

Conférence ASPROM Le stockage de l'énergie

Quelles technologies ? Pour quels usages ? Et pour quand ?



Pompage-turbinage distribué au service de l'intégration EnR

Davy Marchand-Maillet, COO, Sun'R Smart Energy

Davy.marchand-maillet@sunr-sme.fr - +33 (0) 682 043 170

12h15 ‘ 13h : Pompage-turbinage distribué, au service de l’intégration EnR.

Par Davy MARCHAND-MAILLET, SUN'R SMART ENERGY

Le pompage-turbinage est la technique la plus répandue pour ce qui est du stockage de l'électricité. Or, c'est bien dans le secteur de l'électricité que le besoin de stockage va être le plus prégnant, du fait de la nécessaire intégration des énergies renouvelables dans le système électrique. Dans la mesure où le déploiement de celles-ci se fait de manière distribuée, les unités de stockage se doivent de l'être également, pour bien gérer localement, à l'échelon des territoires, l'énergie produite et consommée localement.

Or, contrairement aux idées reçues, la technologie de pompage-turbinage est adaptée à ces enjeux : des petites unités de pompage-turbinage, très flexibles et bien intégrées du point de vue environnemental, peuvent répondre aux enjeux de la transition énergétique, en apportant de la valeur tant en termes de production électrique que de fourniture de services aux réseaux, permettant ainsi d'optimiser les investissements, dans une logique de rupture avec le toujours plus.

Cet exposé reviendra dans un premier temps sur différents projets en cours de pompage-turbinage, à différents niveaux de maturité puis, dans un second temps, s'attachera à illustrer la création de valeur de tels actifs énergétiques, avec un focus sur la valeur « locale ».



**Impératif de respecter l'agenda et le timing,
car je suis le dernier obstacle entre vous et le déjeuner !**

SUN'R SMART ENERGY ET LE GROUPE SUN'R EN BREF



Le groupe Sun'R

Expertise, Agilité & Ingéniosité

ASPROM
OPTEZ POUR L'INNOVATION



sun'R
Holding



Agrégateur EnRs & Stockage

Développeur de technologies

- ✓ Stockage dédié à l'intégration des EnR
- ✓ Synergies agriculture et photovoltaïque
- ✓ Outils de pilotage des infrastructures énergétiques



Producteur PV

Opérateur d'infrastructures PV

- ✓ Instrumentation, monitoring, contrôle
- ✓ Optimisation multicritères
- ✓ Exploitation et maintenance

sun'R
Finance
Financement de centrales photovoltaïques

Financier infrastructures

Développeur et financer de projets

- ✓ Stockage décentralisé à l'échelon territorial
- ✓ Production PV grandes toitures et sol
- ✓ Systèmes agrivoltaïques

Agrégateur complet

- ✓ Valorisation des actifs de production et stockage
- ✓ Fourniture de services au système électrique

Le Groupe sun'R



**Développeur et exploitant
de centrales photovoltaïque
2007**



**Agrégateur Stockage
& Energies Renouvelables
2012**



- 25 personnes, principalement docteurs ou ingénieurs

- 50 scientifiques permanents dédiés à la R&D avec nos 20 partenaires



- 10 M€ de Chiffre d'Affaires

- 50 M€ investissements réalisés

- 15 % du CA investis annuellement en R&D depuis 8 ans

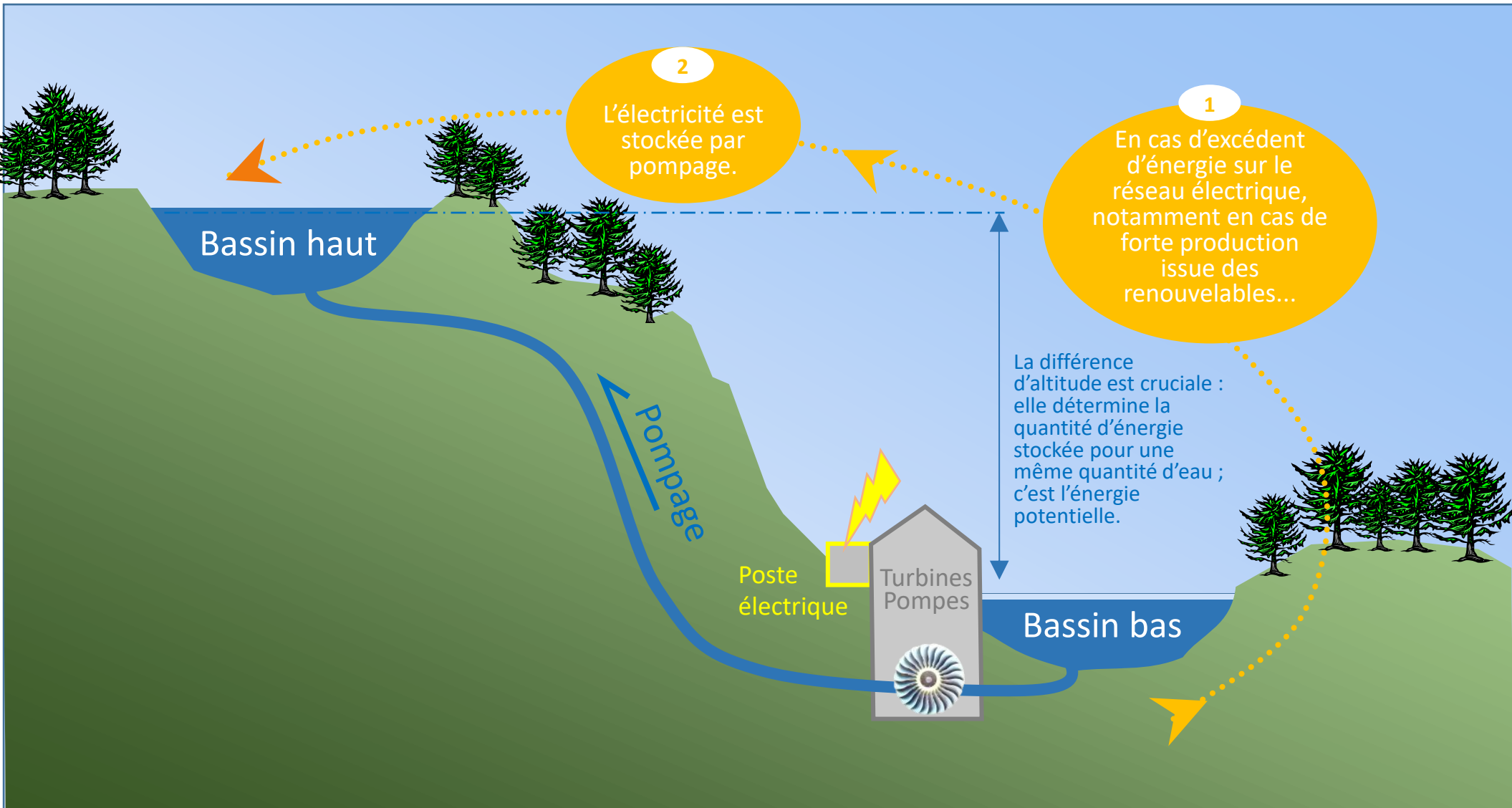
- 100 M€ investissements projetés d'ici 2018

