

Atelier Stockage d'électricité : enjeux et opportunités

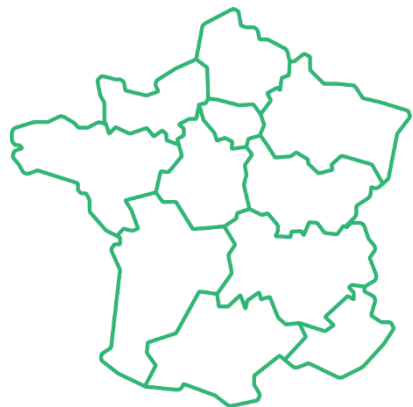


Les rencontres solaires de l'Est 16 Janvier 2024- Saverne

Ludmila Gautier – Présidente ATEE Grand Est

Avec le soutien de :





- **2 500 adhérents**
- **11 délégations régionales** : un réseau de professionnels de l'énergie **mobilisé au service de ses adhérents** (*industriels et collectivités*) pour les informer des actualités du secteur et favoriser les échanges entre acteurs locaux (*+ de 100 événements par an*).
- **7 domaines d'expertise répartis en 2 pôles** :



EFFICACITÉ ÉNERGÉTIQUE

- Département **Maîtrise de l'Énergie** qui anime une **Communauté des Référents Energie**
- Club **C2E** (Certificats d'Economies d'Energie)
- Club **Cogénération**
- 4 programmes CEE nationaux :
OSCAR – FEEBAT (*bâtiment*) –
PACTE INDUSTRIE : PROREFEI – PRO-SME_n



ENERGIES RENOUVELABLES

- Club **Biogaz**
- Club **Stockage d'Energies**
- Club **Power-to-gas**
- Club **Pyrogazéification**



- **Energie Plus** : la revue de la maîtrise de l'énergie



- ❖ 2 bureaux opérationnels (Alsace, Lorraine) travaillant en réseau
- ❖ Plus de 200 adhérents sur la Région Grand Est
- ❖ En lien avec les acteurs clés du secteur de l'énergie en Région : CCI, ADEME
- ❖ Organisation d'événements variés :
 - Journée de conférences thématiques
 - Visite de sites
 - Webinaires avec témoignages d'acteurs régionaux

Objectifs pour les adhérents :

- ❖ renforcer ses connaissances
- ❖ échanger en réseau

Sa mission

Le Club « **Stockage d'Energies** » lancé en 2010, est une structure de concertation et de réflexion sur la filière et les marchés du stockage d'énergies (électrique, thermique, mécanique, ...) pour aider ses membres à mieux appréhender les multiples enjeux – fiscaux, réglementaires et technologiques.

Ses actions

- ➔ **Veille réglementaires, technologiques et économiques**
- ➔ **5 Groupes de travail** (GT Réglementation, GT Sécurité des ESS, GT Mobilité, GT Stockage thermique, GT Economie)
- ➔ **Représentation de la filière et élaboration de propositions** : mesures et aménagements réglementaires, et fiscales, avis sur les textes en préparation, participations aux concertations DGEC, CRE, RTE, ENEDIS...
- ➔ **Organisation d'évènements et communication** auprès des décideurs et du public sur les technologies de stockage, les marchés et leur développement, les enjeux de la filière, visites d'installations.
- ➔ **Porteur d'études** (PEPS5, catalogue des technologies...) sur les potentiels français des technologies de stockage d'énergies, sur les batteries de véhicules électriques, sur les modèles d'affaires du stockage.

Ses membres

Constructeurs et intégrateurs de systèmes de stockage d'énergies
Energéticiens
Gestionnaires de réseaux
Organismes de recherche
Bureaux d'étude
Juristes

+ 55
sociétés
adhérentes
+ 130
membres
actifs

Exploitants de systèmes de stockage
PME, PMI, ETI concevant et installant des solutions de stockage
Associations et fédérations professionnelles du stockage de chaleur ou de froid



Xavier ROMON
Délégué général
☎ 06 22 66 14 10
✉ X.romon@atee.fr

Les technologies de stockage d'énergies



STOCKAGE ELECTRIQUE

BATTERIES / STEPS ...

STOCKAGE d'ELECTRICITE
e.g. Capacités Supercapacités

STOCKAGE ELECTROCHIMIQUE
e.g. Lead-Acid Battery, Redox-Flow Battery, Li-Ion Battery



STOCKAGE MECANIQUE
e.g. Pumped Hydro, Compressed-Air Storage, Flywheel



STOCKAGE CHIMIQUE

HYDROGENE

PRODUCTION ET STOCKAGE HYDROGENE VERT
usage of fuel cell, electrolyzer



STOCKAGE DE CHALEUR SENSIBLE
e.g. Fluides / Air - Sels fondus, huiles, pit storage, céramiques, eau sous pression



STOCKAGE THERMOCHIMIQUE
e.g. sorption storage, thermochemical material (TCM)

STOCKAGE THERMIQUE

CHALEUR

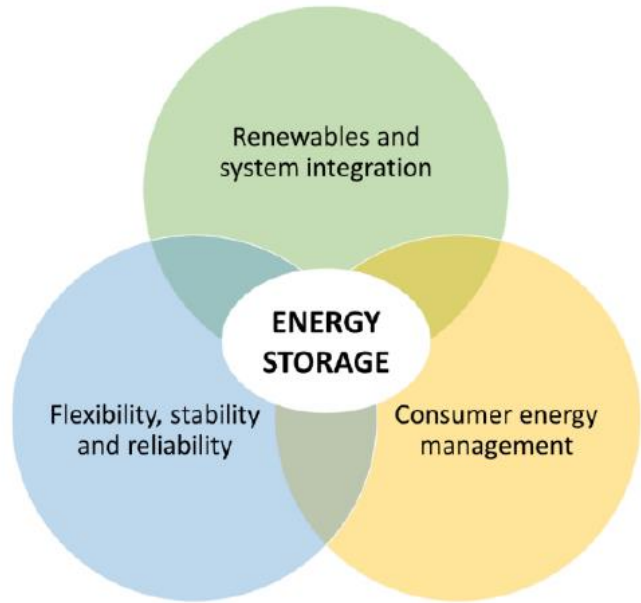


STOCKAGE DE CHALEUR LATENTE
e.g. MCP matériaux à Changement de phase, slurries



Batteries : Décharge de qq minutes à quelques heures, sauf NaS 6-8 h; Redox Vanadium 1-8h; Redox Zinc-Brome 2-8h; Zinc-Air 6 à 24h; **STEPS** : Décharge entre 4 et 40h, nouveaux développements max 1,5 GW + Micro STEPS ; **Volants d'inertie** : qq secondes ou heures Tours 200m ; **Hydrogène** : Modèles affaires en développement mais pas encore matures.

