atee Club Stockage d'Energies
ASSOCIATION TECHNIQUE ENERGIE ENVIRONNEMENT

Efficacité énergétique | Stockage d'énergies | Cogénération | Biogaz | CEE | Power to Gas | Pyrogazéification

Atelier stockage PPE
Contribution du Club Stockage d'énergies

3 Juin 2022



ATEE

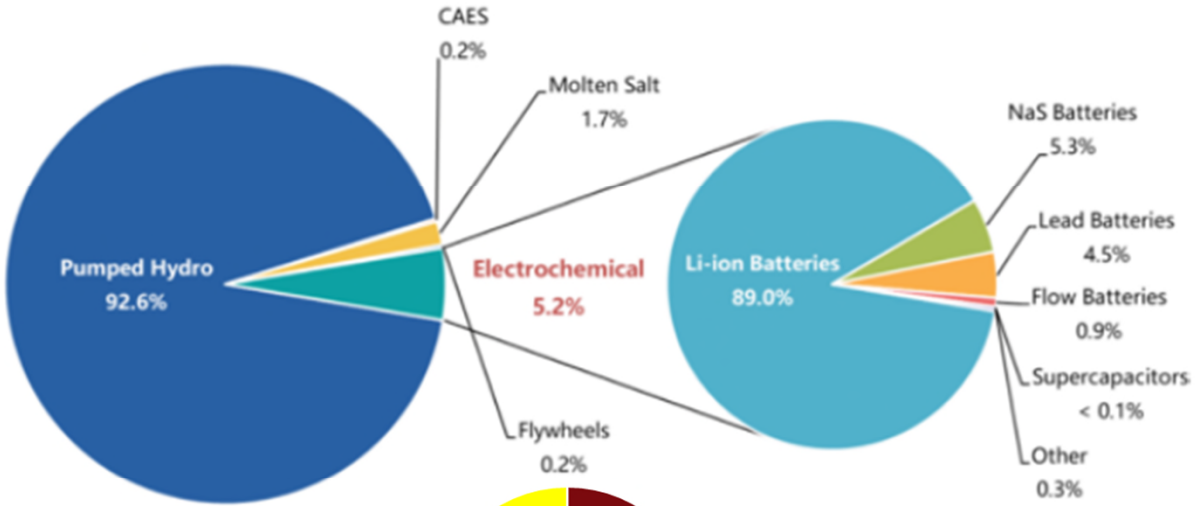
Les solutions de stockage d'énergie déployées dans le Monde

En 2020, la base de donnée américaine (DOE) enregistre 191 GW de stockage au niveau mondial (dont 95% de STEP) tandis que la base de donnée chinoise (CNESA) enregistre 185 GW (dont 93% de STEP)

Capacité de stockage au niveau mondial en 2020 (MW)

Par type de stockage, selon CNESA

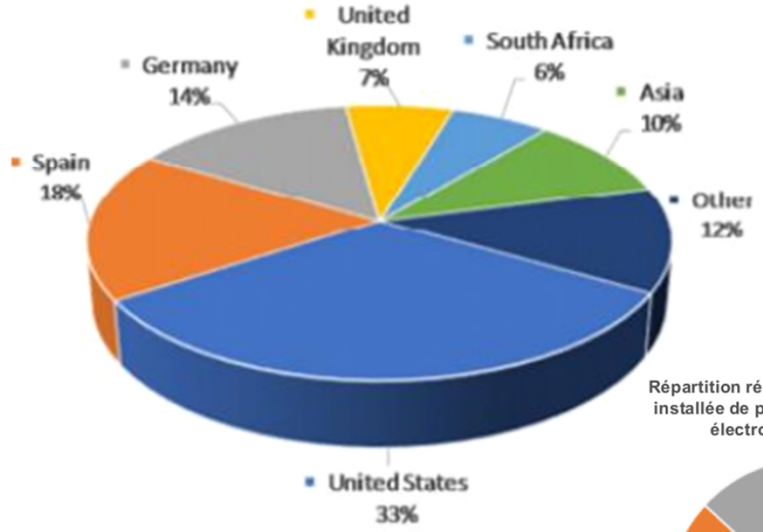
Total : 185 GW



Source : CNESA (2020)

