



Stockage de l'électricité : enjeux et perspectives (dont Hydrogène)

Réunion-débat organisée par le Groupe régional Rhône-Ain-Loire de la SFEN : 10 avril 2019
Etienne Brière, Directeur des Programmes R&D ENR, Stockage, Hydrogène et Environnement

Un objectif : décarboner l'économie, 3 chiffres

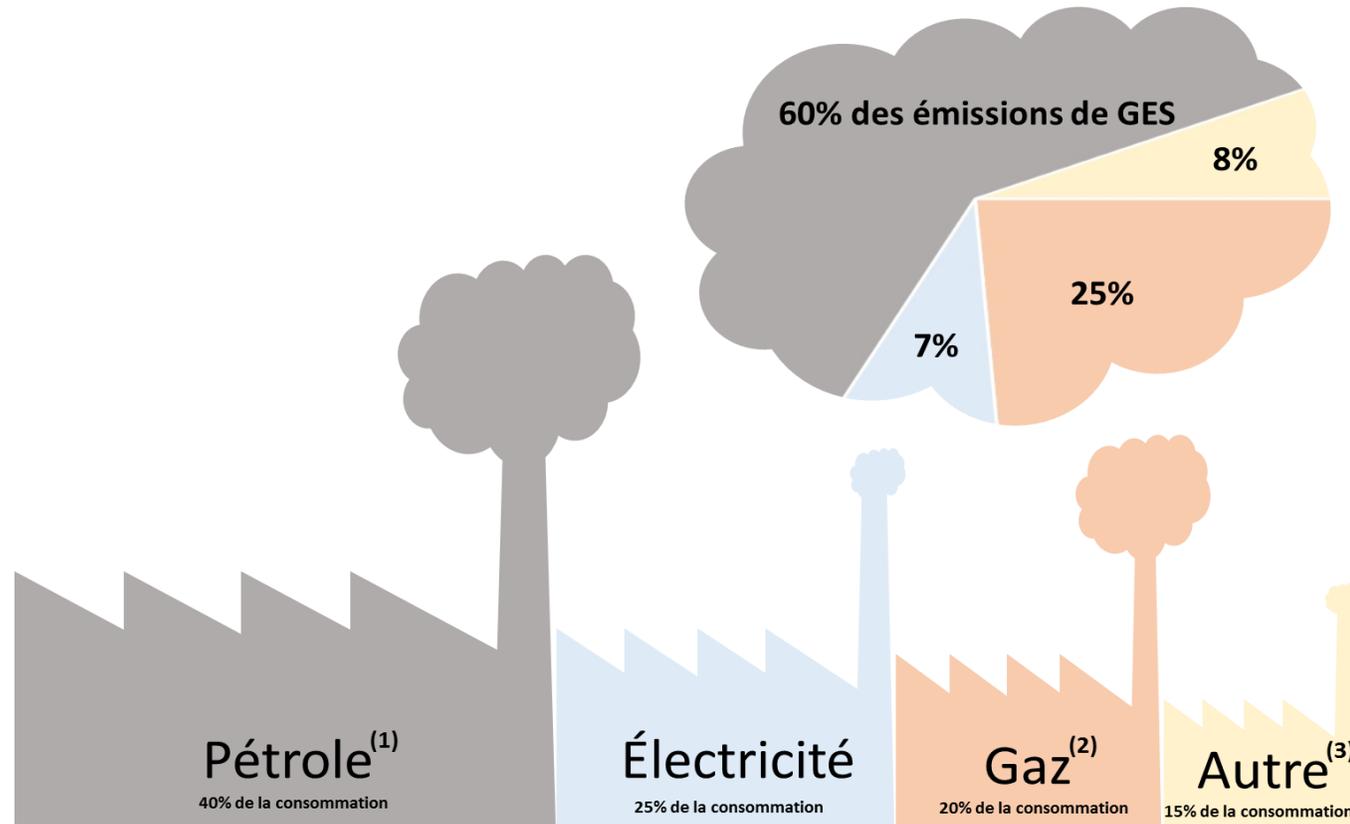
40 g CO2 par kWh pour l'électricité en France (17 g : facteur carbone du kWh produit par EDF SA en 2018 (émissions directes de CO2 d'EDF en France continentale, en Corse et en Outre-Mer))

240 g CO2 par kWh of pour de la chaleur produite par combustion de gaz

270 g CO2 par kWh of pour de la chaleur produite par combustion de fuel

Le challenge de la décarbonation de l'économie française

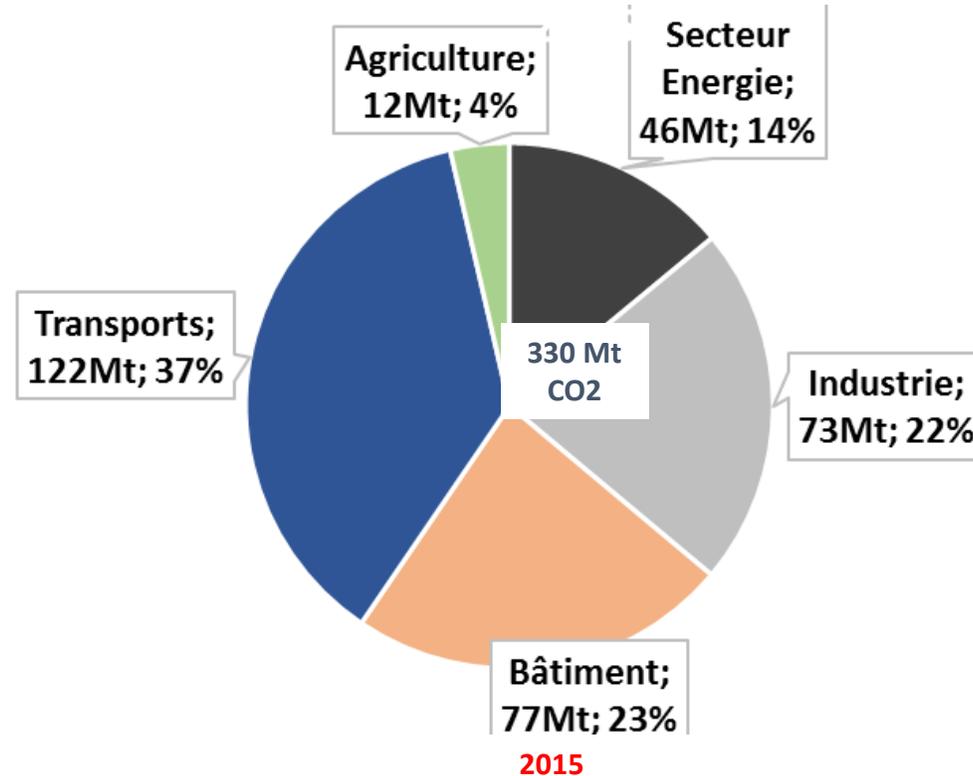
190 g CO2 par kWh en énergie finale



Source: Year 2015 Calculation from CITEPA data for CO2 emissions data SOeS for energy consumption

Le challenge de la décarbonation de l'économie française

190 g CO₂ per kWh en énergie finale



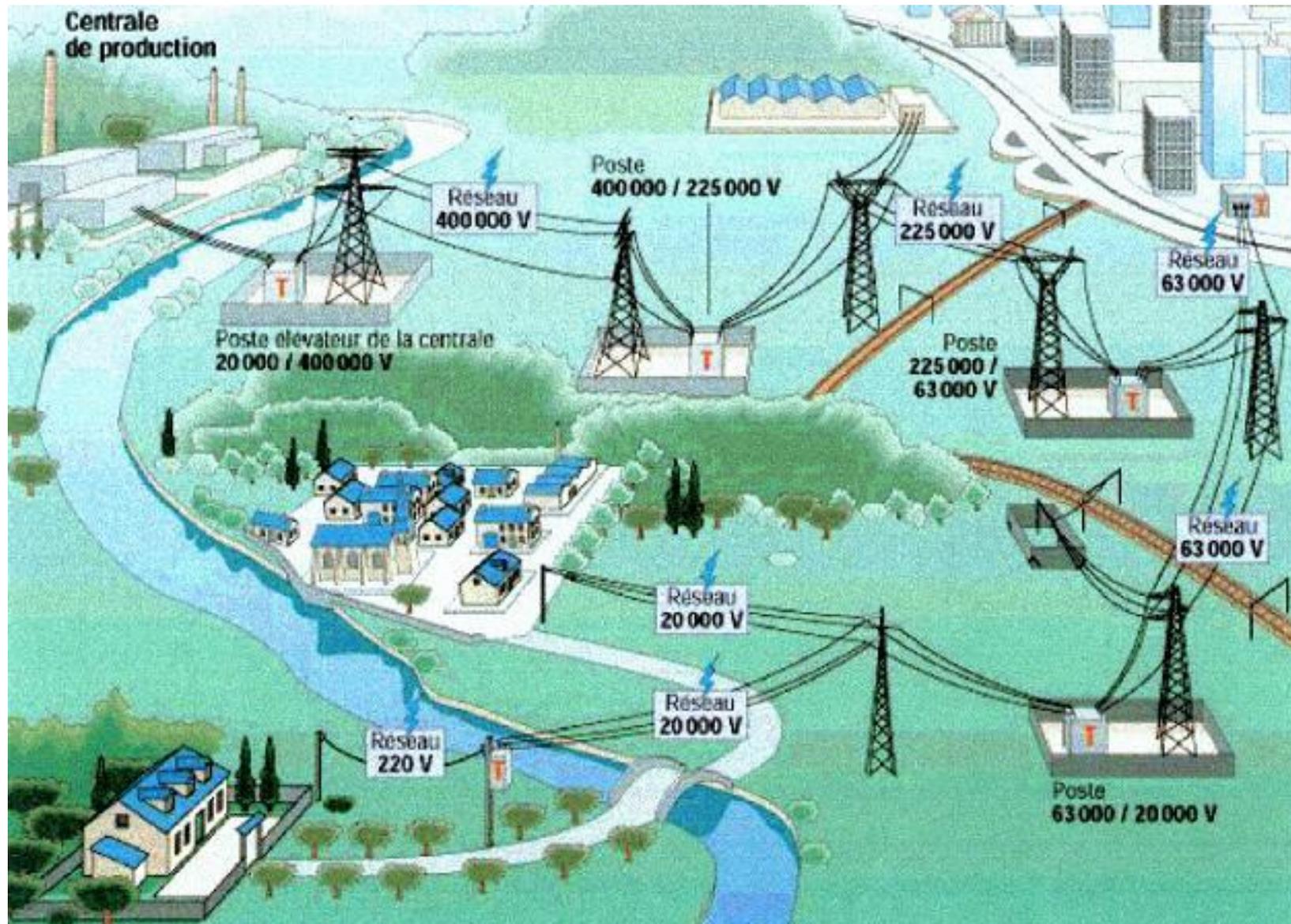
The most issuers uses CO₂:

- light vehicles (~ 30%),
- heating (~ 20%),
- combustion in industry (~ 16%),
- heavy weight (~ 10%).

- The reduction in CO₂ emissions is mainly based on the decarbonisation sectors transports and of the building.

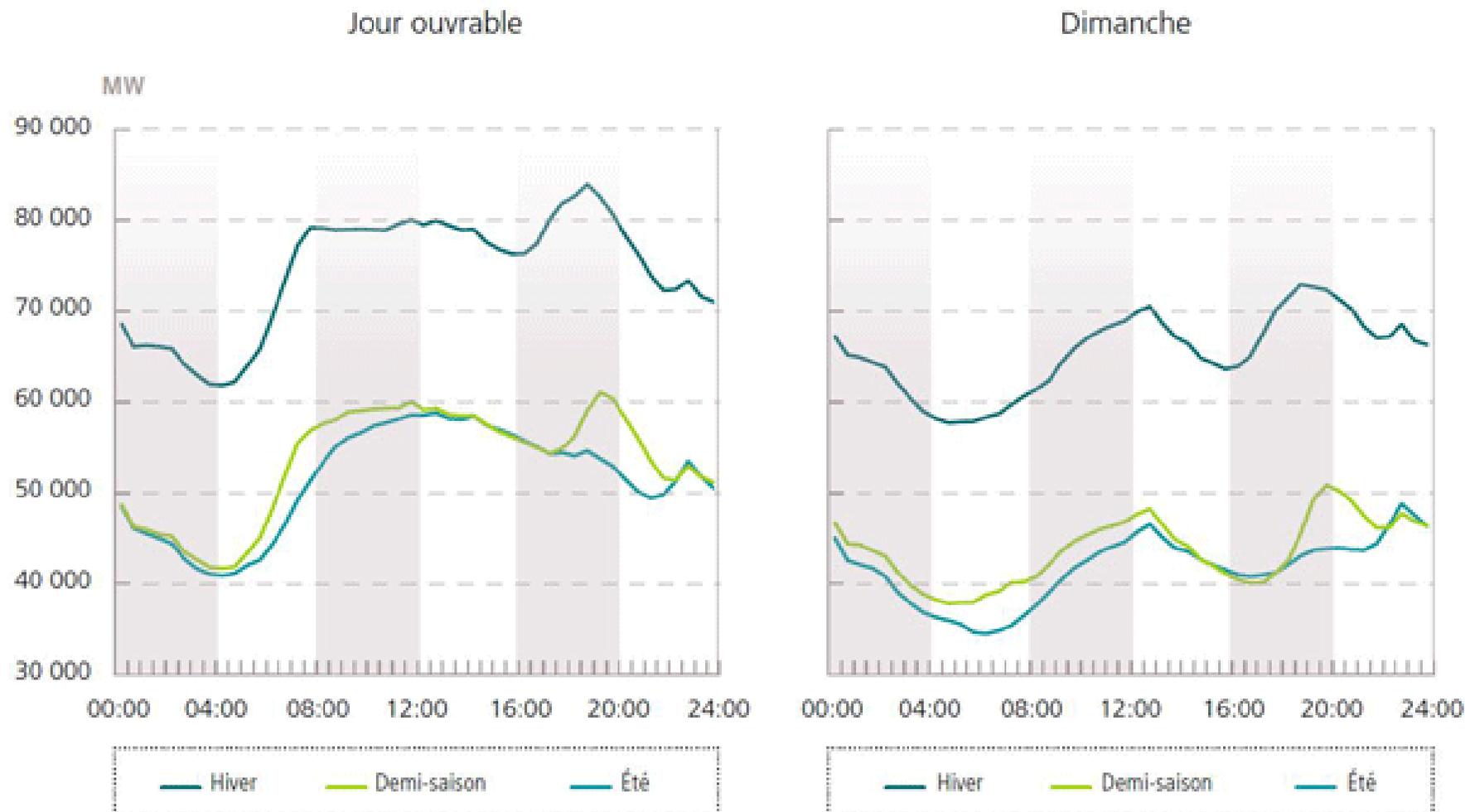
Source: Year 2015 Calculation from CITEPA data for CO₂ emissions data SOeS for energy consumption

L'électricité – les systèmes électriques



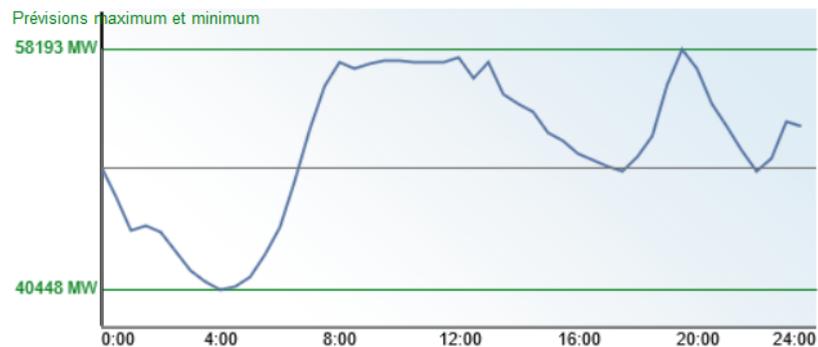
L'électricité – courbe de charge journalière

RTE : courbe de charge prévisionnelle du 11/01/2017 (RTE-éCO2mix)



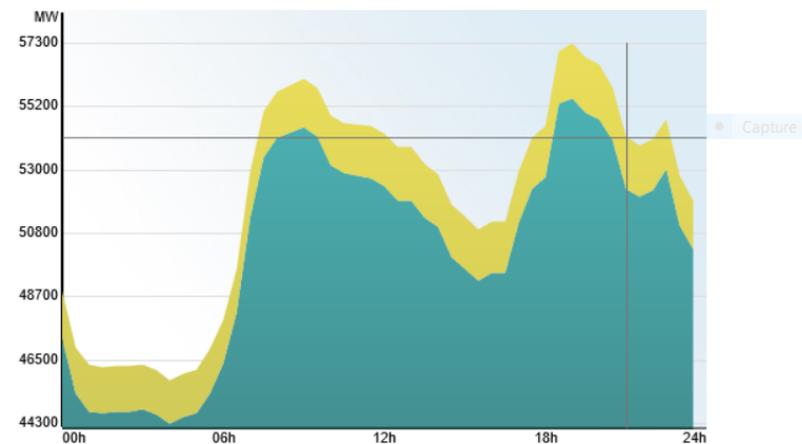
Prévisions RTE (www.rte.com)

Prévision de charge pour la journée du 23/10/2018



Caractéristiques		Valeurs instantanées	
Date des données :	23/10/2018	Heure :	0:00
Prévision minimum :	40448 MW	■ Prévision :	49578 MW
Prévision maximum :	58193 MW		