Le déploiement massif de la production EnR n'a de sens qu'avec le déploiement du stockage d'énergie



The contribution of energy storage to decarbonisation and security of supply

Le stockage de l'énergie peut contribuer à **décarboner** l'économie et à **accroître l'efficacité et la sécurité d'approvisionnement énergétique**. Il peut également faire **baisser les prix de l'électricité** pendant les périodes de pointe, **réduire les fluctuations des prix** et **permettre aux consommateurs de réguler leur consommation d'énergie**.

Les besoins de flexibilité augmentent, dans certains cas de manière exponentielle, lorsque la part de la production renouvelable variable dans le réseau électrique est supérieure à 74 % de la capacité totale installée.

Source : European Commission SWD 57 2023

Le Club entend amplifier en 2024 la dynamique de rassemblement des acteurs du stockage autour des thématiques importantes pour la filière :

- Réglementations en cours et à venir,
- Déploiement des nouveaux services pour le stockage d'électricité,
- Intégration des Véhicules électriques et communication avec le réseau,
- Installations hybrides EnR + stockage + réseau,
- Valorisation du stockage thermique,
- Sécurité des installations de batteries, Matériaux, Ressources critiques et indépendance industrielle, etc....

Manifestations :

- Webinaires mensuels d'informations & échanges du Club Stockage d'Energies
- Diverses manifestations régionales en 2024
- Colloque Annuel du Club Stockage d'énergies

12^{ÈME} COLLOQUE ANNUEL

DU CLUB STOCKAGE D'ÉNERGIES



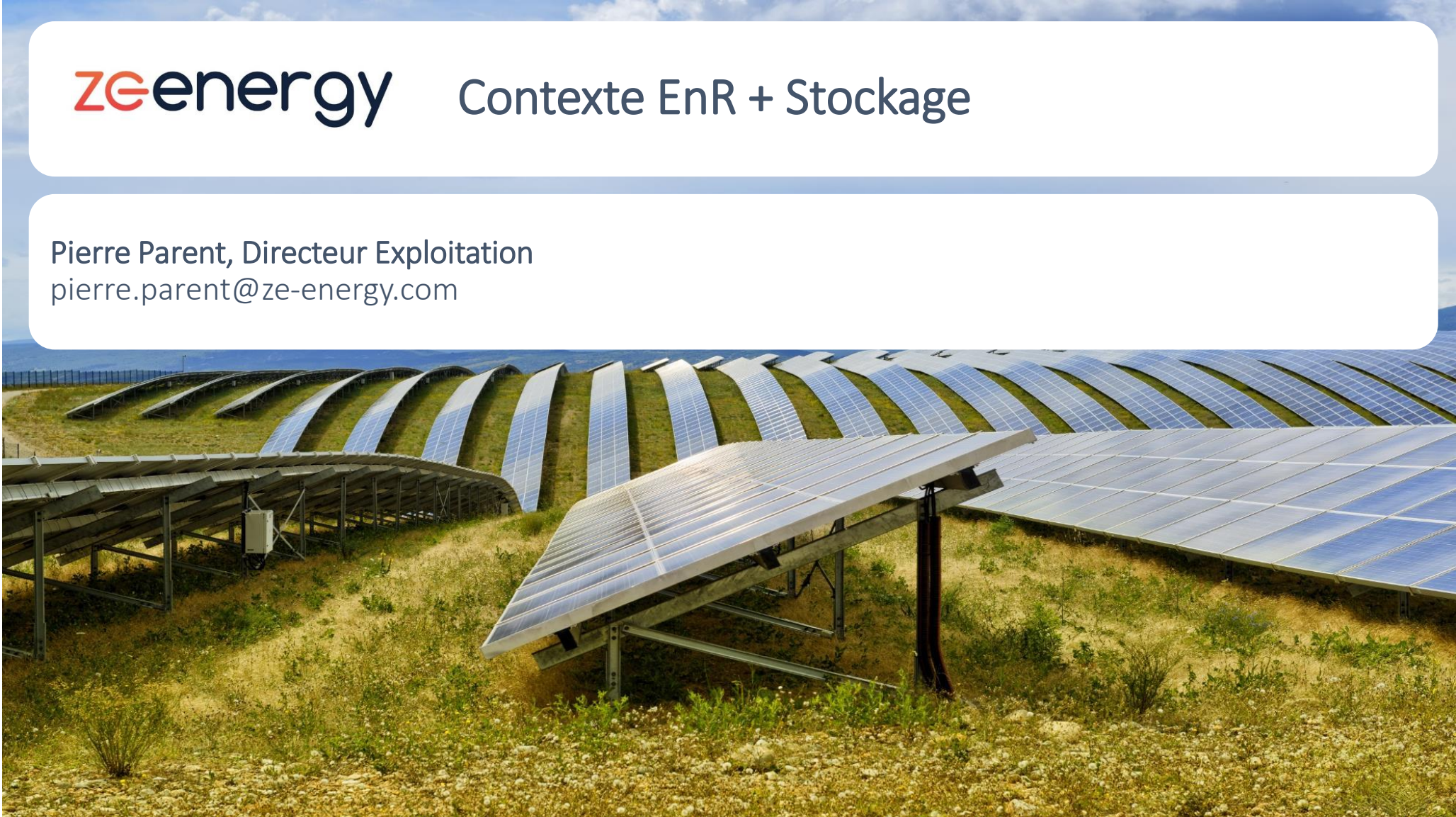
**Jeudi 3 octobre 2024
à Paris**

www.atee.fr

ZEenergy

Contexte EnR + Stockage

Pierre Parent, Directeur Exploitation
pierre.parent@ze-energy.com



Enjeux du développement EnR

Un développement essentiel à la transition énergétique, fortement encouragé par les pouvoirs publics : cf. LAR, mars 2023