Par zone géographique, selon DOE

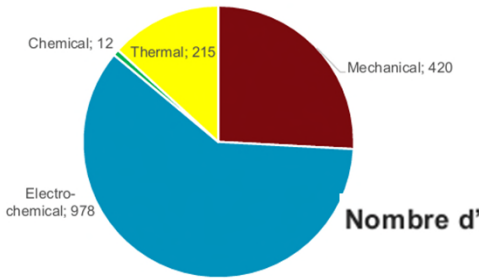
Total : 191 GW



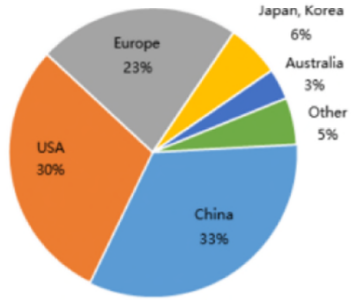
Source : DOE (2020)

Nombre d'installations de stockage dans le monde par type

Total : 1625

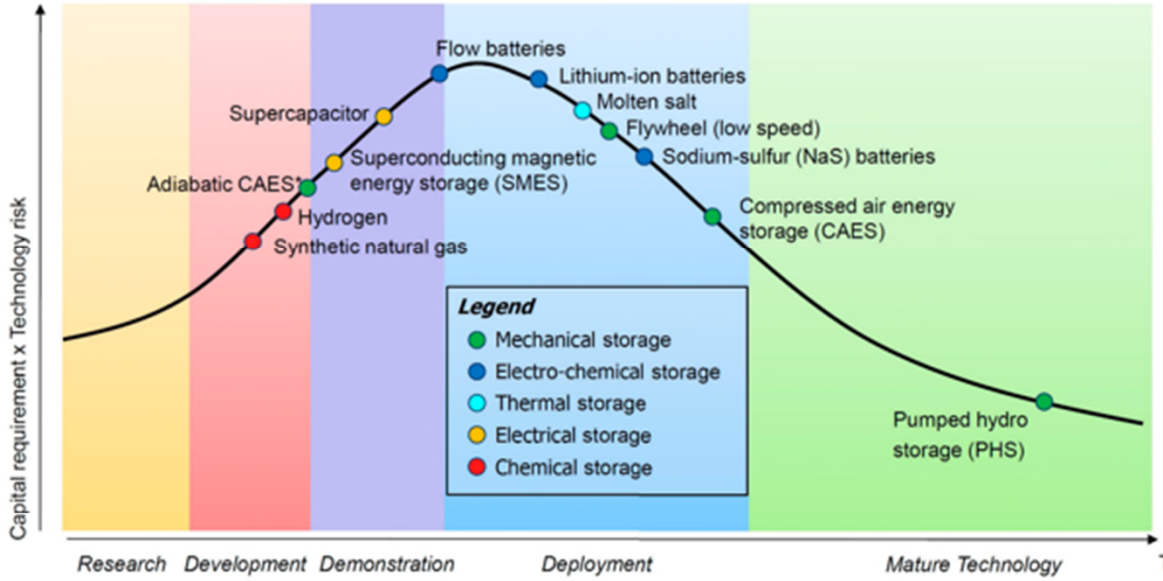


Répartition régionale par nouvelle capacité installée de projets de stockage d'énergie électrochimique en 2020 (%)



Source : CEA

Cette diversité reflète des niveaux de maturité variables mais évoluant rapidement



