	Alpes	Alpes	Alpes	
Mise en service	1982	1976	1985	1987	1977	1979	
Puissance en turbine	910 MW	808 MW	1700 MW	742 MW	320 MW	485 MW	4965 MW
Puissance en pompe	866 MW	720 MW	1275 MW	630 MW	297 MW	470 MW	4258 MW
Nb de pompes	4	4	8	4	2	2	
Constante de temps	40 h	5 h	30 h	5 h	3 h	6 h	
Productible (gravitaire)	0 GWh STEP pure	0 GWh STEP pure	223 GWh	199 GWh	426 GWh	663 GWh	1511 GWh

Les STEP : valorisation des STEP à long terme

- **Transfert d'énergie entre heures creuses et heures de pointe :**

- Correspondent aux substitutions de combustibles réalisées entre pompage et turbinage.
- Dépendent de la structure du parc, de la marginalité des différentes filières, des prix des énergies fossiles et du CO2.
- Sont sensibles au dimensionnement de l'ouvrage (constante de temps).

- **Apport de puissance garantie dans le système électrique :**

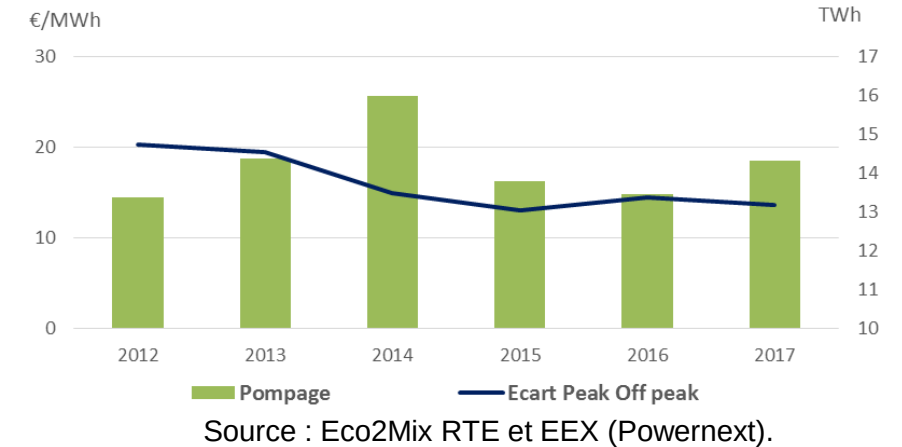
- Correspond à la substitution d'investissement dans des actifs thermiques de pointe.
- Dépend de la tension du système vis-à-vis des critères d'ajustement du parc.
- Est rémunérée par le marché de capacité (depuis 2017).

- **Services Système :**

- Participation au même titre que les usines de lac (réserves primaire et secondaire).
- Particularité de l'utilisation la nuit (intérêt de la vitesse variable).

Les STEP : modes de rémunération et charges

- Une rémunération basée majoritairement sur le marché de gros de l'électricité :
 - **Marché de gros.**
 - Services Systèmes.
 - Marché de capacité.
- Décomposition des charges d'une STEP :
 - **Impôts et taxes.**
 - TURPE.
 - OPEX.
- La valeur de ses services de flexibilité n'est pas entièrement révélée.
 - Le spread de prix peak / off-peak, principale source de rémunération, en baisse depuis quelques années, sans lien avec leur sollicitation qui demeure constante.
- Des charges importantes malgré :
 - **TURPE 5 du 1^{er} août 2017** : suppression de la part puissance en HTB3 [350 kV; 500 kV].
 - **LPTE de 2015** (Loi pour la Transition Energétique et la Croissance verte) : abattement de 50% pour les **STEP** des coûts d'accès au réseau.



- Des projets STEP à l'international avec différents modèles de rémunération (UAE, SA, Chili, Kenya...) :
 - Pompage sur du « solaire » et PPA avec un industriel en fourniture d'énergie.
 - Capacité et disponibilité (réglage fréquence / tension, black-start).
 - Système de bonus / pénalités : caractéristiques dynamiques contractuelles.
 - Energie turbinée achetée par GRT au coût marginal + prime.

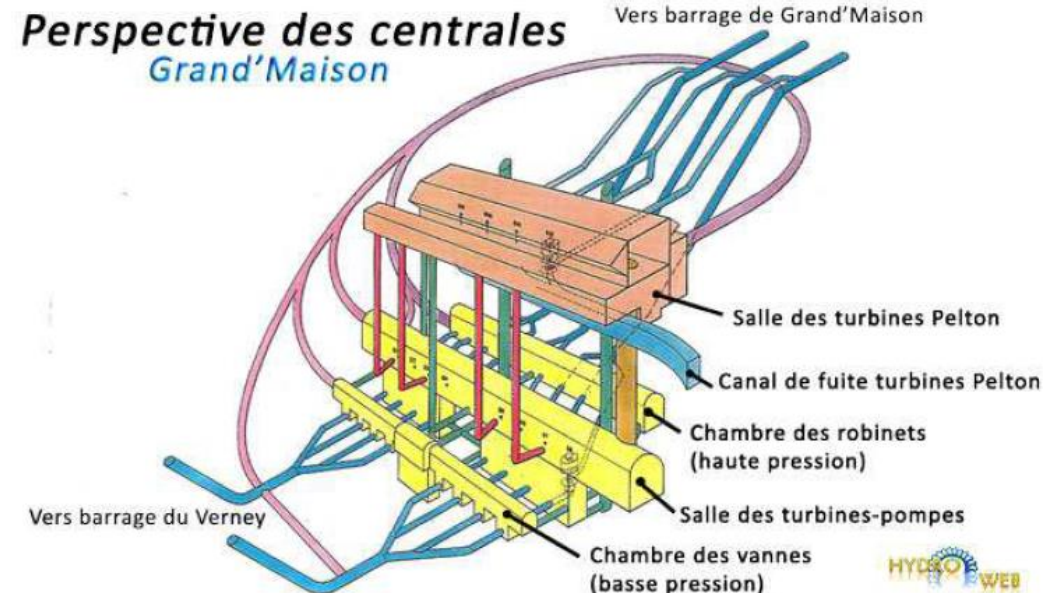
STEP de Grand'Maison : surpuissance et court-circuit hydraulique