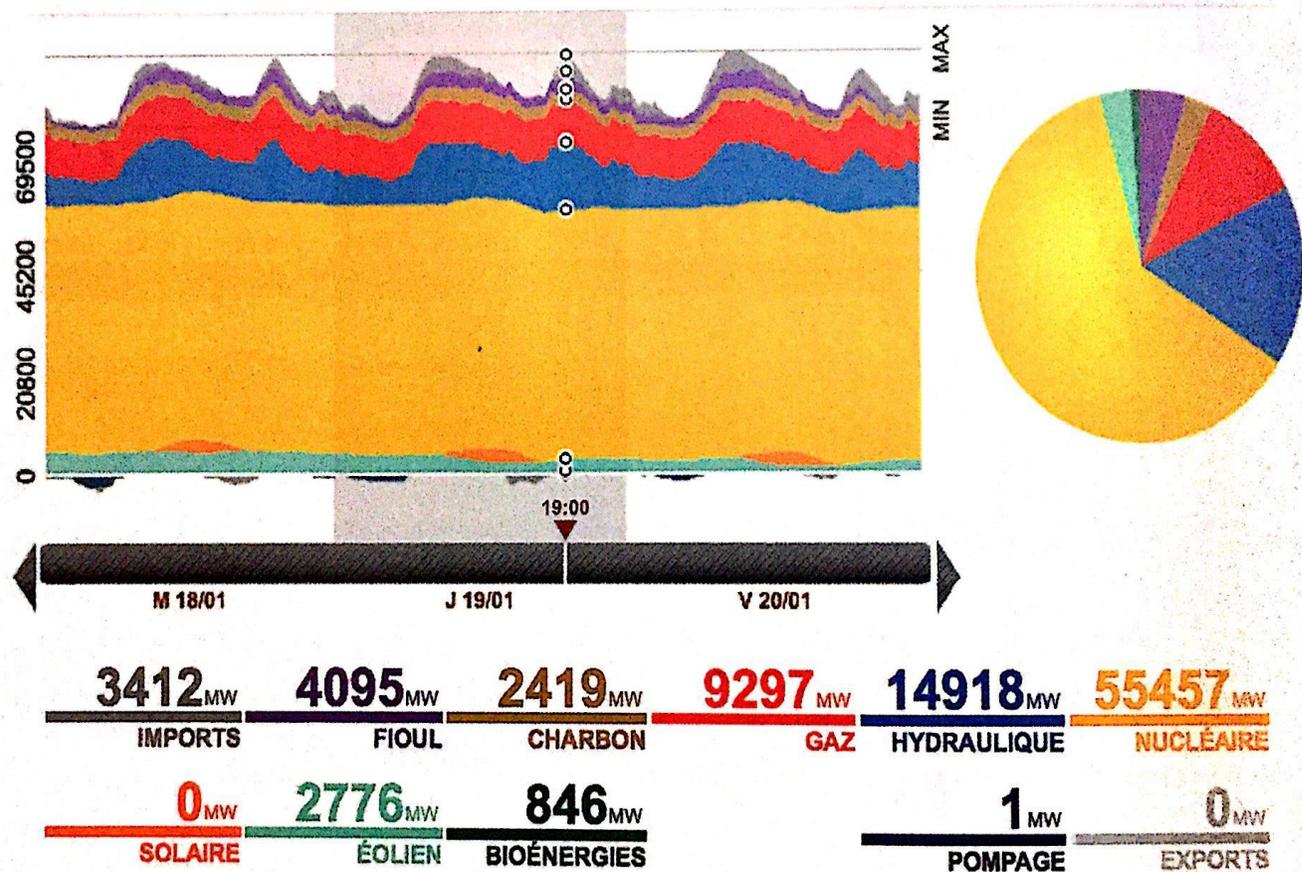
Choisir une autre date :



Prévision de production pour le lendemain	
Prévision pour le 22/10/2018 : 21h00-21h30	
■ Prévision de production des moyens programmables	52348 MW
■ Prévision de production des moyens dits "fatals"	1773 MW

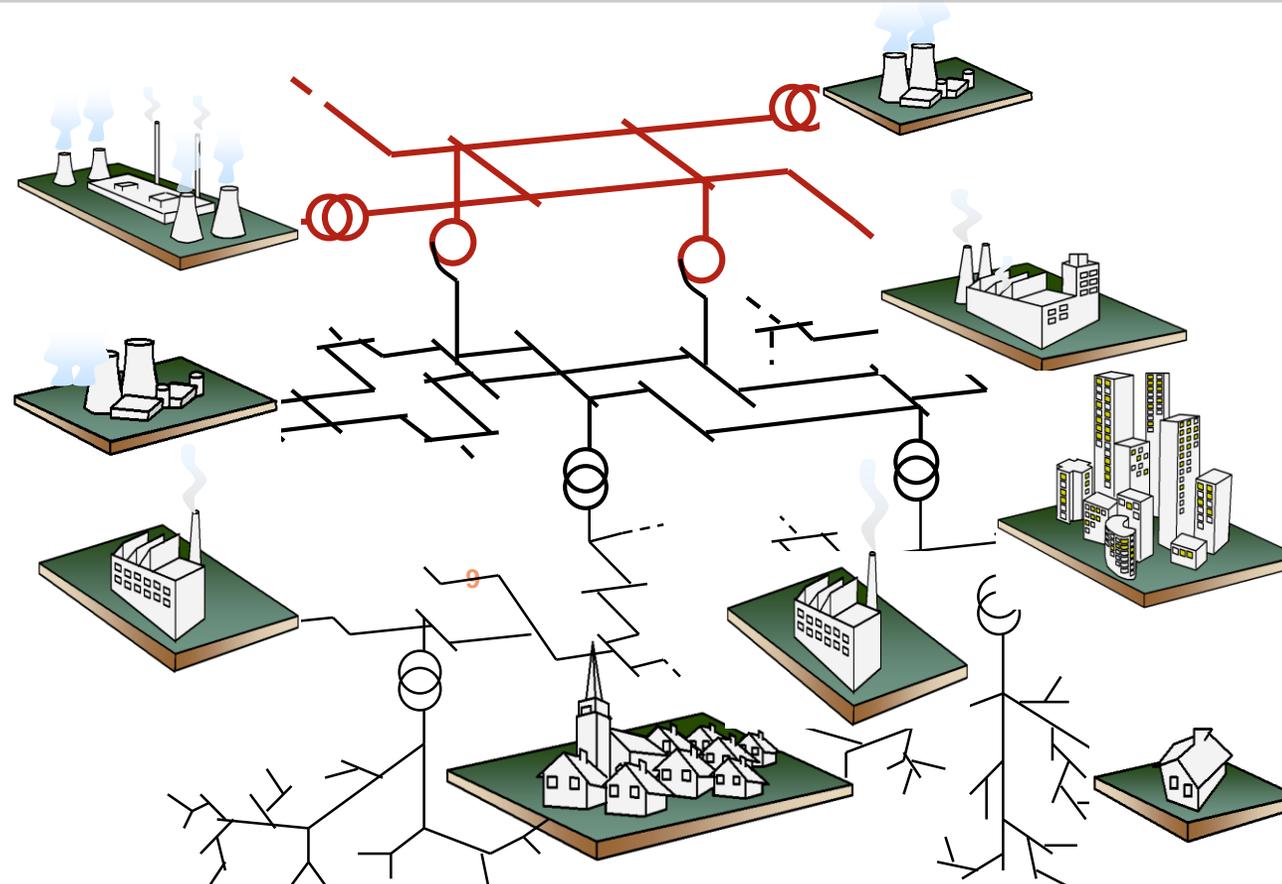
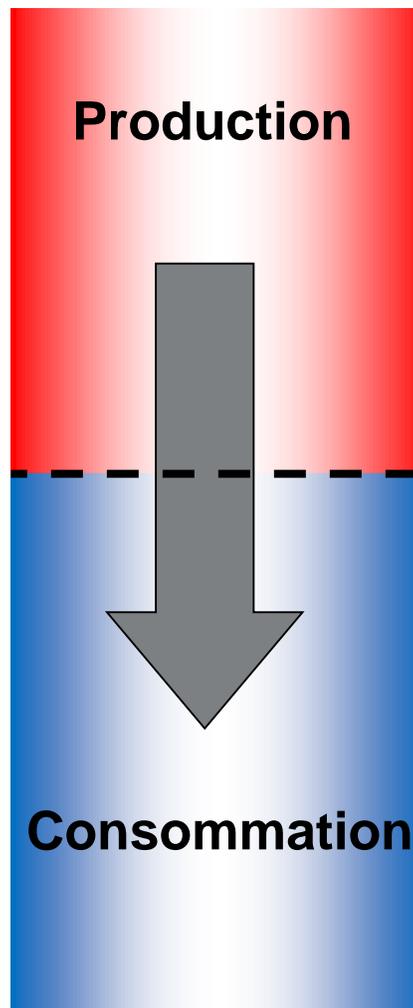
Electricité - Comment est assurée la pointe de consommation

Détail par filière de la production d'électricité française pour la période du mercredi 18 janvier 2017 au vendredi 20 janvier 2017 (données temps réel).
www.rte-france.com/fr/eco2mix



L'électricité – les systèmes électriques, les réseaux actuels

Réseaux maillés : Distribution de la surveillance.
Protections et disjoncteurs au sein du réseau



Réseaux HTA et BT : Agences de conduite régionales,
protections et disjoncteurs aux postes sources, fusibles
pour le réseau Basse Tension

T
H
T

H
T

H
T
A

B
T

Développement des Énergies Renouvelables

PV Résidentiel



Eolien terrestre



Ferme PV au sol



Eolien flottant

Solaire Thermodynamique



Solaire Thermodynamique



Géoelectricité



Hydraulique



Hydraulique



Hydraulique



EMR : Houlomoteur



EMR : Hydrolien



EMR : Hydrolien

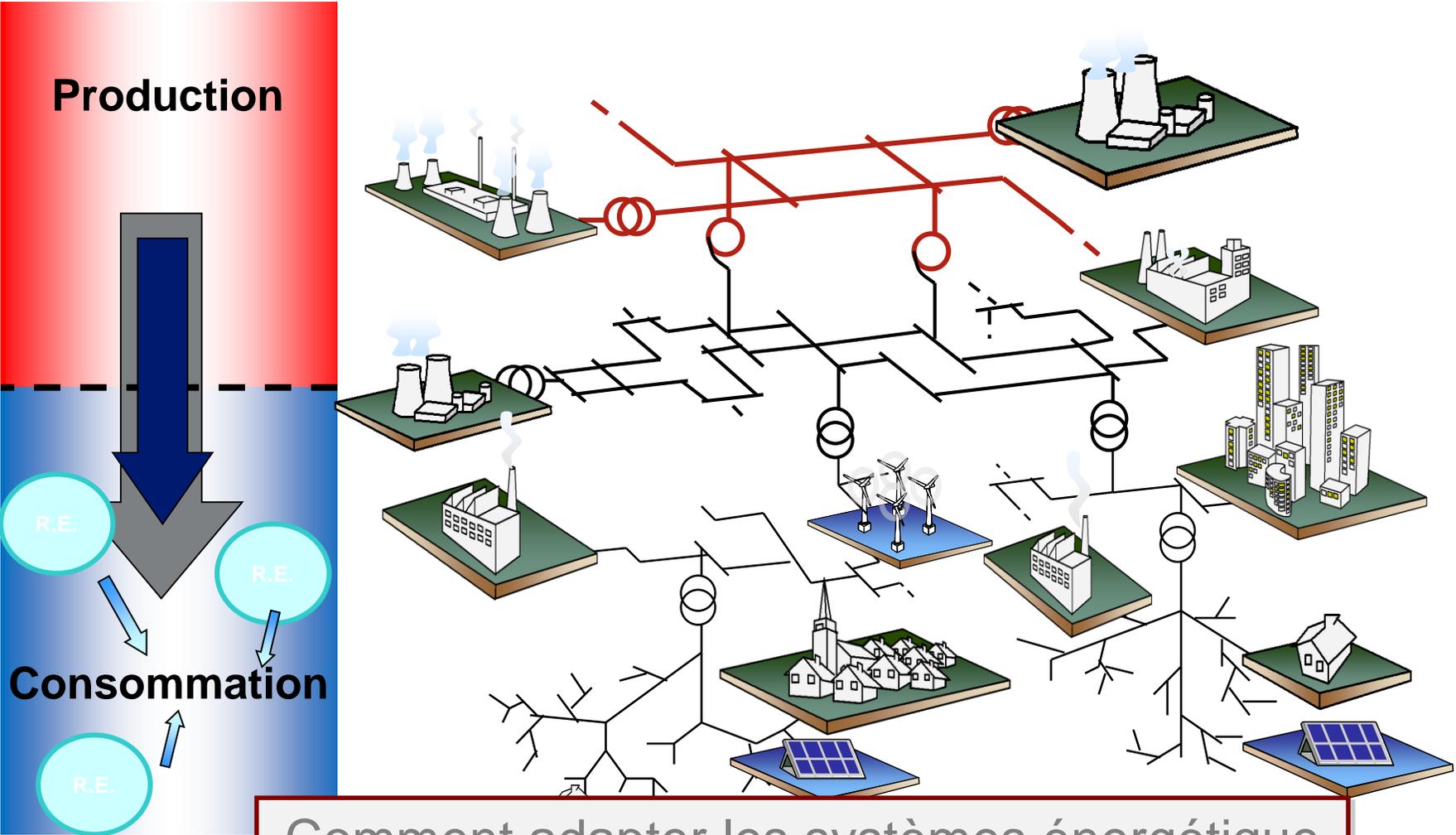


EMR : Houlomoteur



Bioélectricité

L'électricité – les systèmes électriques, les smart grids

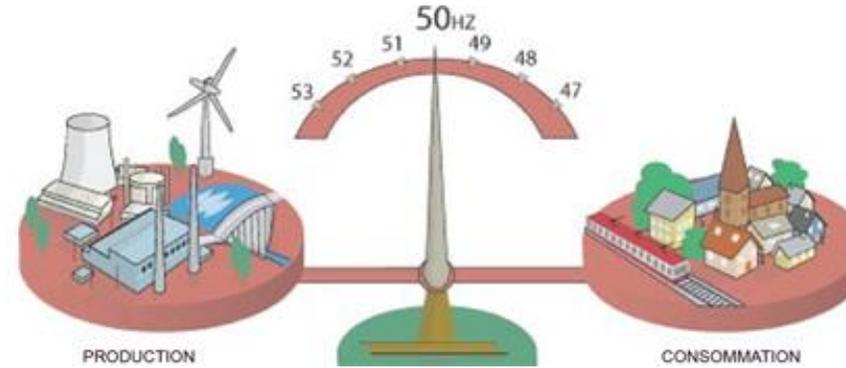


Comment adapter les systèmes énergétique et les infrastructures sous jacentes à l'arrivée des énergies réparties ?

Equilibre d'un système électrique

Côté offre :

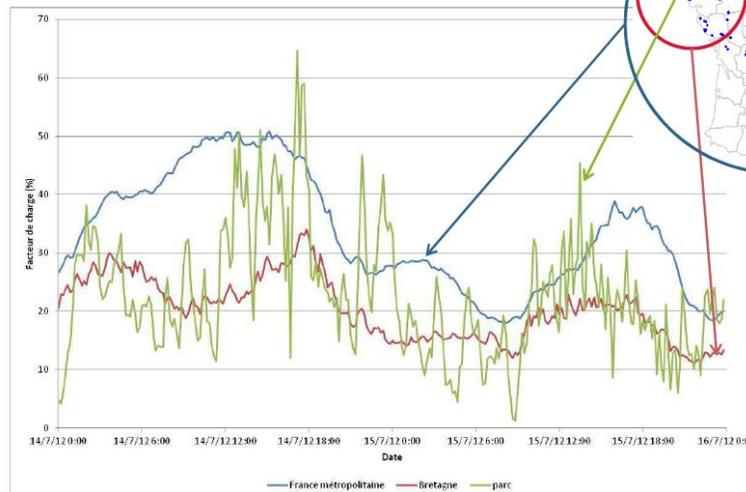
- Perte d'un groupe
- Perte d'une ligne d'évacuation
- Aléa d'apport hydraulique (précipitations, ...)
- Aléa de production éolienne ou PV



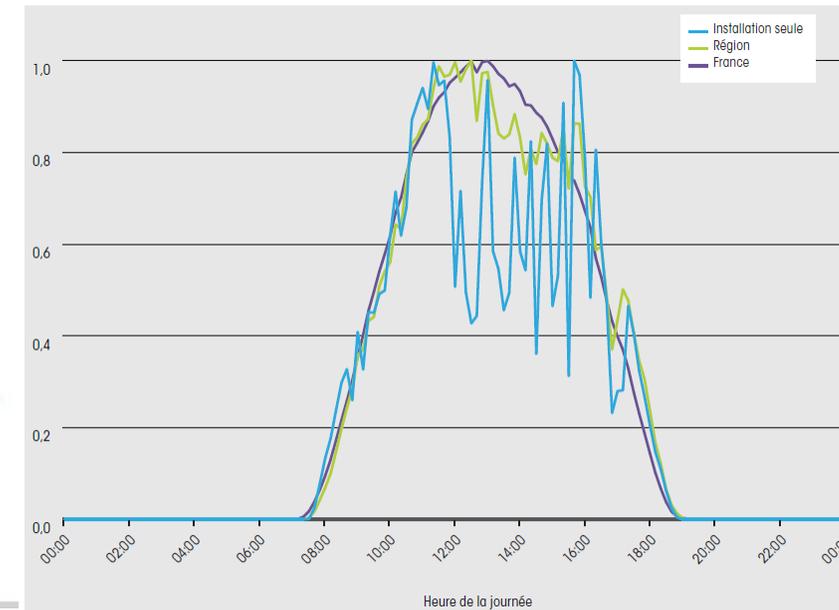
Côté demande :

- Thermo-sensibilité de la consommation
- Dépendance à la nébulosité, au vent
- Conjonture économique
- ...