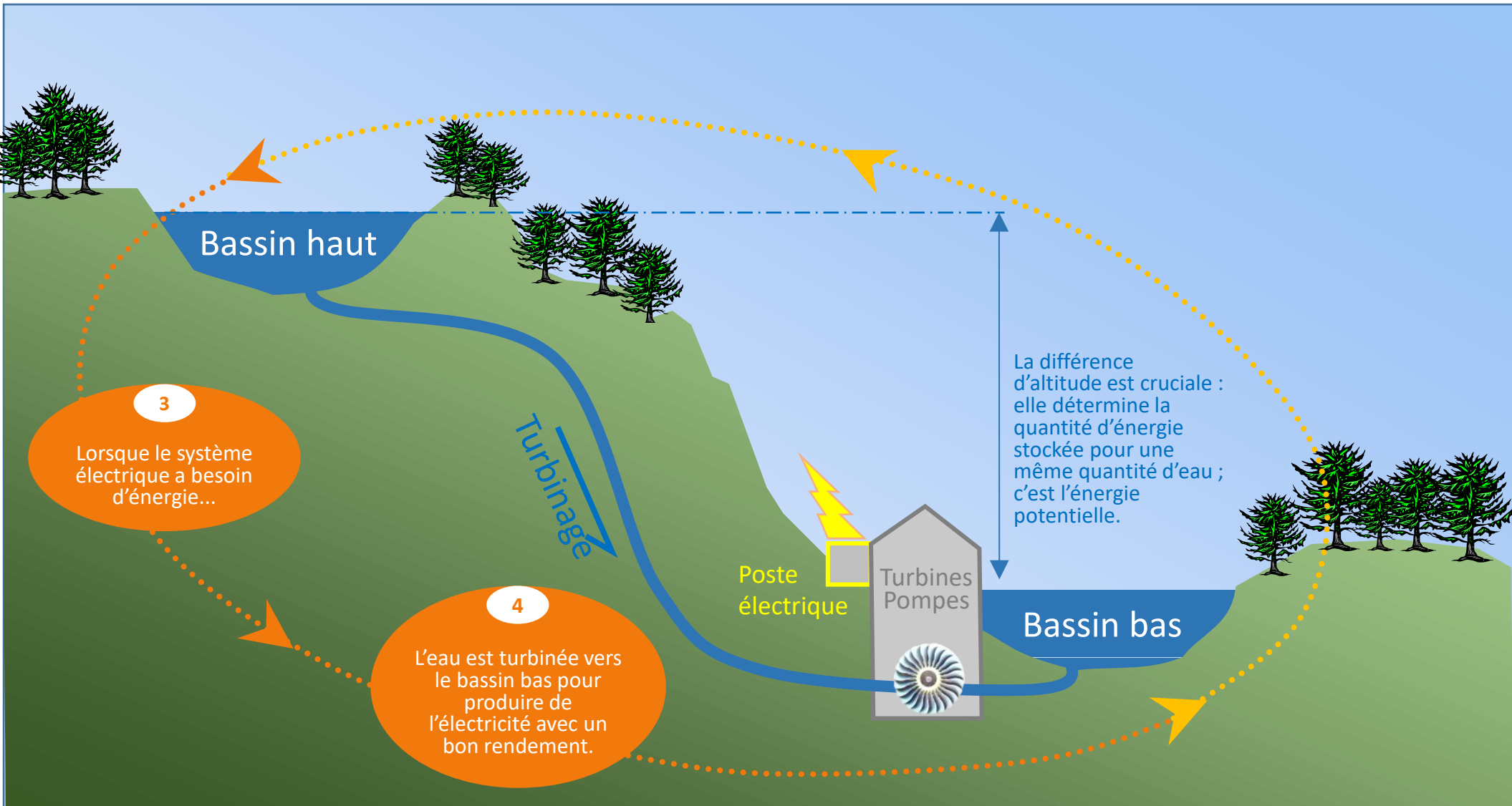


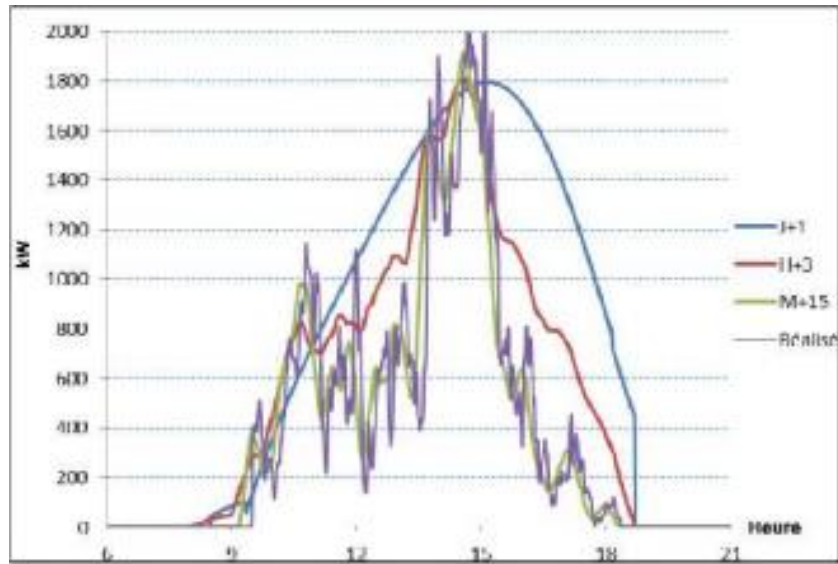
Le projet SunHydrO est accompagné
par le Fonds Unique Interministériel

QUELQUES GÉNÉRALITÉS SUR LE POMPAGE-TURBINAGE ET L'ENJEU ENR

Le pompage-turbinage est un principe extrêmement simple



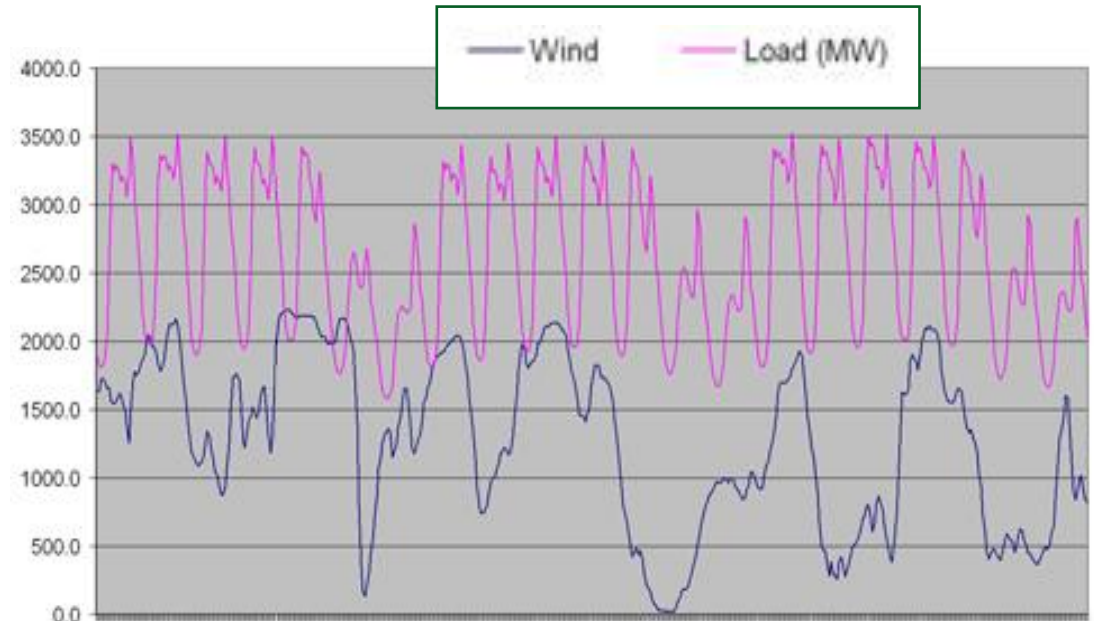




Production d'un parc PV sur une journée

De J-1 à la réalité, le solaire photovoltaïque est difficile à cerner

Variations très brusques, en quelques minutes

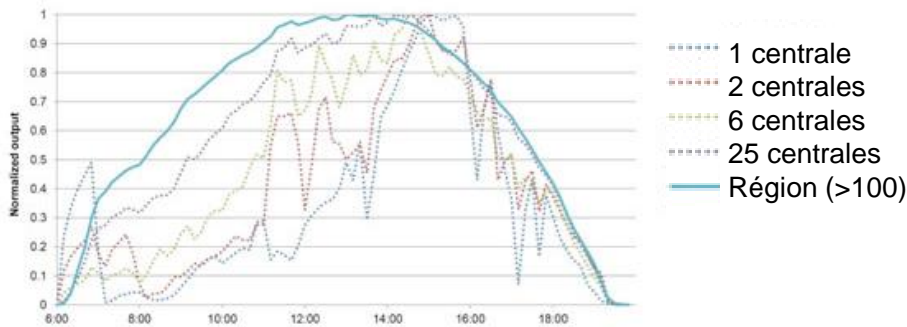


Production éolienne d'une région sur 3 semaines

La production éolienne a un peu plus d'inertie, mais génère également des rampes très abruptes sur quelques heures.

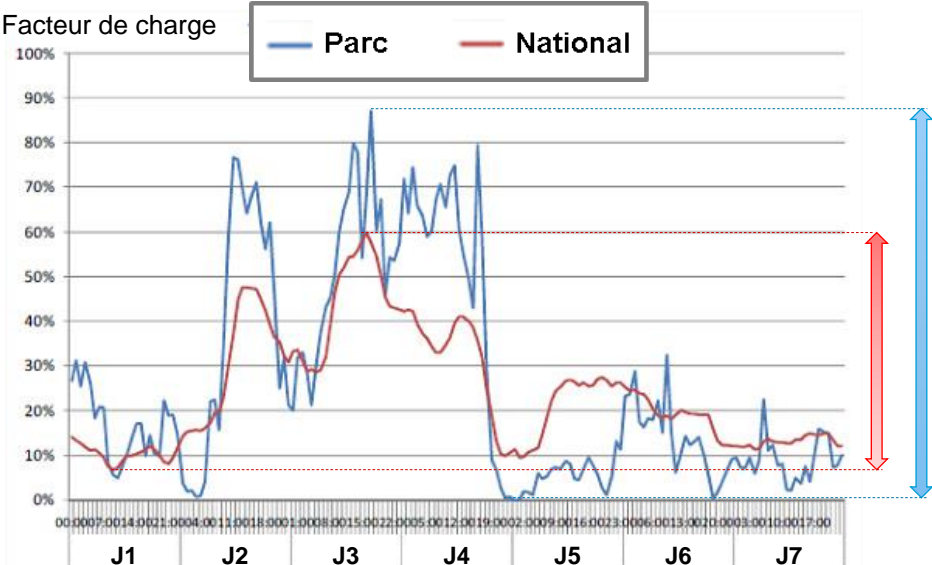
Variations en quelques heures, mais les fronts de vent se déplacent très rapidement

