

# Benchmark Technologies de stockage



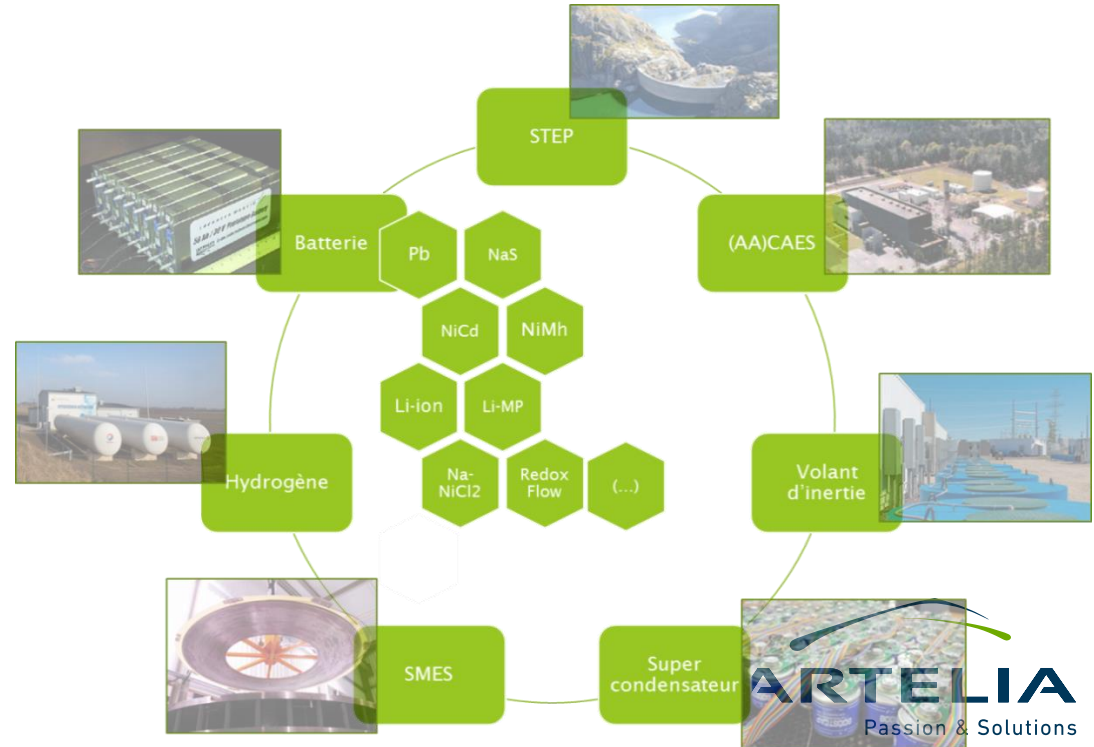
Vendredi 7 Décembre 2018 – HYDRO 21

  
**ARTELIA**  
Passion & Solutions

# Les familles de solutions de stockage d'énergie

## Service réseau par le stockage :

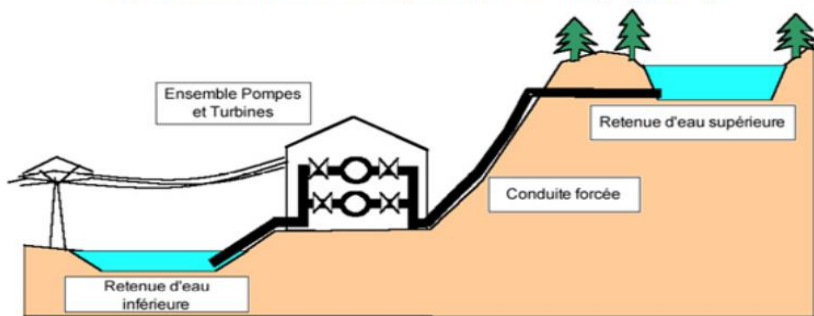
- Contribution aux réserves primaires, secondaires et tertiaires (régulation de fréquence, stabilité du réseau) ;
- Contribution à la régulation de la tension (qualité du signal) ;
- Lissage de charge ;
- Lissage/décalage de production, arbitrages économiques ;
- Secours.



