



Programme Stockage de l'énergie

Bilan et perspectives scientifiques

Thierry Brousse, président du Comité d'évaluation
Stock-E 2010



Contexte et enjeux du stockage de l'énergie



- Défi technologique majeur du 21ème siècle
- Maillon incontournable d'une politique de gestion optimisée de l'énergie.
- Levier indispensable pour réduire la consommation de carburants fossiles et les émissions de CO₂
 - ✓ Par amélioration de l'efficacité énergétique dans les transports, les systèmes industriels, l'habitat
 - ✓ Par intégration des énergies renouvelables dans le mix énergétique
 - ✓ En contrôlant et améliorant la qualité de l'énergie distribuée
- Mais présence de verrous technologiques sur le stockage des deux vecteurs énergétiques: électricité et chaleur





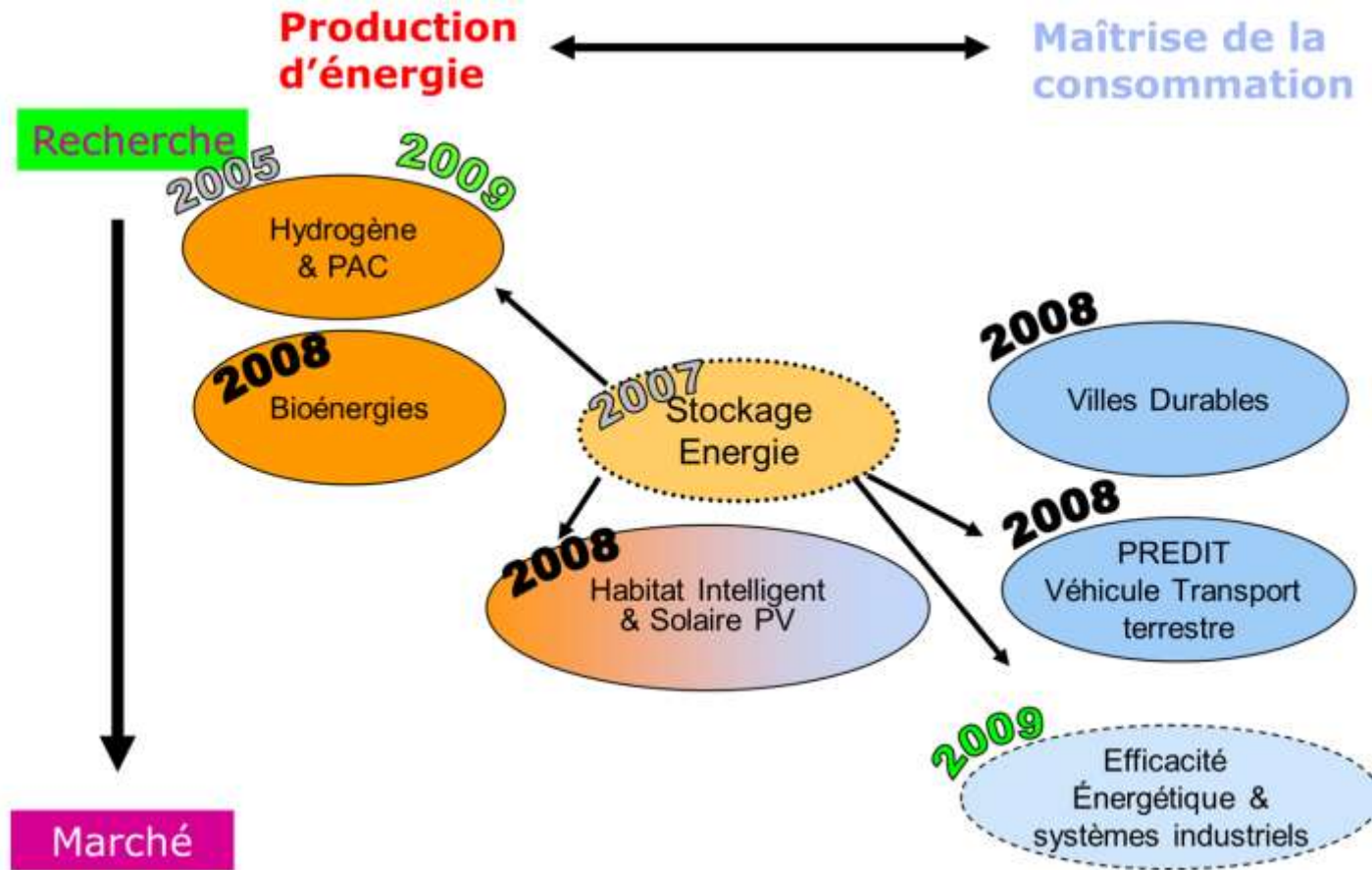
Objectif et positionnement de Stock-E



- Favoriser le développement et l'intégration de systèmes innovants de stockage (stationnaires et embarqués) permettant une gestion optimisée de l'énergie et l'introduction massive des énergies renouvelables
- Renforcer la compétitivité des technologies françaises
- Favoriser des ruptures en attirant de nouvelles communautés scientifiques
- Renforcer les partenariats public-privé



Objectif et positionnement du programme



Périmètre thématique de Stock-E



5 axes de recherche:

- **depuis les briques élémentaires jusqu'à l'intégration du composant**
- **Dynamiser les filières existantes, renforcer les filières émergentes**
