



Les différentes technologies de stockage de l'électricité

D. Guyomard

Contact : Dominique.Guyomard@cnrs-imn.fr

10 MW - GW

→ Réseau électrique

	Puissance cible / Cycle	Rendement	Investissement(€/kW)	Durée de vie (ans)	Maturité
STEP Stations de pompage et de turbinage	Qq MW/GW	0,7	1000-2000	40	Mature
CAES classique Stockage à air comprimé souterrain	300-500 MW Turbine gaz	0,5 (perte thermique)	700	25	Mature
CAES 2ème génération	300-400 MW Turbine gaz	0,6 (+chaleur turbinage)	400-500	30	Horizon 2010 (à valider)
CAES adiabatique	30-300 MW Turbine à vapeur	0,75 +chaleur compression & turbinage)	1000 (800 à 1200)	30	Horizon 2012-2015 (à expérimenter)
Thermique	Qq 100 MW/GW	0,65 à 0,75	1000 ?	30	Horizon 2020 (stade R&D)

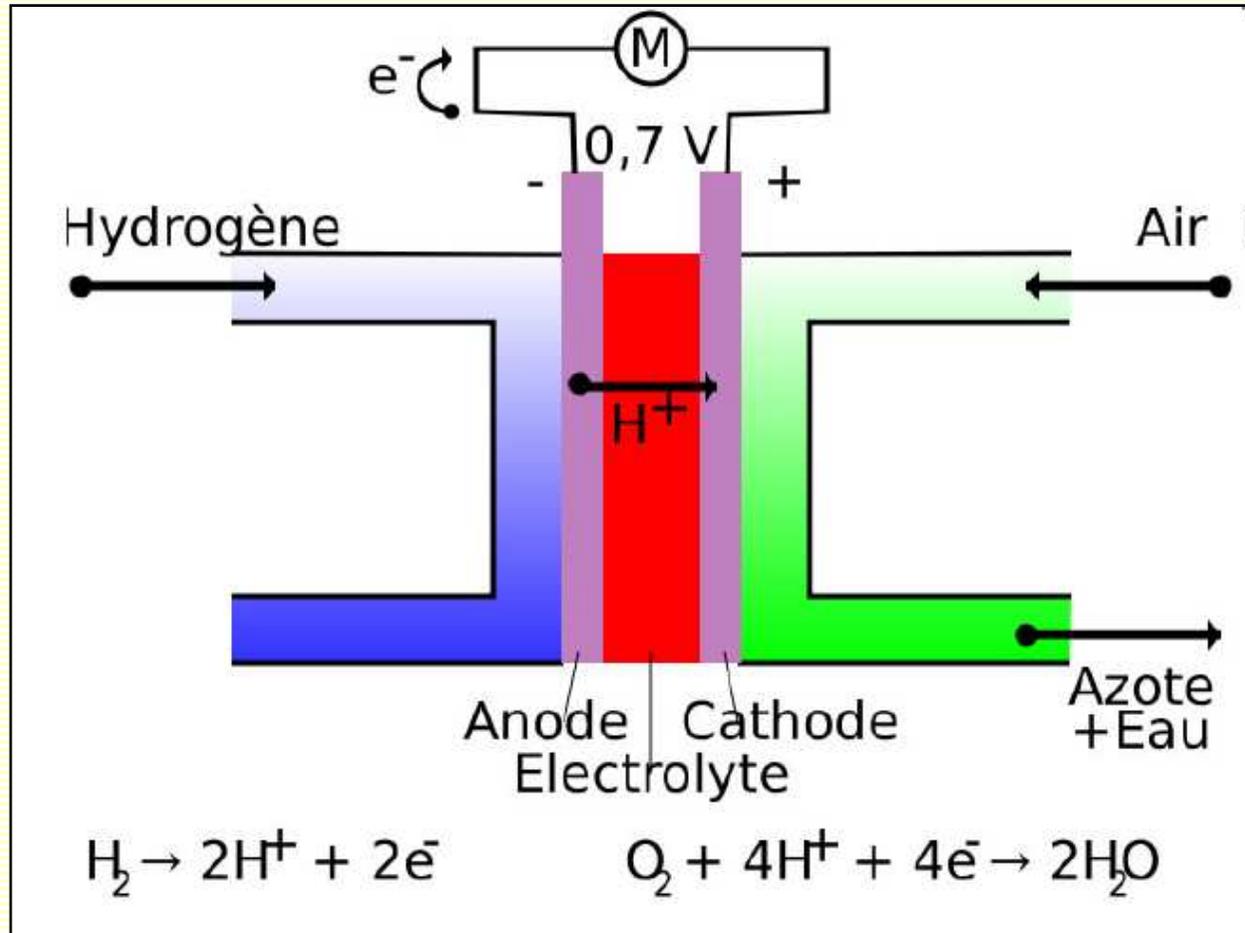
Source : M. Jacquemelle, EDF R&D, 2008

10 kW – 10 MW

→ Réseaux locaux, sites isolés

	Puissance cible	Rendement	Investissement(€/kW)	Durée de vie (ans)	Maturité
CAES avec réservoirs	Qq 1-10 MW	0,6	≈ 1000	30	A valider (2010)
Hydropneumatique	Qq 1-10 MW	0,7	≈ 1000	30	A développer (2015)
Batteries classiques (cycle qq minutes à plusieurs heures)	Qq 10 kW-MW	0,7	500 à 1500	5 (3 à 7) 1500-2000 cycles	Mature
Batteries Redox Flow circulation	Qq MW	0,75	≥3000	15-20 4000-5000 cycles	Mature + R&D d'innovation
Batteries NaS 320°C	Qq 1-10 MW	0,8	≥3000	10-15 2500-3000 cycles	Mature
<i>Source : M. Jacquemelle, EDF R&D, 2008</i>					
Piles à Combustible H₂	kW – 10 MW	kW – 10 MW			Développement