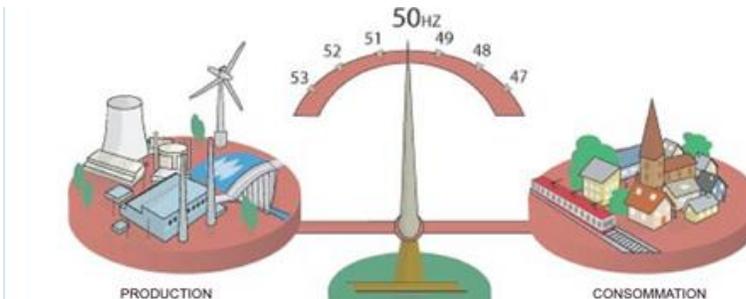
Grace aux différents climats et à la répartition géographique, les variations de production sont « dans l'ensemble » lissées (comparées à l'échelle locale)



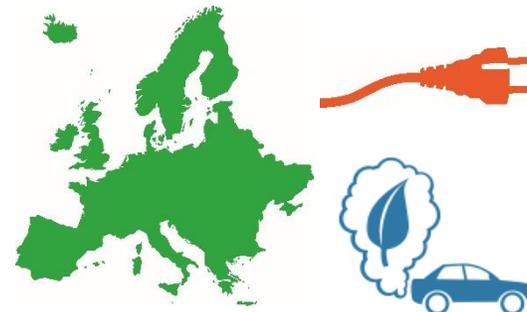
Aussi bien pour la production éolienne...



DIFFÉRENTS LEVIERS POUR AUGMENTER LA PART D'ENR DANS LE SYSTÈME ELECTRIQUE



Hausse des débouchés
interconnexions
électrification

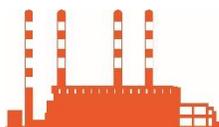


Déplacement de la demande



Flexibilité des moyens de production hydraulique

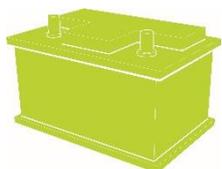
Manœuvrabilité des tranches nucléaires



Manœuvrabilité et Backup du thermique à flamme

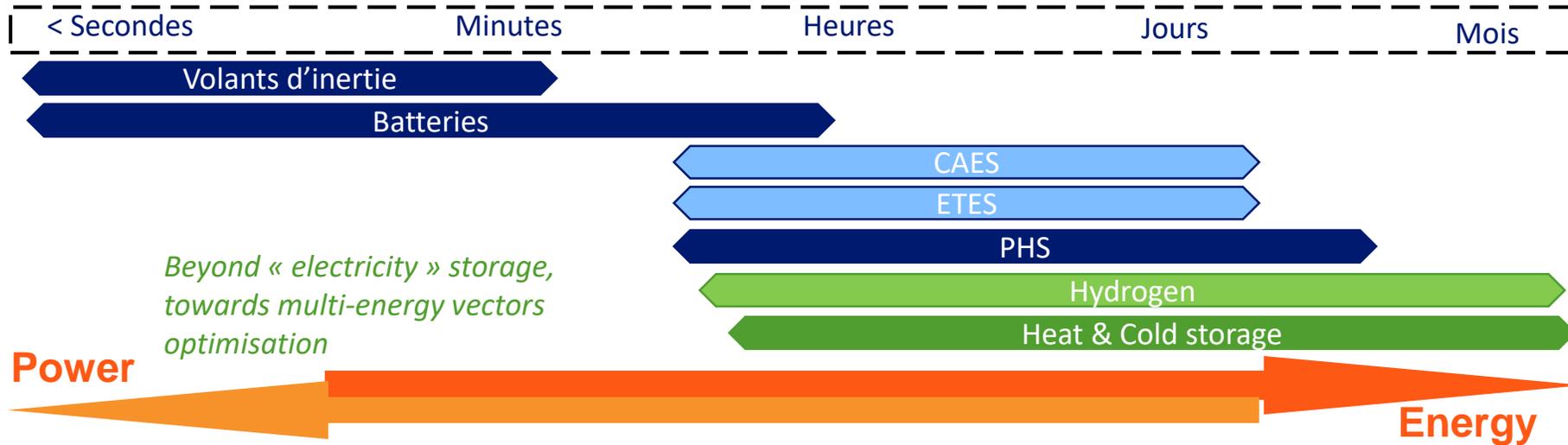


Ecrêtement des EnR

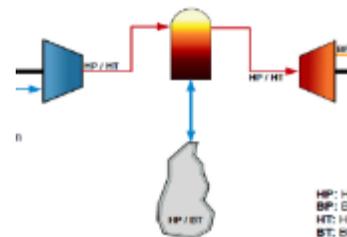


Stockage

Des technologies complémentaires et / Ou concurrentes

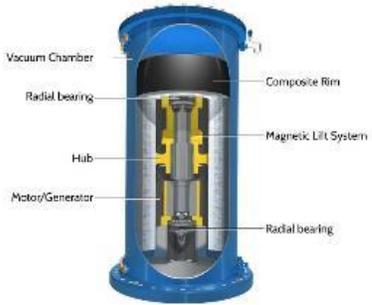


Volants d'inertie Batteries Air comprimé Pompage



Services / Technologies pour les systèmes électriques

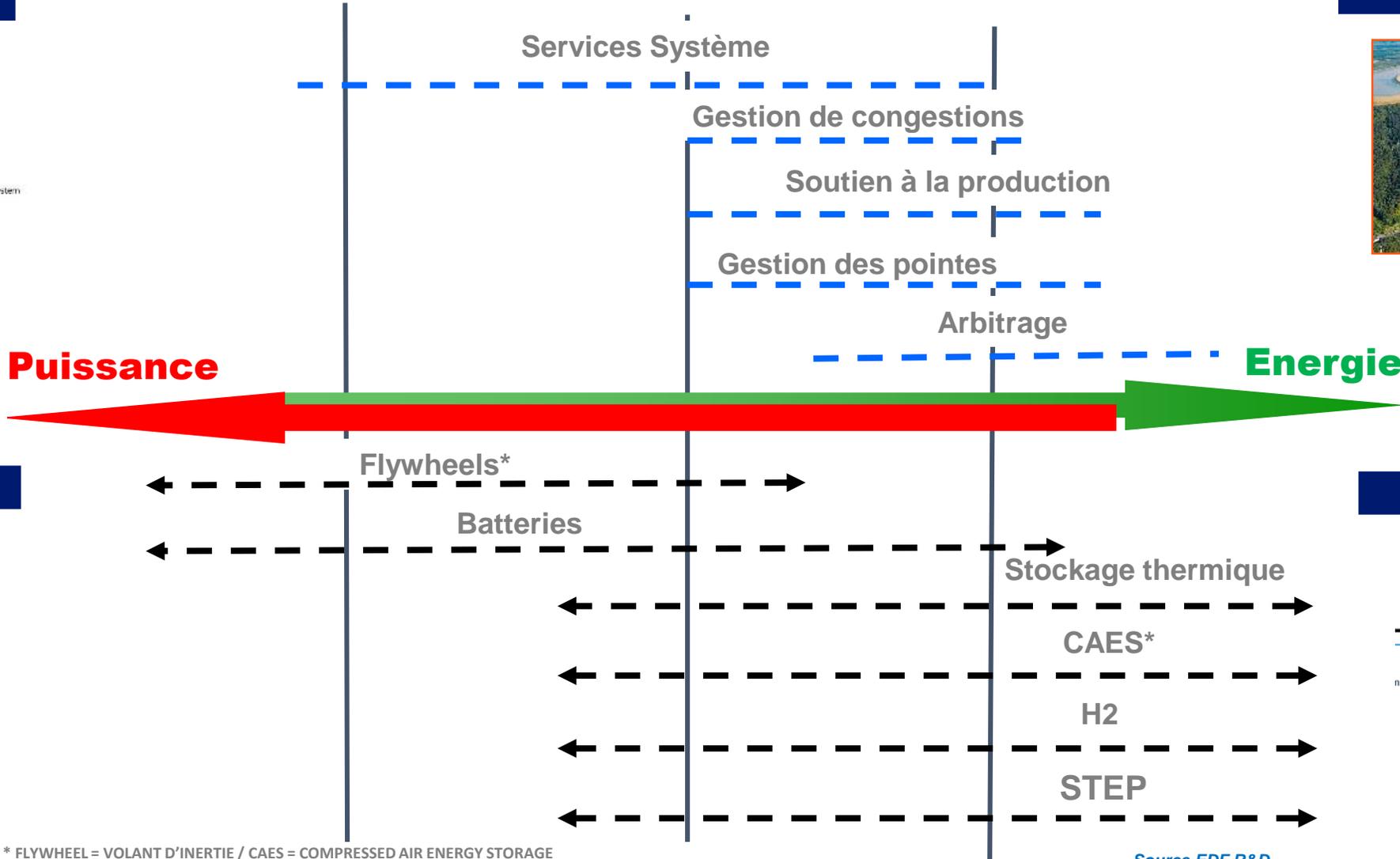
Volants d'inertie



Pompage



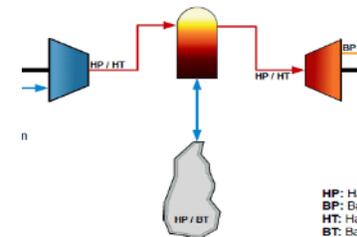
< Secondes Secondes Minutes Heures



Batteries



Air comprimé

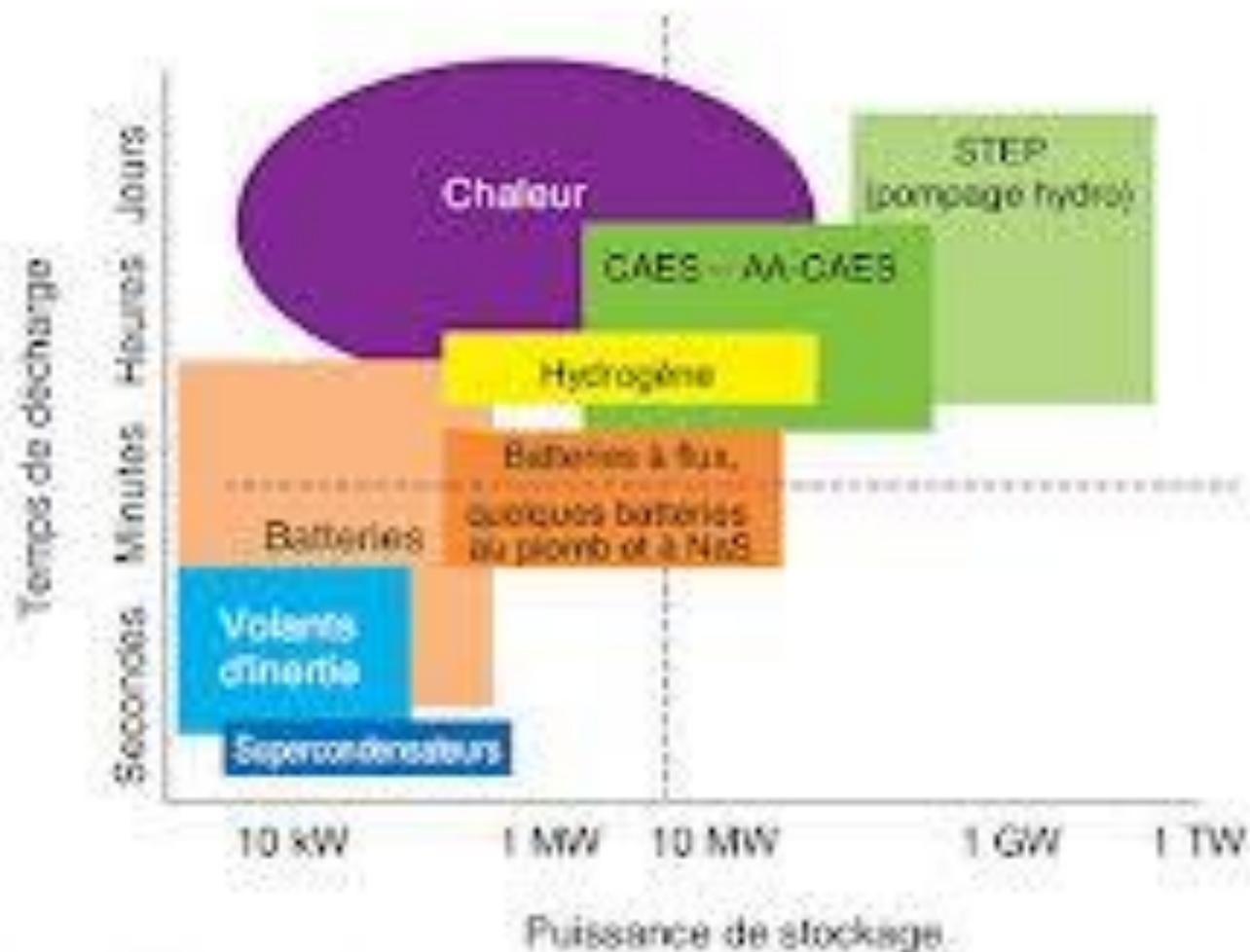


* FLYWHEEL = VOLANT D'INERTIE / CAES = COMPRESSED AIR ENERGY STORAGE

Source EDF R&D

Stockage de l'électricité

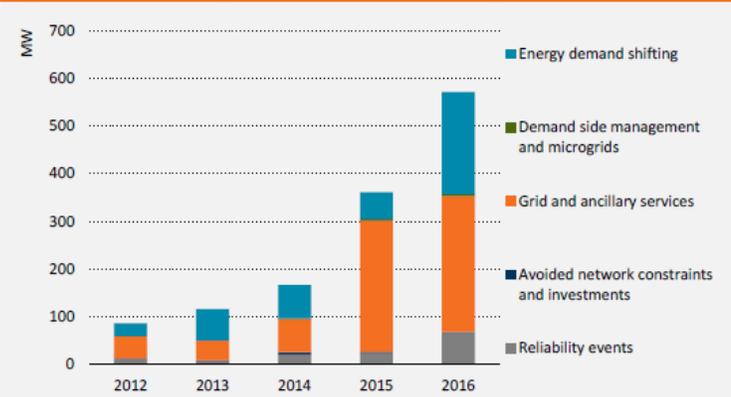
Les différentes technologies de stockage en fonction de leur puissance et du temps de décharge (autonomie)



Source : IFPEN d'après diverses sources

Le stockage est déjà une réalité : 96% de STEP, et un essor des batteries depuis 2015

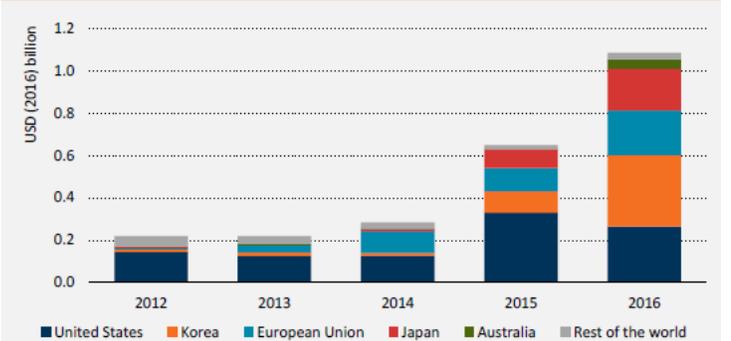
Figure 2.18 Main applications of world battery storage investment



The expansion of grid-scale batteries, which are used mainly for frequency regulation and demand shifting, will hinge on policies to reward additional capacity, flexibility and avoided grid cost services.

Source: Calculations based on DOE (2017) Global Energy Storage Database.

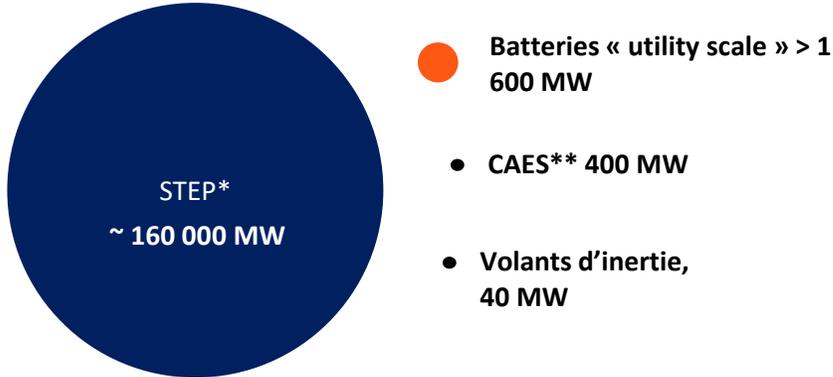
Figure 1.23 Investment in battery storage by region



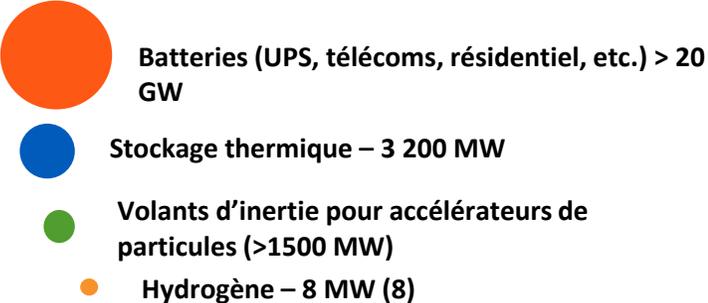
Spending on battery storage is surging around the world as costs fall, though it remains small compared to other forms of network spending.