- STEP de Grand'Maison, la plus puissante du parc avec 1800 MW installés en turbine :
 - 8 groupes réversibles (pompe-turbine) à un seul point de fonctionnement.
 - 4 groupes Pelton de 160 MW.
- Programme de rénovation des roues des 4 groupes Pelton (premier groupe en service début 2017).
- Augmentation de la plage de puissance des groupes Pelton de +/- 10 MW :
→ **Pmin** plus basse, **Pmax** plus grande.
- Gains associés :
 - Gain de capacité (**Pmax** atteignable aux cotes hivernales pour passer la pointe).
 - Augmentation de l'offre Services Systèmes :
 - Gain en réglage primaire : bande de puissance = % de Pmax du groupe.
 - Gain en réglage secondaire : aménagement très sollicité en réglage secondaire.
 - Gain RE (**Responsable d'Equilibre**) : compensation des écarts de production fatale des groupes réversibles, mais au détriment des gains en Services Systèmes.



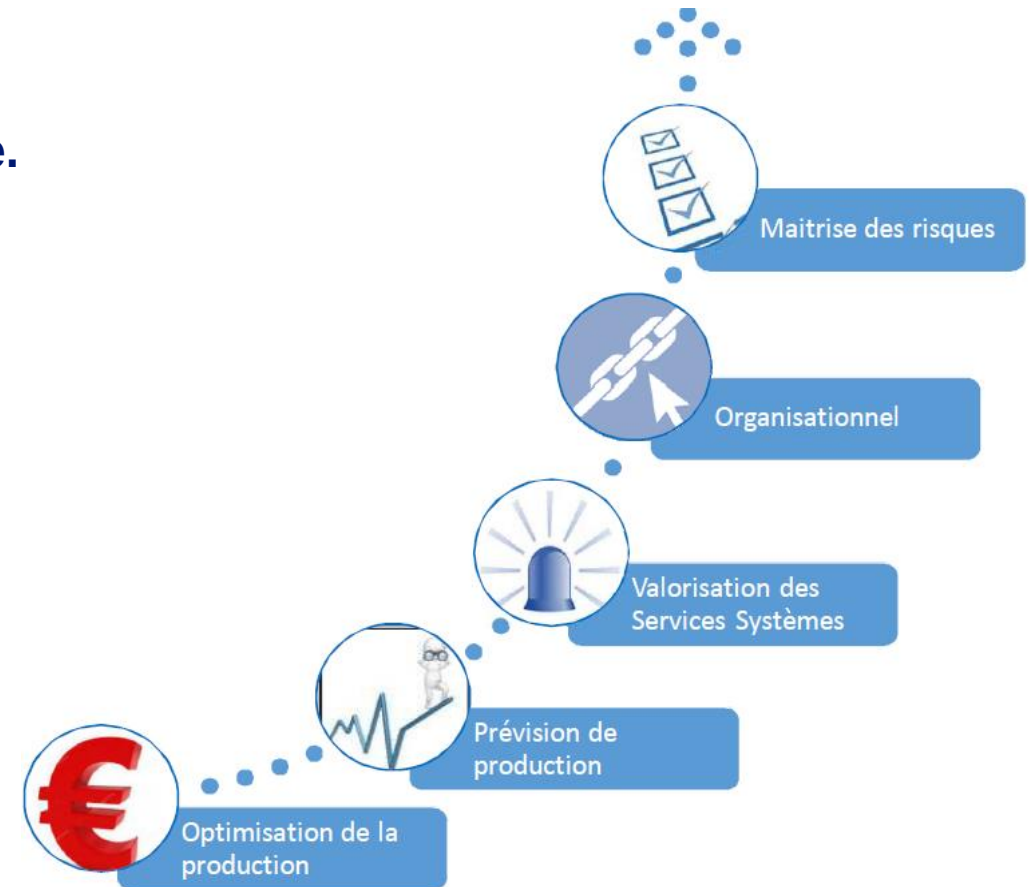
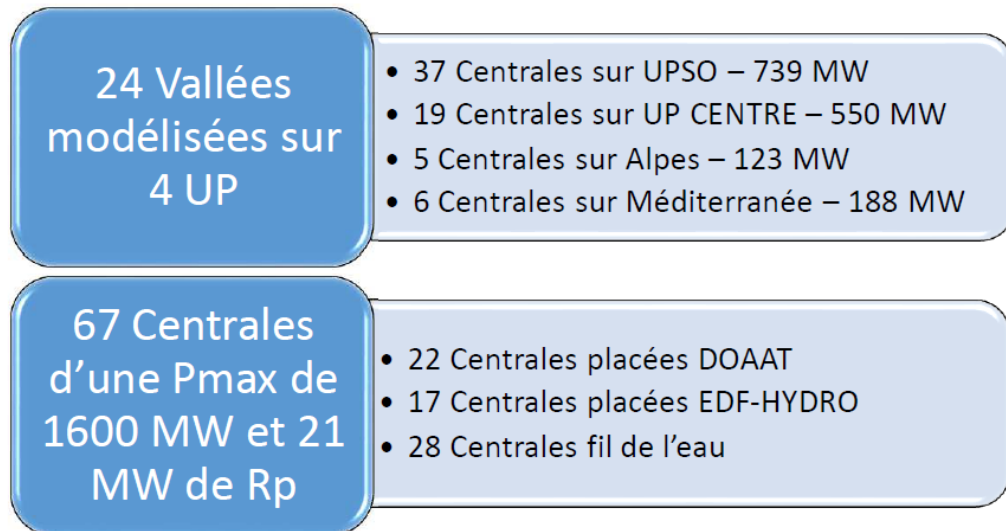
STEP de Grand'Maison : surpuissance et court-circuit hydraulique