http://www.mdpi.com/1996-1073/9/9/674/htm

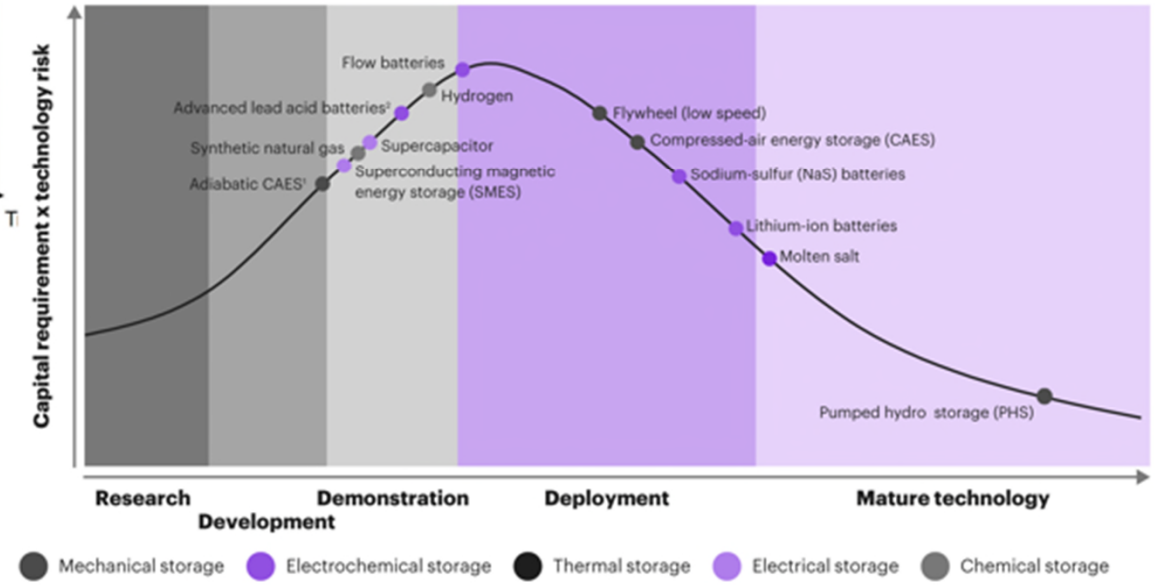
2013

2017

Figure 3

Electricity-storage technologies are at very different levels of maturity, but many face significant risk and extensive capital requirements

Technology maturity curve



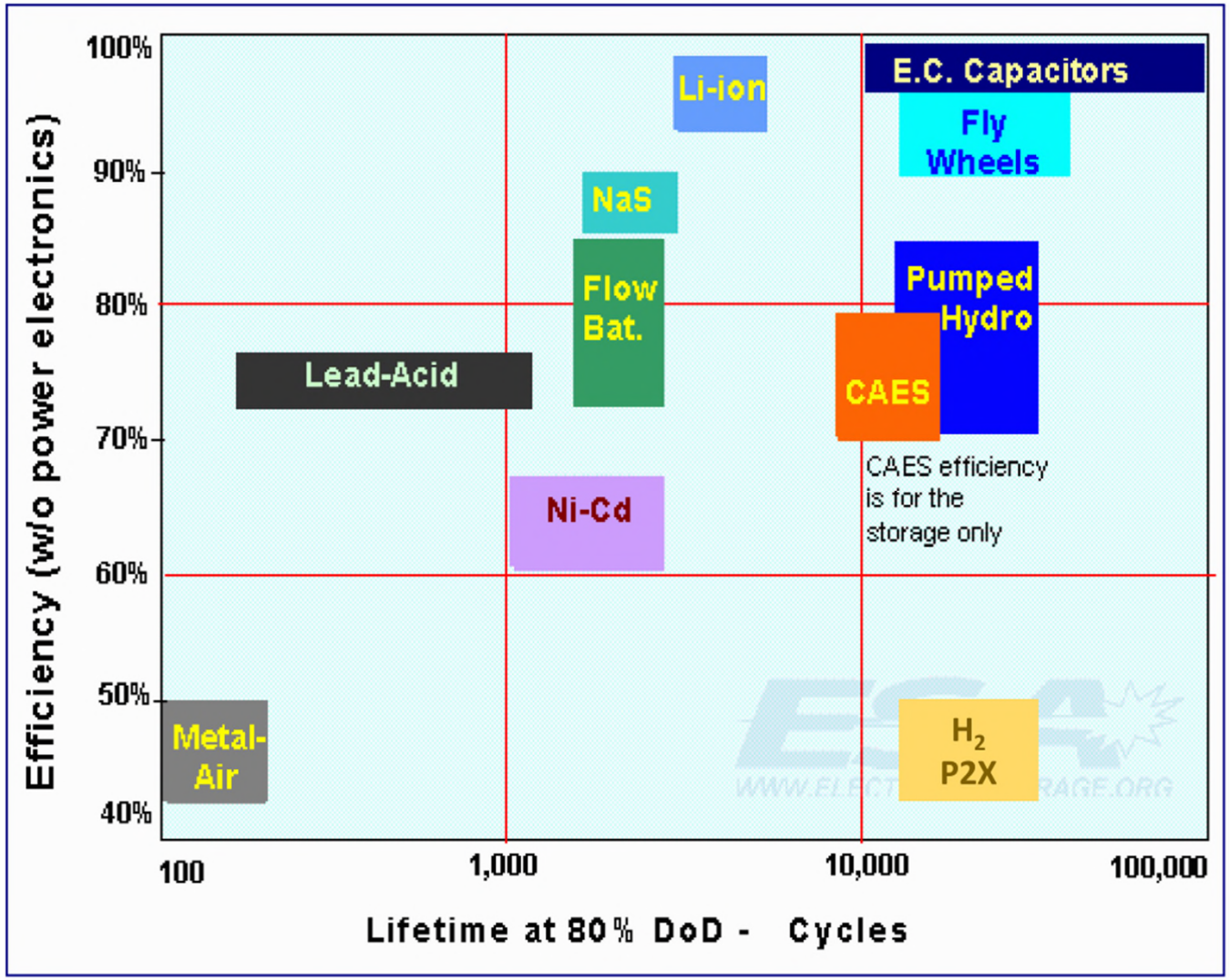
¹ CAES is compressed-air energy storage.