Source: Calculations based on US DOE (2017), Global Energy Storage Database.

Capacités de stockage « utility scale » dans le monde à fin 2016



Autres stockages (estimations incertaines, fin 2016)

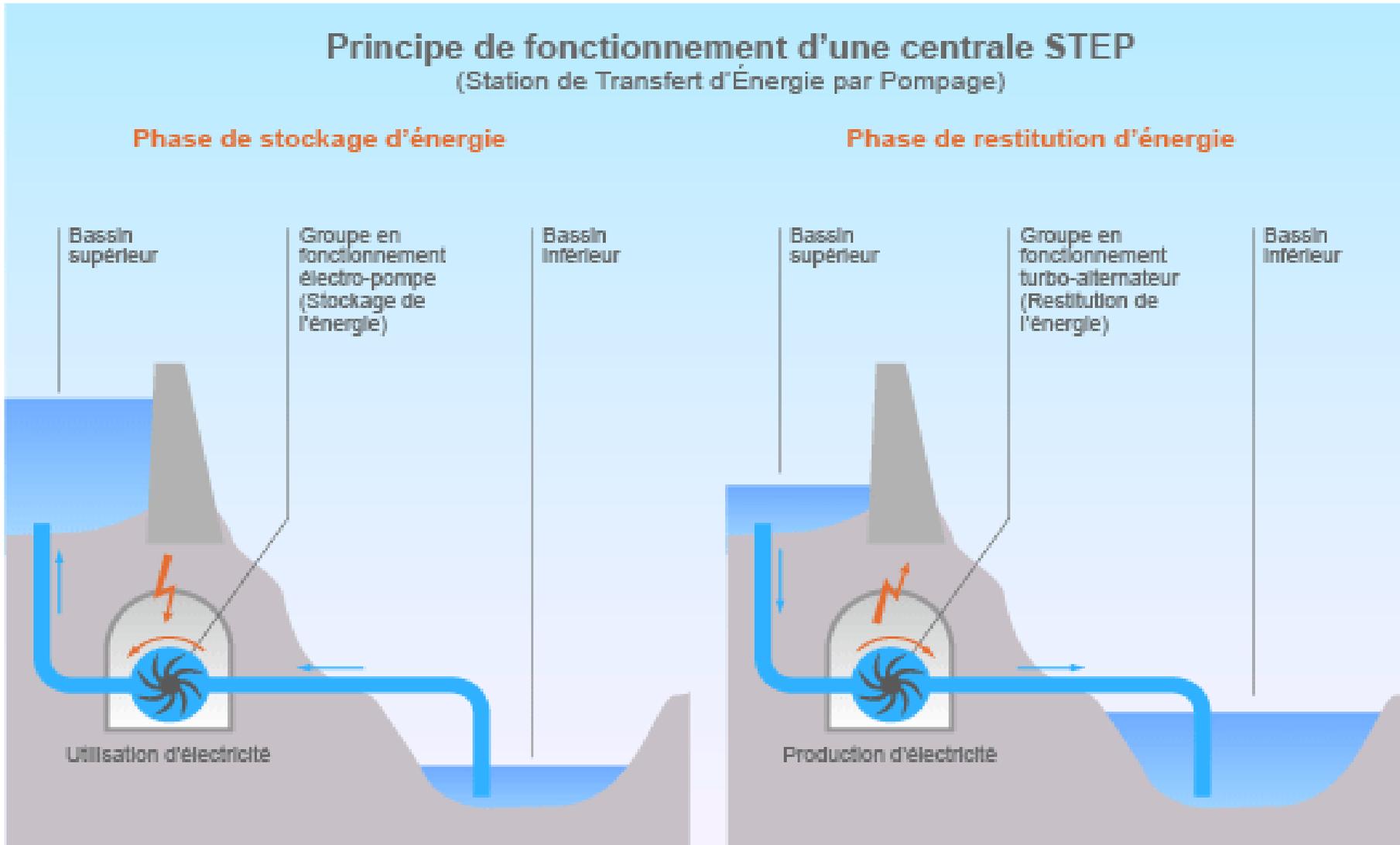


* STEP : Station de Transfert d'Énergie par Pompage

** CAES : Compressed Air Energy Storage



Les stations de transfert d'énergie par pompage (STEP)





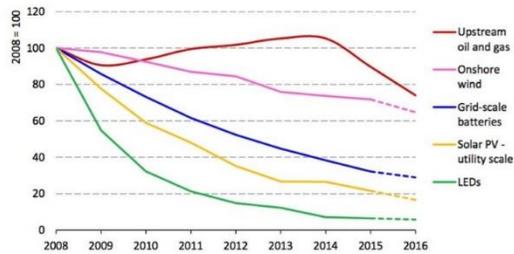
FOCUS BATTERIES



BATTERIES : L'HISTOIRE S'ACCELERE ?

La dynamique de baisse des coûts des batteries est presque aussi rapide que celle du photovoltaïque

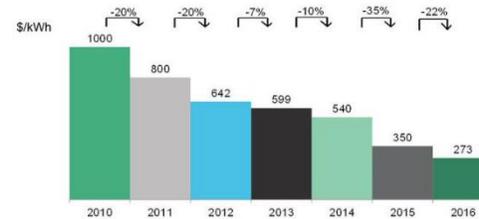
Cost developments across the energy spectrum



iea.org/investment

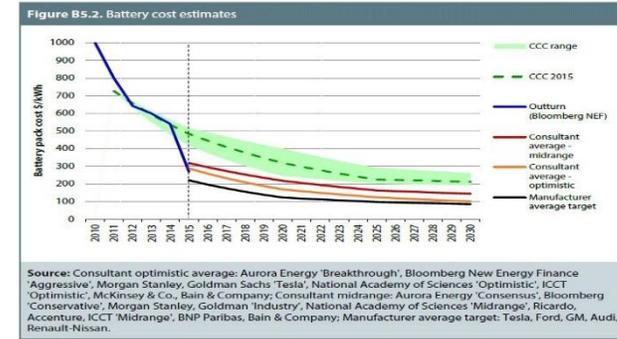
La baisse s'est accélérée ces deux dernières années

BNEF lithium-ion battery price survey, 2010-16 (\$/kWh)



Note: This includes cells plus pack prices
Source: Bloomberg New Energy Finance

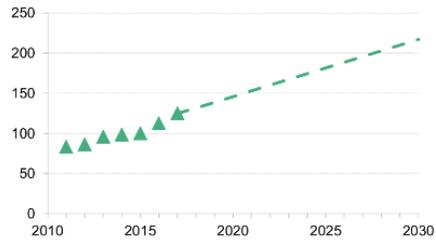
Les projections ont été récemment réajustées à la baisse (exemple du Climat Change Council anglais)



Source: Consultant optimistic average: Aurora Energy 'Breakthrough', Bloomberg New Energy Finance 'Aggressive', Morgan Stanley, Goldman Sachs 'Tesla', National Academy of Sciences 'Optimistic', ICCT 'Optimistic', McKinsey & Co., Bain & Company; Consultant midrange: Aurora Energy 'Consensus', Bloomberg 'Conservative', Morgan Stanley, Goldman 'Industry', National Academy of Sciences 'Midrange', Ricardo, Accenture, ICCT 'Midrange', BNP Paribas, Bain & Company; Manufacturer average target: Tesla, Ford, GM, Audi, Renault-Nissan.

Cela est dû à des progrès sur la densité des cellules et des packs ...

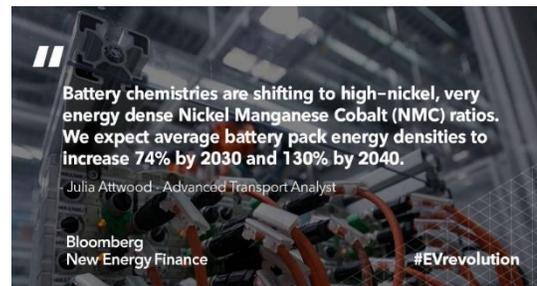
Battery energy density, 2011-2030 (Wh/kg)



Symbols denote observed values, the dashed line is our forecast. For further notes on the figure, see slide 3 in the Research Note

Bloomberg New Energy Finance

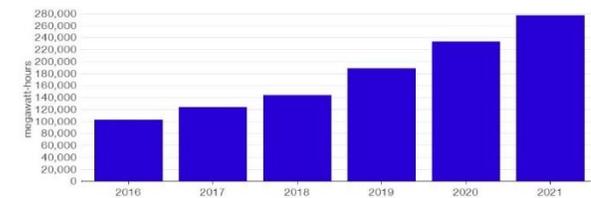
... qui vont se poursuivre grâce aux innovations incrémentales.



Et c'est dû à une industrialisation croissante, avec de forts investissements asiatiques et américains

Battery Boom

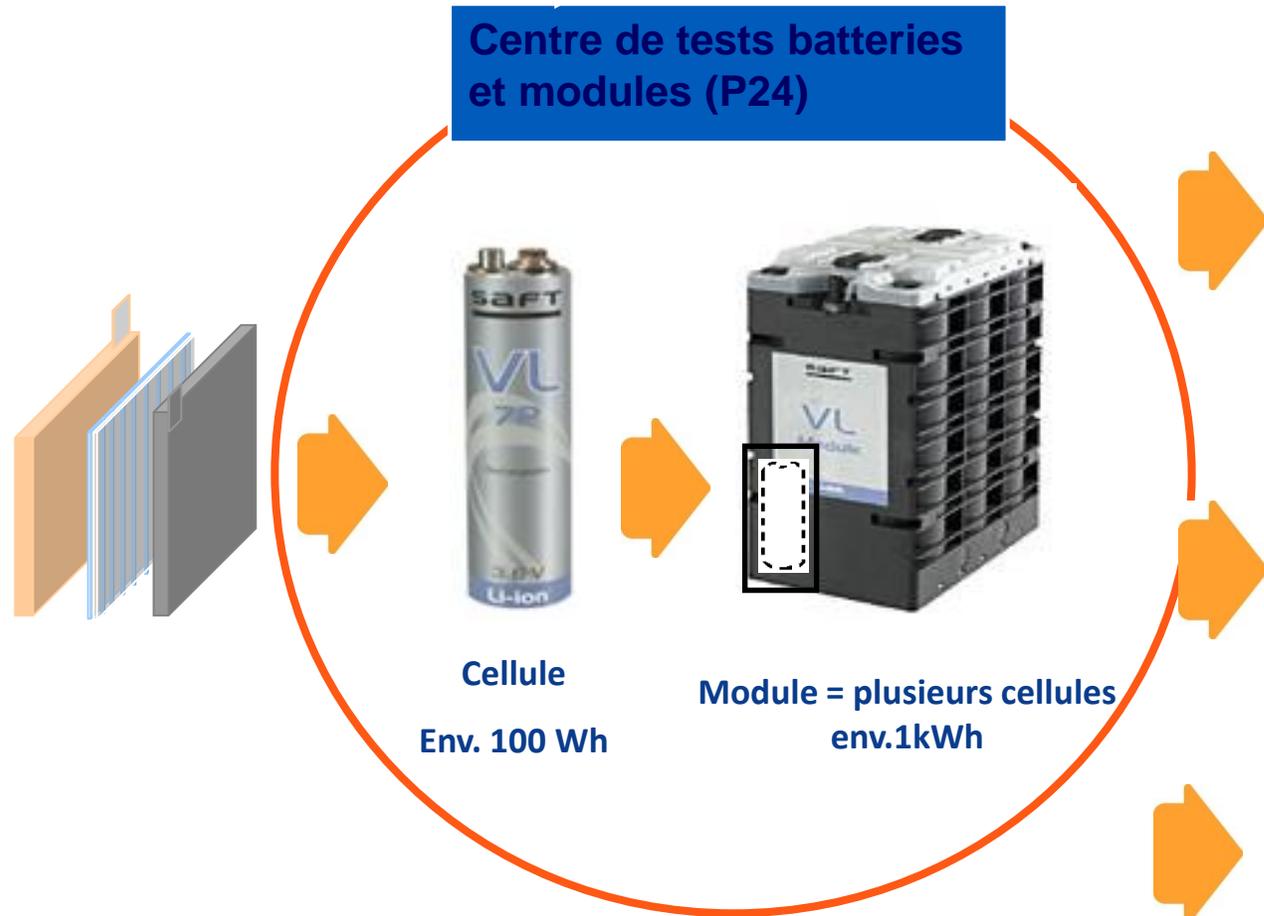
Global battery manufacturing capacity is set to more than double by 2021



Source: Bloomberg New Energy Finance

Bloomberg

De la cellule AU systeme complet



Pack VE
5-300 kWh



Stockage domestique Qq
kW-kWh



Stockage massif
MW-MWh



1 batterie = plusieurs modules + 1 système de gestion électrique + gestion thermique...

Critères clés

- Performances : nombre de cycles, puissance, énergie, rendement, etc.
- Sécurité : analyse de risque, impact environnemental
- Coût : CAPEX (parts énergie et puissance) & OPEX

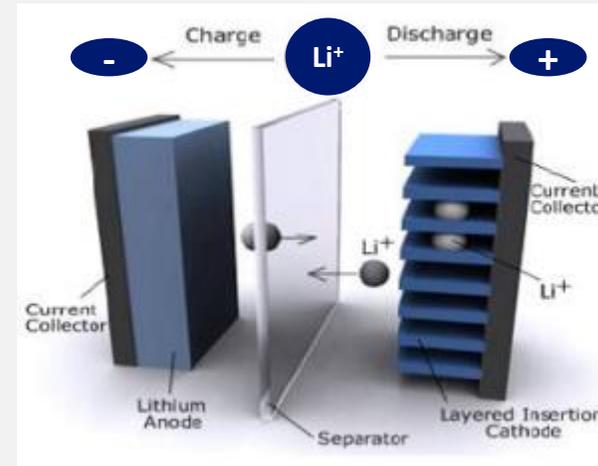
Les batteries stationnaires



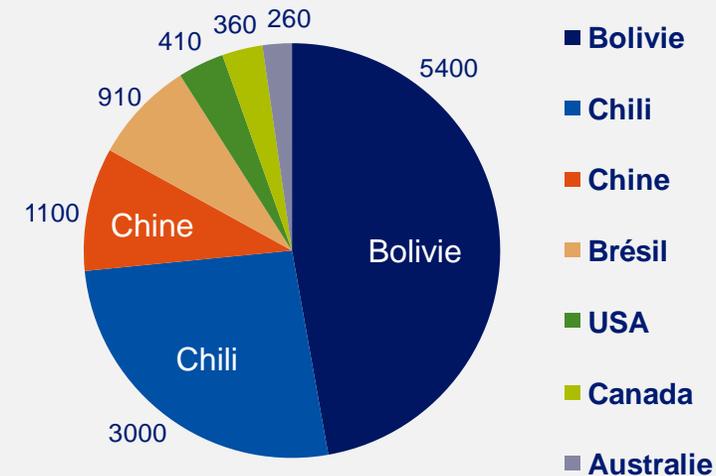
Le Li-ION tend à s'imposer comme une référence

- La batterie Li-ion est commercialisée depuis 1992 : elle est aujourd'hui une technologie de référence
 - une électrode (+) en oxyde métallique & une électrode (-) en graphite
- Après le téléphone portable, le Li-ion s'impose pour la mobilité électrique
 - Il est aussi de plus en plus présent sur le marché stationnaire, notamment pour les usages en puissance
- Avantages / inconvénients
 - Densité énergétique élevée, bonne cyclabilité, rendement élevé (90 % pour Li-ion, 75-80 % pour les autres types de batteries)
 - Avancées technologiques importantes
 - Pas de contrainte limitante liée à la disponibilité des matériaux
 - Coût encore élevé pour les applications d'énergie mais en baisse régulière

Les batteries Lithium



~12 000 kt de réserves de Lithium, équivalent à 5 milliards de packs de VE



Les technologies futures pour aller au delà

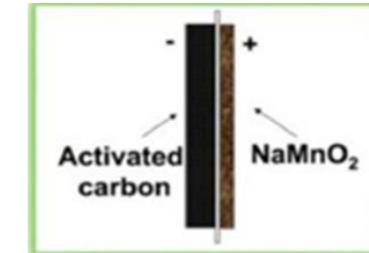
- Nouvelles générations de batteries au lithium : tout solide, lithium sulfure...
- Une batterie sodium ion organique ou en solution aqueuse pour certaines applications (stationnaires et puissance)
- Batteries métal-air (Zn-air, organique ou en solution aqueuse Li-air ..)
- Nouvelles générations de systèmes Red-Ox, nouveaux concepts à suivre, nombreuses star-up
- Nouvelles générations de « super condensateurs » CNT et graphènes fonctionnalisés