Facteur de charge



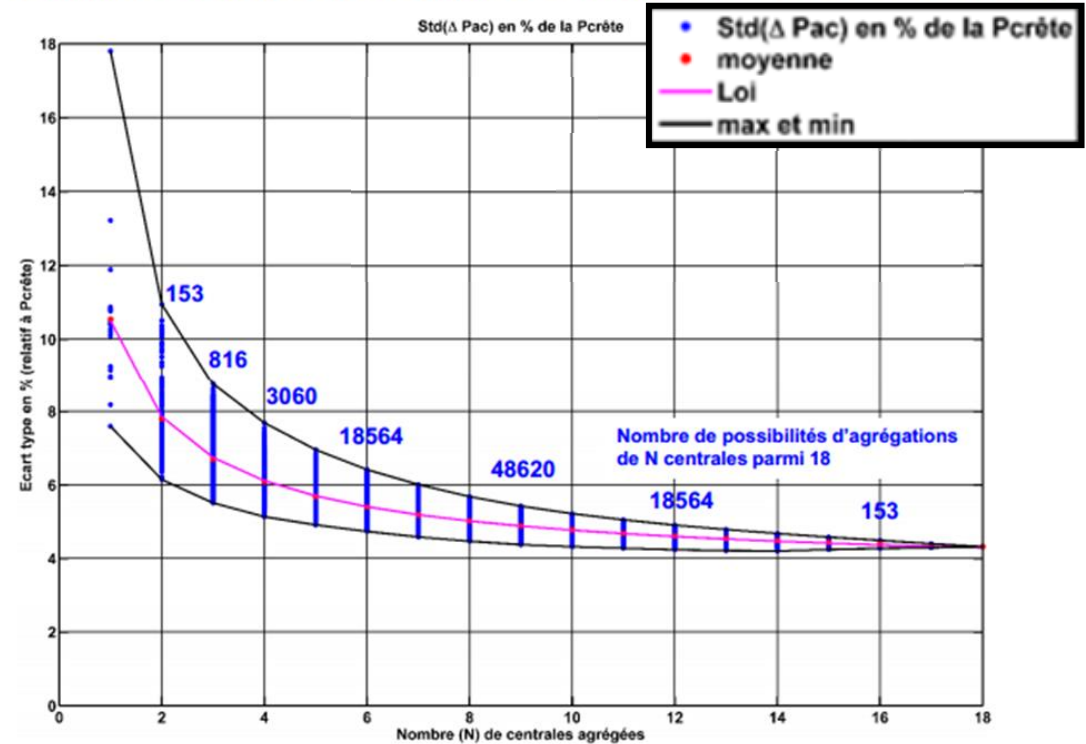
Foisonnement et « loi des grands nombres »

Variabilité intrinsèque du solaire PV

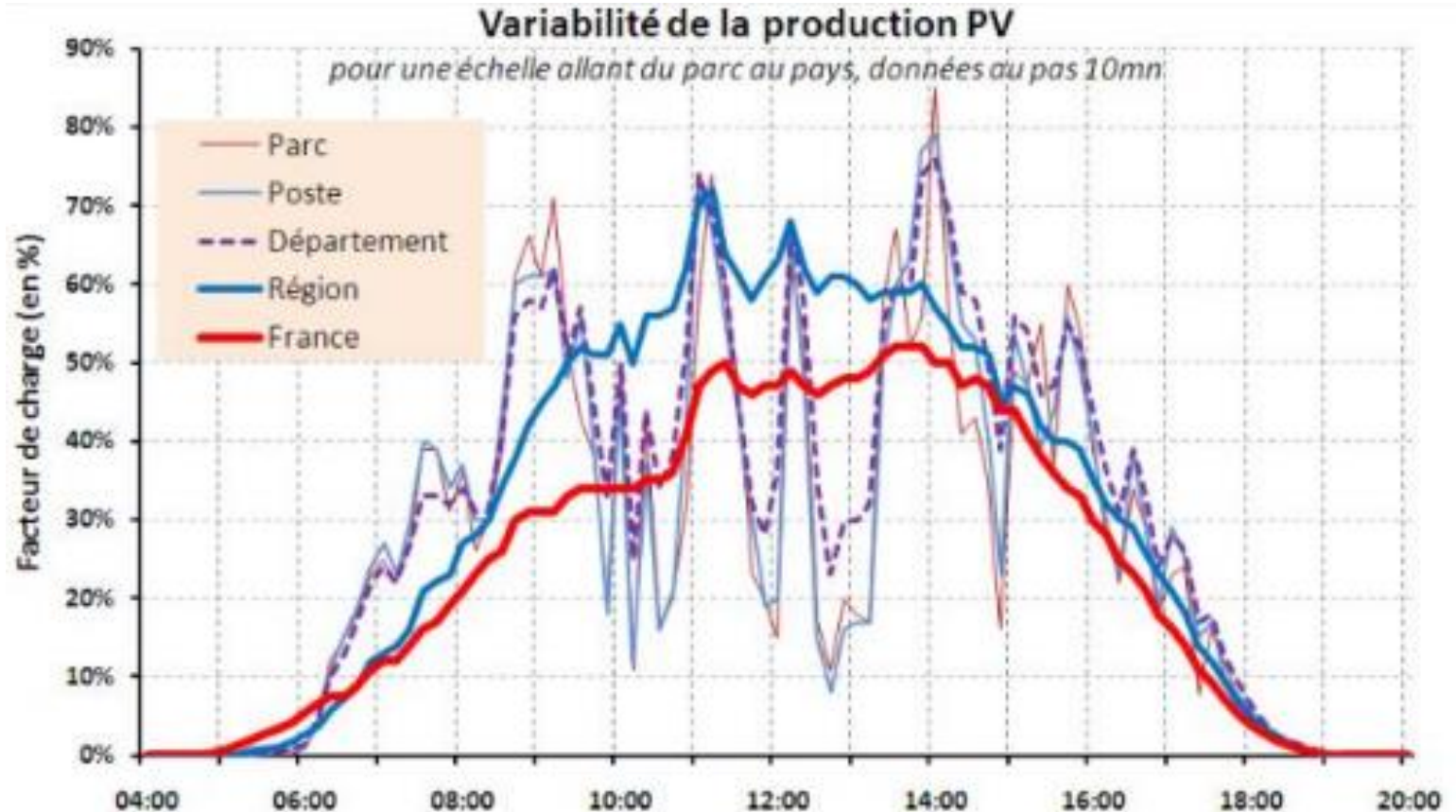


Foisonnement géographique « éolien »

Variabilité de la production photovoltaïque et effet du foisonnement



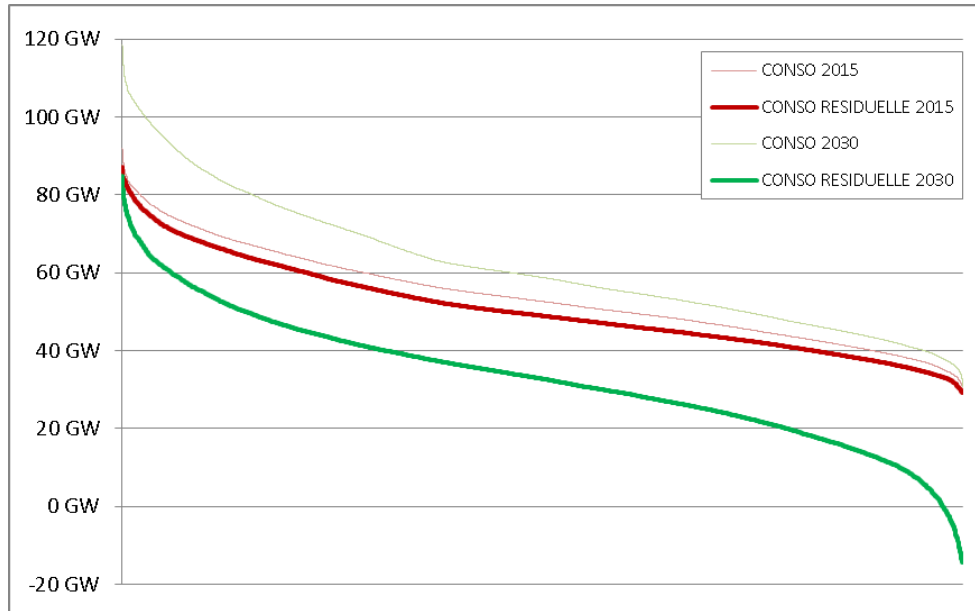
La variabilité journalière au niveau du poste HTA/HTB est souvent plus importante qu'au niveau d'un parc