² Valve regulated lead acid batteries is a mature technology.

Source: A.T. Kearney Energy Transition Institute analysis

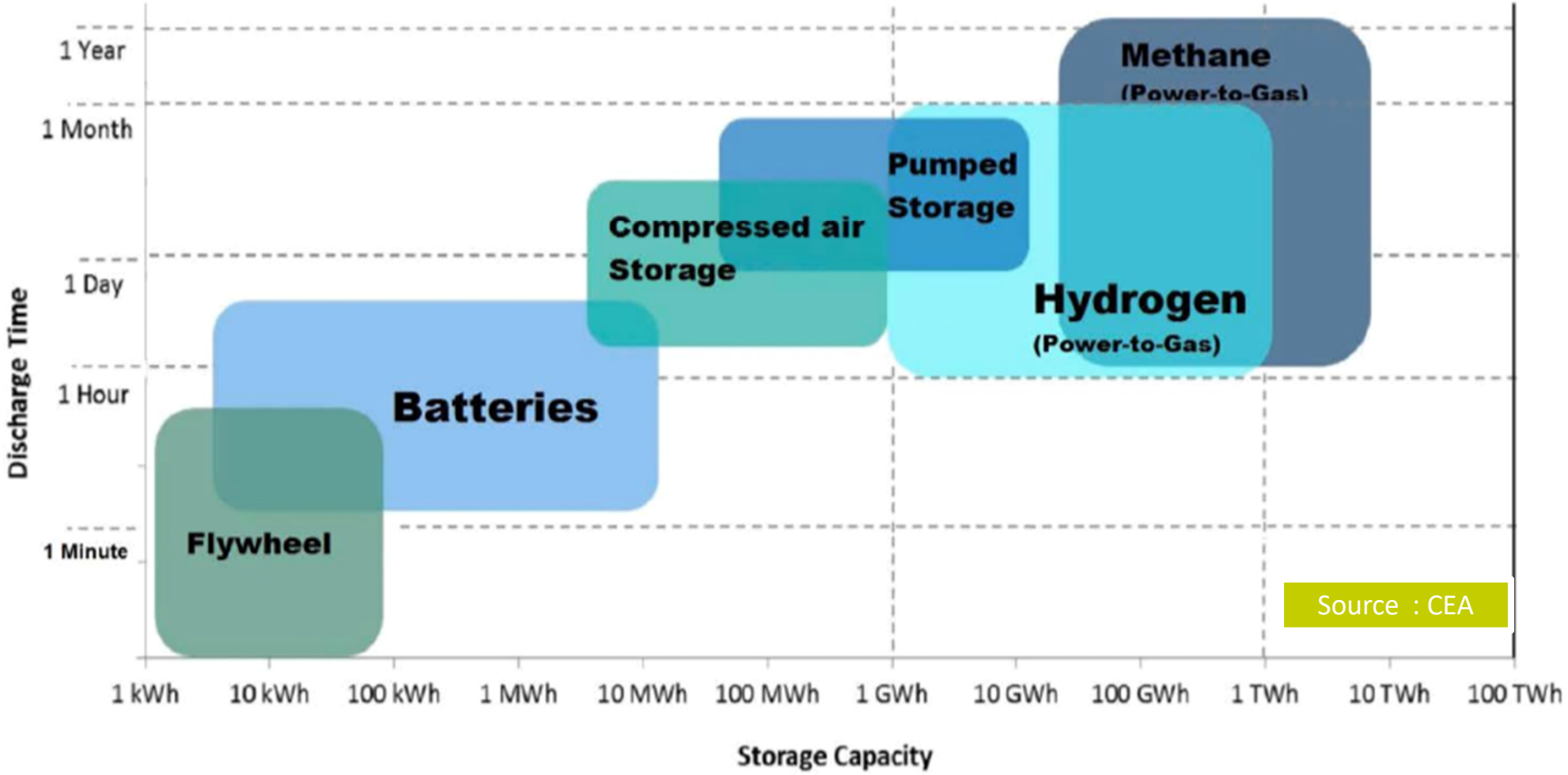
Source : CEA

Toutes ces technologies ne se valent pas en