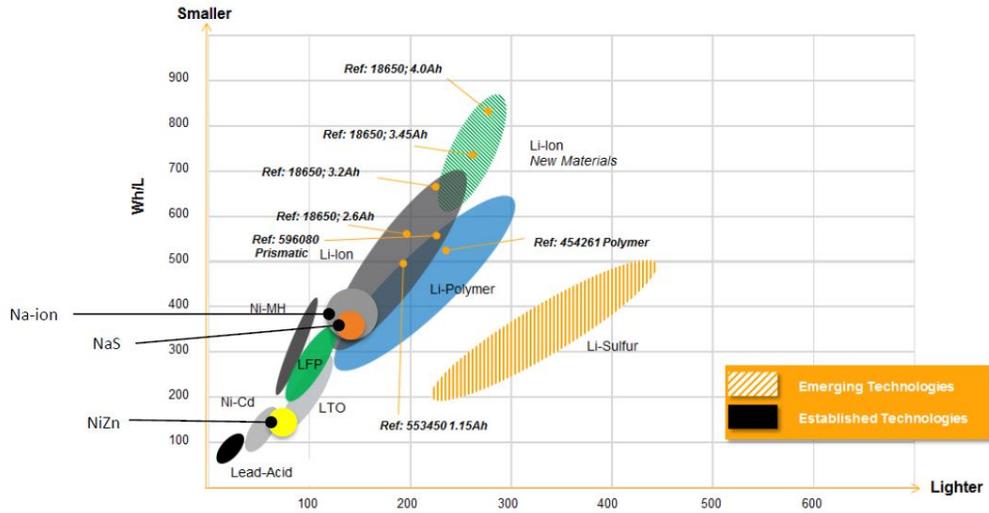
	NiMH (27 kWh)	Li-ion (30 kWh)	LiLiS (54 kWh)	LiLiS (70 kWh)
Driving Range (miles)	81	94	170	226
Total Module Weight (lbs)	995	600	475	426
Total Module Volume (cu ft)	6.7	6.7	6.7	6.7



Oxis EV battery is targeted to provide energy density 400Wh/kg, cost \$250/kWh

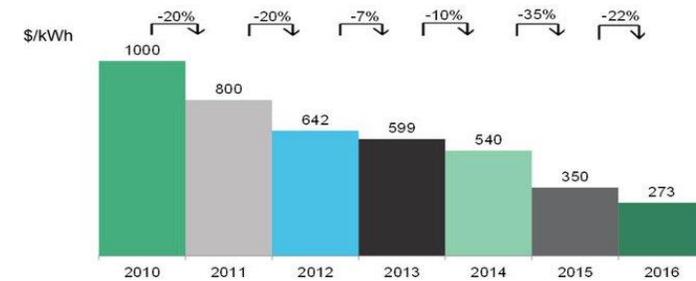


Les technologies de batterie

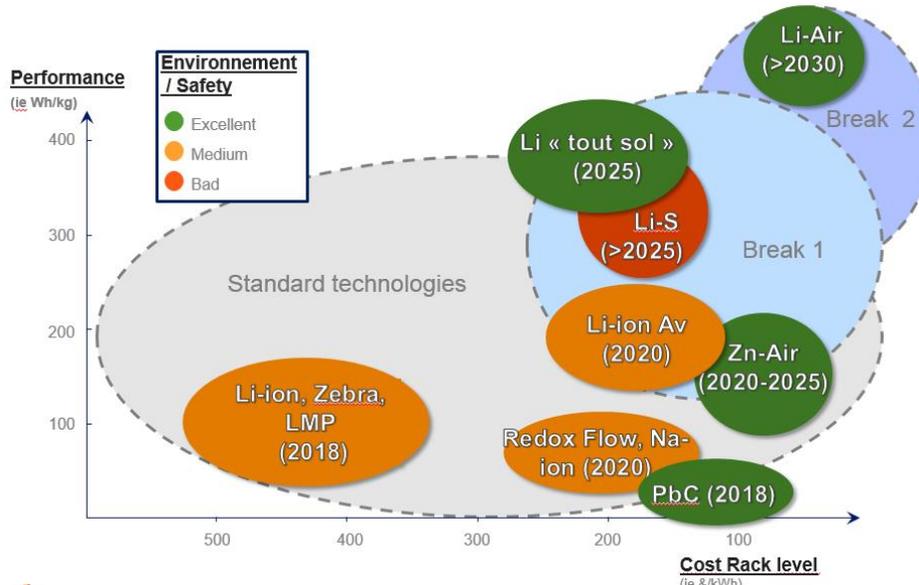


Source: AVICENNE Analysis 2018, Inventus Power

BNEF lithium-ion battery price survey, 2010-16 (\$/kWh)



Note: This includes cells plus pack prices
Source: Bloomberg New Energy Finance



Near term : incremental improvement of Li-ion technologies (Wh/l, Wh/kg, W, cost)

- Increase **volumetric/specific energy** while keeping long life
- Enhance **fast charging and cycling** capabilities
- **Reduce cost**, while maintaining or improving **safety**

Batteries : quelques ordres de grandeur...

- 6 GW en « base » # batterie 4h => pour 6GW et 24 GWh
 - volume approximatif en nombre de containers 20 pieds (en incluant la partie électronique de puissance de conversion) : 13 000 containers en 2018, (hypothèse d'amélioration de 30 %) à 10 ans 8 400 containers
 - emprise au sol approximative (en tenant compte des espaces entre les conteneurs) : 1.2 km² à 800 000 m² dans 10 ans
 - coût approximatif : 8.2 Mds \$ en 2018, et 3.9 Mds \$ en 2030
 - durée de vie estimée (sur la base d'1 cycle par jour) : 12 ans en 2018 / 25 ans en 2040
- 2 GW de « réserve rapide » # batteries 35 minutes => pour 2 GW et 1,2 GWh :
 - volume approximatif en nombre de containers 20 pieds (en incluant la partie électronique de puissance de conversion) : 5 300 containers en 2018 à 4 100 containers en 2030
 - emprise au sol approximative (en tenant compte des espaces entre les conteneurs) : 450 000 m² 2018 à 350 000 m² 2030
 - coût approximatif : 2.5 Mds\$ en 2018 à 1.3 Mds en 2030
 - durée de vie estimée (sur la base de 2 à 3 cycles par jour) : 15 ans en 2018 / 30 ans en 2040

LE RECYCLAGE DES BATTERIES Lithium-ION

Pas de procédé simple car plusieurs chimies d'accumulateurs li-ion : la cathode, ou électrode positive, peut par exemple être constituée d'oxyde de cobalt, de phosphate de fer ou d'oxyde de nickel !

3 principaux types de procédés de recyclage existent

AVAILABLE PROCESSES RECOVER DIFFERENT PRODUCTS

	Pyrometallurgical	Hydrometallurgical	Physical
Temperature	High	Low	Low
Materials recovered	Co, Ni, Cu (Li and Al to slag)	Metals or salts, Li_2CO_3 or LiOH	Cathode, anode, electrolyte, metals
Feed requirements	None	Separation desirable	Single chemistry required
Comments	New chemistries yield reduced product value	New chemistries yield reduced product value	Recovers potentially high-value materials; Could implement on home scrap

PRINCIPAUX ACTEURS

EUROPEENS DU RECYCLAGE

Pour l'instant, peu de volume à traiter (qq milliers de t/ an)

- SNAM (France) ;
- Recupyl (France) ;
- EuroDieuze (France) ;
- Umicore (Belgique) ;
- Accurec (Allemagne) ;

A noter que le lithium ne représente que 2% de la masse de l'accumulateur et n'est pour l'instant généralement pas valorisé.

Pour mémoire, le lithium peut naturellement être présent à hauteur de 3% dans certains minerais.

Batteries : quelques verrous technologiques

- Sûreté, même dans des situations extrêmes
- Accroissement de la densité énergétique $>+50\%$
- Réduction significative du coût du kWh utile, ($<80\text{€}/\text{kWh}$ @EV pack level)
- Cycles de charges >5000 , durée de vie >15 ans
- Charge rapide (principalement pour VE), charge complète en moins de 10 min
- Contrôle et diagnostic du vieillissement
- Seconde vie des batteries à un coût et une sûreté acceptables
- Faibles émissions de CO₂ à la fabrication, matériaux durables, recyclables, s'assurer d'un cycle de vie vertueux,

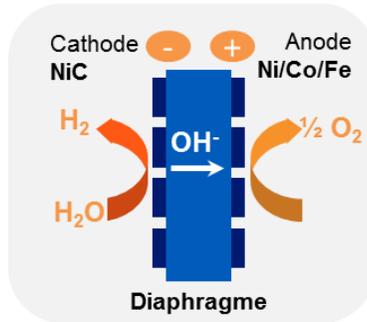


FOCUS HYDROGENE



DIFFÉRENTES TECHNOLOGIES D'ÉLECTROLYSE

ALCALINE



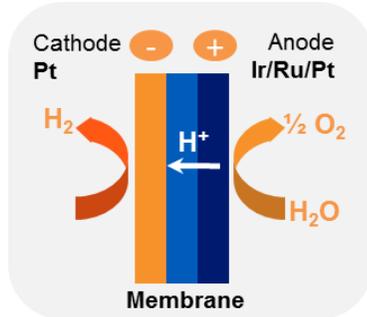
Caractéristiques techniques

- Solution aqueuse de potasse (KOH)
- Température : 60~80°C
- Pressure : 1 – 10 bars (la plupart des modèles)
- Flexibilité, Pmin : 20 à 40% de Pmax

Avantages & Inconvénients

- Technologie commerciale, coûts d'investissement les plus faibles aujourd'hui (pas de métaux nobles)
- Large capacité de production d'H2 (cellules de grande surface)
- Durée de vie longue et éprouvée > 80 000 h
- **Flexibilité et réactivité limitées**

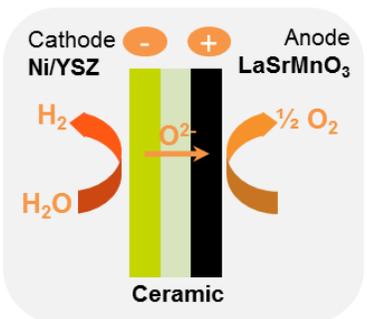
PEM



- Electrolyte polymère
- Température : 50~60°C
- Pression: 1 – 30 bar (200 bar possible)

- Flexibilité et réactivité élevée (0% - 100% Pmax)
- Densité de courant élevée (jusqu'à 2 A/cm²)
- **CAPEX plus élevé que l'alcalin → Métaux nobles (platine, iridium, ruthénium)**
- **Durée de vie limitée : 40 000h en base, plutôt 20 000h en flexible**

CERAMIQUE



- Electrolyte céramique
- Température : 750 - 850°C
- Pression : 1 bar (30 bar démontrés échelle cellule)
- Cellule (matériaux et architecture) identique aux piles à combustible céramique (SOFC)

- Rendement > alcalin et pem
- CAPEX du même ordre de grandeur que l'alcalin → absence de métaux nobles
- Synergie de production avec les piles à combustible permettant d'accélérer la courbe d'apprentissage
- Absence de retour terrain sur la durée de vie. 23 000 h validées en laboratoire.
- **Flexibilité et réactivité limitée (idem alcalin)**

HYDROGÈNE : 3 PRIORITÉS

1. Hydrogène pour l'industrie



H2 décarboné sans CO2
par électrolyse

2. L'hydrogène pour la mobilité



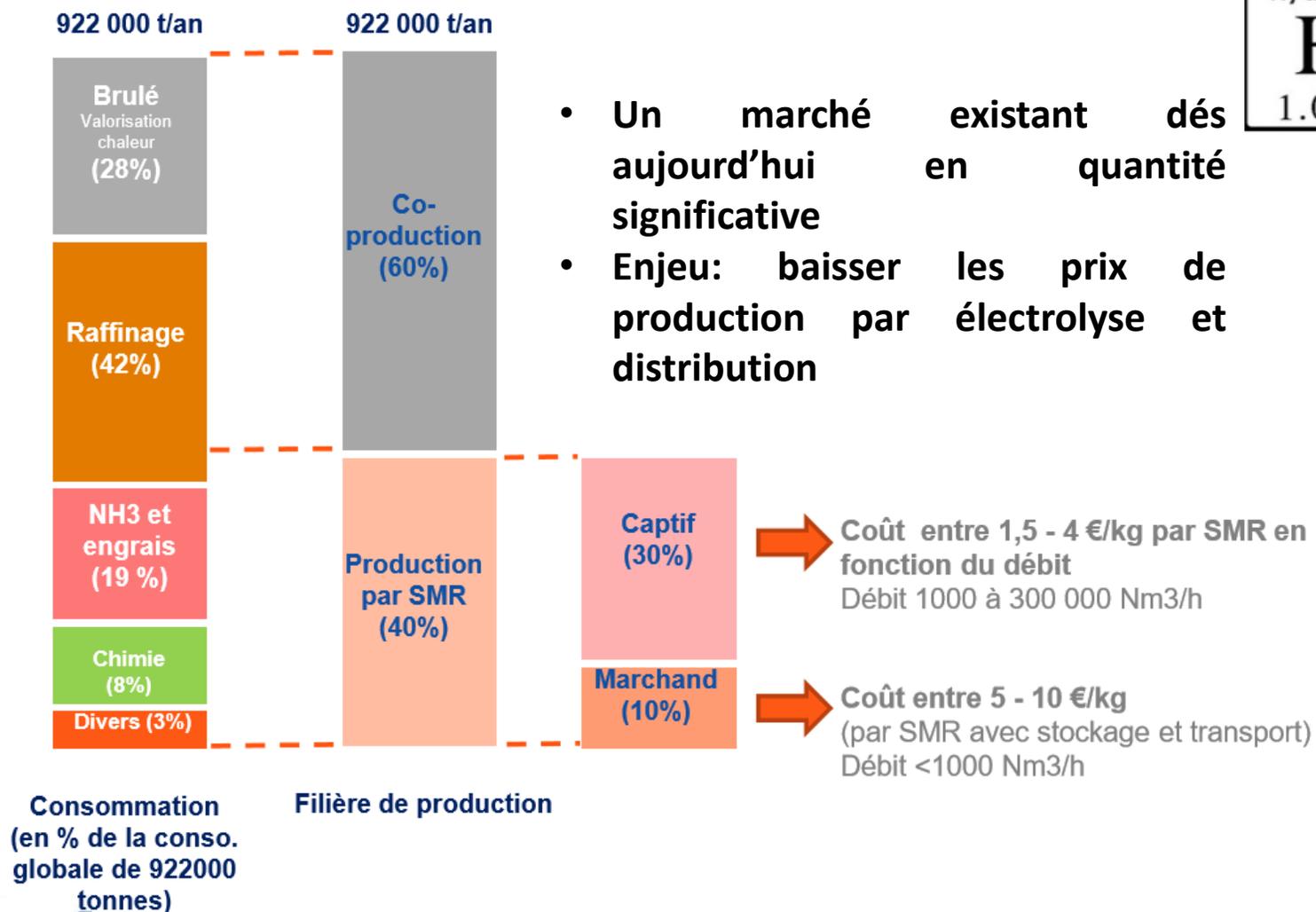
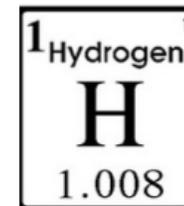
Un axe possible à moyen
terme en complément des
batteries, notamment
pour décarboner la
mobilité lourde

3. Hydrogène pour le stockage



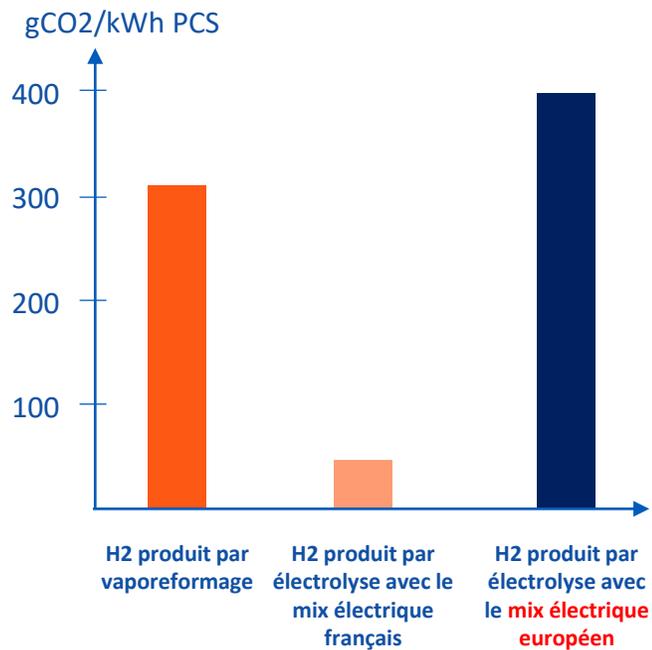
Horizon de très long
terme. Véritable industrie
à développer