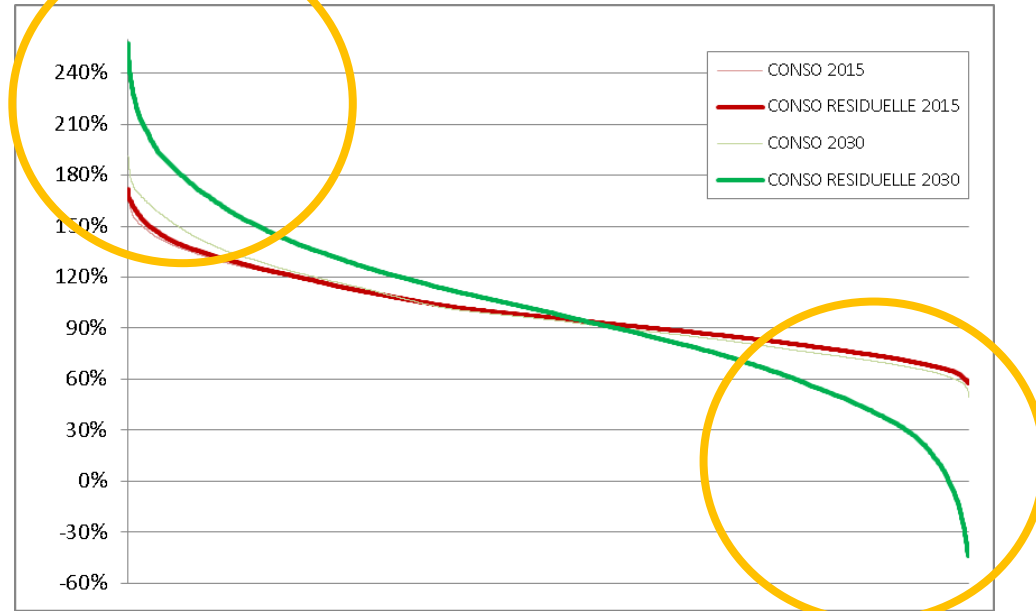
La gestion des renouvelables est critique

- Au niveau national/UE : lors de phasage/déphasage importants
- Au niveau local

La France s'est historiquement inquiétée des pointes de consommation, mais c'est la consommation résiduelle qui va devenir problématique et plutôt dans le sens d'un surplus délétère d'énergie



Evolution des monotonies de consommation et de consommation résiduelle de 2015 à 2030 – pas horaire



Même analyse ramenée à la moyenne annuelle

Ce qui est vrai à l'échelon national l'est encore plus à l'échelon territorial :

- *Décorrélation des pointes locales avec la pointe nationale*
- *Inégale répartition des gisements de production EnR*
- *Moindre foisonnement géographique*

Le tout à mettre en face d'un réseau qui n'est pas dimensionné selon les mêmes règles que le réseau de grand transport.

→ Ce type d'analyse doit être conduit de manière systématique à l'échelon du poste source

+ Avantages

- Inconvénients



Stockage centralisé

- ☺ Grosses capacités en une seule fois

- ☹ « Myopie » par rapport aux enjeux locaux
- ☹ Rareté des nouveaux sites pouvant être équipés
- ☹ Requier beaucoup de réseau
- ☹ Investissement public



Stockage « territorial »

- ☺ Mutualisation des capacités
- ☺ Gestion des problématiques locales
- ☺ Optimisation des investissements
- ☺ Réappropriation du sujet énergie
- ☺ Investissement mixte

- ☹ Complexité du sujet nouveau



Stockage sur site

- ☺ Investissement particulier
- ☺ Business model simple
- ☺ (Autoconsommation)

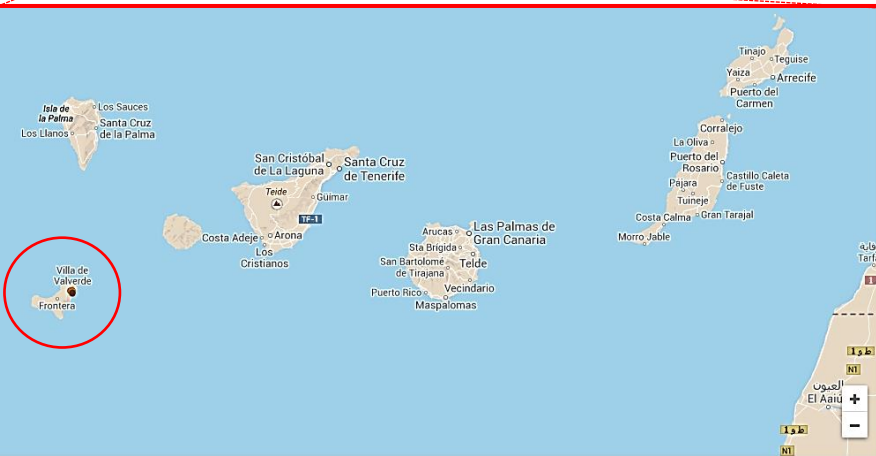
- ☹ Surinvestissement global
- ☹ Pas de mutualisation
- ☹ Si différente de l'ilotage permanent, l'autoconsommation pose de problèmes de financement des réseaux

BENCHMARK INTERNATIONAL DES PETITES UNITÉS DE POMPAGE- TURBINAGE

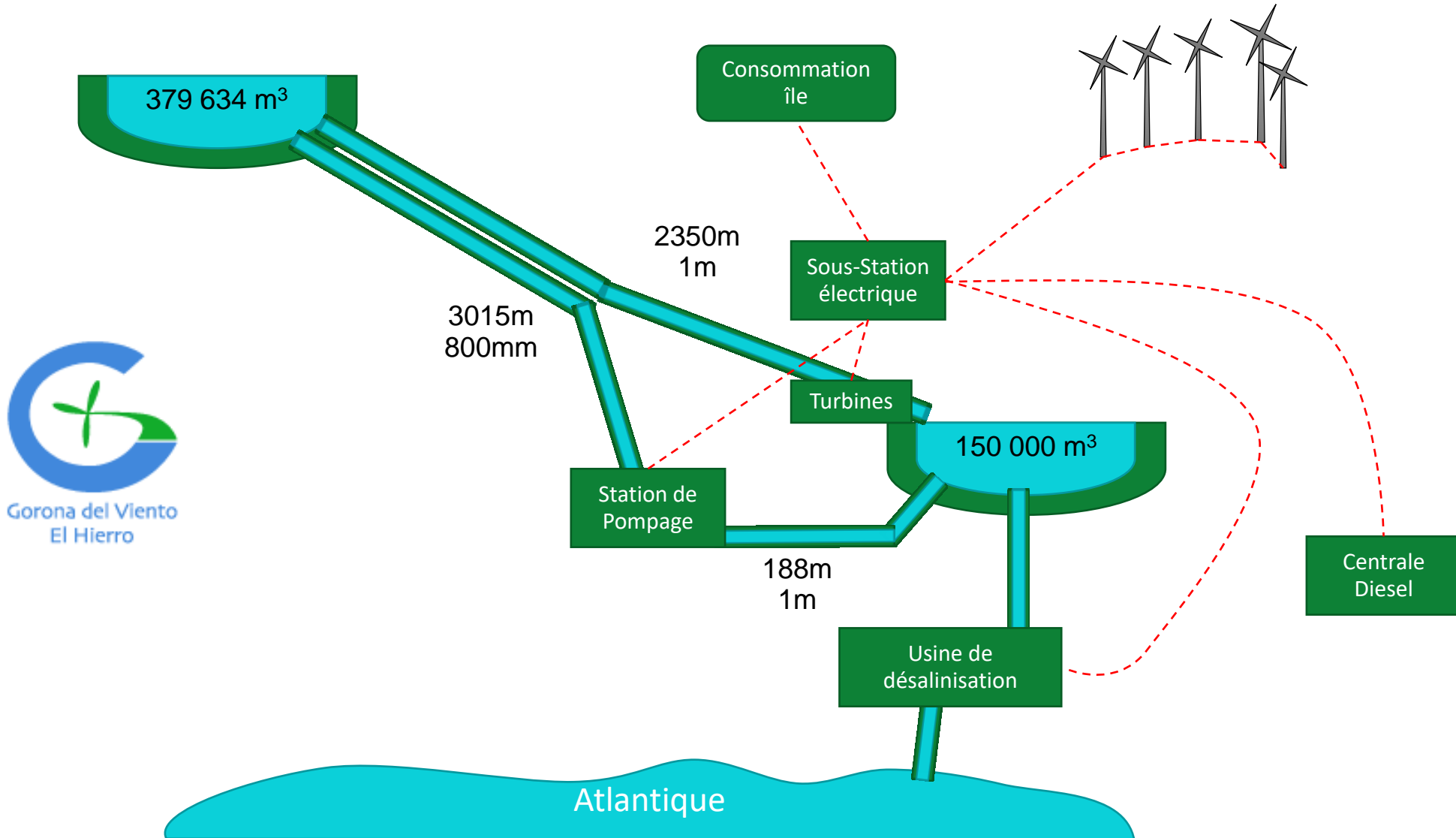
L'île d'El Hierro (Canaries)