Mais soumis à des contraintes de plus en plus fortes :

1

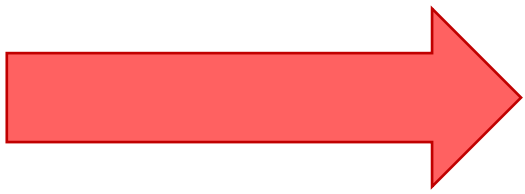
Des Contraintes et des Coûts de RACCORDEMENT en hausse



+40%
+700%

2

Des Risques de Valorisation Marché en Post FIT



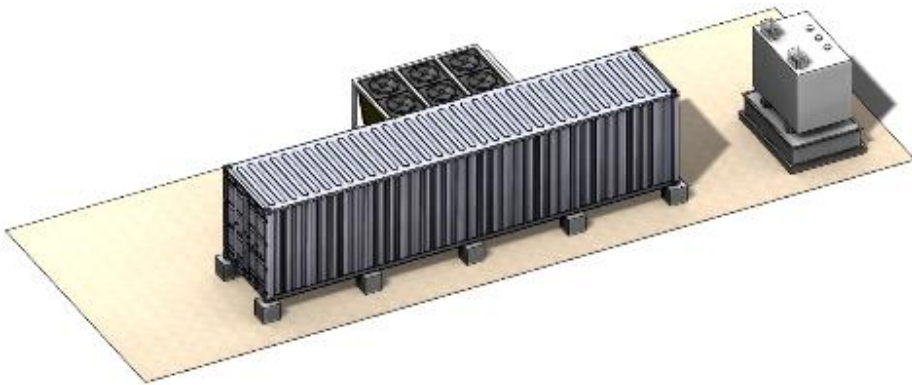
Une solution permet de faire face à ces défis : **le stockage**



Exemples de systèmes de stockage

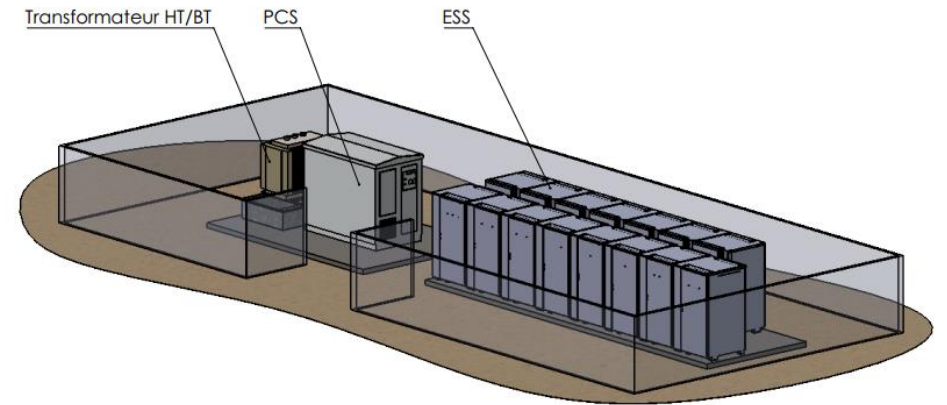
Solution conteneurisée

- UN CONTENEUR 40 PIEDS
- UN GROUP FROID
- UN MODULE DE CONVERSION



Solution outdoor

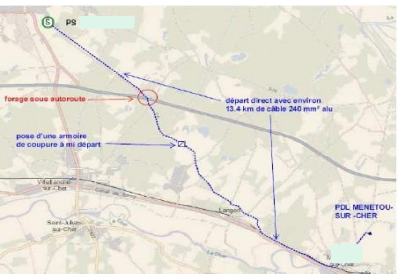
- Des armoires outdoor
- Un module de conversion



Cas d'usage raccordement


1 Cas 1 : Diminuer la Puissance de Raccordement pour se raccorder au plus proche

SANS Batterie – Offre de Référence



Distance de Raccordement	Coût Racc
13 km	1.4 M€

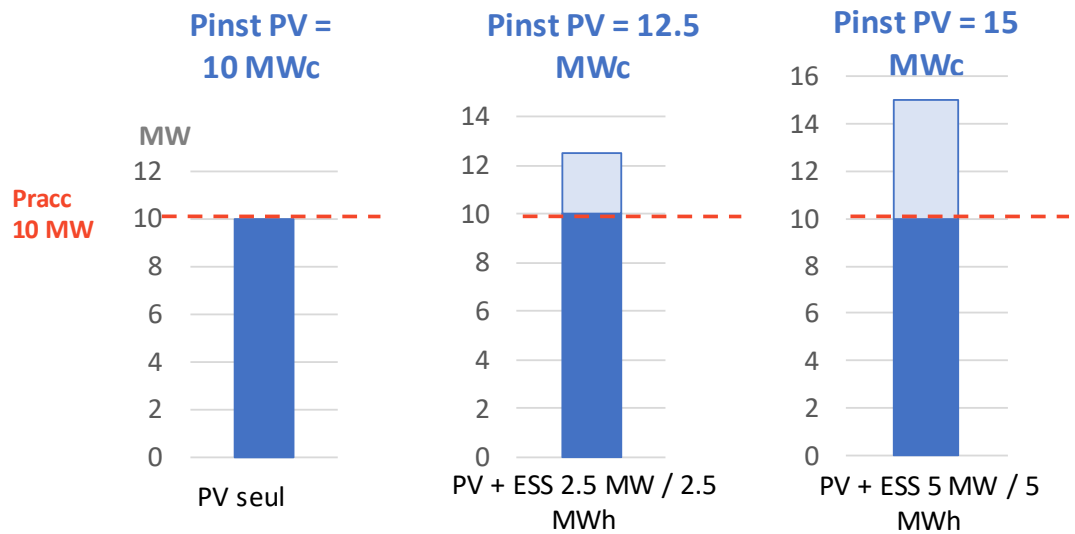
AVEC BATTERIE – Offre Alternative*



Distance de Raccordement	Coût Racc
3 km	400 K€

2 Cas 2 d'extension PV : augmenter la Puissance PV au dessus des capacités du réseau

Le stockage permet, à capacité de raccordement contrainte, d'augmenter la puissance de l'installation PV



The charts show that with storage, the total power output can exceed the 10 MW connection limit. For 10 MWc PV, storage allows up to 10 MW. For 12.5 MWc PV, storage allows up to 12.5 MW. For 15 MWc PV, storage allows up to 15 MW.