# STEP

## Principe :

Fonctionnement d'une installation de stockage gravitaire



- Stockage de très forte puissance et capacité
- Services réseaux

## Enjeux :

- Stockage de plusieurs jours de production
- Technologie de stockage parmi les plus matures
- Sites d'implantation restreints / Enjeux environnementaux
- Développement des STEP Marines

Densité d'énergie	Densité de Puissance	Rendement du cycle	Profondeur de décharge
Jusqu'à 2 Wh/L	Faible W/L	80 %	90 %
CAPEX	Empreinte carbone	Durée de Vie	Maturité Technologique
70 à 300 € / kWh		50 000 cycles (60 ans)	Commercial

# Batterie Plomb

## Principe :

- Différente électrochimie amenant à des caractéristiques techniques variées (puissance / énergie)
- Flexibilité en énergie : qq kWh à plusieurs MWh
- Lissage / décalage; service réseau



## Enjeux :

- Technologie de stockage parmi les plus matures. Recyclage opérationnel
- En concurrence avec les Li/Ion

Densité d'énergie	Densité de Puissance	Rendement du cycle	Profondeur de décharge
50 à 100 Wh/L	Jusqu'à 0,7 kW/L	80 à 85 %	70 %
CAPEX	Empreinte carbone	Durée de Vie	Maturité Technologique
125 à 250 €/kWh	52 kgCO2/kWh	1000 à 1500 cycles (5 à 7 ans)	Commercial

## Fabricants :

- Exide, Hoppecke, EnerSys ....

# Batterie Li-Ion

## Principe :

- Différente électrochimie amenant à des caractéristiques techniques variées (puissance / énergie)
- Flexibilité en énergie : qq Wh à plusieurs dizaine MWh
- Lissage / décalage; service réseau
- Electronique mobile



## Enjeux :

- Risques sur la ressource Lithium – enjeu développer le recyclage
- Enjeux ICPE
- Très forte dynamique du fait densité énergétique et baisse des prix en cours

Densité d'énergie	Densité de Puissance	Rendement du cycle	Profondeur de décharge
200 à 735 Wh/L	0,1 à 10 kW/L	92 à 95 %	92 à 95 %
CAPEX	Empreinte Carbone	Durée de Vie	Maturité Technologique
300 à 500 € / kWh		2 000 à 3000 cycles (10 à 12 ans)	Commercial

## Fabricants :

- LG Chem, Tesla, SAMSUNG, NEC, Mitsubishi, SAFT....

## Exemple :

- Projets CRE ZNI avec batteries Li/Ion de plusieurs MW
- USA - Désert du Chihuahua, parc éolien Notrees Windpower de Duke Energy est couplé avec un système de stockage d'énergie de 36MW

# Batterie Nickel

## Principe :

- Plusieurs technologies : NiCd, NiMH, NiFe
- Lissage / décalage; services réseau

## Enjeux :

- Effet mémoire
- Réglementation environnementale contraignante en Europe pour le Cd

Densité d'énergie	Densité de Puissance	Rendement du cycle	Profondeur de décharge
50 à 75 Wh/kg		80 à 85 %	
CAPEX	Empreinte carbone	Durée de Vie	Maturité Technologique
1 000 € / kWh		2 000 à 3 500 cycles	Commercial

## Fabricants :

- Alcad, Hoppecke, Saft, Varta

## Exemple :

- Fairbanks, Golden Valley (AK, USA) - Installation de 27 MW, capable de délivrer jusqu'à 40 MW d'électricité pendant 7 minutes pour réguler le réseau électrique.

# Batterie Haute Température

## Principe :

Deux technologies

- NaS, utilisée à une température comprise entre 300°C et 350°C
- NaNiCl<sub>2</sub> (aussi appelées Zebra), utilisée à une température comprise entre 250°C et 350°C
- Lissage / décalage; service réseau
- Batterie de plusieurs MW



## Enjeux :

- Maintien en température
- Risque incendie lié au Sodium

Densité d'énergie	Densité de Puissance	Rendement du cycle	Profondeur de décharge
150 à 300 Wh/L		80 à 85 %	100 %
CAPEX	Durée de Vie	Empreinte carbone	Maturité Technologique
300 à 600 € / kWh	3 000 à 5 000 cycles (10 à 15 ans)	116 kg CO2/kWh	Commercial

## Fabricants :

- NGK Insulators (NaS) et FZSoNick (ex FIAMM pour NaNiCl)