- ✓ 268,71 km² ; ~11 000 habitants ; environ 2500 touristes par mois
- ✓ Avec la profondeur des fonds sous-marins autour et même entre les îles de Canaries, El Hierro est totalement isolée d'un point de vue électrique.
- ✓ La consommation annuelle de l'île est de 42 GWh (2009) avec des appels de puissance variant de 2.5 et 7.5 MW

- ✓ Jusqu'à ce jour, la production électrique était intégralement assurée par une centrale thermique munie de groupes Diesel, pour un total de 11,36 MW (2005) et à un prix moyen de 242 €/MWh



El Hierro, Remplacer une production Diesel par de l'éolien



Réservoir haut « La Caldera », 379 634 m³ (objectif initial 556 333 m³, non atteint pour cause de problématiques de terrain)



Les retenues collinaires sont une technologie mature



Hauteur d'eau maximale : 12 mètres (altitude maximale de 709.5 mètres au dessus du niveau de la mer)
Géomembrane étanche de 2 mm de polyéthylène haute-densité (HDPE)



Recent photos »

Panoramio © S. Jimenez - Report a problem

La conduite forcée est double (3015m pour le pompage, 2350m pour le turbinage)



Tunnel de 530m

La station de pompage est alimentée depuis le bassin bas par une conduite de 188m (1m de diamètre)

Diamètre de la conduite de pompage : 800mm

Diamètre de la conduite de turbinage : 1m

Acier : S355NL



Outre la plus grande simplicité de travailler en eau douce, El Hierro sert aussi de stock d'eau douce pour l'irrigation

Les dimensions des bassins sont à la hauteur des ambitions d'indépendance énergétique



- ✓ Difficultés géotechniques pour les bassins : moindre capacité et coût plus élevé
- ✓ Couplage avec une unité de désalinisation : une nécessaire forte qualité de l'énergie
- ✓ Un volant d'inertie pour stabiliser la fréquence quand les éoliennes varient trop fortement

- ✓ Coût final ~80M€ pour un budget de 60M€ (Stockage + volant d'inertie + éoliennes)

- ➔ Résultat : une rentabilité contestée, alors même que le coût de l'électricité était historiquement élevé (> 200€/MWh avec un baril à 50\$)

- ✓ Mais il s'agit d'un étendard qui jouit d'une très forte notoriété

Turbines	Pompes
<ul style="list-style-type: none"> ▪ 4 turbines Pelton chacune combinée à un générateur de 2.83 MW ▪ Le débit maximal en turbinage est de 2 m³/s ▪ La chute maximale est de 654 mètres. <p>➔ 11.3 MW en turbinage</p>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 2 pompes de 1.5 MW gérées par un variateur de vitesse (1 500/500 kW) ▪ 6 pompes de 500 kW <p>➔ 6MW en pompage</p>

Le choix de la séparation Turbines/Pompes est imposé par la double conduite forcée, mais la réciproque n'est pas vraie



✓ Enel - **Dietro la Torre** : Cette unité de 4.5MW a plus de 80ans et a été totalement rénovée en 2008 pour s'adapter à sa situation en bout de ligne et pouvoir démarrer en pompage sans trop perturber le réseau.



✓ Jpower/Electric Power Development Company – **Okinawa Yanbaru** :

Cette STEP Marine de 30MW est la première à fonctionner à l'eau salée et elle apporte de la flexibilité à l'électricien local. Son design octogonal est également représentatif de la recherche d'optimisation des coûts.



✓ PPC Renewables/ENET SA – **Ikaría** :

Couplée au fort potentiel éolien de cette île grecque, l'unité de pompage-turbinage gagne en rentabilité en s'insérant à l'aval d'une petite centrale hydro-électrique.



✓ Et plus encore (Madère, Crète, Guadeloupe, Nenagh, Berrien, etc.)

Sun'R Smart Energy s'appuie bien évidemment sur ces réalisations pour optimiser ses projets.

LES PARTICULARITÉS DE L'APPROCHE SUNHYDRO

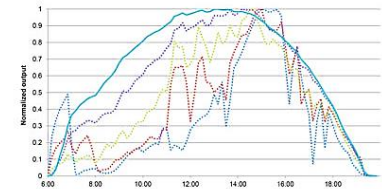
- ✓ Pour être rentable le stockage doit exploiter tous les gisements de valeur existants et donc être pensé comme un « couteau suisse »



- ✓ Le stockage doit se penser à l'échelon territorial et se déployer en priorité dans les zones où existe une valeur « réseau » à capter



- ✓ La variabilité des renouvelables est l'enjeu majeur auquel va être confronté le système électrique, ce qui requiert des actifs hyper-flexibles



- ✓ Un faible impact environnemental est indispensable pour que la transition énergétique ne soit pas un éternel recommencement
➔ raisonner aménagement du territoire

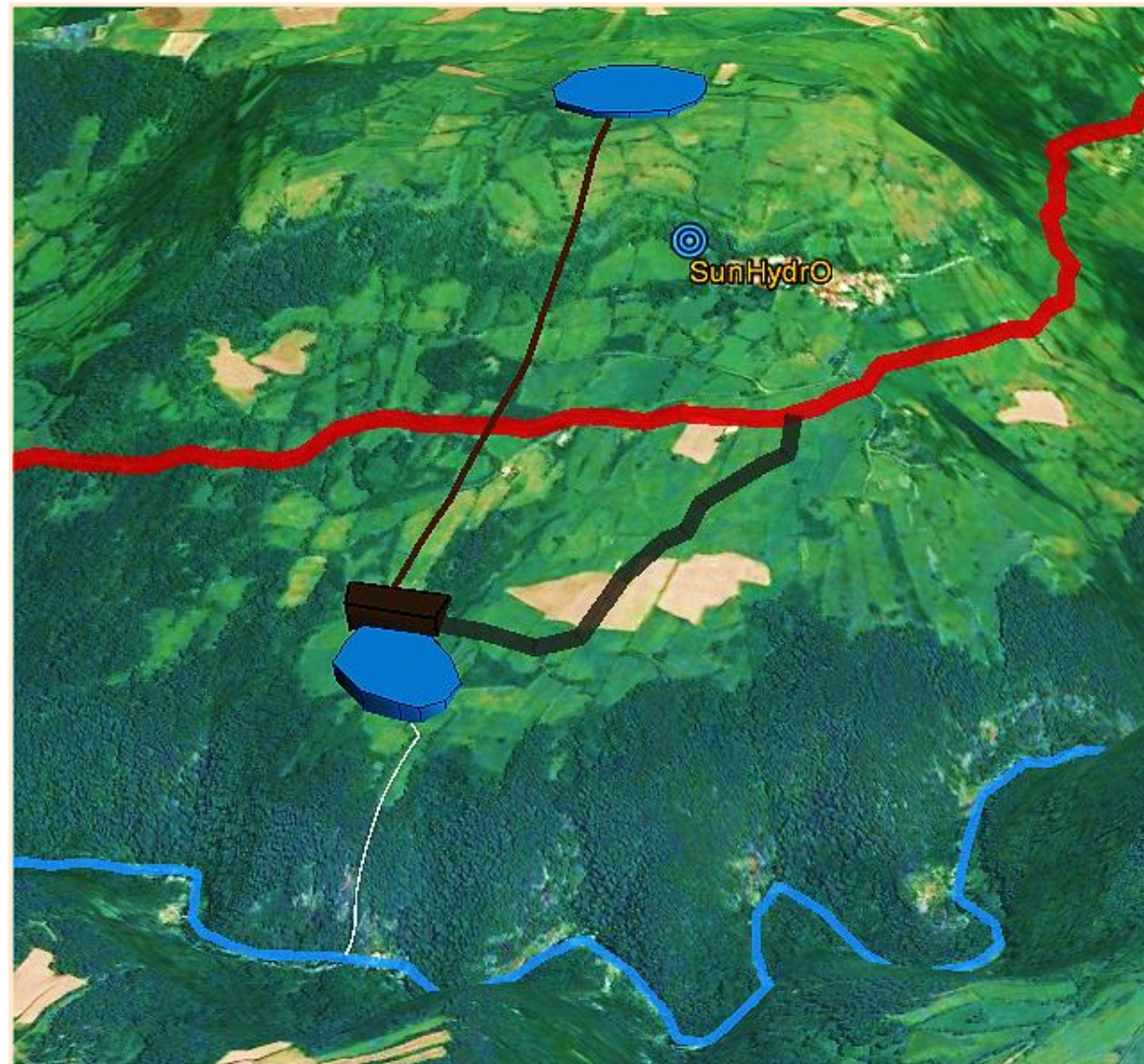


Exemple de site "moyenne chute"