 - ✓ **Axe 1 : Stockage électrochimique de l'énergie**

Augmenter les densités de puissance et d'énergie, la sécurité, et diminuer le coût des accumulateurs et des supercondensateurs; satisfaire les besoins dans les transports et les énergies renouvelables.
 - ✓ **Axe 2 : Stockage de l'énergie thermique**

Stockage intersaisonnier de la chaleur dans le secteur résidentiel et tertiaire, stockage haute température pour les besoins de l'industrie et du solaire à concentration.
 - ✓ **Axe 3 : Autres systèmes de stockage**

Améliorer ou développer des systèmes de stockage mécanique, par air comprimé, magnétique supraconducteur, magnétocalorique, et hydraulique de l'énergie.
 - ✓ **Axe 4 : Gestion et Intégration du composant**
 - ✓ **Axe 5: Intégration du stockage dans la gestion de l'énergie**

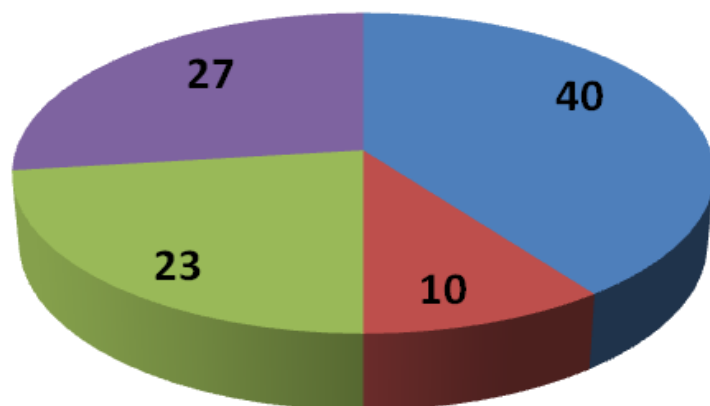
Contribution du stockage aux futurs réseaux intelligents ou à la gestion locale de l'énergie.



Stock-E: récapitulatif 2007 - 2010



- 120 projets déclarés recevables pour 129 projets reçus
- 39 projets sélectionnés ($\approx 30\%$) pour une aide totale de 28 M€



■ Batteries **AUTRES: Air Comprimé (3), Volant d'inertie (1), Magnétocalorique (1), Gestion de l'énergie (1), SMES (1).**
■ SuperC
■ Chaleur
■ Autres

% aides accordées par axes thématiques

50% des aides accordées aux projets d'électrochimie. La catégorie 'autres' représente généralement des projets importants.