Et inversement, le stockage permet de réduire la puissance de raccordement pour une capacité installée fixée.

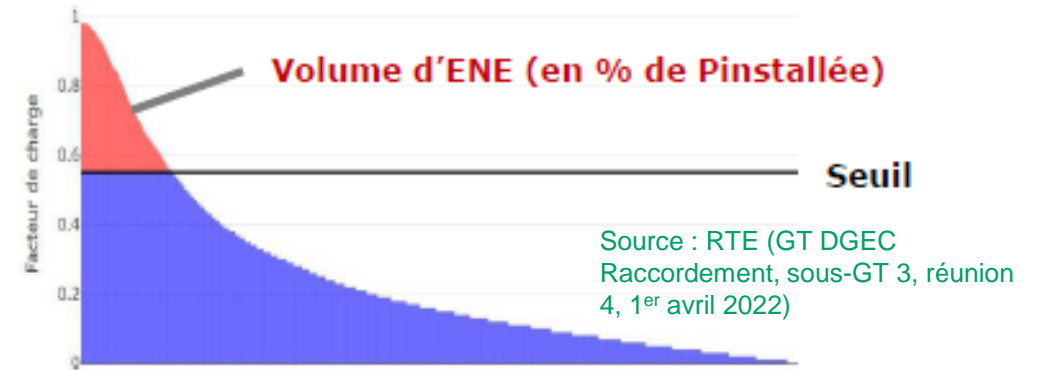
* Par ex: raccordement en picage ou antenne HTA

Optimisation de l'usage réseau

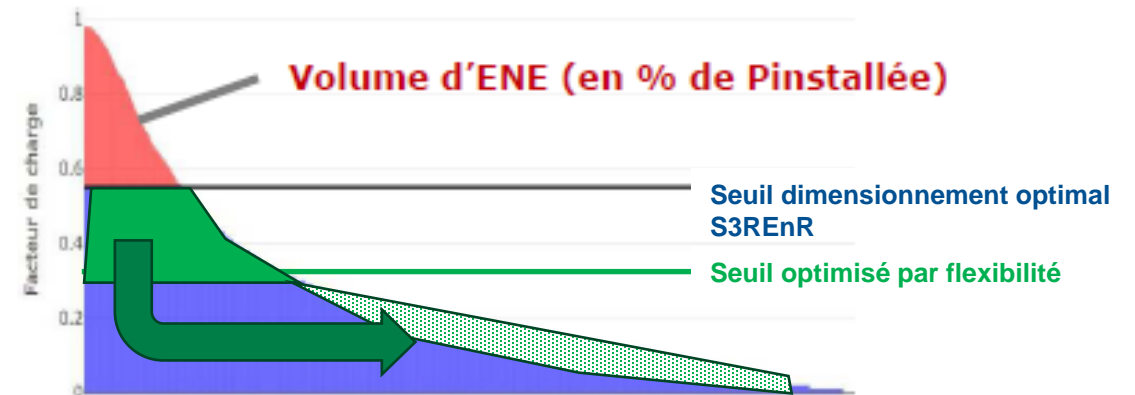
Comment maximiser les MWh injectés sur un MW raccordé ?

$$P_{installée} \cdot t \cdot C_{ENE} = C_{Annuité} d$$

- Aujourd'hui, dimensionnement optimal S3REnR sur la base de la monotone de production



- Optimisation supplémentaire via flexibilité
 - Stockage temporaire des MWh pour injection hors contrainte réseau
 - Réduction capacité réseau => réduction des coûts
 - Mais maintien volume production



Cas d'usage profilage de production

1

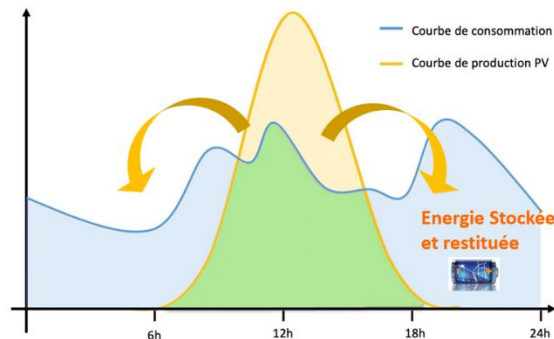
Cas 1 : Ajuster la production à un profil contractualisé

SANS Batterie – Injection « as produced »

Pas de contrôle sur la production, dépendante de l'ensoleillement

AVEC BATTERIE – Injection « as nominated »

Contractualisation d'un profil de production adapté au contrat LT (consommateur, AO)



2

Cas 2 : Réduire le risque marché

Exposition au marché même pour les projets régulés

- via le mécanisme des écarts

Coût écart : réel vs programmé (J-1)

- Hypothèses : erreur statistique prévision en volume par pas de temps de 30 minutes = 30%, différence moyenne entre prix des écarts et prix SPOT = 5%
- A comparer au prix de vente garanti : <50 €/MWh pour les derniers AO
- Coût écarts vs prix SPOT
 - 2017-2020 : SPOT 30-50 €/MWh => <1 €/MWh-PV
 - **2022 : SPOT 276 €/MWh => 4 €/MWh**

SANS Batterie – Pas de levier pour réduire le volume en écart (imprécision structurelle de la prévision PV)