HYDROGÈNE POUR L'INDUSTRIE PRODUCTION / CONSOMMATION FRANÇAISE



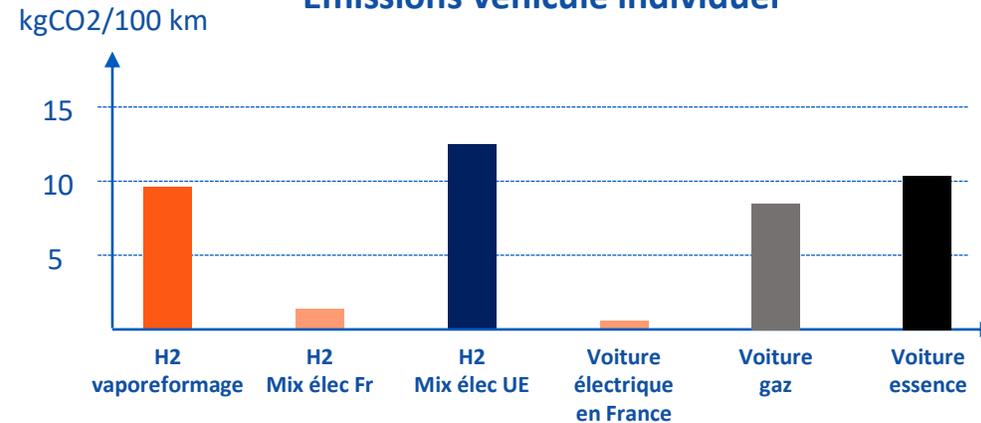
L'HYDROGÈNE PEUT ÊTRE UN VECTEUR DE DÉCARBONATION S'IL EST PRODUIT À PARTIR D'UN MIX ÉLECTRIQUE DÉCARBONÉ

Emissions de différentes filières de production d'hydrogène

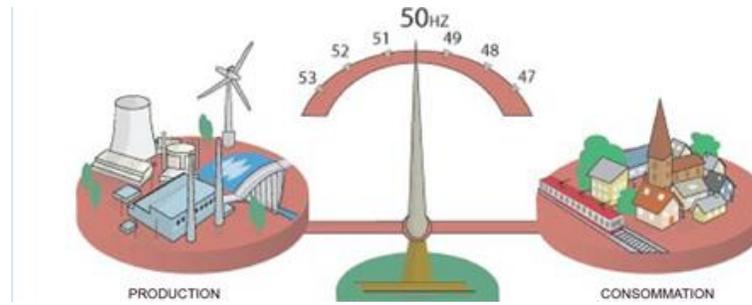


Besoin d'un portefeuille Long Terme décarboné

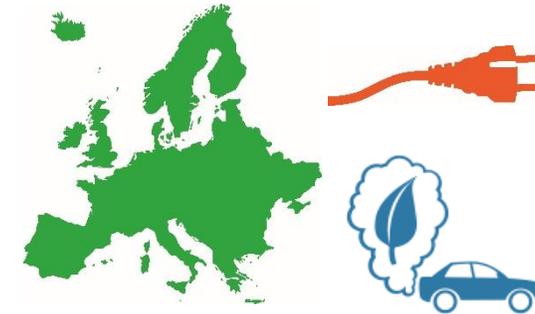
Emissions véhicule individuel



DIFFÉRENTS LEVIERS POUR AUGMENTER LA PART D'ENR DANS LE SYSTÈME ELECTRIQUE : QUID DES IMPACTS CO2 ?



Hausse des débouchés
interconnexions
électrification

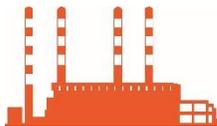


Déplacement de la demande



Flexibilité des moyens de production hydraulique

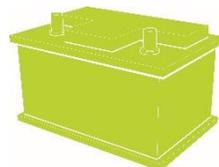
Manœuvrabilité des tranches nucléaires



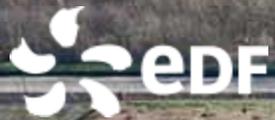
Manœuvrabilité et Backup du thermique à flamme



Ecrêtement des EnR



Stockage



Etude sur le potentiel national du stockage d'électricité et du power to gas (PEPS-4)

Synthèse du chantier effectué avec le club stockage d'énergie de l'ATEE

Les participants à l'étude

 Artelys

OPTIMIZATION SOLUTIONS



ETUDE PEPS4 SUR LE POTENTIEL NATIONAL DU
STOCKAGE D'ÉLECTRICITÉ ET DU POWER-TO-GAZ



Commanditaires :

La DGEC
L'ADEME

Comité de Pilotage :

20 membres financeurs

issus des clubs **Stockage** et **Power to Gas de l'ATEE**, dont :

L'ADEME, EDF, RTE, Engie, GRT Gaz, GRDF, Storengy, SAFT, Total Solar, Air Liquide, IFP EN, Orange, Socomec, Valorem, Sun'R Smart Energy...

Réalisation :

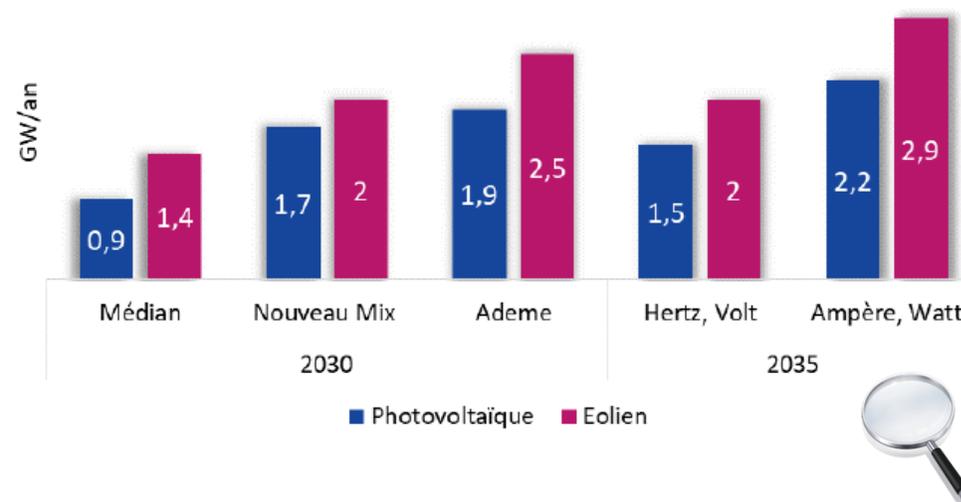
Artelys (leader)
CEA Liten
ENECA Consulting

Les besoins à l'origine de cette étude

► CHANGEMENT DE CONTEXTE

- *La baisse de coûts des EnR permet de prévoir un développement EnR plus rapide*
- *Les scénarios du Bilan Prévisionnel RTE 2017 prévoient un déploiement du PV et de l'éolien bien supérieur à celui prévu dans les scénarios du BP 2014 utilisés dans l'étude PEPS1*

Rythme de déploiement de nouvelles capacités installées PV et éoliennes, en GW par an à partir de 2016



► APPORT D'ÉLÉMENTS CONSENSUELS DES MEMBRES DU CLUB DANS LE CADRE DE LA PRÉPARATION DE LA PROGRAMMATION PLURIANNUELLE DE L'ÉNERGIE

- *ETUDE PEPS 4*
- *[Cahier d'acteurs ATEE](#) – Club Stockage, mené en parallèle et s'appuyant en partie sur les conclusions de l'étude*

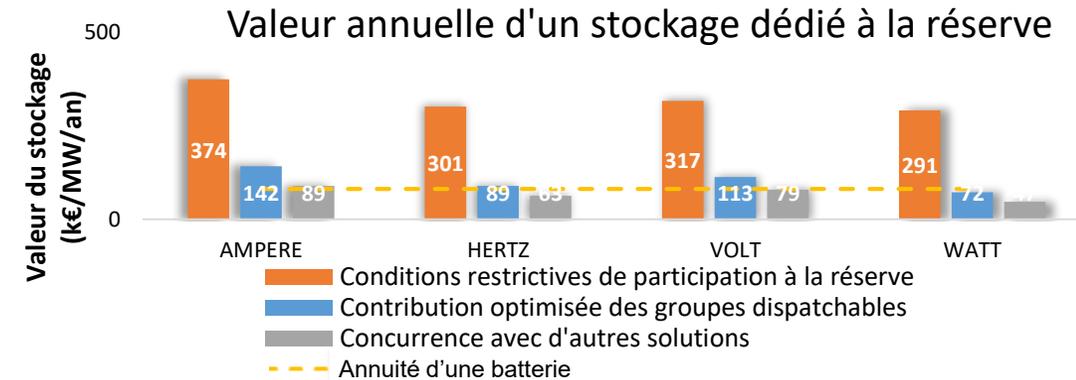
Une place possible en France à l'horizon 2035

➤ Différentes technologies de stockage centralisé (**STEP et batteries**) peuvent trouver une place dans le mix pour le l'arbitrage et de la capacité, mais leur intérêt économique reste très dépendant des coûts de la technologie (spécifiquement pour les batteries) et du contexte macro-énergétique 🔍

➤ Les batteries dédiées à la réserve : un business case rentable pour la collectivité mais au gisement limité (de l'ordre de 300 MW) 🔍

➤ Les capacités de stockage en back-up dans les sites tertiaires/industriels peuvent fournir des services de flexibilité pour l'arbitrage à moindre coût 🔍

En €/kW/an	Coût annuel		Valeur du stockage (arbitrage + capacité)			
	Hypothèse basse	Hypothèse haute	Ampère	Hertz	Volt	Watt
Batterie li-ion (1h, 85%)	34	48	47	53	44	54
Batterie li-ion (2h, 85%)	58	80	72	75	64	75
CAES (6h, 75%)	65	100	99	94	80	83
STEP (24h, 80%)	81	115	154	124	120	102



Le gisement représente environ 6 GW de capacité en France (batteries de plus de 200kW, 1 à 2 h)

Les autres cas d'étude montrent des approfondissements à réaliser

▶ Autoconsommation collective

- *D'un point de vue d'un développeur de projet, le stockage par batteries (de type Li-ion) peut s'avérer rentable dans un immeuble collectif lorsque tous les usages (dont chauffage et ECS) sont électriques ;*
- *L'évaluation de l'intérêt économique de l'autoconsommation d'un point de vue sociétal n'a pas fait l'objet de l'étude.*

▶ Les batteries de seconde vie

- *Elles représentent un gisement supplémentaire de flexibilité, mais leur coût reste incertain (au mieux une baisse inférieure de 15 % au coûts des nouvelles batteries, pour une capacité de cyclage 50 % inférieure à une batterie neuve)*
- *Un livrable dédié sur ce point est attendu, les batteries de 2^{nde} vie disponibles pour un usage stationnaire pourraient représenter de l'ordre de 10 à 25 GW en 2035*

▶ Le véhicule électrique constitue également un levier important

- *Quelques pistes simples sont présentées, si les constructeurs s'orientent vers une bidirectionnalité par défaut le gisement peut représenter une contribution capacitaire potentielle de 3 à 10 GW*
- *Le rapport évoque la nécessité d'analyses dédiées, le club stockage constitue un GT pour 2019*

Power to Gas, un équilibre difficile même à long terme

Coût de la tonne de CO₂ évitée pour différentes technologies de production de gaz décarboné en 2035



¹ En remplacement de production centralisée d'hydrogène par vaporéformage

² En remplacement de production locale d'hydrogène par vaporéformage

³ Dans des conditions (volume, lieu, timing) ne générant pas de surcoût lié à l'intégration d'hydrogène dans le réseau de gaz

► Un potentiel économique important...

- *Le gisement économique pour l'électrolyse décarboné est évalué à plus de 3 GW et 180 kt d'hydrogène produit (soit 20% de la demande actuelle d'hydrogène en France)*
- *Une capacité de stockage d'hydrogène d'environ 40 kt est nécessaire*
- *Uniquement dans le cadre des scénarios Ampère et Volt et à partir du prix du CO₂ d'environ 150 – 200 €/t peuvent émerger des projets d'un électrolyseur fonctionnant en complément du vaporeformage sans stockage d'hydrogène ;*

► Mais un équilibre économique non exempt de risques

- *les revenus dépendent fortement de l'évolution de la valorisation du coût de la tonne de CO₂ évitée mais également du nombre d'heures avec un prix bas de l'électricité*

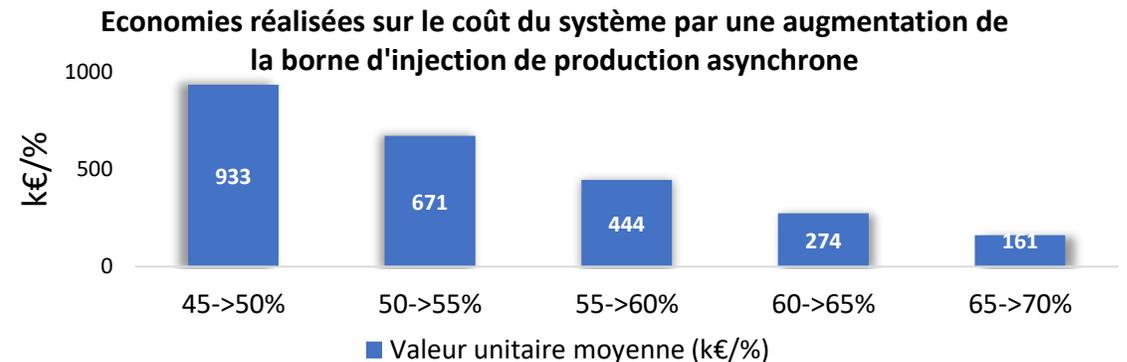
Stockage dans les ZNI, sans conteste le premier contexte de déploiement

► Un marché très intéressant en ZNI pour le stockage : il trouve une rentabilité dans les différents cas étudiés

-  ➤ *Le stockage pour la **réserve rapide** est très intéressant quel que soit le scénario (économie de coûts de démarrage et meilleure utilisation du parc) ;*
-  ➤ *Un gisement pour du stockage pour arbitrage se dégage s'il est piloté de façon dynamique*

► Dans un contexte EnR plus ambitieux, la contrainte d'injection instantanée maximale d'EnR asynchrones est structurante

-  ➤ *Une étude de dynamique est nécessaire pour évaluer dans quelle mesure un stockage (centralisé ou décentralisé) permettrait de relâcher cette contrainte tout en maintenant la qualité de service requise*



LE PLAN **stockage** électrique

+10 GW dans le monde
entre 2018 et 2035
représentant **8 md€** d'investissements



LE PLAN stockage électrique

EDF et le stockage

Aujourd'hui, c'est :	D'ici 2020 :	D'ici 2035 :
5,1 GW dont 5 GW grâce à 6 STEP en France	Budget R&D stockage x2 100 chercheurs dédiés	8 Mds € d'investissement 15 GW de capacités dans le monde

+10 GW dans le monde d'ici 2035

1. Stockage centralisé	2. Stockage distribué	3. Off grid	≈ 8 md€ d'investissements (déconsolidés)	
			70 M€ de R&D sur 2018-2020	15 M€ investis dans des start-up
+2 GW de STEP +4 GW de batteries	+4 GW de batteries	1,2 million de clients	X2	
≈ 3% de part de marché	10-15% de part de marché	20% de part de marché		

Plan Stockage : Hydrogène

HYDROGENE

9,5 M€ de R&D sur 3 ans (2018-2020)

Enjeux

- Modèles d'affaires et nouveaux services énergétiques liés à l'H2
- Production d'hydrogène «bas carbone » dans les usages

G4+: France, UK, Belgique, Italie + Allemagne



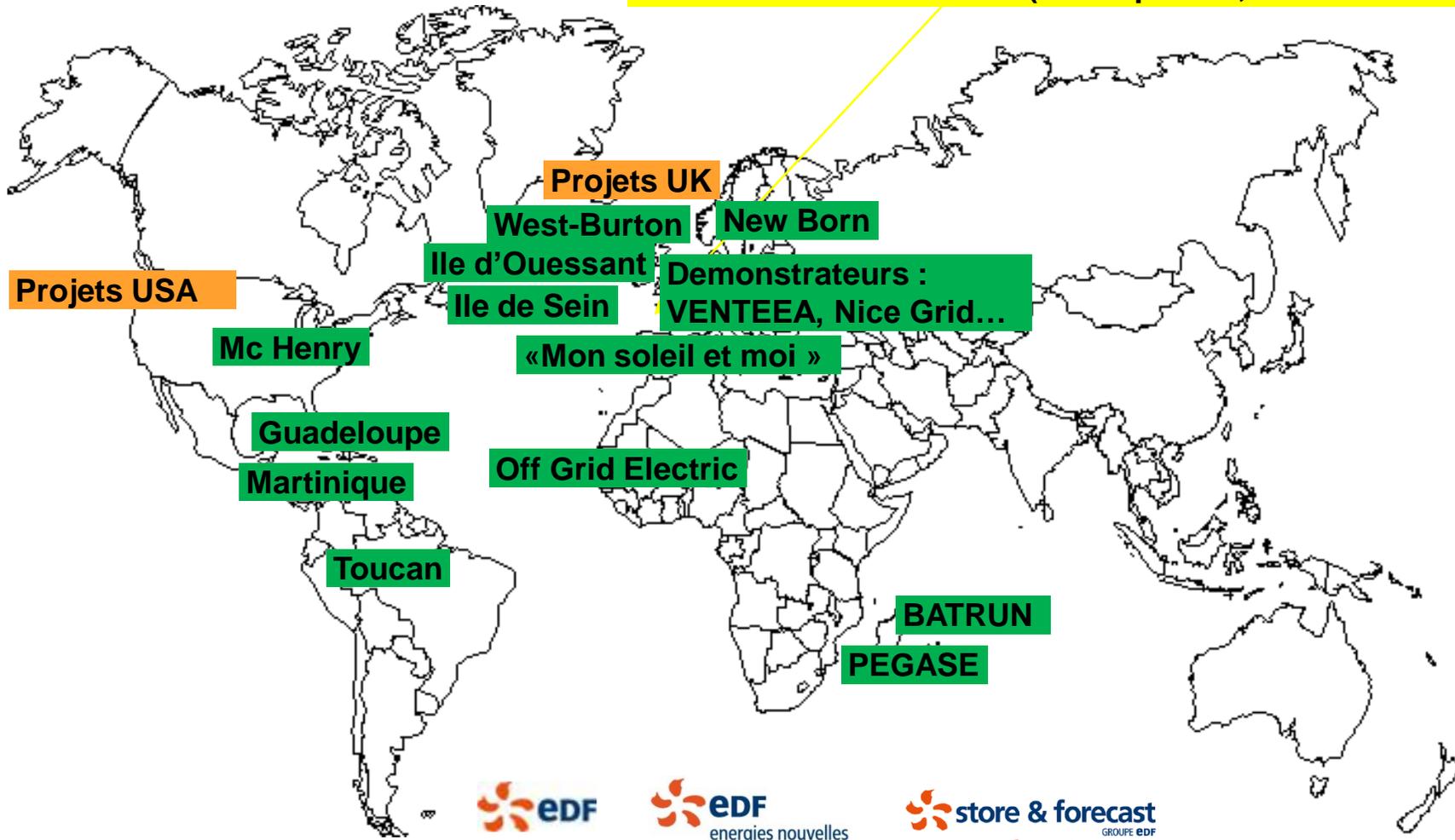
EDF R&D: Notre Mission

Soutenir le déploiement de
Solutions de stockage électrique performantes et leur intégration au système électrique
et de **Solutions de production d'hydrogène décarbonés** par ;
le développement, le test de technologies ou de systèmes existants ou innovants,
l'identification de nouveaux business et offres de service et
la participation a des projets industriels ou de démonstrations, seuls ou en
partenariat.