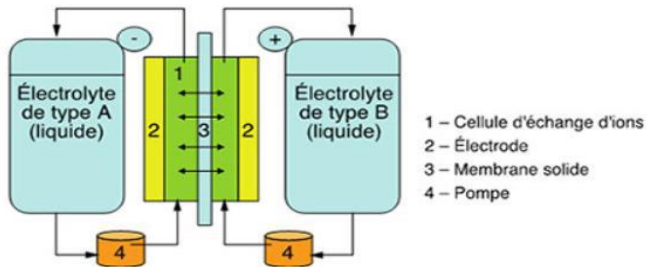
## Exemple :

- Plusieurs centaines d'installations NaS au Japon dont une unité de stockage pour la ferme éolienne de Rokkasho et affiche une puissance de 34MW

# Batterie à Circulation (VRFB ou ZBFB)

## Principe :

- Deux électrolyte liquide contenant des couples d'ions métalliques : zinc/brome, polybromure/ polysulfure de sodium et vanadium/vanadium



Source : IFPEN d'après diverses sources

## Enjeux :

- Stockage de forte puissance du fait design complexe de la batterie
- Electrolyte corrosif

Densité d'énergie	Densité de Puissance	Rendement du cycle	Profondeur de décharge
15 à 70Wh/L		65 à 80 %	100 %
CAPEX	Durée de Vie	Empreinte carbone	Maturité Technologique
500 à 1000 € / kWh	3 000 à 5 000 cycles (10 à 15 ans)	VRFB 183 kg CO2/kWh	Commercial

## Fabricants :

- VRFB: UniEnergy Technologies (UET), Gildemeister, Rongke Power, Prudent Energy, ViZn Energy, Vionx Energy et Sumitomo
- ZBFB : Enphase (auparavant ZBB), Primus Power Flow, RedFlow.

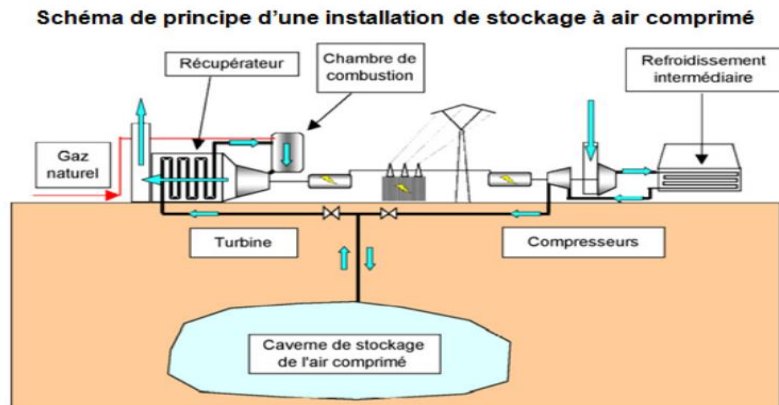
## Exemple :

- Unité de stockage associée à la ferme éolienne de Tomamae Villa au Japon, d'une capacité de 4 MW/90min, en service depuis 2005.



# Stockage par air comprimé - CAES

## Principe :



## Enjeux :

- Nécessité d'une cavité géologique qui restreint les sites d'implantation
- Rendement médiocre

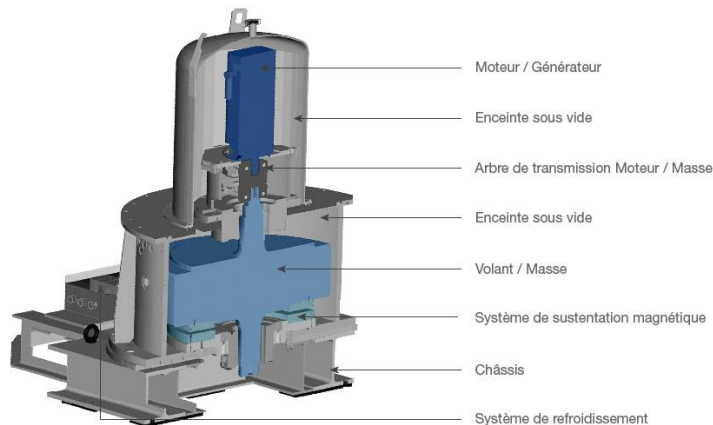
Densité d'énergie	Densité de Puissance	Rendement du cycle	Profondeur de décharge
2 à 6 Wh/L	Jusqu'à 1 kW/L	45 à 55 %	40 %
CAPEX	Empreinte carbone	Durée de Vie	Maturité Technologique
45 à 210 € / kWh		10 000 à 25 000 cycles (25 à 50 ans)	Commerciale

## Exemples :

- Huntorf, Allemagne depuis 1978 avec 290 MW de puissance, 580 MWh de capacité et un rendement de 42 %
- McIntosh, Alabama, USA depuis 1991 avec 110 MW de puissance, 2 860 MWh de capacité et un rendement de 54%.