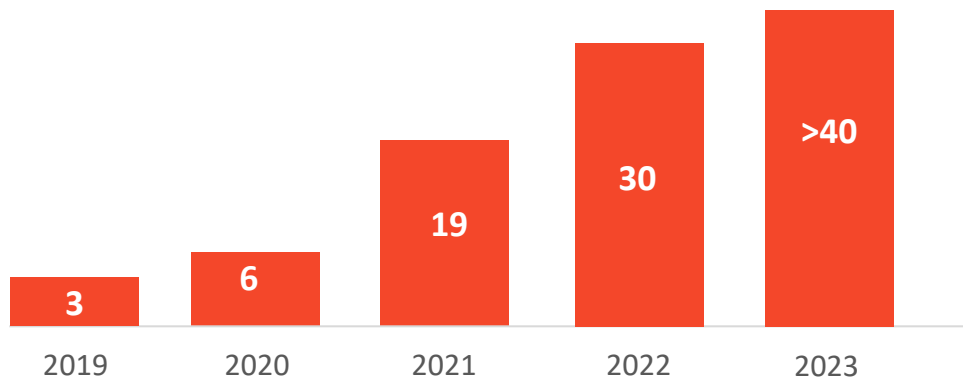
AVEC BATTERIE – Lissage en temps réel de l'injection PV pour l'ajuster aux engagements marché et contrepartie LT

ZEenergy Entreprise



Une entreprise en forte croissance en Europe

Des effectifs en forte croissance



Des partenaires financiers solides

5 M€ levés en 2020 ; 40 M€ en 2021



La vision de ZE Energy:

Les centrales hybrides, une nouvelle classe d'actifs pour accompagner la transition énergétique:

- Amélioration de la valeur EnR : réduction durée et coût raccordement + augmentation valeur produite pour le client
- Réduction du risque projet : multi-revenus, protection cannibalisation, protection écrêtement

Un développement déjà engagé et ambitieux

Installés / sécurisés en 2023 : >100 MW PV ; >50 MW

BESS



700 MW
de capacité PV

Objectifs horizon

2025 :



350 MWh
de stockage



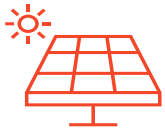
5 Pays européens
France, Italie, Allemagne, Espagne,
Royaume Uni

Une offre adaptée à la demande croissante des consommateurs

Garantie d'énergie livrée pour le jour suivant

- **Aucun risque d'équilibrage** pour l'acheteur
- Un **profil de production lissé** pour optimiser la fourniture d'électricité pour le consommateur
- Application **autoconsommation** : augmentation de la contribution de la production sur site à la fourniture

PV seul

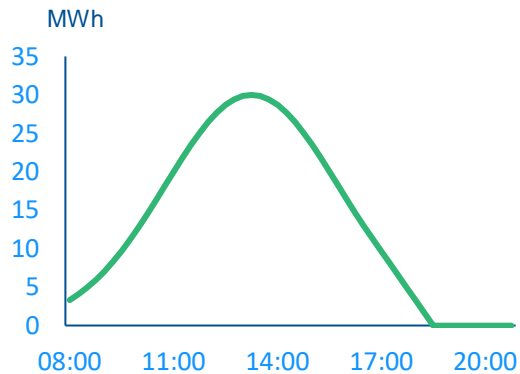


PV plus stockage



Aujourd'hui – Standard

CPPA "Pay-As-Produced"

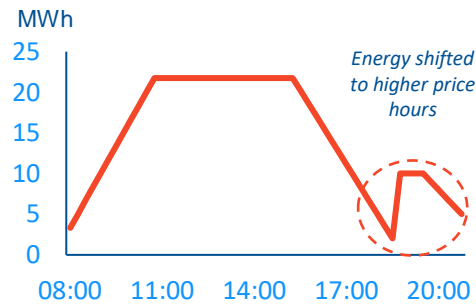


Production d'une centrale solaire de 30 MW (à titre indicatif)

Aujourd'hui – CPPA lissé

CPPA lissé avec garantie d'énergie livrée pour le jour suivant

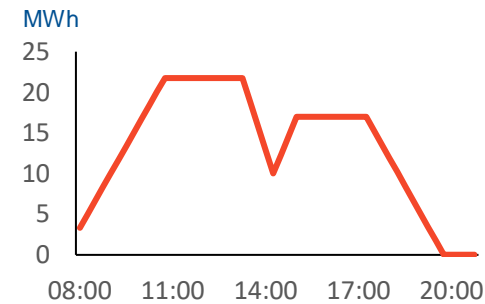
Profil garanti en J-1



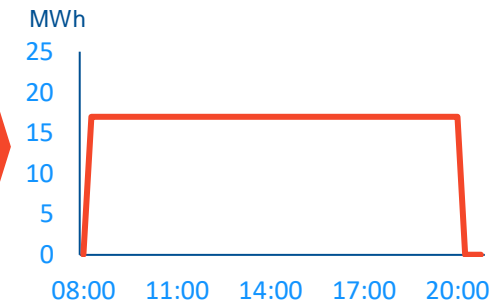
Demain

CPPA "Pay-As-Consumed"

Profil solaire lissé



Produit solaire "peak"



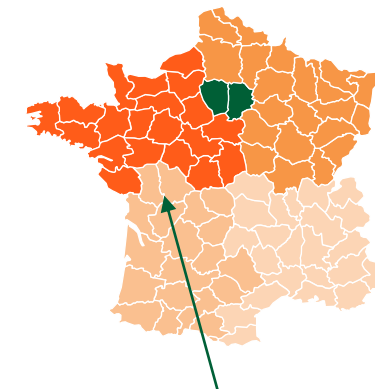
Production d'une centrale solaire plus stockage de 30 MW (à titre indicatif)

Saint-Sauveur (86, Poitiers)

Batterie de 2.5 MW sur une centrale PV existante de 11 MW

Données Clefs Projet

- Propriétaire de la Centrale PV : Groupe Energies Vienne
- Taille de la Batterie : 2.5 MW
- Taille du PV : **11 MW** (PV en exploitation depuis 2018)
- Date de mise en service : Eté 2020