2010 -2020 : EDF Actif pour faire émerger les innovations liées au stockage électrique

EDF Lab Les Renardières (Concept Grid, tests de batteries)



- PEGASE (La Réunion) (1 MW-7MWh)
- TOUCAN (2 MW-5 MWh)
- EDF Lab Les Renardières (1 MW-500 kWh)
- Nice Grid (poste source) (1 MW- 600 kWh)
- Nice Grid (ilotage) (250 kW- 600 kWh)
- Nice Grid (report de charge local) (33kW-100Wh)
- Nice Grid (flexibilité chez le client) (4kW x 20 (4kWh x 20)
- VENTEEA (2 MW-1,3 MWh)
- Mac Henry (20 MW- 8,5 MWh)
- Ile de Sein (200 kW-100 kWh)
- Ile d'Ouessant (1 MW- 500 kWh)
- Guadeloupe (5 MW-2,5 MWh)
- Martinique (5 MW-2,5 MW)
- Réunion (5 MW-2,5 MW)
- West Burton (49 MW-24,5 MWh)
- Batrun (5 MW, 2,5 MWh)

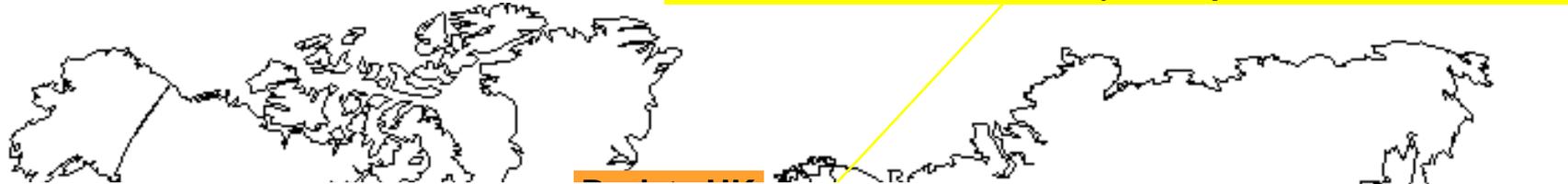


SEI, DI, EDF R&D



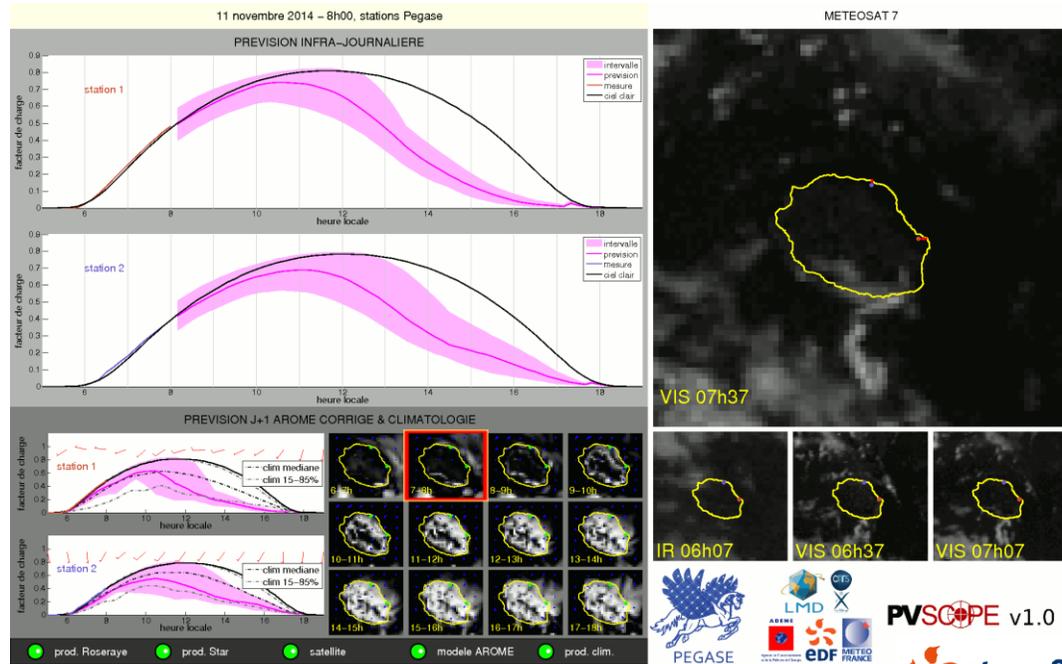
2010 -2020 : EDF Actif pour faire émerger les innovations liées au stockage électrique

EDF Lab Les Renardières (Concept Grid, tests de batteries)



Projet PEGASE

- PEGASE** (La Réunion) (1 MW-7MWh)
- TOUCAN** (2 MW-5 MWh)
- EDF Lab Les Renardières (1 MW-500 kWh)
- Nice Grid** (poste source) (1 MW- 600 kWh)
- Nice Grid** (ilotage) (250 kW- 600 kWh)
- Nice Grid** (report de charge local) (33kW-100Wh)
- Nice Grid** (flexibilité chez le client) (4kW x 20 (4kWh x 20))
- VENTEEA** (2 MW-1,3 MWh)
- Mac Henry** (20 MW- 8,5 MWh)
- Ile de Sein** (200 kW-100 kWh)
- Ile d'Ouessant** (1 MW- 500 kWh)
- Guadeloupe** (5 MW-2,5 MWh)
- Martinique** (5 MW-2,5 MW)
- Réunion** (5 MW-2,5 MW)
- West Burton** (49 MW-24,5 MWh)
- Batrun (5 MW, 2,5 MWh)



2010 -2020 : EDF Actif pour faire émerger les innovations liées au stockage électrique

Mac Henry



Projets USA



Concept Grid, tests de batteries)



forecast
GROUPE EDF

OFF-GRID ELECTRIC

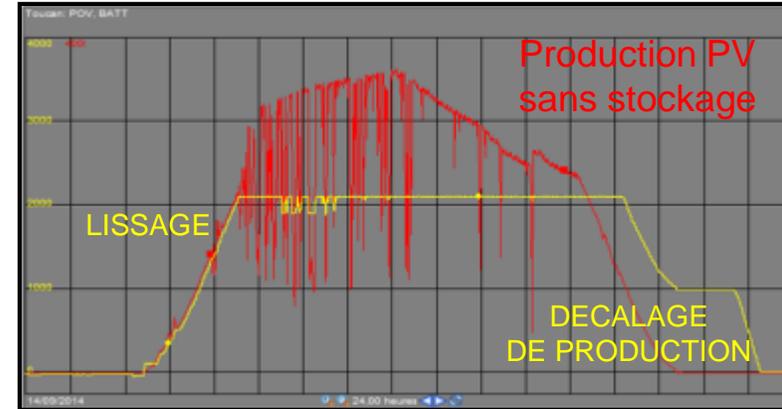
- PEGASE (La Réunion) (1 MW-7MWh)
- TOUCAN (2 MW-5 MWh)
- EDF Lab Les Renardières (1 MW-500 kWh)
- Nice Grid (poste source) (1 MW- 600 kWh)
- Nice Grid (ilotage) (250 kW- 600 kWh)
- Nice Grid (report de charge local) (33kW-100Wh)
- Nice Grid (flexibilité chez le client) (4kW x 20 (4kWh x 20)
- VENTEEA (2 MW-1,3 MWh)
- Mac Henry (20 MW- 8,5 MWh)
- Ile de Sein (200 kW-100 kWh)
- Ile d'Ouessant (1 MW- 500 kWh)
- Guadeloupe (5 MW-2,5 MWh)
- Martinique (5 MW-2,5 MW)
- Réunion (5 MW-2,5 MW)
- West Burton (49 MW-24,5 MWh)
- Batrun (5 MW, 2,5 MWh)



2010 -2020 : EDF Actif pour faire émerger les innovations liées au stockage électrique

es)

TOUCAN



- PEGASE (La Réunion) (1 MW-7MWh)
- TOUCAN (2 MW-5 MWh)
- EDF Lab Les Renardières (1 MW-500 kWh)
- Nice Grid (poste source) (1 MW- 600 kWh)
- Nice Grid (ilotage) (250 kW- 600 kWh)
- Nice Grid (report de charge local) (33kW-100Wh)
- Nice Grid (flexibilité chez le client) (4kW x 20 (4kWh x 20)
- VENTEEA (2 MW-1,3 MWh)
- Mac Henry (20 MW- 8,5 MWh)
- Ile de Sein (200 kW-100 kWh)
- Ile d'Ouessant (1 MW- 500 kWh)
- Guadeloupe (5 MW-2,5 MWh)
- Martinique (5 MW-2,5 MW)
- Réunion (5 MW-2,5 MW)
- West Burton (49 MW-24,5 MWh)
- Batrun (5 MW, 2,5 MWh)

2010 -2020 : EDF Actif pour faire émerger les innovations liées au stockage électrique

Ile de Sein (SEI)

XS	S	S'	M	L
Nanogrids for electrification	Micro-grids for isolated areas	Higher cost	Islandable microgrids	Multi-energy microgrids

2016

2017

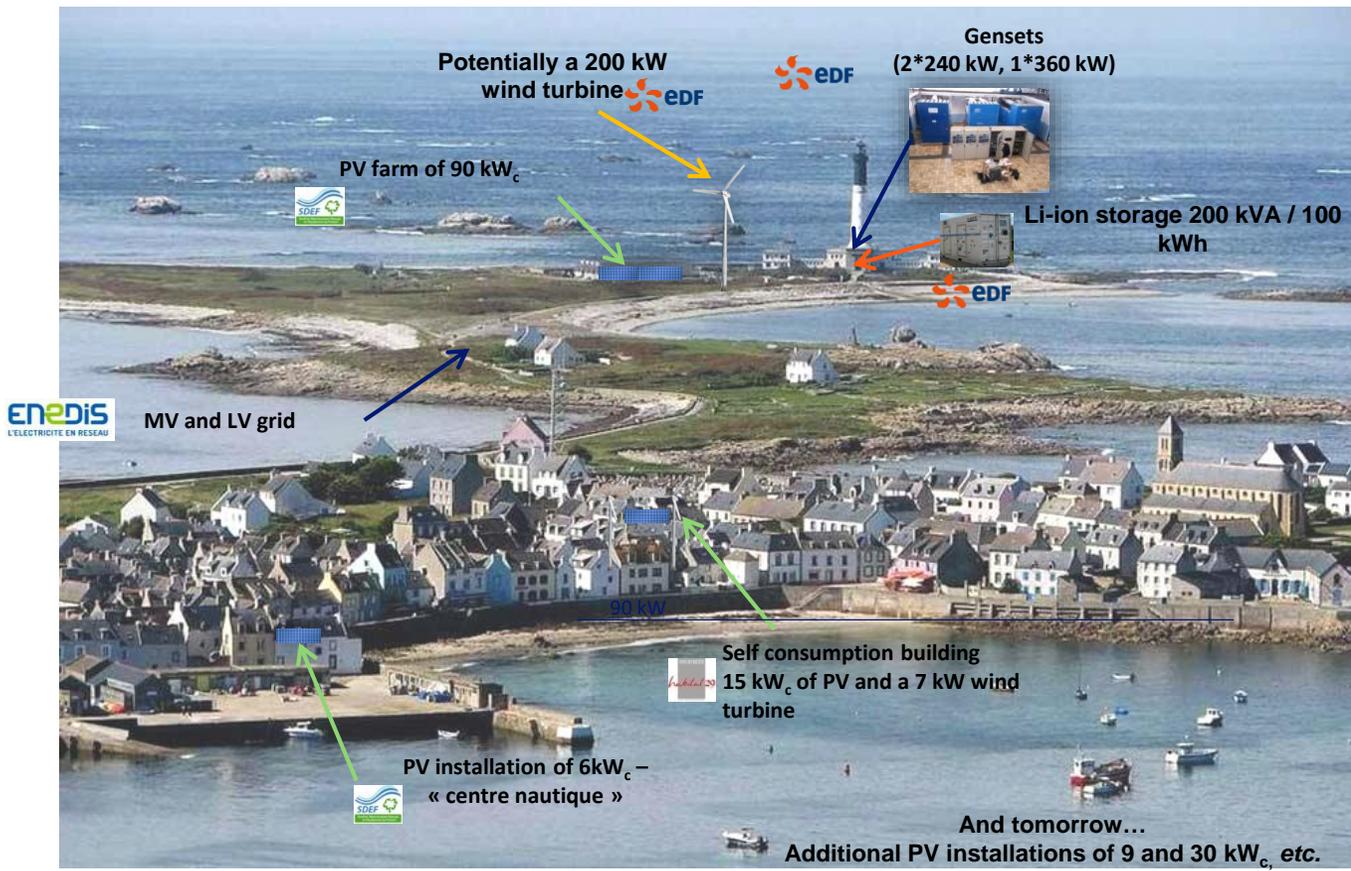


Genset provide 100% of the electricity

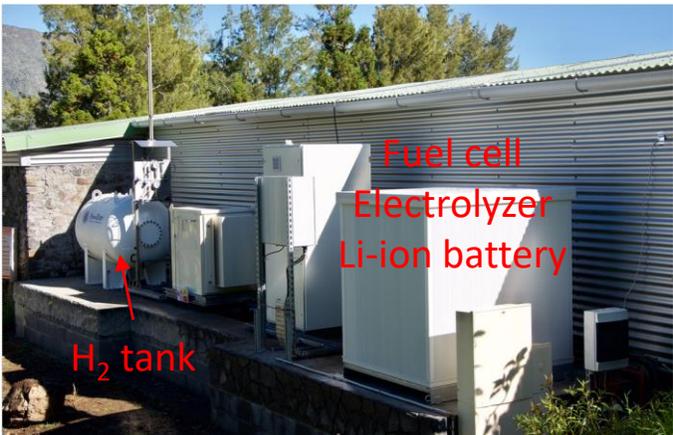
Commissioning of the RE installations

Commissioning of the storage system (06/17)

O&M of this innovative electrical system and update following the REX and upcoming RE

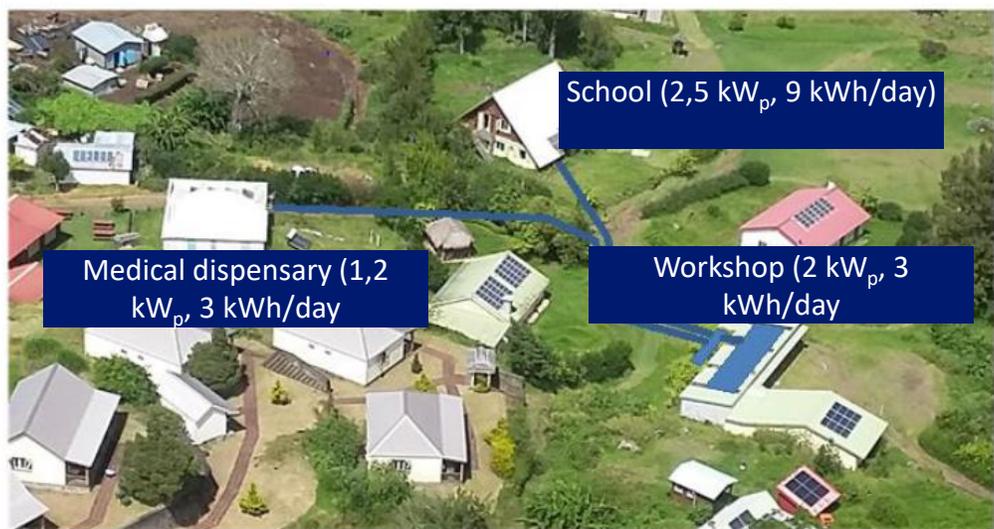


2010 -2020 : EDF Actif pour faire émerger les innovations liées au stockage électrique