# Volant d'inertie

## Principe :



## Enjeux :

- Risques du fait de masse tournant à grande vitesse

Densité d'énergie	Densité de Puissance	Rendement du cycle	Profondeur de décharge
20 à 200 Wh/L	0,5 à 10 kW/L	84 %	85 %
CAPEX	Empreinte carbone	Durée de Vie	Maturité Technologique
500 à 2 000 € / kWh		200 000 cycles (20 ans)	Mature

## Fabricants :

- Beacon Power, Temporal Power, ABB, Stornetic, Amber Kinetics...

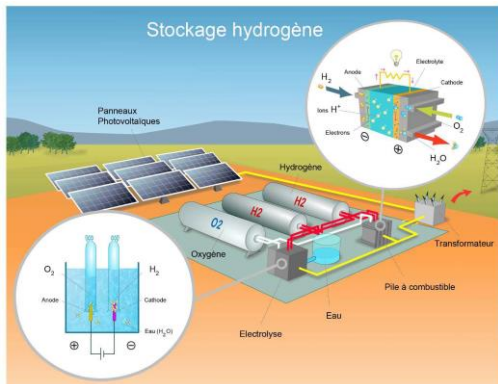
## Exemples :

- Beacon Power avec projets USA Pennsylvanie (20 MW) ou Tyngsboro, Massachusetts (0.5 MW)
- Temporal Power avec des réalisations à Aruba (5 MW) et Canada (2 MW)

# Stockage Hydrogène

## Principe :

- Flexibilité en énergie : qq kWh à plusieurs MWh
- Lissage / décalage; service réseau



## Enjeux :

- Risques ICPE
- Coût de la conversion (électrolyseur et Pile à Combustible)

Densité d'énergie	Densité de Puissance	Rendement du cycle	Profondeur de décharge
Wh/L	kW/L	84 % (hors électrolyseur et pile à combustible)	100 %
CAPEX	Empreinte Carbone	Durée de Vie	Maturité Technologique
10 à 15 € / kWh		1 000 à 20 000 cycles (5 à 20 ans)	Démonstrateurs

## Fabricants :

- McPhy, Areva H2Gen, Mahytec...

## Exemples :

- Projet CEOG en développement en Guyane (140 MWh H<sub>2</sub> - 20 MW)

# 2 Exemple de projets

# ELECTRIFICATION OF 5 VILLAGES WITH HYBRID POWER PLANTS



**CLIENT** CCOG

**DATES** 2012-2017

## ENGINEERING, AND WORKS SUPERVISION OF THE SYSTEMS' INSTALLATION

- Technical studies, dimensioning, tender documents, bids analysis, construction supervision until commissioning
- Monitoring of the systems



**CLIENT** ENERCAL

**DATES** 2016-2017  
(in progress)

## SOLAR PROJECT INSTALLED ON OUA-TOM AIRFIELD

- Project development (data collection, field survey, layouts, preliminary dimensioning)
- Design (energy capacity, system's performances, tender documentation, assistance with works contracts)

# STEP Abdelmoumen 350 MW (Maroc)

## Justification de la STEP:

- grand écart entre l'appel d'énergie en heures de pointe et en heures creuses.
- Compenser les aléas de la production des parcs éoliens notamment dans le sud du Maroc
  - Augmentation des cycles démarrage/arrêt
  - Réagir rapidement aux variations de la vitesse du vent.

**Structure du coût de production du KWh:** investissement 56%, pompage 35%, charges fixes exploitation 10%

## Caractéristiques:

- Turbinage 5,1 heures/jour,  $Q_{max}$  turbine 465 m<sup>3</sup>/s, chute brute moyenne 554 m
- Réservoirs 2 x 1,3 Mm<sup>3</sup> Conduite forcée / galeries blindées dia. 5 à 3,6 m, longueur 3 km
- Centrale en puits, 2 turbines Francis réversibles
- Cycle fermé : amenée d'eau à partir de la retenue du barrage d'Abdelmoumen