- **Court-circuit hydraulique : une alternative à la vitesse variable.**
- **Le Pompage-turbinage simultané :** groupes réversibles en mode pompe et Pelton en turbine.
 - Présente un grand intérêt lorsque les coûts marginaux en services système sont importants.
 - Les Pelton fournissent du Service Système en fréquence avec les groupes réversibles en mode pompe.
- **N'implique pas de sur-sollicitation des groupes** (nombre de démarrage/arrêt).
 - Démarrage à la volée des Pelton après le mode lanceur et avant l'application du freinage électrique.

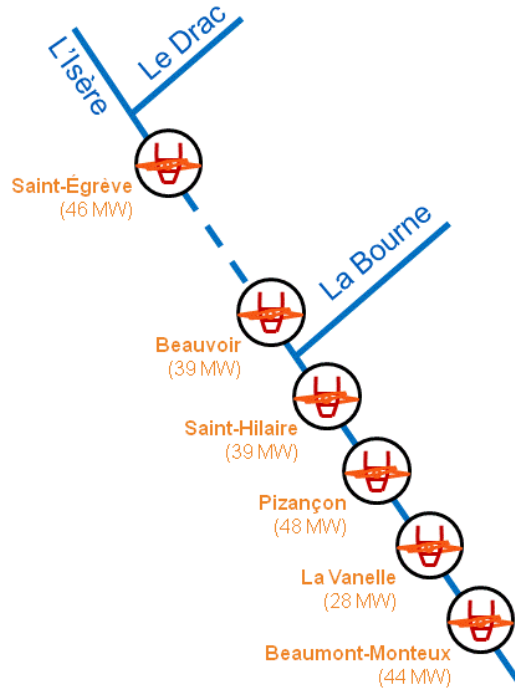


Optimiser la flexibilité de la fonction éclusée

- Développer la flexibilité du fil de l'eau c'est piloter et optimiser son placement.
- Développer une gestion prévisionnelle de la ressource en eau par rapport au enjeux de flexibilité.
- **Outil APP - Aide à la Programmation de la Production :**
 - Optimisation de la conduite des centrales **non-téléconduite**.
 - Meilleur placement de la production.
 - Offre renforcée de Services Système.