termes de durée de vie et de rendement

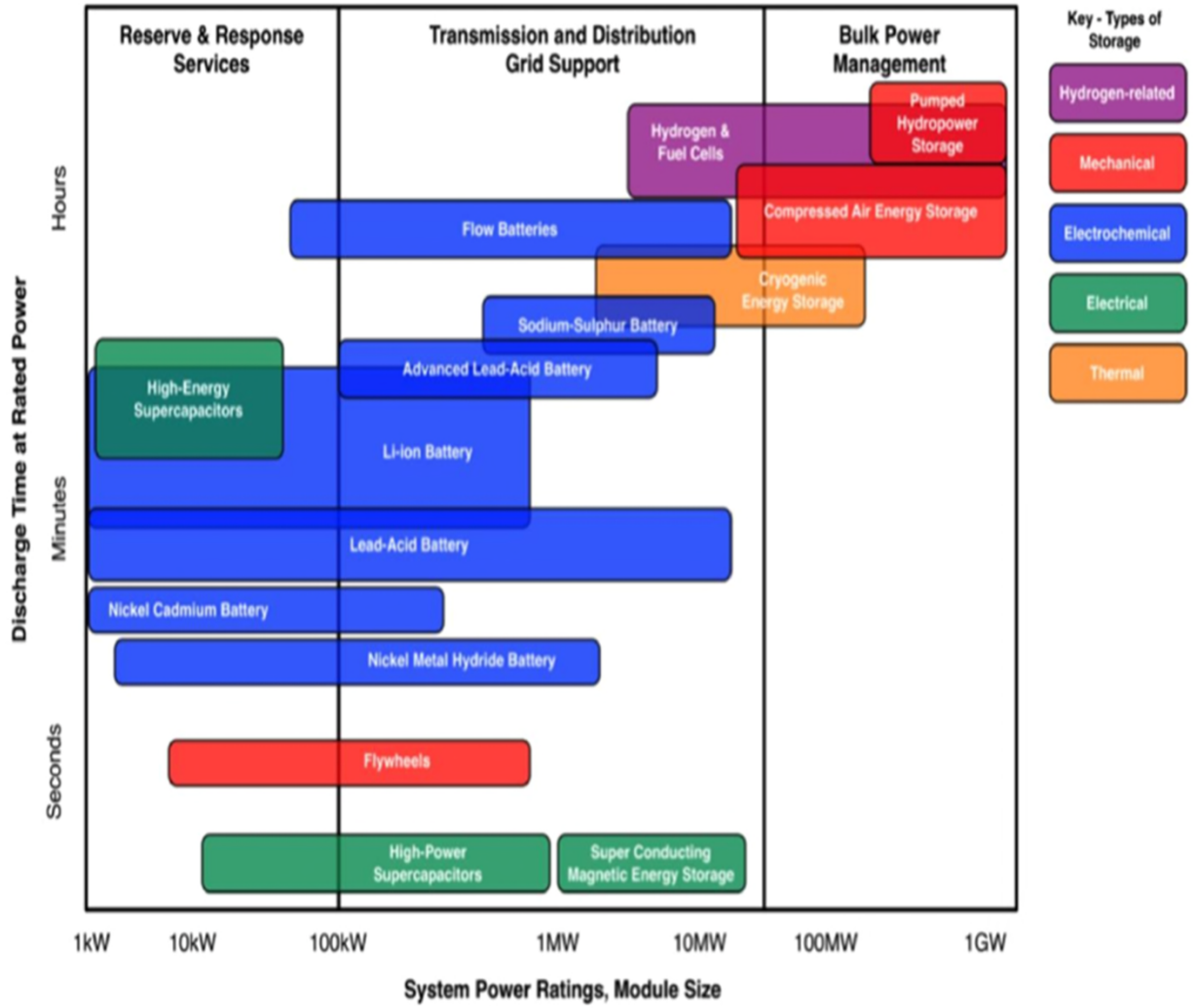


Source : ESA

Constante de temps et énergie moyenne des systèmes de stockage drivent leur dimensionnement suivant les services à rendre