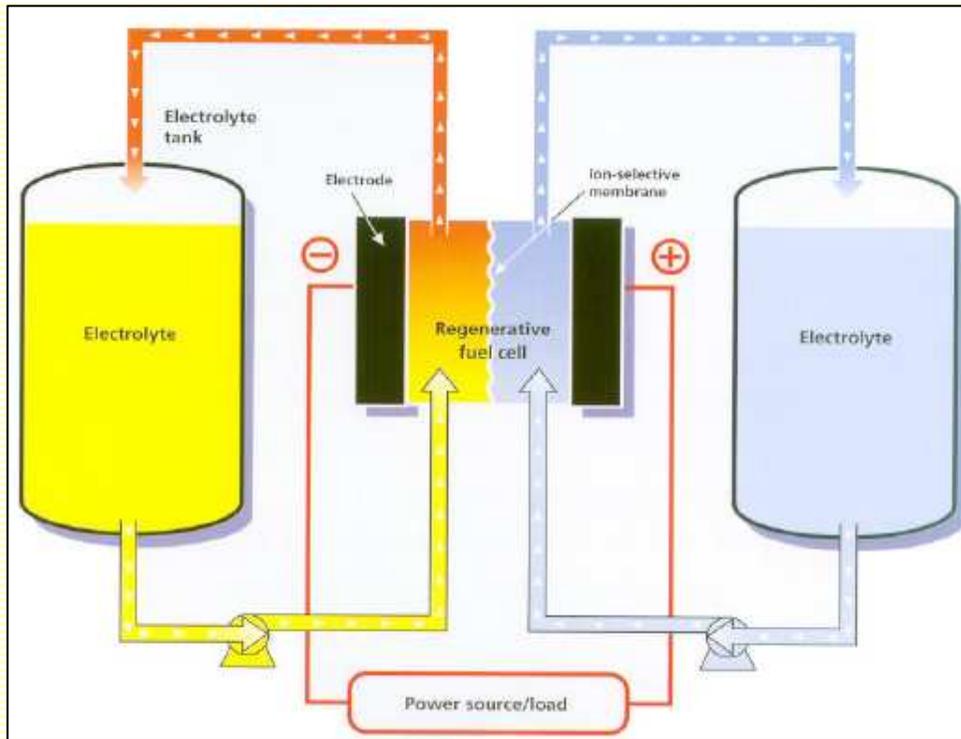
Principe de la pile à combustible



Piles à combustible : différents types et applications

Description	Gaz/liquide à l'anode	Gaz à la cathode	Puissance	Température de fonctionnement	Maturité	Domaine
AFC Alcaline	H ₂	O ₂	10 à 100 kW	60 °C à 90 °C	Commercialisé/ Développement	Portable, transport
DBFC Hydruure de Bore	NaBH ₄ liquide	O ₂	250mW/cm ²	20 °C à 80 °C	Développement	portable <20W
PEMFC – à membrane d'échange de protons	H ₂	O ₂	0,1 à 500 kW	60 °C à 100 °C	Commercialisé/ Développement	portable, transport, stationnaire
DMFC – méthanol	méthanol	O ₂	mW à 100 kW	90 °C à 120 °C	Commercialisé/ Développement	Portable, transport, stationnaire
PAFC acide phosphorique	H ₂	O ₂	jusqu'à 10 MW	environ 200 °C	Développement	transport, stationnaire
MCFC carbonate fondu	H ₂ , Méthane, Gaz de synthèse	O ₂	jusqu'à 100 MW	environ 650 °C	Développement/ Mise sur le marché	stationnaire
PCFC céramique cond. proton	IMN			500 °C	Développement	
SOFC oxyde solide	H ₂ , Méthane, Gaz de synthèse IMN	O ₂	jusqu'à 100 MW	800 °C à 1 050 °C	Développement	stationnaire

Piles à circulation (stockage)



Chemistry	Positive Electrode	Negative Electrode	V
a. Bromine - Polysulfide	$\text{Br}^{3-} + 2e^- \rightarrow 3\text{Br}^-$	$2\text{S}_2^{2-} \rightarrow \text{S}_4^{2-} + 2e^-$	1.54
b. Vanadium - Vanadium	$\text{VO}_2^+ + 2\text{H}^+ + e^- \rightarrow \text{VO}^{2+} + \text{H}_2\text{O}$	$\text{V}^{2+} \rightarrow \text{V}^{3+} + e^-$	1.3
c. Vanadium - Bromine	$\text{ClBr}_2^{2-} + 2e^- \rightarrow 2\text{Br}^- + \text{Cl}^-$	$\text{VBr}_2 + \text{Br}^- \rightarrow \text{VBr}_3 + e^-$	1.0
d. Iron - Chromium	$\text{Fe}^{3+} + e^- \rightarrow \text{Fe}^{2+}$	$\text{Cr}^{2+} \rightarrow \text{Cr}^{3+} + e^-$	1.03
e. Zinc - Bromine	$\text{Br}^{3-} + 3e^- \rightarrow 3\text{Br}^-$	$\text{Zn}^{2+} + 2e^- \rightarrow \text{Zn}$	1.75
f. Zinc - Cerium	$\text{Zn}^{2+} + 2e^- \rightarrow \text{Zn}$	$\text{Ce}^{3+} \rightarrow \text{Ce}^{4+} + e^-$	<2