Eclusées Basse-Isère : de la flexibilité à l'échelle d'une vallée

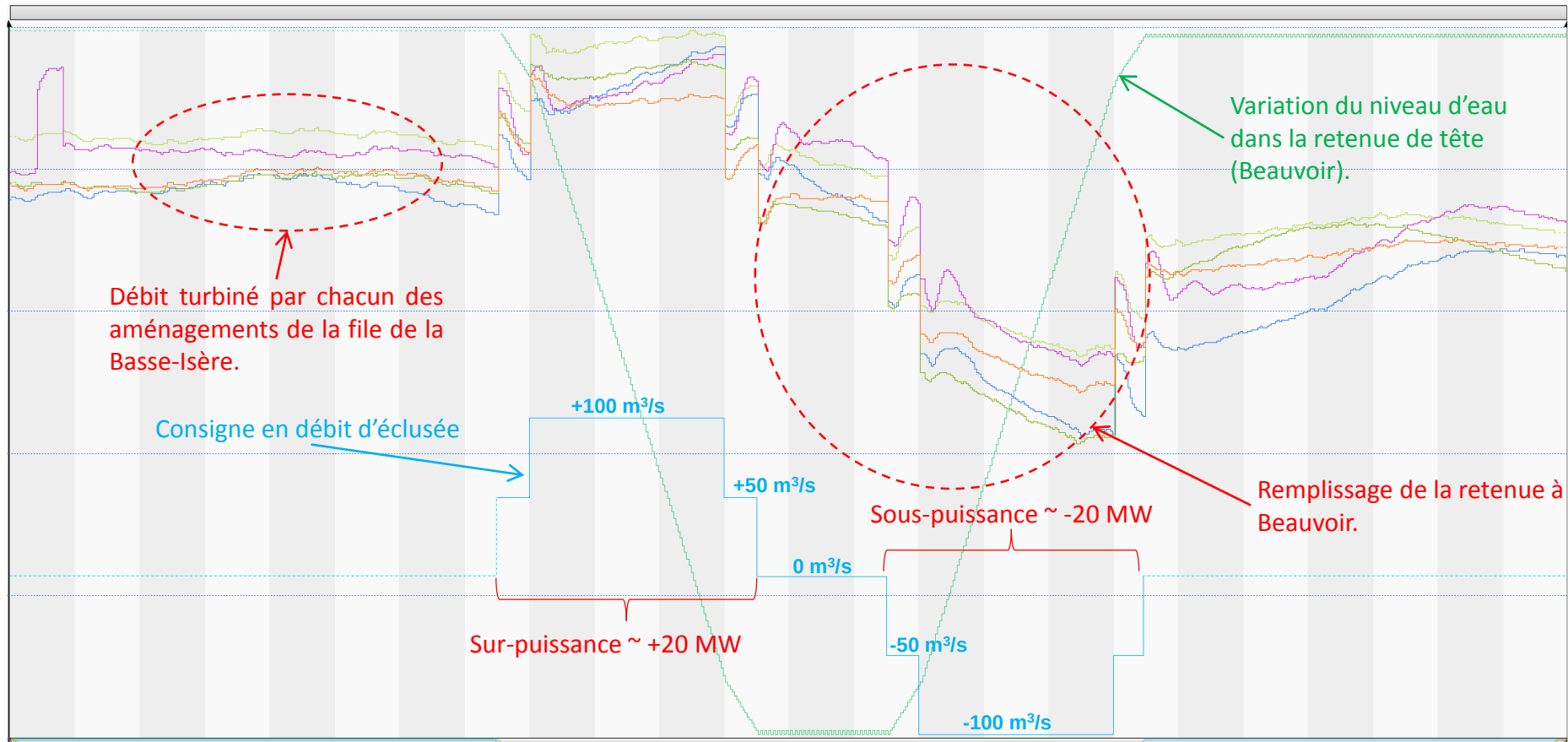


Plateforme test poste de conduite.

- « Révéler » la flexibilité de nos aménagements fil de l'eau.
- Par le concept de « STEP virtuelle » : opérationnel en Basse-Isère, en marche industrielle depuis 10/2016.
- Topologie d'aménagements :
 - Une retenue à Beauvoir AVEC une « bonne » capacité de marnage.
 - Des aménagements fil de l'eau à l'aval SANS capacité de marnage.
- Fonctionnement « assimilé » au mode STEP :
 - **Mode turbine** : variation de puissance synchrone des 6 aménagements de Beauvoir à Beaumont-Monteux (+30 MW à + 150 m³/s).
 - **Mode Pompe** : variation de puissance à la baisse sur la file (*les apports naturels font remonter le niveau de Beauvoir*).
 - Eclusées pilotées depuis le CCH de Lyon (**C**entre de **C**onduite **H**ydraulique).
- Mode de rémunération :
 - **Similaire à une STEP** : l'arbitrage des modes sur/sous puissances est basé sur la maximisation des écarts de prix peak/off-peak.
- Un pilotage sous « contraintes » :
 - Variation brutale du débit d'apport (*écart de 50 à 100 m³/s en une heure*).
 - Régulations des niveaux et Services Systèmes en parallèle des éclusées.
 - Impact environnemental maîtrisé.

Eclusées Basse-Isère : de la flexibilité à l'échelle d'une vallée

- **Eclusées Basse-Isère** : en marche industrielle depuis 10/2016.
- Exemple d'un cycle complet de sur/sous débit en éclusées synchrones sur la file.



Hydro / Batterie : un couple avec du potentiel.



Frequency response

Employer's requirements

- Energy Storage System; and
- Option – full Engineering Procurement Construction Contract

Revision	Details	Author	Date
0	Initial	FC	27/11/2017
1	Modifications	FC	28/11/2017
2	External diffusion	FC	29/11/2017

EDFEN-NT-FC-SSY-2017 [2]

1 / 97

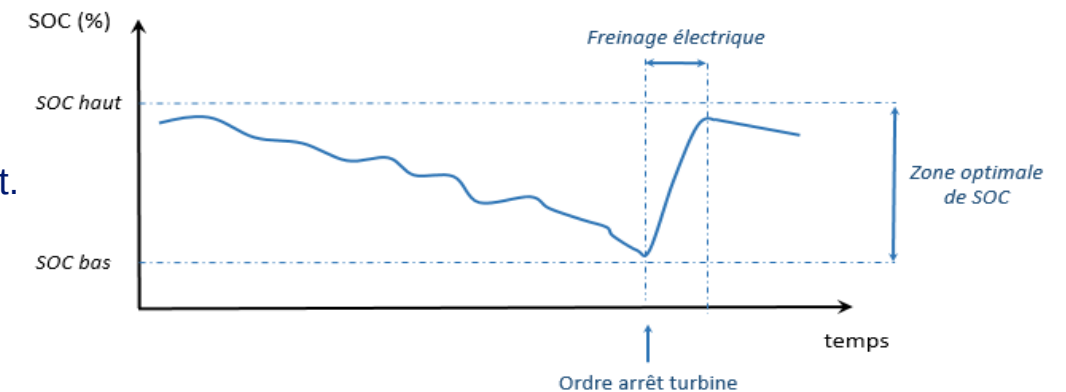
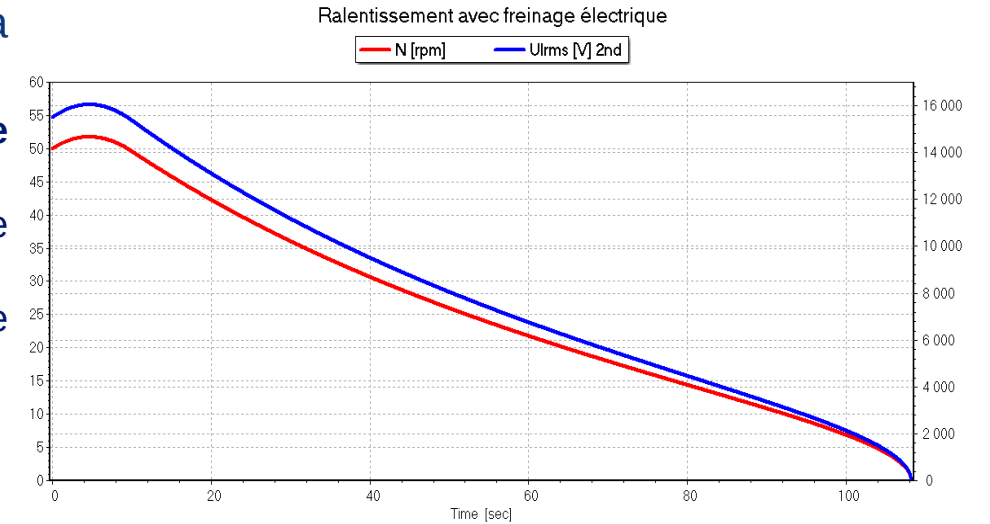
- **Développement du projet FLEX** : raccordement d'une batterie sur un site conventionnel de production → hydro avec la **STEP du CHEYLAS**, thermique, PV-éolien :
 - Pré-dimensionnement : **20 MW – 10 MWh**.
- **Un développement optionnel avec ou sans couplage fonctionnelle** entre batterie et production conventionnelle :
 - **Optimiser le coût de raccordement**, une rémunération basée sur : les Services Systèmes et le mécanisme de capacité.
 - **Apporter de nouveaux services** : optimiser la contribution de la STEP et de la batterie au besoin de flexibilité, « gains » en termes de coûts évités.