Tout comme les constantes de temps/Puissances moyennes

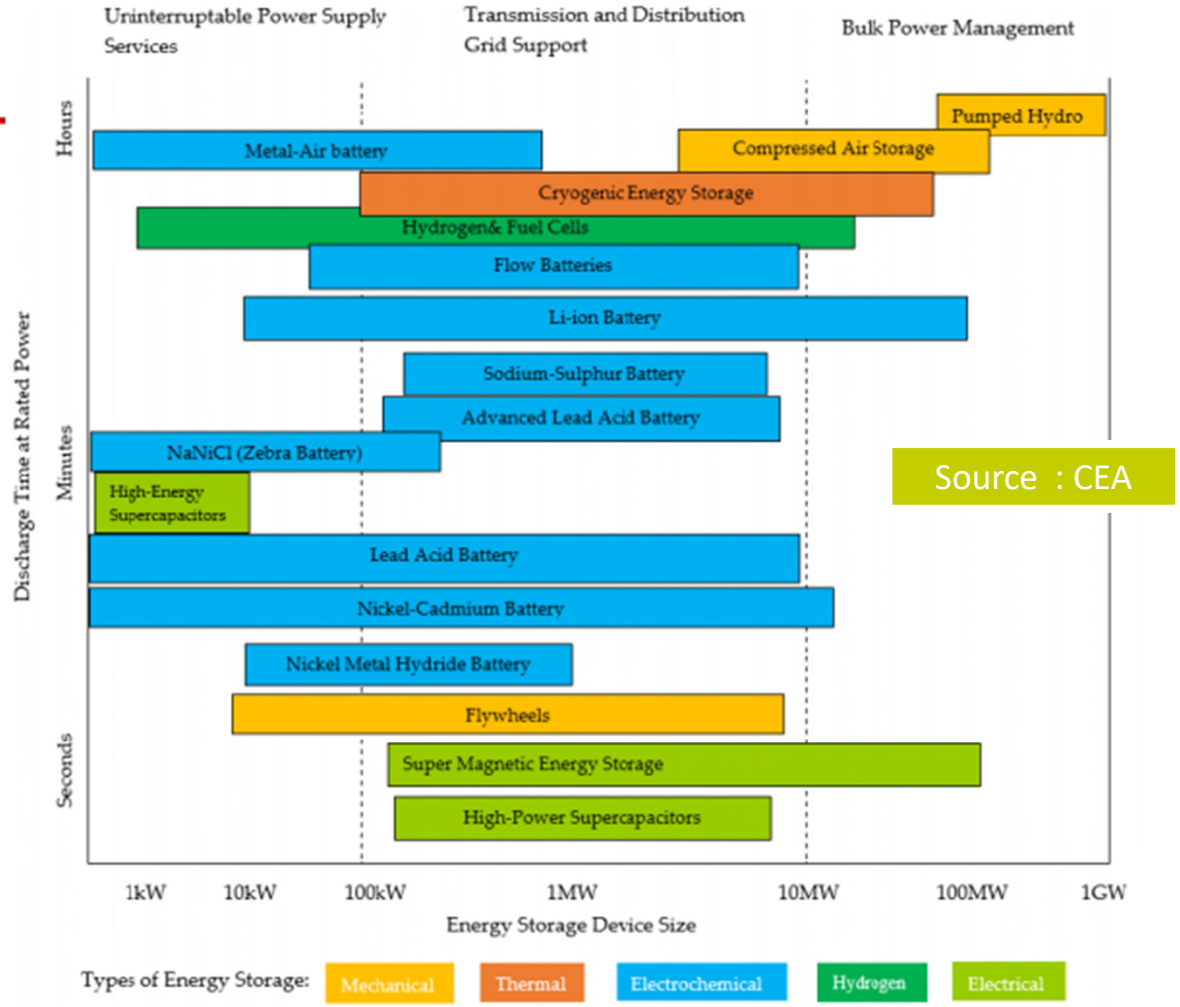


Segmentation du stockage versus les services à assurer

La technologie doit être choisie en fonction des attendus du service ciblé : temps de décharge, taille…