Client / Partenaire

- Projet mené en partenariat avec le Syndicat et Groupe Energies Vienne et ses filiales SERGIES, SOREGIES et SRD



Mennetou-sur-Cher et Gièvres (41, Vierzon)

1^{ères} Centrales Hybrides France continentale : PV = 8+18 MWc / Batterie = 4+8 MW

Données Clefs Projet

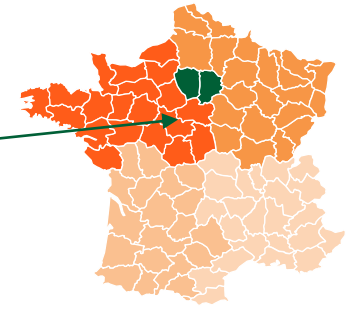
- **Modèle : Centrale Hybride PV + Batterie**
- Propriétaire du PV : ZEE et partenaires financiers
- Taille de la Batterie : **3,8+7,5 MW**
- Taille du PV : **8+18 MWc**
- PV Tarifé AO CRE 4.5
- Date de début d'exploitation : Q3 2022 / Q1 2023

Acteurs / Partenaires

Développement



Financement / Construction / Exploitation



Vert (40, Mont-de-Marsan)

Passage à l'échelle en hybride : PV = 78 MWc / Batterie = 15 MW

Données Clefs Projet

- **Modèle : Centrale Hybride PV + Batterie**
- Propriétaire du PV : ZEE et partenaires financiers
- Taille de la Batterie : **15 MW**
- Taille du PV : **78 MWc**
- Date de début d'exploitation : Q1 2025

Acteurs / Partenaires

Co-développement

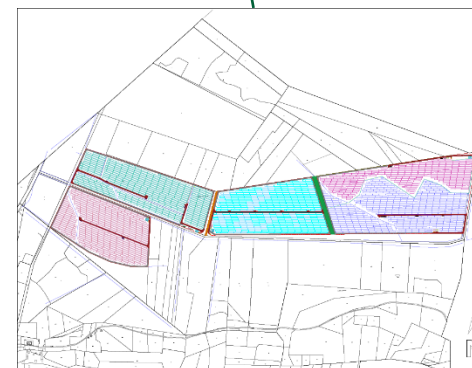
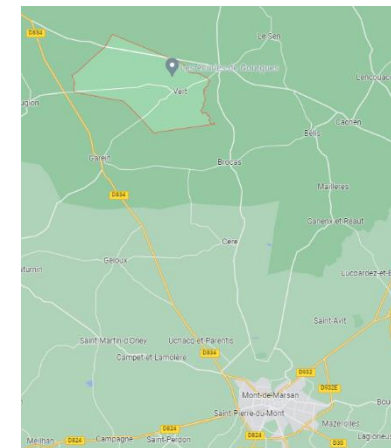
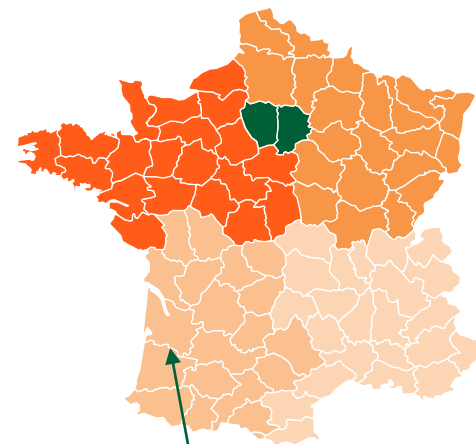


TERRE & WATTS

Zenergy

Financement / Construction / Exploitation

Zenergy



5 Batteries



Développement Europe

Monfalcone, Italie



- **Modèle : Batterie seule**
- **Projet lauréat AO Fast Reserve (Terna, décembre 2020)**
- **Taille de la Batterie : 10 MW**
- **Date de début d'exploitation : Q1 2024**
- **Dév / Financt / EPC / Explk ZGenergy**



Allemagne



- **Modèle : Hybride PV + Batterie**
- **Taille du PV : 4,4 MWc**
- **Taille de la Batterie : 7,5 MW**
- **Date de début d'exploitation : S1 2024**
- **Dév / Financt / EPC / Explk ZGenergy et partenaires**



ZEenergy



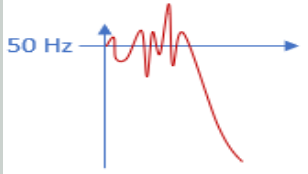



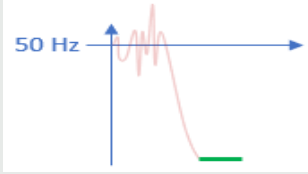



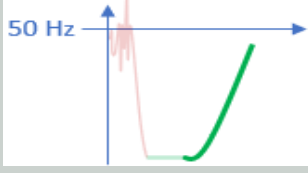



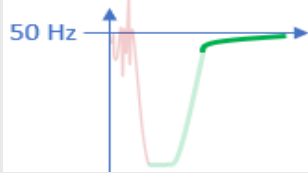

Valorisation Flexibilité



Responsabilité d'Equilibre

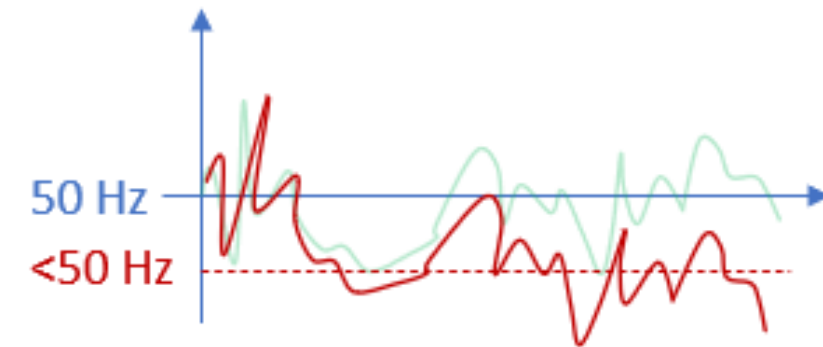
- Périmètre RTE
 - Ouvrages réseau
 - Equilibre offre / demande
- Equilibrage
 - Responsables d'équilibre sur le marché de gros :
 - Échéances : futures, day-ahead, intraday
 - Mécanismes : bourses, transactions bilatérales (“Over-The-Counter”)
 - Valeur ENERGIE (MWh)
 - Réserves opérées par RTE
 - Echéances : primaire (30s), secondaire (5min), tertiaire (15-30min)
 - Mécanismes : réservation, activation
 - Valeur CAPACITE (MW)