- ✓ 10-15 MW ; 50-200 MWh
- ✓ 100-200 m de chute
- ✓ Réservoir ~ 100.000 m³
- ✓ 80-85% de rendement
- ✓ Faible impact environnemental
 - ✓ Hors cours d'eau
 - ✓ Bassins artificiels (retenue collinaire)
- ✓ Très flexible en Pompage ET Turbinage



Exemple d'insertion paysagère



- ✓ Pour écrêter les pointes de production des EnRs :
 - ✓ Les coûts de raccordement des EnRs sont (étaient) établis sur la base des cas les plus défavorables
 - ✓ Récemment ENEDIS a revu récemment la possibilité d'effacer quelques heures les centrales moyennant un coût de raccordement plus faible
 - ➔ Exemple (Cambrai) : 15-20 h par an contre 100 k€/MWc de diminution du coût de raccordement
 - ✓ Exemple vécu de coût de raccordement : dans certaines régions le coût de raccordement d'une même centrale PV a évolué en 6 ans, de 50 à 60 k€/MWc à 1 M€/MWc (hors S3RENR)
 - ✓ Il existe aujourd'hui nécessairement des gisements d'économie de coûts de raccordement en cas d'écrêtage (ou stockage) supplémentaire de l'ordre de quelques centaines de k€/MWc

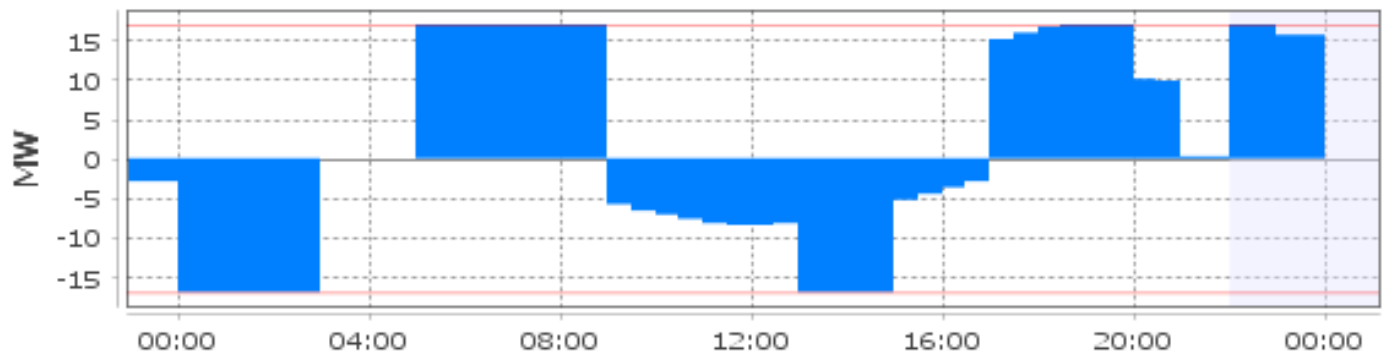
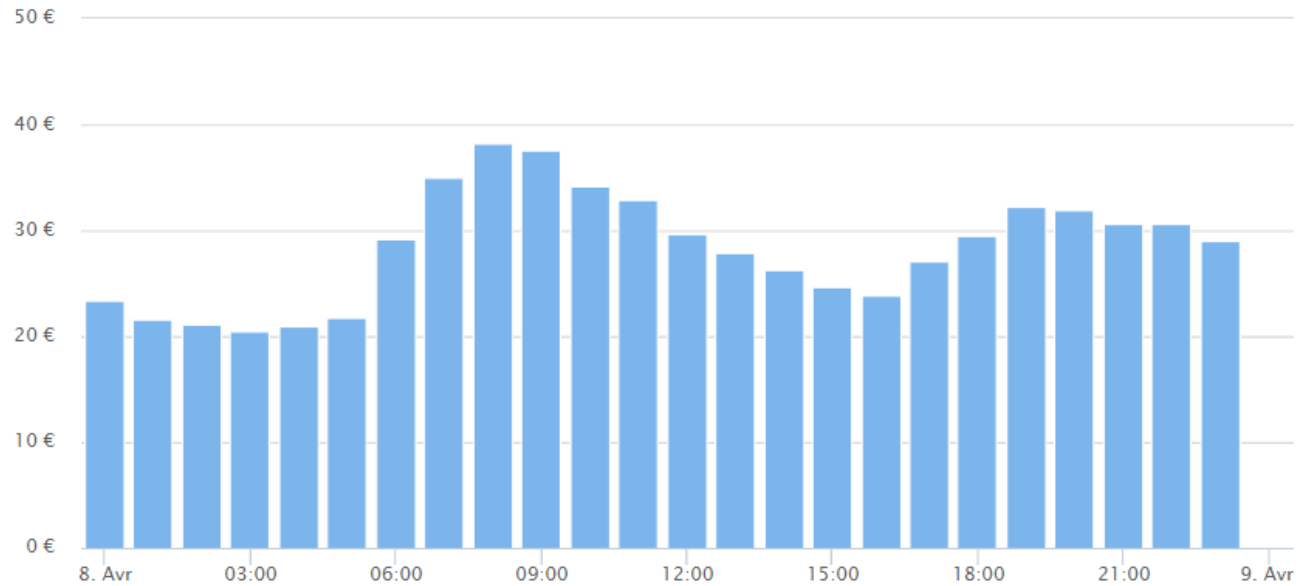
LE STOCKAGE TERRITORIAL A D'ORES ET DÉJÀ ACCÈS À DE NOMBREUSES SOURCES DE VALORISATION

La valeur du stockage passe par de l'arbitrage marché

Prix SPOT
day-ahead



Programme de marche
Injection/Soutirage



Arbitrage
marché

Réserve de
fréquence

Ajustement
& intraday

Capacité

Arbitrage marché

Réserve de fréquence

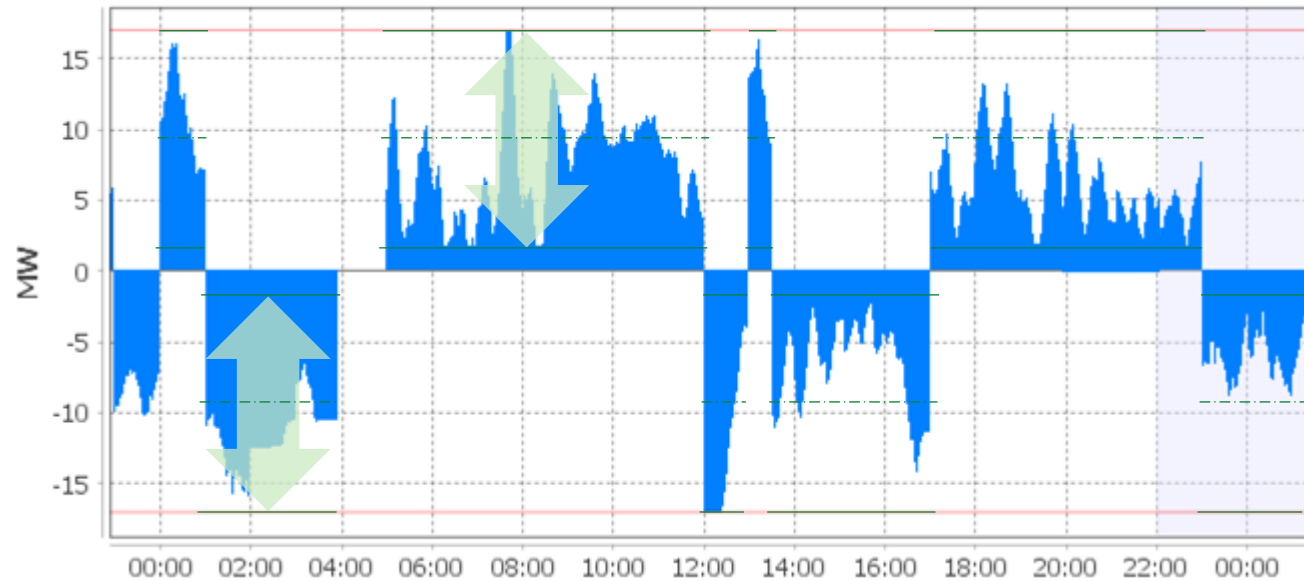
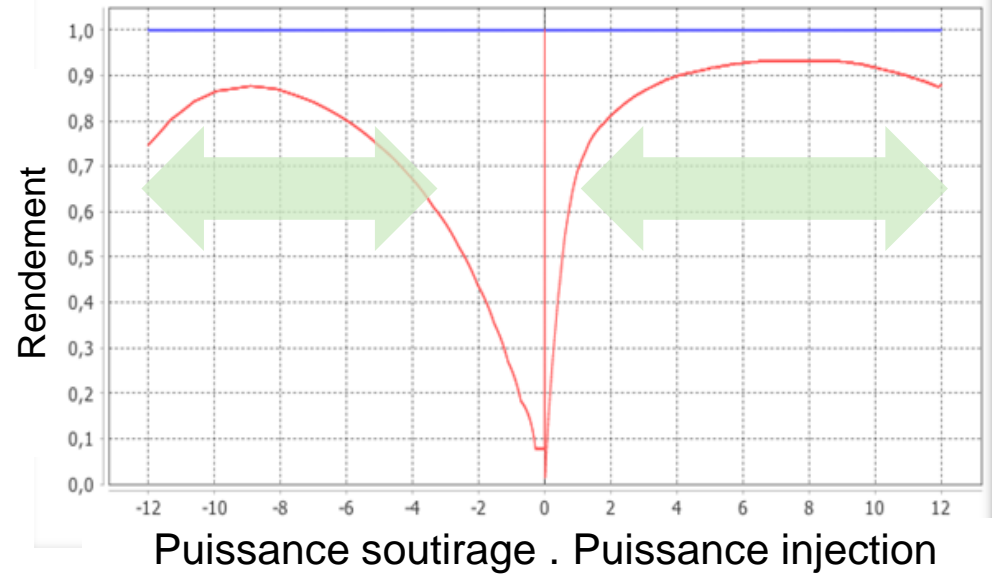
Ajustement & intraday