MAFATE CIRCUS (SEI)

XS	S	S'	M	L
Nanogrids for electrification	Micro-grids for isolated areas	Higher cost	Islandable microgrids	Multi-energy microgrids



About to be commissioned
April, 2017

2010 -2020 : EDF Actif pour faire émerger les innovations liées au stockage électrique

EDF Lab Les Renardières (Concept Grid, tests de batteries)

Projet ZOLA (Off-Grid Electric)

PEGASE (La Réunion) (1 MW-7 MWh)
TOUCAN (2 MW-5 MWh)
EDF Lab Les Renardières (1 MV kWh)
Nice Grid (poste source) (1 MV kWh)
Nice Grid (ilotage) (250 kW- 6 MWh)
Nice Grid (report de charge local) (33kW-100Wh)
Nice Grid (flexibilité chez le client) x 20 (4kWh x 20)
VENTEEA (2 MW-1,3 MWh)
Mac Henry (20 MW- 8,5 MWh)
Ile de Sein (200 kW-100 kWh)
Ile d'Ouessant (1 MW- 500 kWh)
Guadeloupe (5 MW-2,5 MWh)
Martinique (5 MW-2,5 MWh)
Réunion (5 MW-2,5 MWh)
West Burton (49 MW-24,5 MWh)
Batrun (5 MW, 2,5 MWh)



OFF-GRID ELECTRIC



CTRIC

2010 -2020 : EDF Actif pour faire émerger les innovations liées au stockage électrique

Mobilité électrique : infrastructures de recharge, smart-charging, Formula E

recharge des voitures électriques sur l'éclairage public

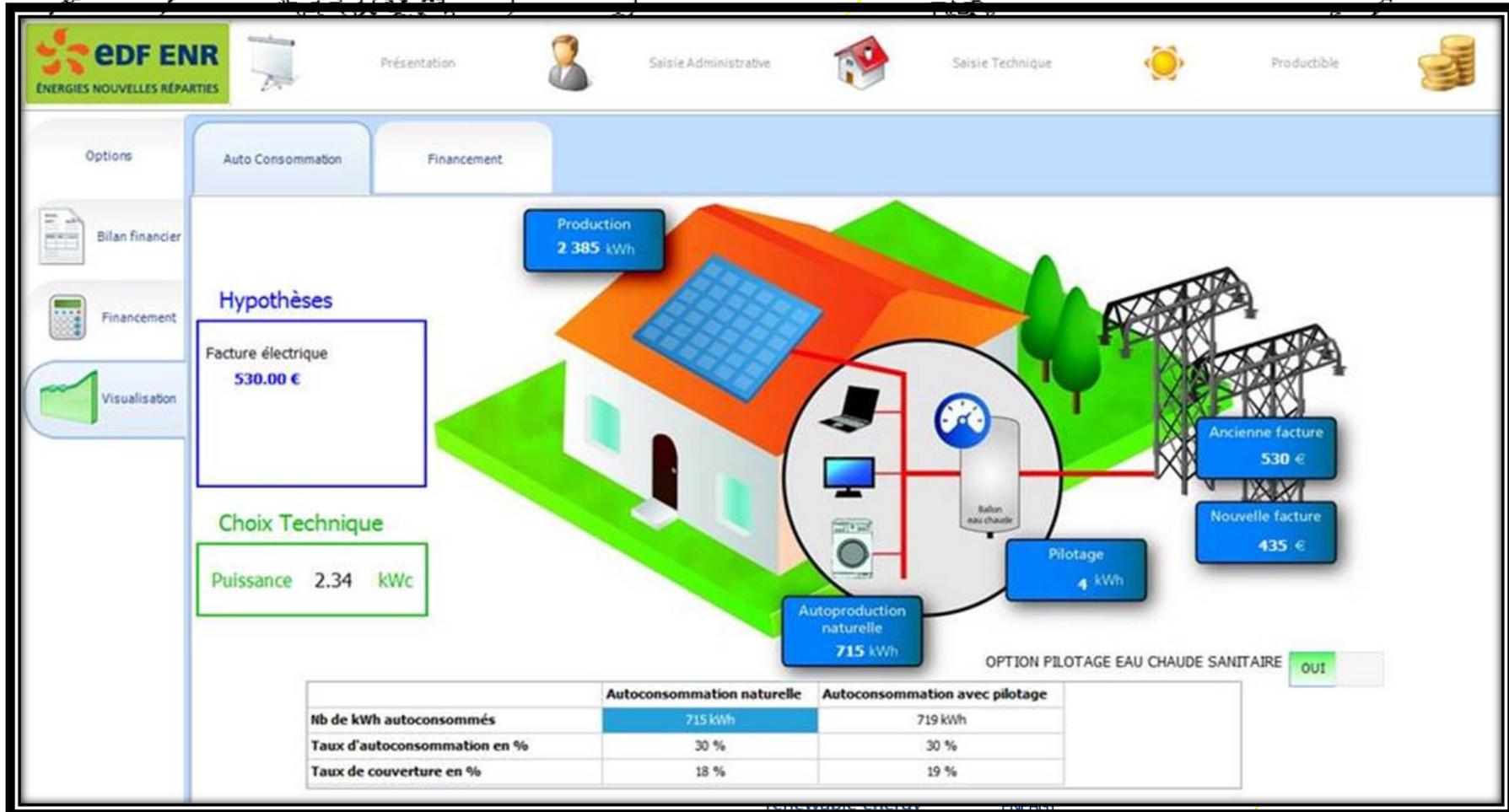
17 Sep 2016 · Michaël TORREGROSSA · Borne de recharge, Voiture électrique
65 commentaires



PEGASE (La Réunion) (1 MW-7MWh)
TOUCAN (2 MW-5 MWh)
EDF Lab Les Renardières (1 MW-500 kWh)
Nice Grid (poste source) (1 MW- 600 kWh)
Nice Grid (ilotage) (250 kW- 600 kWh)
Nice Grid (report de charge local) (33kW-100Wh)
Nice Grid (flexibilité chez le client) (4k x 20 (4kWh x 20)
VENTEEA (2 MW-1,3 MWh)
Mac Henry (20 MW- 8,5 MWh)
Ile de Sein (200 kW-100 kWh)
Ile d'Ouessant (1 MW- 500 kWh)
Guadeloupe (5 MW-2,5 MWh)
Martinique (5 MW-2,5 MW)
Réunion (5 MW-2,5 MW)
West Burton (49 MW-24,5 MWh)
Batrun (5 MW, 2,5 MWh)

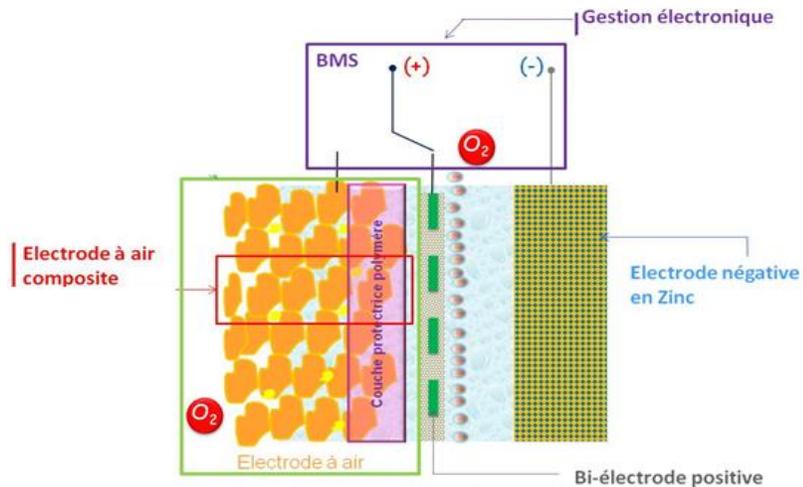
2010 -2020 : EDF Actif pour faire émerger les innovations liées au stockage électrique

EDF Lab Les Renardières (Concept Grid, tests de batteries)



- PEGASE (La Réunion) (1 MW-7MWh)
- TOUCAN (2 MW-5 MWh)
- EDF Lab Les Renardières (1 MW-500 kWh)
- Nice Grid (poste source) (1 MW- 600 kWh)
- Nice Grid (ilotage) (250 kW- 600 kWh)
- Nice Grid (report de charge local) (33kW-100Wh)
- Nice Grid (flexibilité chez le client) (4kW x 20 (4kWh x 20)
- VENTEEA (2 MW-1,3 MWh)
- Mac Henry (20 MW- 8,5 MWh)
- Ile de Sein (200 kW-100 kWh)
- Ile d'Ouessant (1 MW- 500 kWh)
- Guadeloupe (5 MW-2,5 MWh)
- Martinique (5 MW-2,5 MW)
- Réunion (5 MW-2,5 MW)
- West Burton (49 MW-24,5 MWh)
- Batrun (5 MW, 2,5 MWh)

2010 -2020 : électrique



au stockage

tests de batteries)

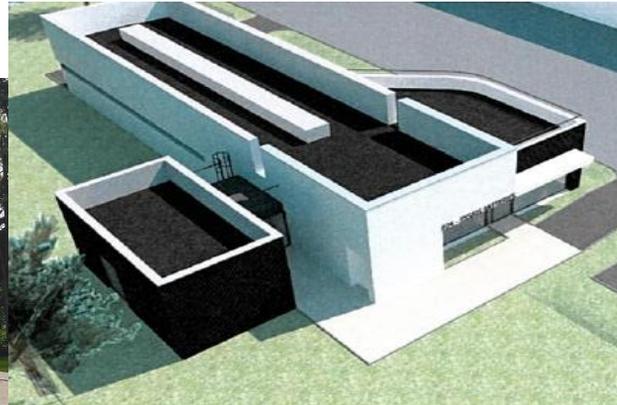


- PEGASE** (La Réunion) (1 MW-7MWh)
- TOUCAN** (2 MW-5 MWh)
- EDF Lab Les Renardières (1 MW-500 kWh)
- Nice Grid** (poste source) (1 MW- 600 kWh)
- Nice Grid** (ilotage) (250 kW- 600 kWh)
- Nice Grid** (report de charge local) (33kW-100Wh)
- Nice Grid** (flexibilité chez le client) (4kW x 20 (4kWh x 20)
- VENTEEA** (2 MW-1,3 MWh)
- Mac Henry** (20 MW- 8,5 MWh)
- Ile de Sein** (200 kW-100 kWh)
- Ile d'Ouessant** (1 MW- 500 kWh)
- Guadeloupe** (5 MW-2,5 MWh)
- Martinique** (5 MW-2,5 MW)
- Réunion** (5 MW-2,5 MW)
- West Burton** (49 MW-24,5 MWh)
- Batrun (5 MW, 2,5 MWh)



2010 -2020 : EDF Actif pour faire émerger les innovations liées au stockage électrique

Tests batteries Pack VE, secours / résidentielles / tertiaires

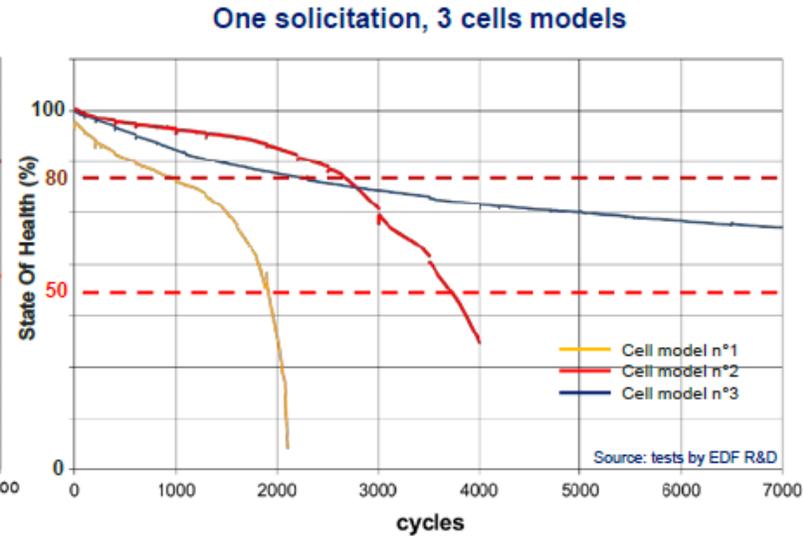
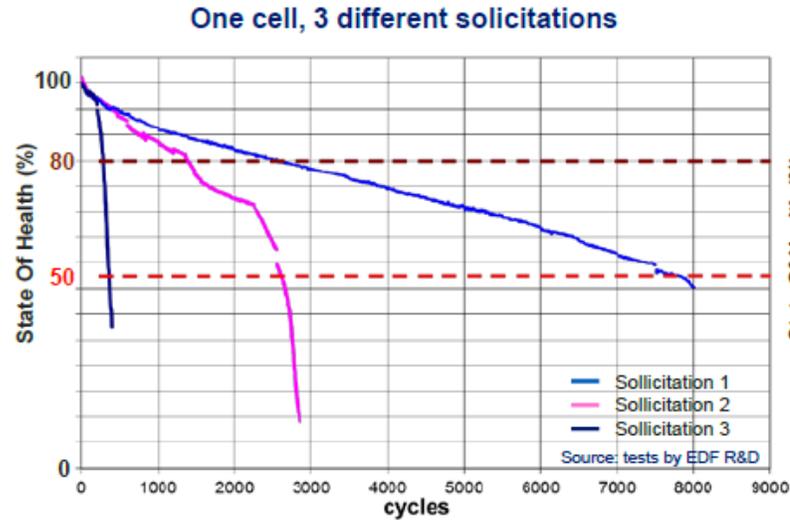


Tests de systèmes stationnaires de grande taille sur *Concept Grid*

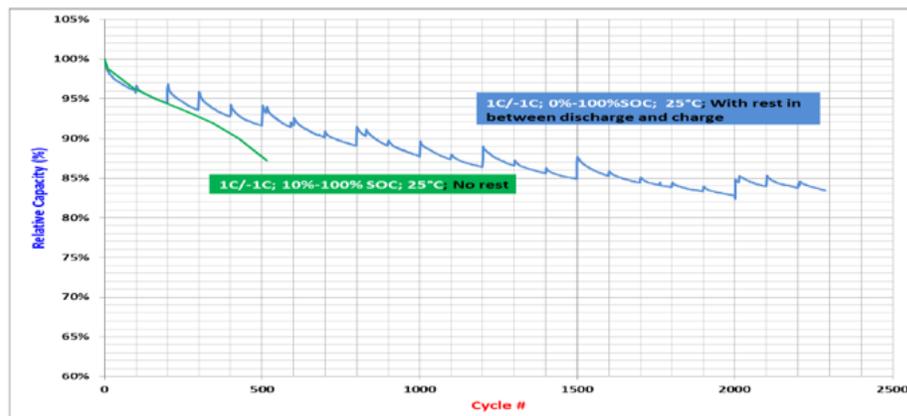


2010 -2020 : EDF Actif pour faire émerger les innovations liées au stockage électrique

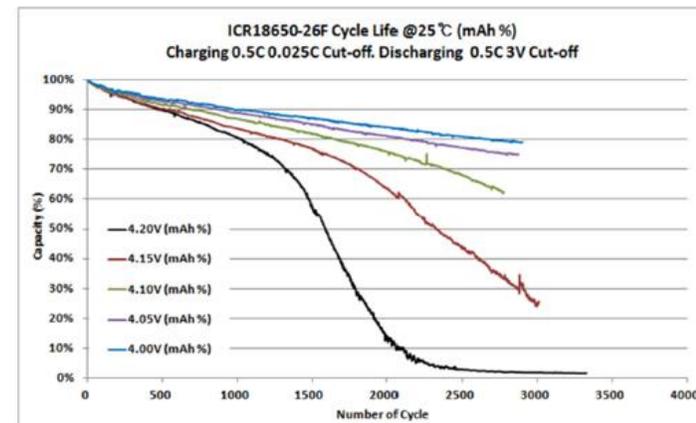
Beaucoup de complexité afin de maitriser le fonctionnement des batteries dans la durée et sélectionner les bons fournisseurs



Influence of rest time between cycles



Influence of end charge voltage on cycle life



UN SUJET CONDUIT EN PARTENARIATS - COLLABORATIONS

- Nos partenaires actuels

THALES

Développement super condensateurs et batteries innovantes



Essais cellules/ modules Li ion, techno innovantes, vieillissement



Seconde vies des batteries NiMH



Seconde vies des batteries



Diagnostic / pronostic



Recherche batteries Zn air

- Les réseaux- associations



Club stockage
Club power to gas



ENERGIE
RS2E

Réseau sur le stockage électrochimique de l'énergie, centre de recherche sur les batteries et supercondensateurs



FUEL CELLS AND HYDROGEN
JOINT UNDERTAKING



Association française pour l'hydrogène et les piles à combustible

UN SUJET OÙ TOUT VA TRÈS VITE ENTRE R&D ET MARCHÉ

RECHERCHE

Laboratoires de tests



Plateforme d'essai unique

Concept GRID
@ EDF Lab Les Renardières



Contribuer à l'émergence des ruptures technologiques

ZnR Batteries



Centre de Test de Pack



RÉALISATIONS

Batteries pour réglage de fréquence



Mc Henry, PJM (US)

Centrales de production hybrides



TOUCAN, Guyane

« Mon soleil et moi », pour l'autoconsommation clients



Mobilité électrique



MERCI