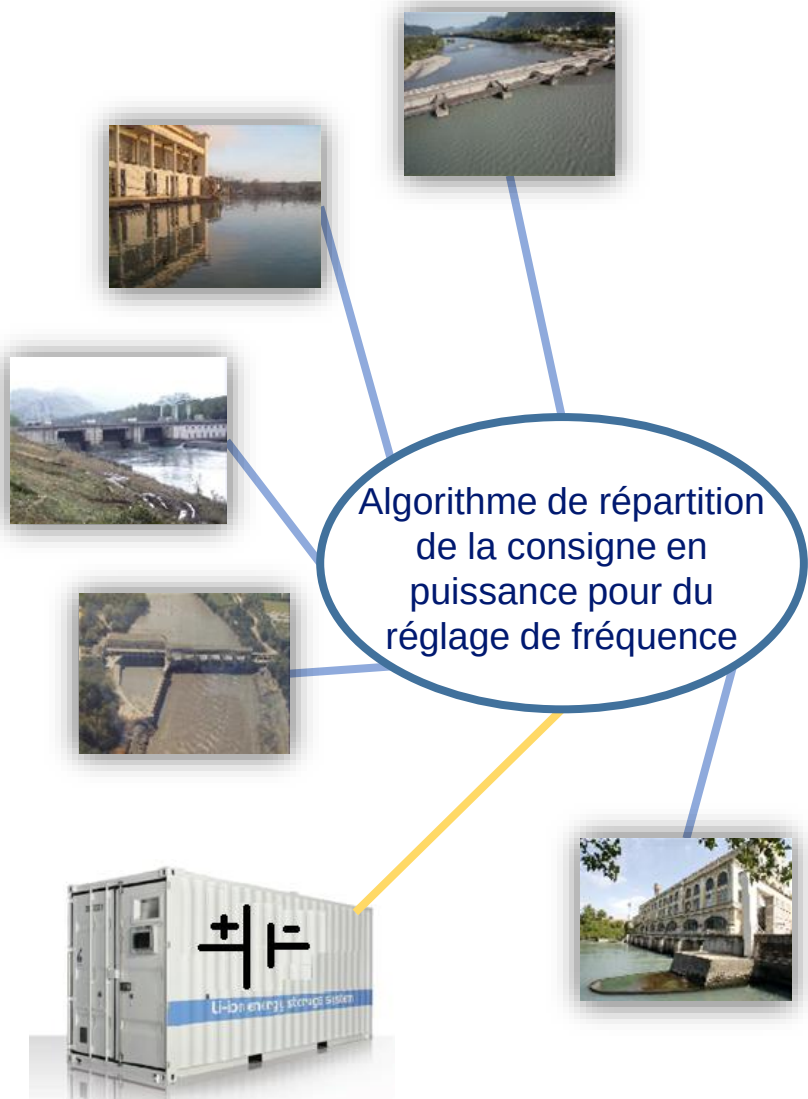
- **Un savoir-faire éprouvé d'EDF dans le domaine du stockage par batterie** pour la fourniture de Services Système :
 - **Projet West Burton B** : **49 MW – 24,5 MWh**, réponse à un appel d'offre de 200 MW de National Grid.
 - **Projet McHenry** : **20 MW – 8,5 MWh**, pour le GRT local, Services Système en fréquence et tension.
- **Un projet « poussé » à un bon niveau de maturité** : six contractants répondant à la consultation, une analyse technico-économique aboutie.

Hydro / Batterie : freinage électrique et gestion du SoC.