Capacité

Pour les actifs de stockage qui possèdent de larges plages de fonctionnement



Suivi du signal N pendant les phases d'injection et de soutirage



Une bonne dynamique permet de réaliser des ajustements en infra-journalier

Arbitrage marché

Réserve de fréquence

Ajustement & intraday

Capacité



L'actif de stockage peut ajuster son programme de marche à la demande du gestionnaire de réseau.

Le niveau de charge est rééquilibré plus tard grâce à l'intraday.



Arbitrage marché

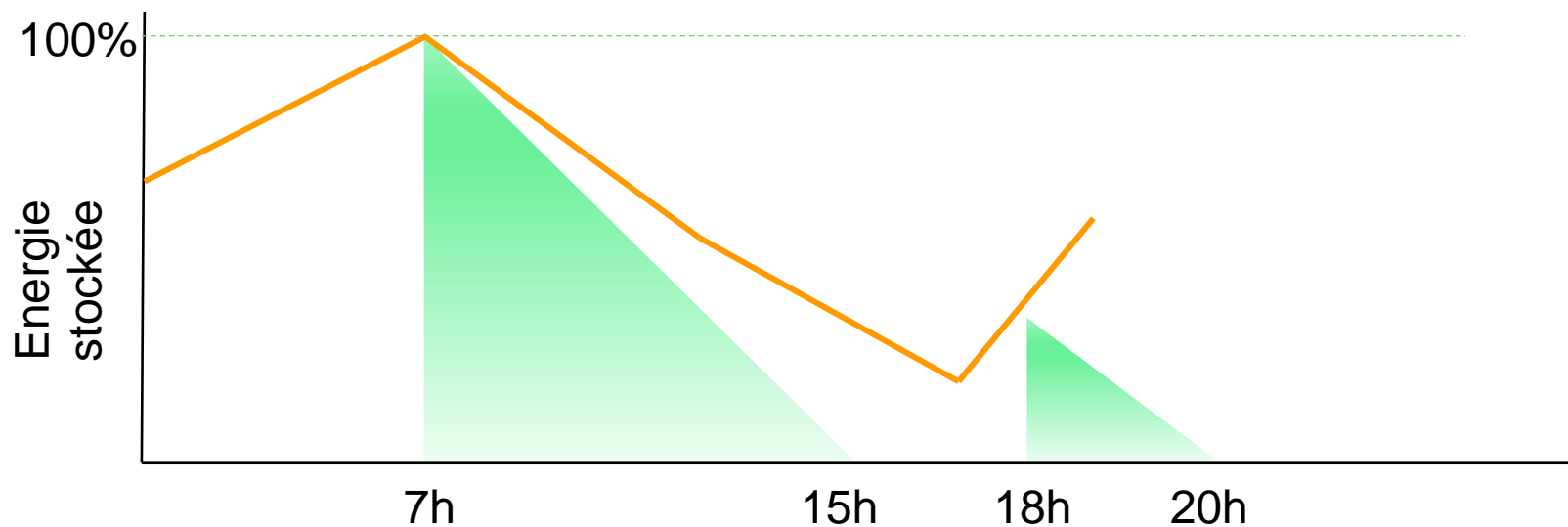
Réserve de fréquence

Ajustement & intraday

Capacité

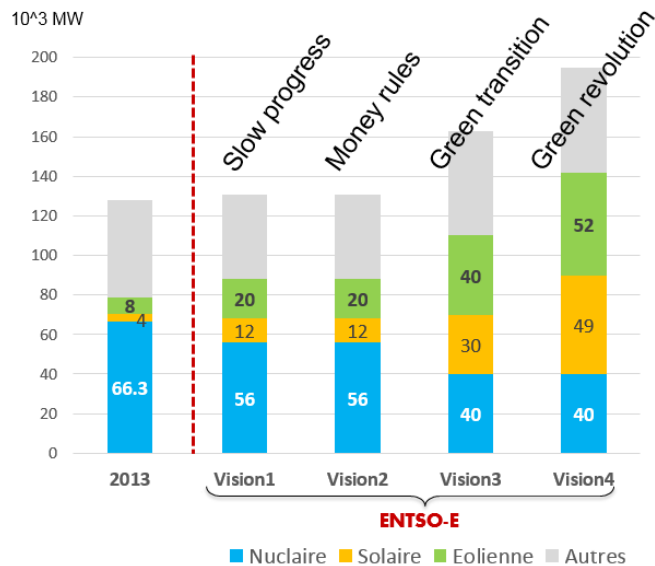
L'actif de stockage peut obtenir une rémunération via le marché de capacité à condition, les jours PP1,

- d'assurer que l'injection est possible aux heures de pointes
- et donc d'avoir un niveau de charge suffisant à 7h et à 18h



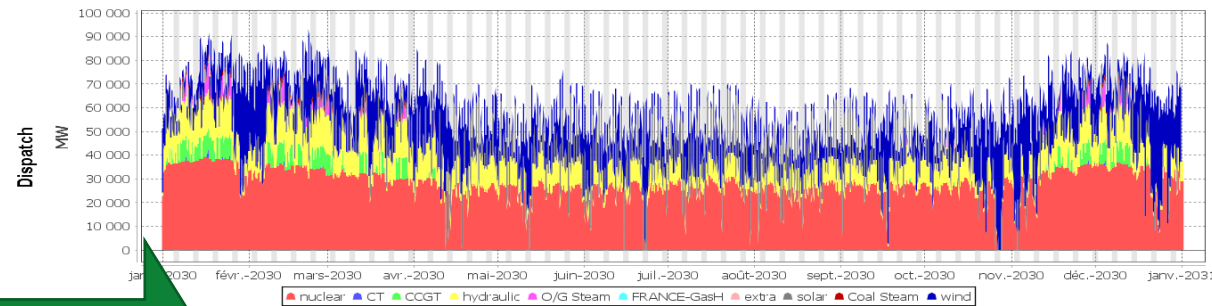
SOUS QUELLES CONDITIONS L'ÉQUATION ÉCONOMIQUE
VA-T-ELLE S'ÉQUILIBRER ?

Scénarios de politique énergétique

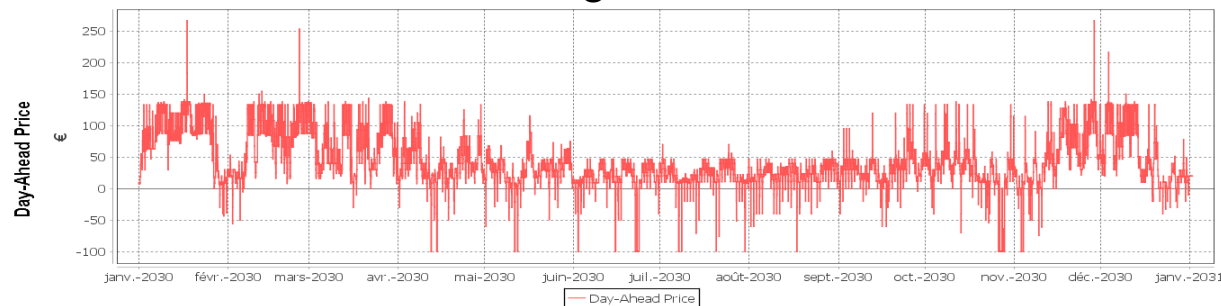


Dispatch pour satisfaire la demande à moindre coût

Mix électrique

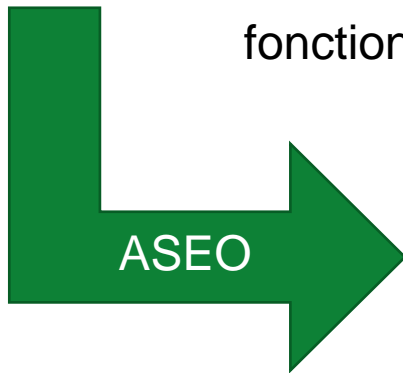
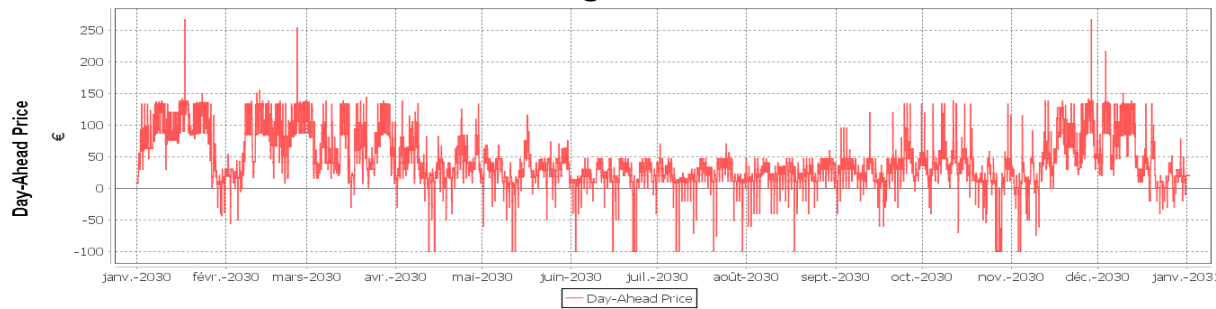