Valorisation capacitaire : hiérarchie des réserves

Réserve	Incident réseau	Analogie accident de la route
	  	
Primaire	<p>Fréquence</p>   	
Secondaire	<p>Signal GRT</p>   	
Tertiaire	<p>Activation GRT</p>   	

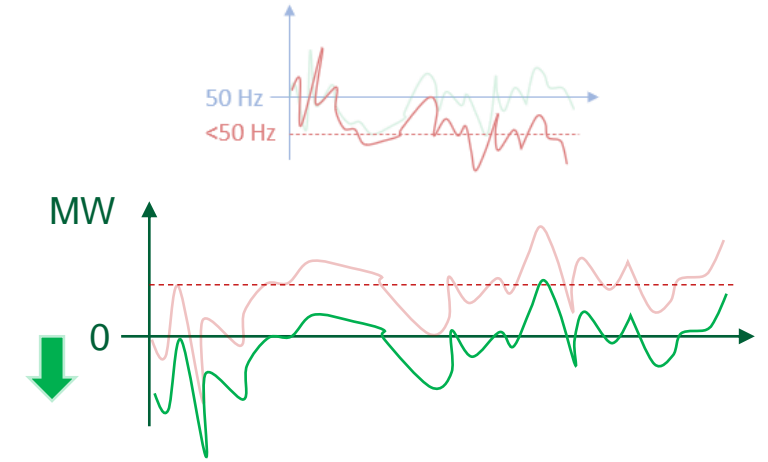
Valeur capacitaire : Réserve primaire (FCR) - cahier des charges

- Régulation :
 - Suivi de fréquence : $\Delta f \Rightarrow \Delta P$
 - $\Delta f \geq 200 \text{ mHz} \Rightarrow$ pleine puissance
 - 30 secondes de montée en charge
- Dérive de l'état de charge (SoC)
 - Moyenne $\Delta f=0$ sur plusieurs semaines, mais pas sur quelques heures
 - Risque d'épuisement / saturation de la batterie \Rightarrow défaillance de service \Rightarrow pénalités
 - Exemple batterie 1 MW/1 MWh
 - Moyenne horaire $\Delta f=0 \Rightarrow$ régulation permanente
 - Moyenne horaire $\Delta f=20 \text{ mHz} \Rightarrow$ batterie épuisée au bout de 10 heures
- Durée minimale à pleine puissance (TminLER)
 - Règles en vigueur : 15 min
 - Discussions en cours (ACER) pour augmenter à 30 min



Valeur capacitaire : réserve primaire (FCR) - dimensionnement

- Compensation dérive SoC
 - Régulation autour d'un point de fonctionnement non nul
 - Nécessite surplus de capacité de puissance
 - Usage : 10-25%



- Réserve T_{min}LER
 - Fonctionnement nominal autorisé uniquement dans bande blanche
 - Prise en compte du vieillissement batterie pour assurer la capacité dans le temps

Security	Security: 0,05 MWh	Security: 0,05 MWh	Security: 0,05 MWh
Alert: 15 min at full power	Alert: 0,25 MWh	Alert: 0,25 MWh	Alert: 0,16 MWh
Nominal operation: <i>SoC must stay within this band as long as system is not in alert/emergency state</i>	Nominal operation: 0,40 MWh	Nominal operation: 0,10 MWh	Nominal operation: 0,28 MWh
Alert: 15 min at full power	Alert: 0,25 MWh	Alert: 0,25 MWh	Alert: 0,16 MWh
Security	Security: 0,05 MWh	Security: 0,05 MWh	Security: 0,05 MWh

End of life: storage capacity reduced by 30%

FCR = 1 MW → FCR = 0,6 MW

Valeur capacitaire : réserve secondaire (aFRR)

• France

- Marché en cours d'ouverture
- Suspension en cours à l'initiative de la CRE
 - **RISQUE REGLEMENTAIRE !**
- Mêmes principes que FCR
 - Régulation selon signal GRT, montée en charge 5 minutes
 - Possibilité de régulation asymétrique : intérêt économique à privilégier la hausse (injection)

• Exigence supplémentaire sur gestion du SoC

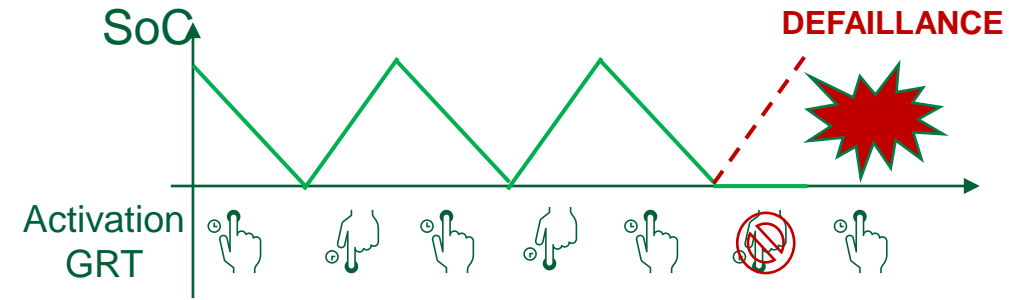
- Changement de point de fonctionnement à déclarer au GRT avec 2 heures de prévenance
- Conséquence : exigence de 2 heures de réserve => impact dimensionnement



Valeur énergie : réserve tertiaire (mFRR, RR, AOflex)