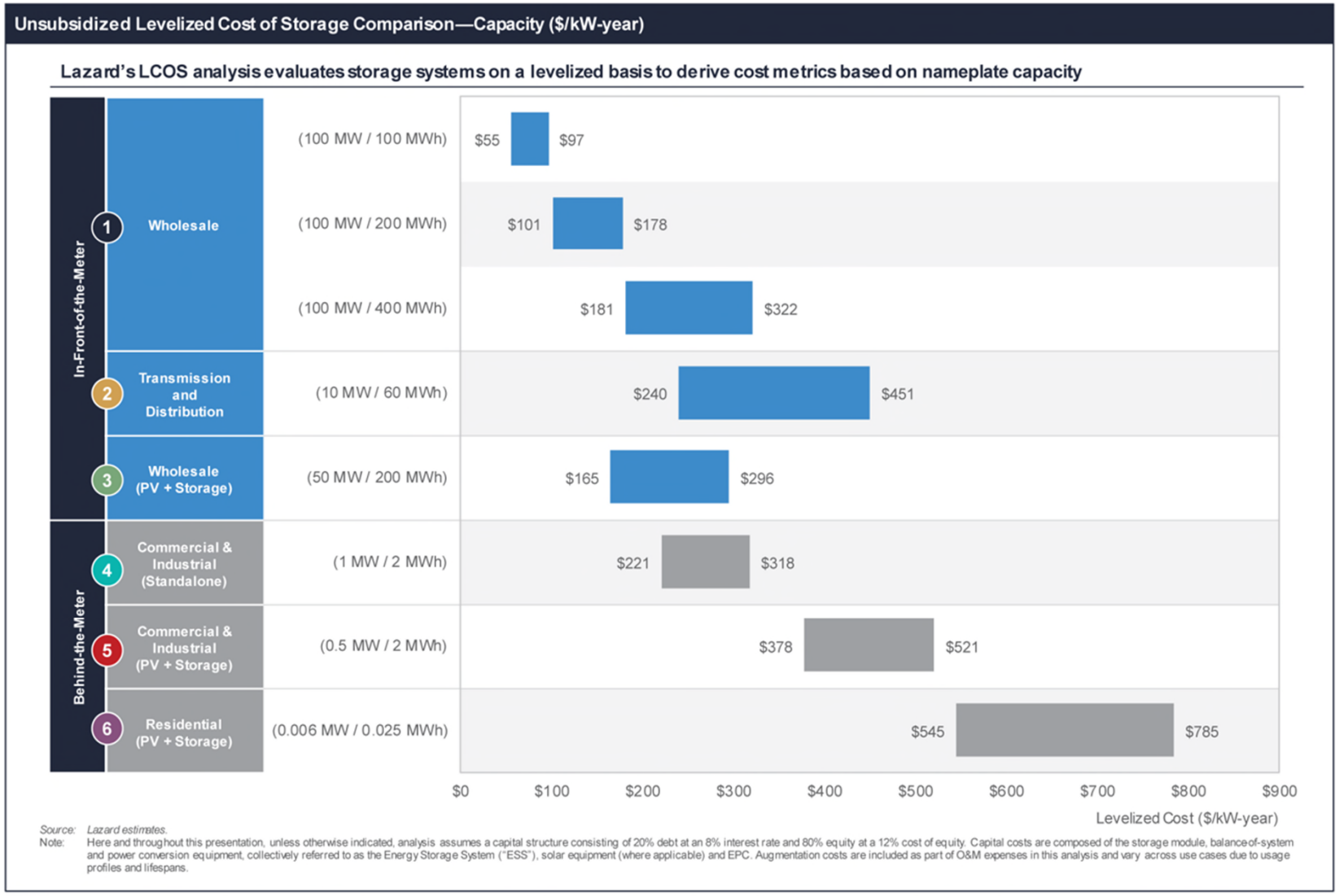
- **Volants à inertie :** Constantes de temps de quelques minutes, bien adapté au service de **tenue de fréquence** (qui nécessite une réserve de puissance – réserve primaire max 30s)
- **Batteries Li-ion :** Constantes de temps de l'ordre de l'heure, pertinentes pour des **services système,**, le « ramping » des centrales au gaz, le lissage journalier en association avec des panneaux photovoltaïques off-grid ou éolien (en particulier en zones non interconnectées)
- **Les batteries sodium-soufre (**constructeur japonais NGK) : Constante de temps de 7 h, permet de faire du **lissage un peu plus long** que les batteries Li-ion
- **STEP françaises** : Constantes de temps comprises entre quelques heures et 30h (Grand Maison), voire 40h pour celle de Montézic, dans des conditions « nominales »
- **Piles à combustibles hydrogène :** Stockage inter-saisonnier