Prix de gros de l'électricité



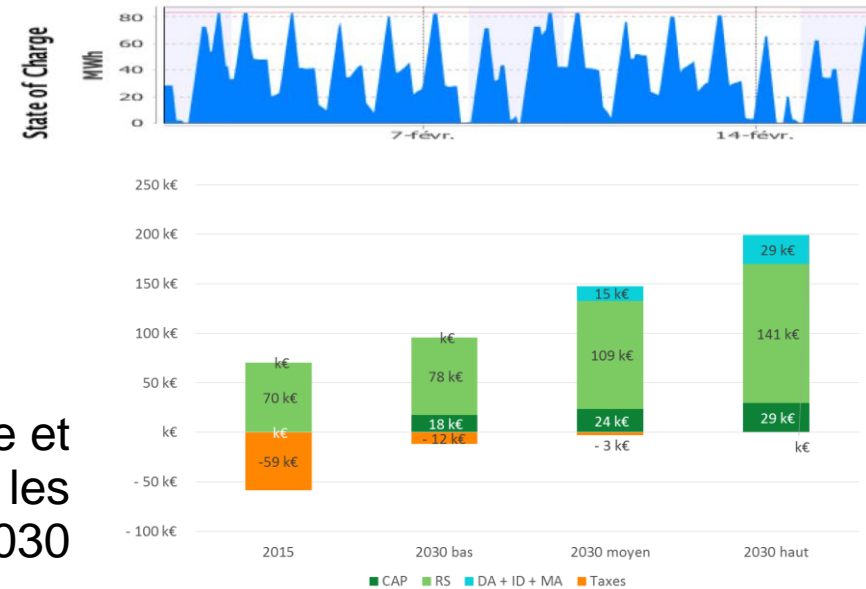
Capacités installées, disponibilité
 Courbes de consommation
 Stockage, lissage de la demande
 Imports, exports

Prix de gros de l'électricité

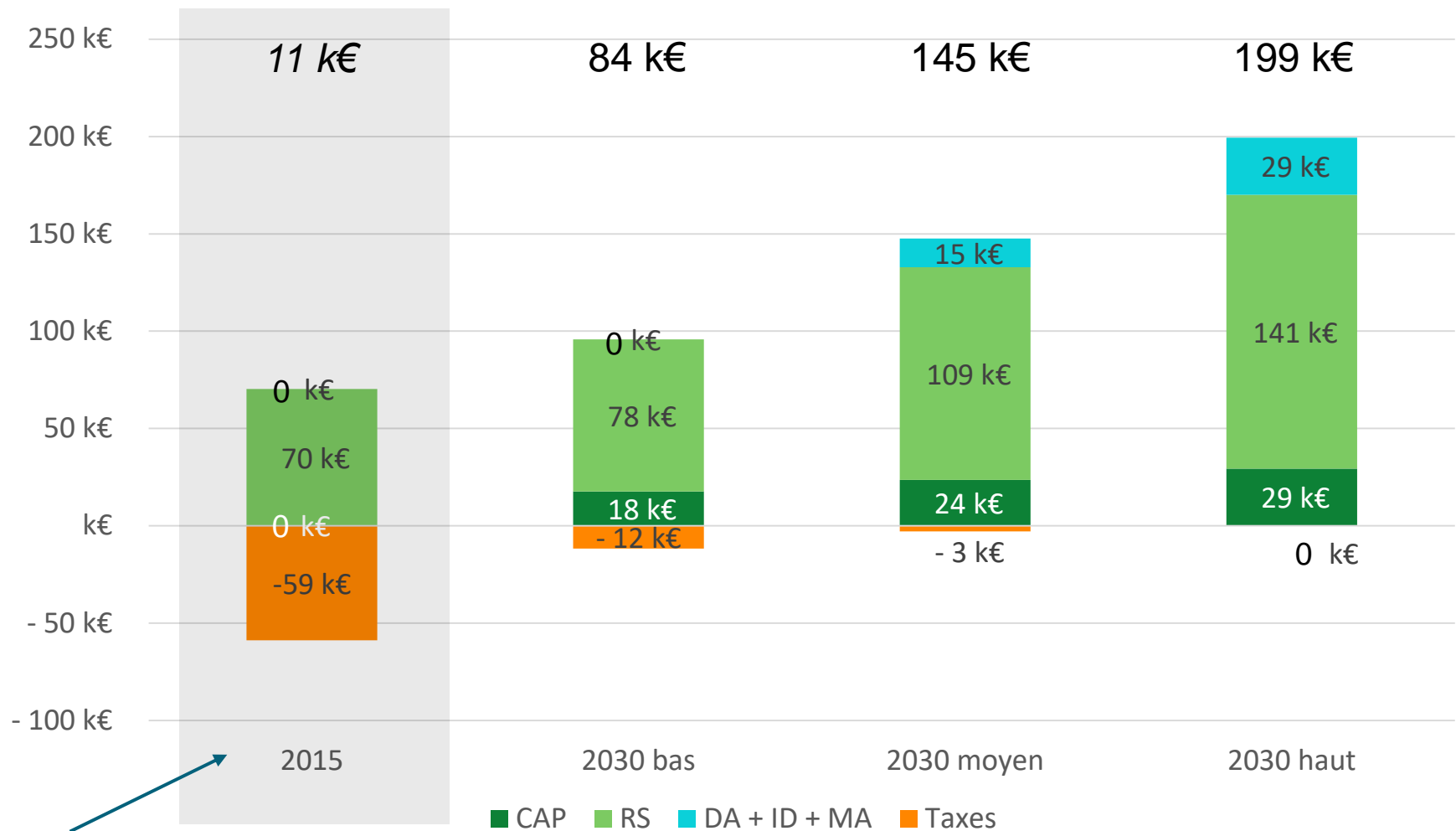


Simulation du
fonctionnement de la STEP
sur 2030

Bornes optimiste et
pessimiste des gains sur les
marchés en 2030



Répartition des gains d'un actif de stockage en 2015 et en 2030 selon différents scénarios



Hypothèse structurante
Évolution du TURPE « stockage »

- ✓ Hors revenus issus de la « valeur réseau » du stockage, les niveaux de TRI sont ne sont pas très éloignés de ceux des classes d'actifs EnRs
- ✓ Il n'est donc pas impensable d'expérimenter dès aujourd'hui le déploiement d'actifs de stockage par petite STEP sur le plateau continental

	TRI Projet	TRI Projet CAPEX -10%	TRI Projet CAPEX -20%
HAUT	5 à 6%	6 à 7%	6.5 à 8%
MOYEN	3 à 4%	4 à 5%	4.5 à 5.5%
BAS	0%	0.5 à 1.5%	1 à 2%

CONCLUSION : LE STOCKAGE TERRITORIAL PEUT ÊTRE RENTABLE
DÈS AUJOURD'HUI ...

- ✓ A condition de mettre en place des mécanismes de rémunération de la valeur GRD
 - ✓ Revoir les modalités de rémunération des GRD (Art 199 et TURPE)
 - ✓ Dans une logique gagnant-gagnant

- ✓ Mais le risque supporté par les investisseurs reste un obstacle à surmonter :
 - ✓ Incertitude des prévisions de revenus sur le long terme
 - ✓ Dans un contexte où les durées de vie technologies de stockage s'allongent (y.c. batteries)

- ✓ Les solutions sont connues et de 2 natures :
 - ✓ Soit des contrats long terme mais cette solution est rigide et nécessite de figer dans une large mesure le fonctionnement de l'actif de stockage
 - ✓ Soit des mécanismes de « complément de rémunération » à l'instar de ce qui a été effectué pour les EnRs, sur les différents marchés visés

MERCI DE VOTRE ATTENTION !