10 kW – 10 MW

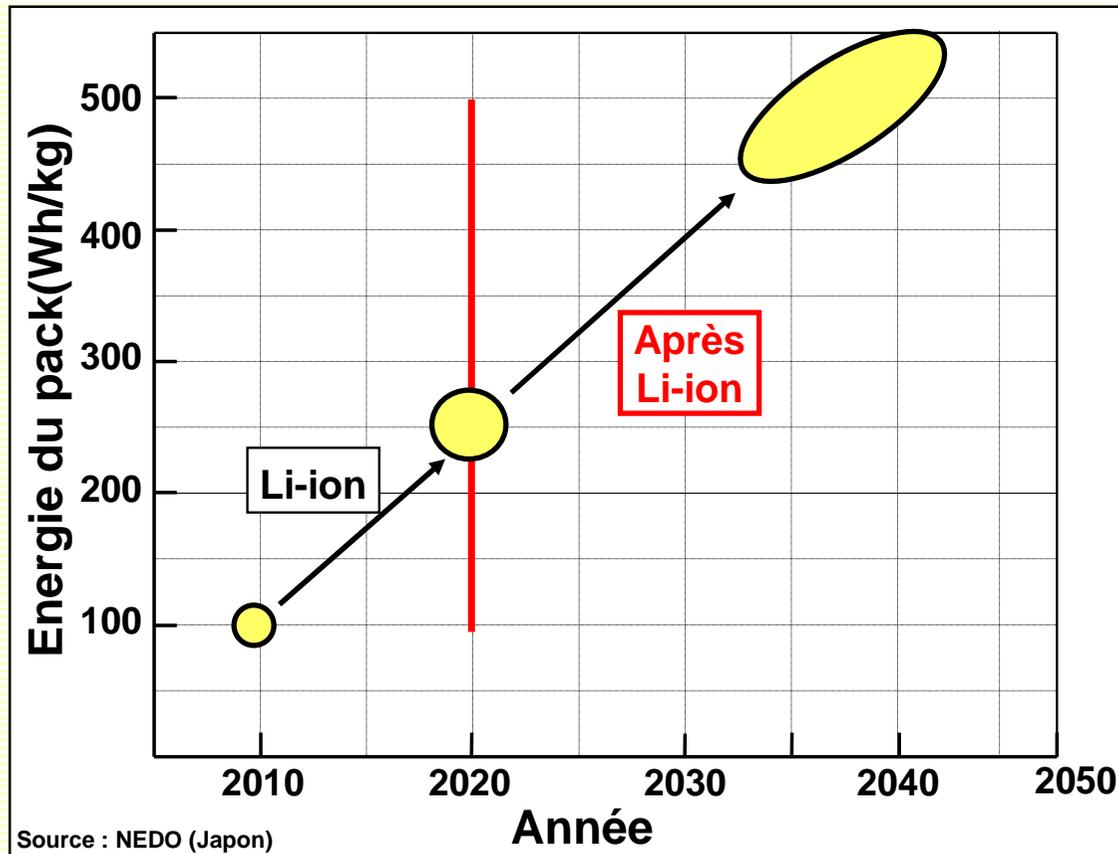
→ transports (camions, bus, voitures)

Technologie	Rendement / cycle
<u>Batteries chaudes</u> Na-S (320°C) Zebra Na-NiCl ₂ (320°C) Li-FeS ₂ (450°C)	80%
<u>Batteries ambiante</u> Pb Ni-Cd (industrielle) Zn-air Ni-HM Li	85%
Volant d'inertie	35%
Supercondensateurs (C-C)	90%
H₂ - Piles à combustible	70%

Avantages et inconvénients

Technologie	Avantages	Inconvénients
<u>Batteries chaudes</u> Na-S (320°C) Zebra Na-NiCl ₂ (320°C) Li-FeS ₂ (450°C)	Bonne énergie	Gestion thermique Peu de puissance Faible durée de vie
Zn-air	Très bonne énergie	Charge difficile Faible cyclabilité
Ni-HM	Bonne énergie Bonne cyclabilité Bonne puissance	Coût élevé Autodécharge
Lithium	Très bonne énergie Très bonne cyclabilité Forte puissance	Coût très élevé Sécurité packs
Supercondensateurs	TRES forte puissance Très bonne cyclabilité	Faible énergie
H ₂ - Piles à combustible	Excellente autonomie	Coût trop élevé Durée de vie

Le futur



Zn air	X2,	2015
Lithium soufre	IMN	2020
Lithium air	X5,	2020
Na-ion	IMN	/ 2, 2020
???	X7,	2050