- **Une fonction innovante** : utilisation de l'énergie de freinage des groupes du Cheylas pour la gestion du **SoC (State of Charge)** de la batterie :
- **L'état de charge de la batterie participant au réglage primaire dérive dans le temps** : il faut compenser les pertes en énergies.
- **Lors de l'arrêt d'un groupe hydraulique** : le groupe ralentit car freiné par le couple résistant créé par l'onduleur, on stocke son énergie cinétique.
- Le fonctionnement de l'onduleur et de son transformateur est possible jusqu'à une tension minimale de **0,1*Un** et une fréquence admissible de **10 Hz**.
- **Energie « stockable » par cycle d'arrêt pour un groupe** :
 - **200 kWh** en pompe.
 - **220 kWh** en turbine (effet de la survitesse depuis le découplage).
- **Quels avantages ?**
 - La présence de la batterie permet d'utiliser cette énergie « dissipée » autrement.
 - On ne soutire pas au réseau pour le **SoC** :
 - Valorisation de l'énergie de freinage des groupes hydrauliques.
 - Coûts évités du **TURPE** / taxe **TICFE**.
 - Stratégie de gestion du **SoC** potentiellement moins contraignante que celle imposée par le réseau.



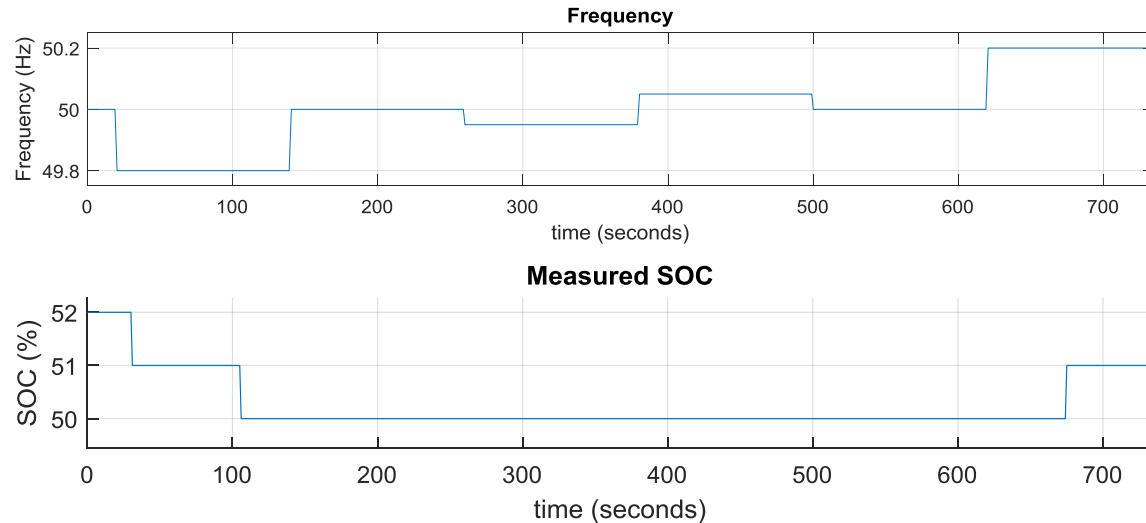
Hydro / Batterie : centrale virtuelle et stockage distribué.