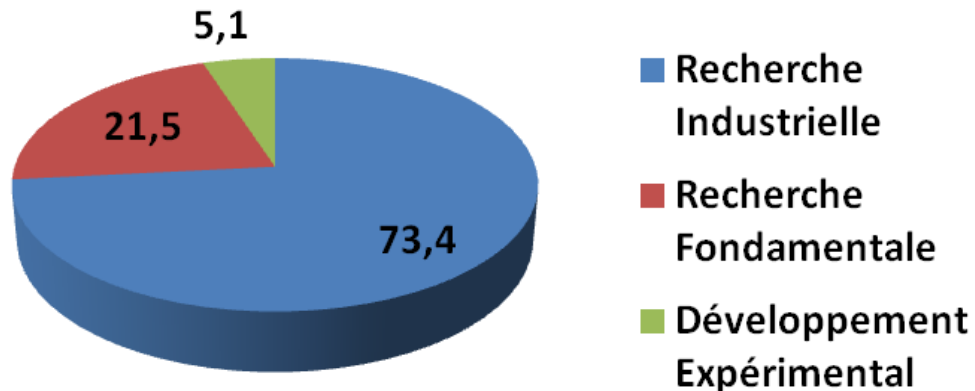


Stock-E: récapitulatif 2007 - 2010

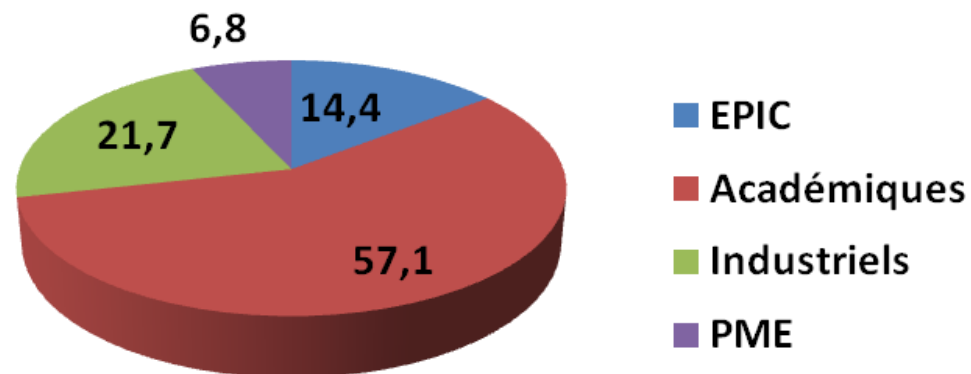


➤ Pourcentage d'aides par types de recherche.

La recherche fondamentale est intégralement le fait de l'électrochimie.