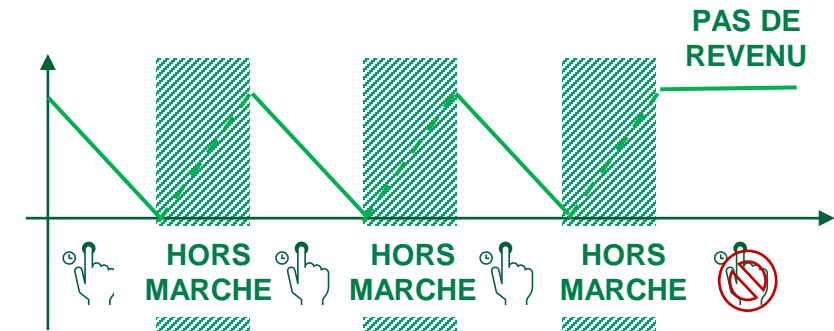
• Réserve pour activations longues

- 15-120 minutes via le MA
- Impact significatif sur le SoC
- Point de fonctionnement imposé
- mFRR : réactivité 15 minutes
- RR : réactivité 30 minutes
- AOflex : réactivité 10 secondes pour congestion locale



• Gestion du SoC

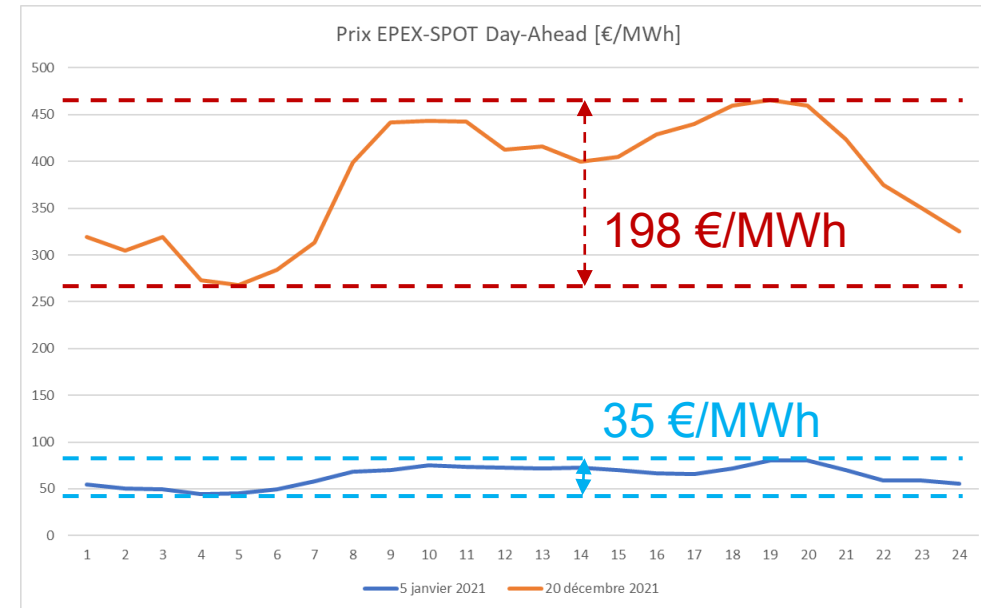
- Offres alternant hausse (injection) et baisse (soutirage)
- Mais activation à la main du GRT
- **Compromis désoptimisation planning vs risque défaillance sur le service réservé**
 - Batterie saturée ou épuisée et indisponible pour le GRT



• Equilibre coût / bénéfice pas évident aujourd'hui

Valeur énergie : marché de gros

- Capture spread de prix
 - Charge / soutirage à prix bas (nuit)
 - Décharge / injection à prix élevé (soir)
 - Possible à l'échelle de quelques heures/jours, mais pas au-delà
 - Décharge naturelle de la batterie
- Gain limité par
 - coût de soutirage
 - tarif d'acheminement (TURPE) : 20-30 €/MWh
 - cyclage batterie
 - 1 cycle par jour sur la courbe de prix
 - Impact vieillissement
- Equilibre coût / bénéfice pas évident aujourd'hui
 - optimisation ou opportunité ponctuelle



Accès marché

- Granularité d'offre
 - Réserves : 1 MW
 - Marché de gros : 0,1 MW
- Les actifs de petite taille doivent être agrégés au sein d'un portefeuille pour accéder au marché

ZEenergy

Enjeux réglementaires



Un cadre réglementaire qui s'adapte...

- Objet « Stockage » défini dans les règles marché (RTE)
- Intégration de la flexibilité dans le processus raccordement :
 - dimensionnement optimal (RTE), Reflex (Enedis)
 - ORO articulées avec SSYf (RTE), ORI (Enedis)
- Schéma de comptage standard inclus dans la DTR (Enedis)
 - adaptation des flux opérationnels
- Empreinte rampe de puissance RPD calée sur activation statistique FCR (Enedis)
- Certification SSYf sur sous-télémessure (RTE)
 - contre démonstration d'absence de contre-réglage
- Prise en compte du Stockage dans la planification long-terme du système
 - BP (RTE), PPE (DGEC)

... mais qui reste à compléter.

- **Incitation des producteurs à économiser le réseau**
 - maximisation MWh injectés / MW raccordés
- **Responsabilisation des producteurs** à poursuivre dans le cadre des ORO/ORI
 - Pas d'interdiction systématique d'accès au marché (ex. : FCR en nuit sur les zones PV)
- Désalignement exigences sécurité incendie vs pays UE voisins
 - Bridage compétitivité filière FR
- Pas d'objet « Hybride » dans le cadre en vigueur
 - articulation raccordement vs option de bridage par le producteur/stockeur
 - couplage EnR – Stockage en DC, pour économiser les pertes de conversion
 - déjà en vigueur à l'étranger (USA, Allemagne)
- Pas de relais de croissance pour pallier saturation FCR
 - pas d'engagement CRE sur réouverture AO aFRR
- TURPE : taxation de l'intégralité de l'énergie soutirée par les batteries
 - à restreindre aux pertes (cf. Italie, Allemagne)

ZEenergy

Merci pour votre attention.