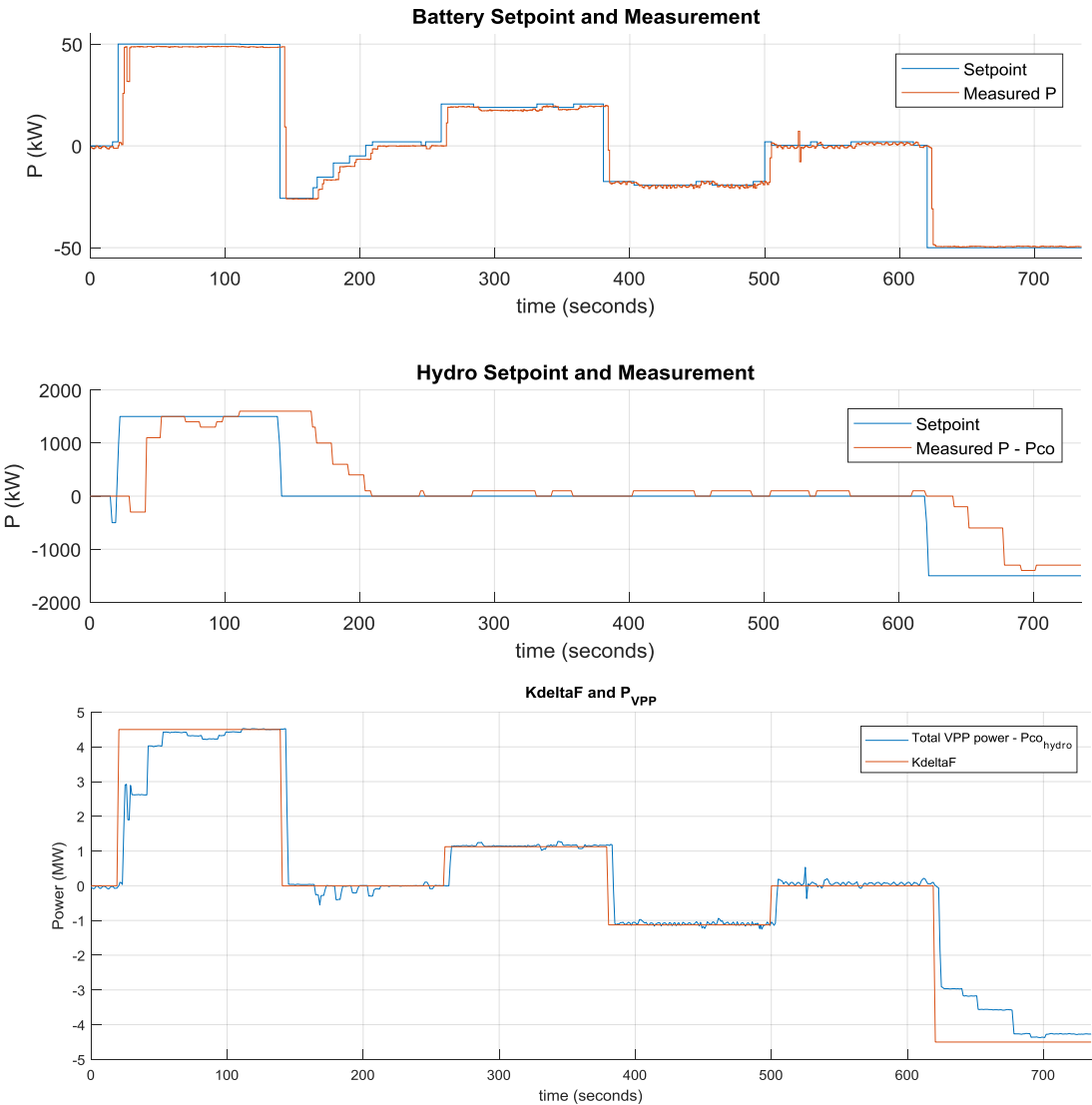
- **REX du projet FLEX** : il faut davantage combiner les flexibilités !
- Poursuite du projet **FLEX** par le projet **VPP Storage** : stockage distribué entre une batterie et plusieurs « petits » aménagements hydrauliques au fil de l'eau pour un service de **réglage de fréquence**.
- **Concrètement** : on agrège au sein d'une « **centrale virtuelle** » :
 - Une batterie de **20 MW – 10 MWh**.
 - Des bandes de puissance de petits aménagements hydrauliques : **quelques MW** d'hydraulique au total répartis sur une dizaine d'aménagements.
- **Quels objectifs ?**
 - Minimiser le dimensionnement de la batterie en associant de la capacité hydraulique.
 - Mutualiser les caractéristiques dynamiques très différentes pour à la fois : satisfaire aux règles de participation au réglage primaire et maximiser sa valeur.
 - Sans dégrader ou sur-contraindre l'exploitation normale des aménagements hydrauliques.



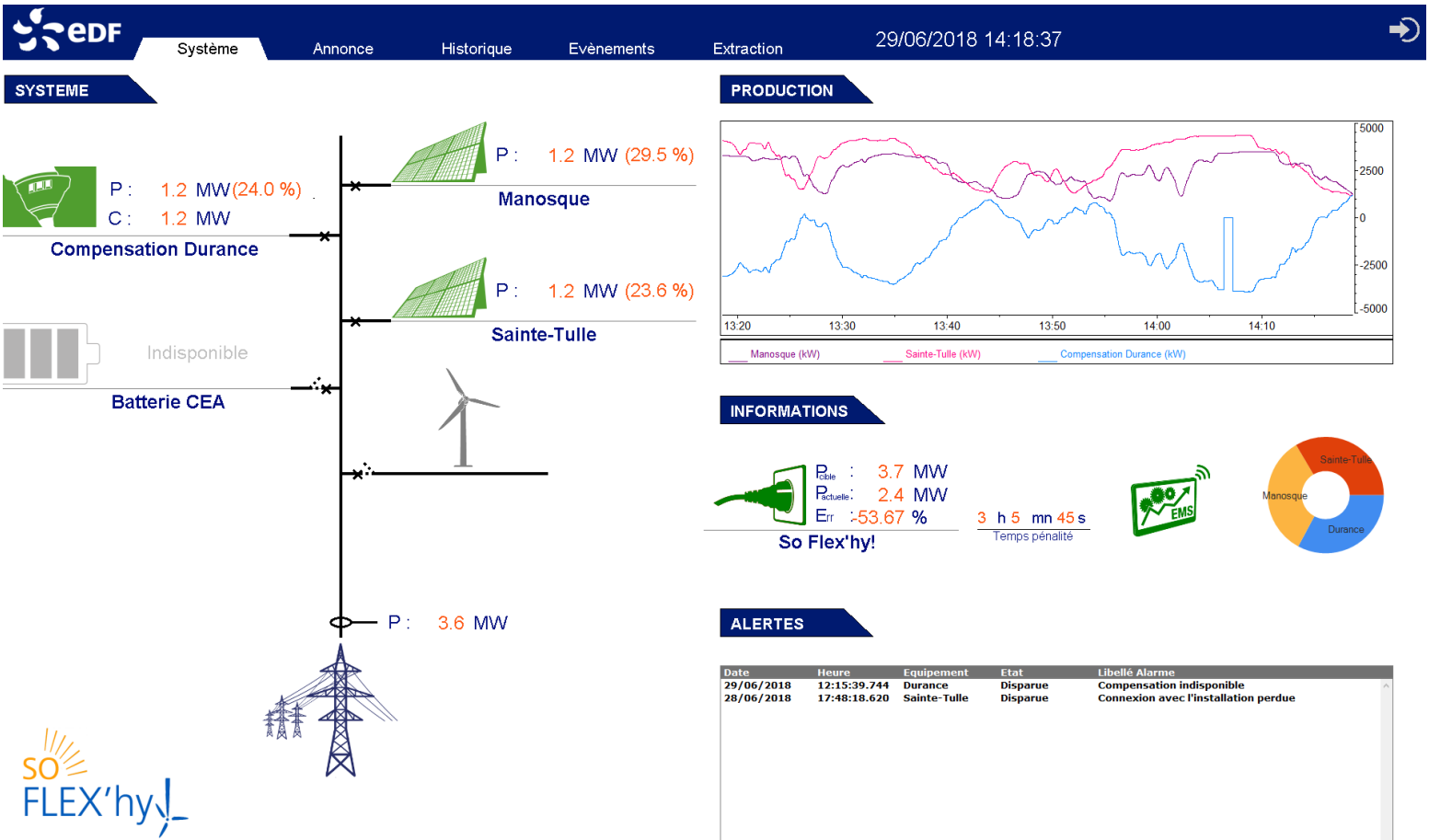
Hydro / Batterie : centrale virtuelle et stockage distribué.