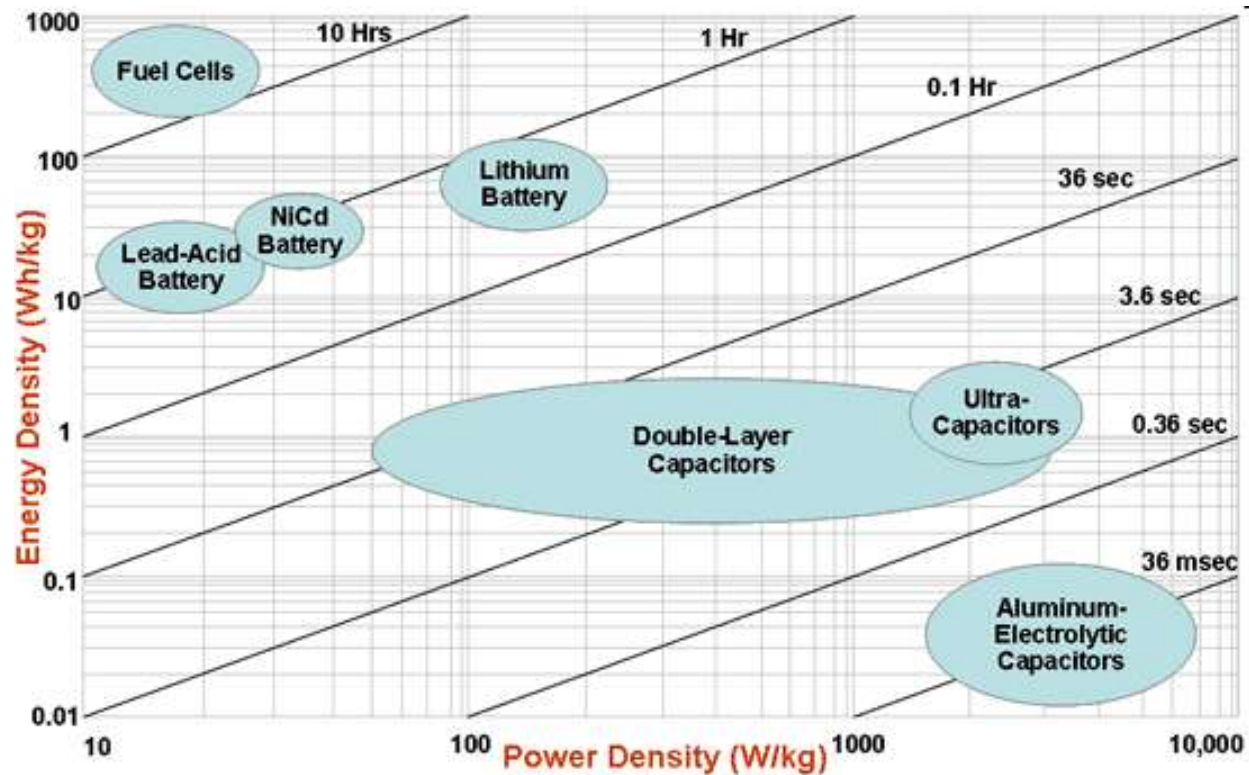


➤ Répartition des aides par catégorie d'établissements.





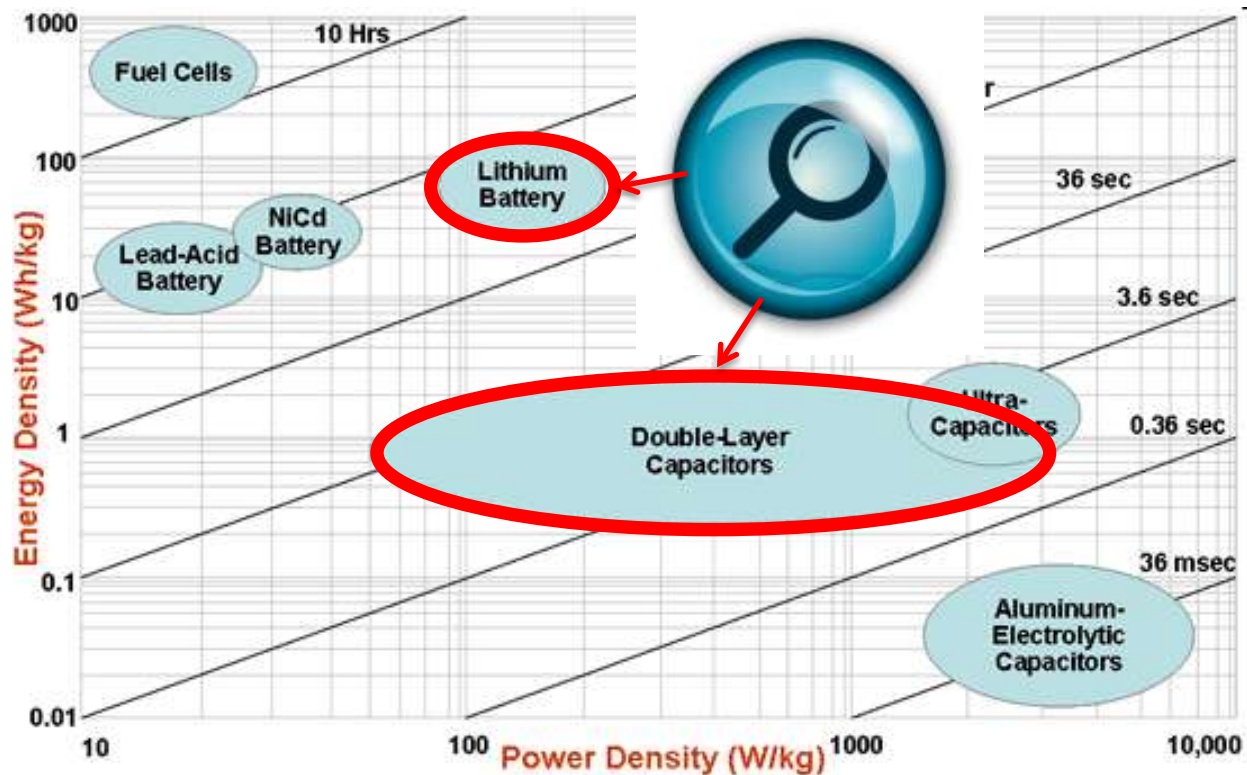
Résultats stockage électrochimique 2007-2008