Source : Gailani et al. (2020)



Source : CEA

Coûts des différentes technologies de stockage



Source : CEA

Source: Lazard Levelized Cost of Storage Report v7.0 https://www.lazard.com/perspective/levelized-cost-of-energy-levelized-cost-of-storage-and-levelized-cost-of-hydrogen/

Stockages multiservices
2 principaux modèles d'affaire dans le Monde

1 Installations de stockage hybrides

- Le stockage est couplé à une autre activité :
  - Production électricité (renouvelable ou non)
  - Flotte de véhicule électrique (charge/décharge)
- Fournitures un ou plusieurs services en complément :
  - Ancilliary services
  - Resource adequacy / Capacity market
  - Energy arbitrage
  - Black Start
  - Autres

+ vente e-ENR/GO

- Toute taille et type de stockage
- Business model répandu

Exemple

AES Energy Storage



Laurel AES : 1 batterie de 32 MW / 8 MWh

- En complément d'un parc éolien de 98 MW
- Resource adequacy, Ancilliary (frequency regulation)

2 Installations dédiées au stockage

- Le stockage est l'activité principale :
  - Ancilliary services
  - Resource adequacy / Capacity market
  - Energy arbitrage
  - Black Start
  - Autres
- Plutôt des installations de grandes tailles et électrochimique
- Business model émergeant
- A l'avenir : Mise en place de systèmes permettant aux installations de production PV ou éolien de se connecter facilement à une grande installation de stockage (à l'étude à Jardelund, Allemagne) ?

Exemple

WÄRTSILÄ



Pivot Power : 2 batteries de 50 MW / 50 MWh

- Resource adequacy, Energy arbitrage, Ancilliary services, EV Charging
- Avec optimisation dynamique

Source : CEA

Évolutions technologiques attendues sur les batteries

Une évolution progressive vers la 4ème génération

Génération	3a	3b	3b+	4a	4b
Électrode négative	SiOx (<5%) Graphite	SiOx (<10%) Graphite	SiOx (<10%) Graphite	SiOx (<10%) Graphite	Li métal (anodeless)
Électrode positive	NMC622 NCA	NMC811 NCA	NMC811 NCA	NMC811 NCA	NMC811 NCA
Électrolyte	Liquide	Liquide	Gélifié	Solide	Solide
Objectifs	300 Wh/kg 700 Wh/l	350 Wh/kg 750 Wh/l	350 Wh/kg 750 Wh/l	350 Wh/kg 800 Wh/l	430 Wh/kg 1100 Wh/l

Li-ion avancé

Amélioration de la sécurité

Li-ion « tout solide »

Electrolyte « tout solide » ➔ Amélioration de la sécurité (?)

Source : CEA Liten

Les Steps en France – Un parc important en constante amélioration

La maîtrise toujours améliorée des calculs de transitoires hydrauliques permet d'exploiter au mieux les dynamiques de variation de charge au service de la performance et sans dégrader la sûreté.

Un exemple d'application : le court-circuit hydraulique à Grand Maison, alternative à la vitesse variable :

- Groupes réversibles en mode pompe et groupes Pelton en turbine.
  - → Présente un grand intérêt lorsque les coûts marginaux en services système sont importants.
  - → Les Pelton fournissent du Service Système en fréquence avec les groupes réversibles en mode pompe.
- N'implique pas de sur-sollicitation des groupes (nombre de démarrage/arrêt).
  - → Démarrage à la volée des Pelton après le mode lan