- **Essai réel VPP Hydro / batterie :**
 - 50 kW de batterie (Batterie Concept Grid EDF-R&D).
 - +/- 1.5 MW d'hydrau. (centrale de Val d'Isère).
- **Principe de l'algorithme de commande :**
 - 4.5 MW de réglage primaire par la batterie et l'hydro.
 - L'hydro contribue à l'apport de puissance dans la **VPP** lorsque la puissance batterie est insuffisante.
 - L'hydro aide au maintien du **SoC** autour de 50% de charge.
- **Résultats :**
 - Le **SoC** revient à 50% dès que la fréquence revient à 50 Hz.
 - L'hydro en appui à la batterie durant les gros écarts de fréquence (+/- 200 mHz).

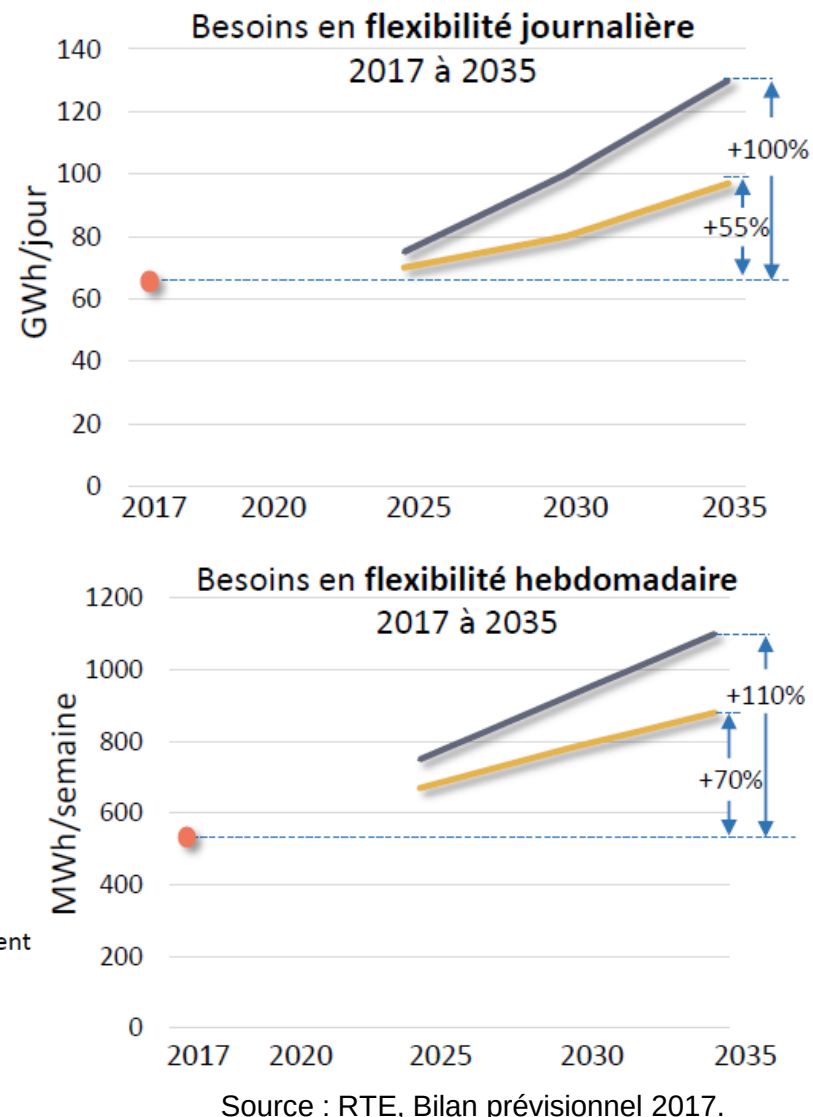


Projet « So Flex'hy » : plus de flexibilité pour les ENR.



En Synthèse...

- L'énergie hydraulique est **la plus adaptée aux enjeux de flexibilité**.
- **L'hydraulique prépare l'avenir** pour les besoins croissants de flexibilité.
- Développer la « **Smart Hydro** » (projets **So Flex'hy**, **VPP Storage...**), qualifier les modes de gestion conjointes Hydro / ENR.
- **Etablir des contrats long terme pour sécuriser la réalisation des services apportés par les STEP.**
- **Etablir des règles pour rémunérer les services de flexibilité :**
 - Compensation de la perte de coût d'opportunité ?
 - Rémunérer les performances dynamiques ?
 - Développement de services locaux ?





Merci pour votre attention.