Source US Defence Logistics Agency



Résultats stockage électrochimique 2007-2008



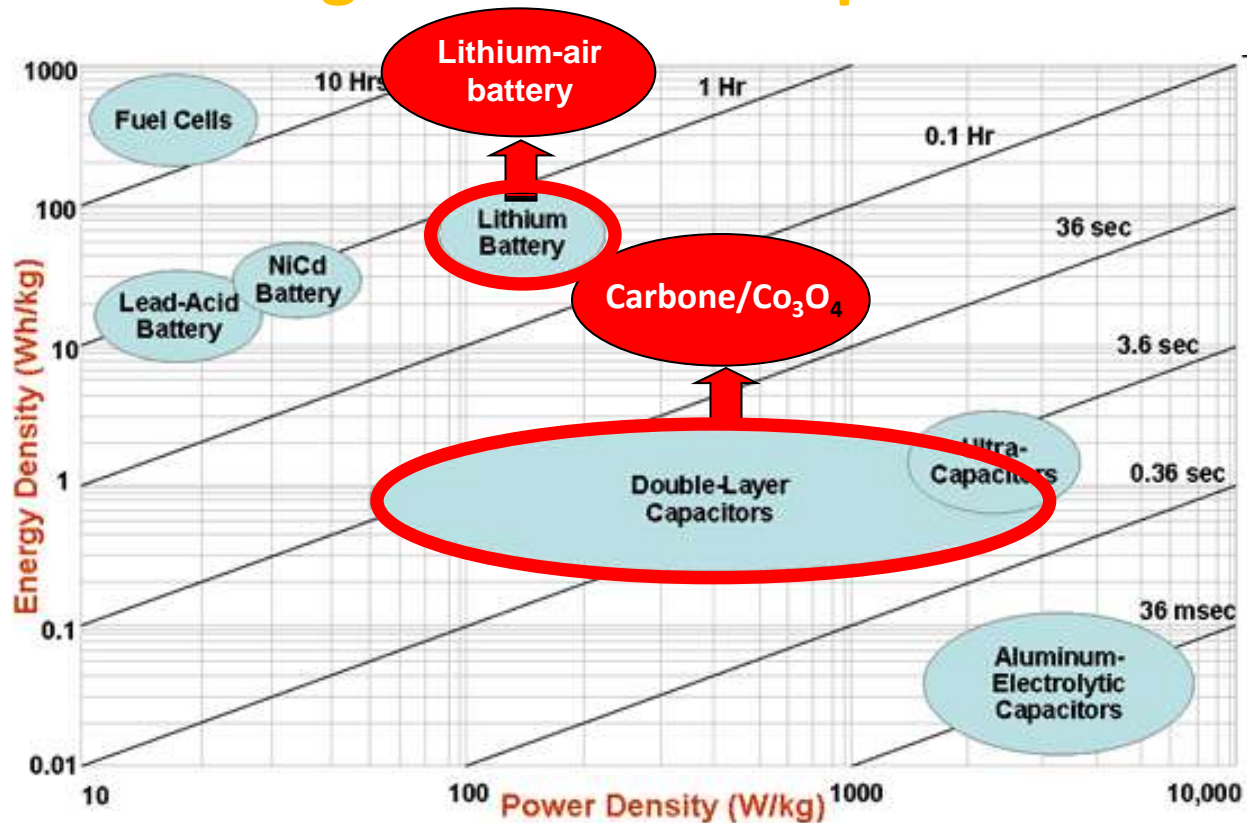
Source US Defence Logistics Agency

Comprendre les dispositifs pour les améliorer

- ✓ Méthode d'étude in operando de batterie à partir des lignes de lumière du synchrotron Soleil.
- ✓ Compréhension du fonctionnement à l'échelle nanométrique des supercondensateurs organiques.



Résultats stockage électrochimique 2007-2008



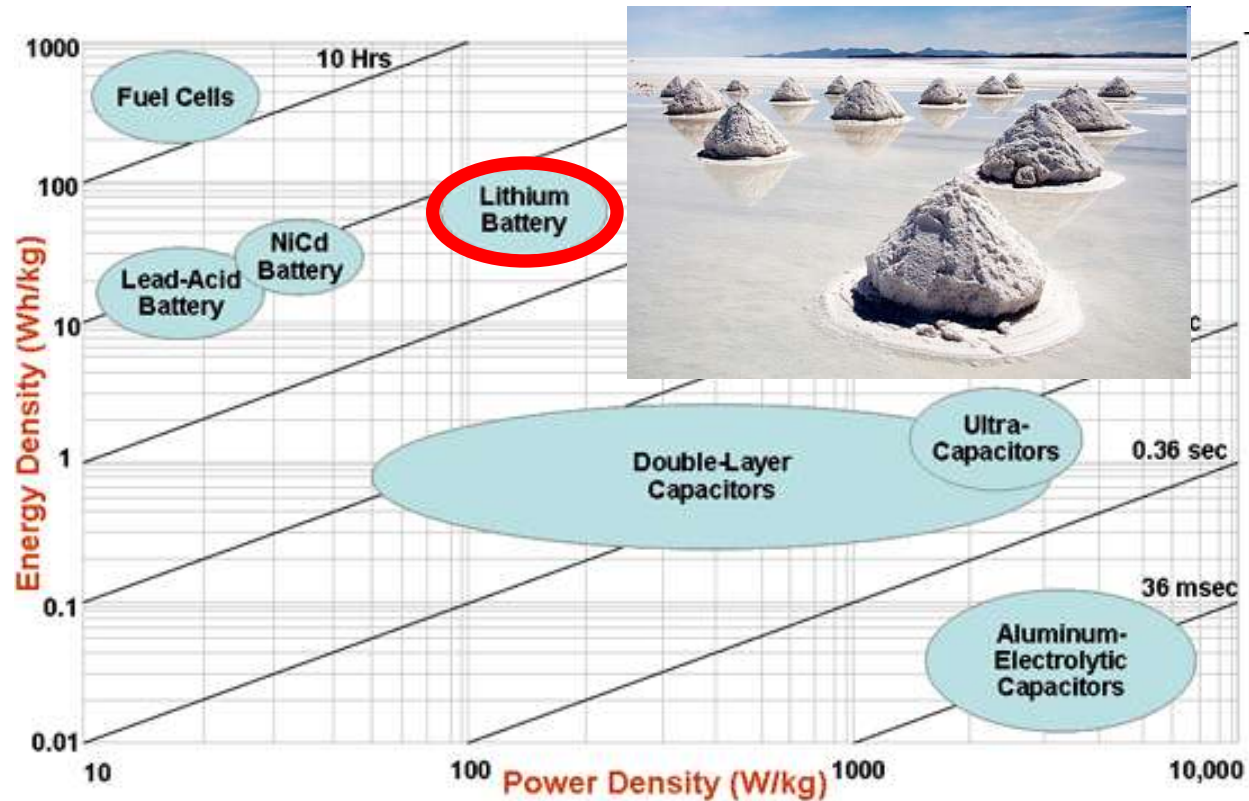
Source US Defence Logistics Agency

Augmenter les densités d'énergie des batteries et des supercondensateurs

- ✓ Développement du lithium air pour les futurs véhicules électriques.
- ✓ Travaux sur les électrodes pour supercondensateurs à base d'oxyde de cobalt



Résultats stockage électrochimique 2007-2008

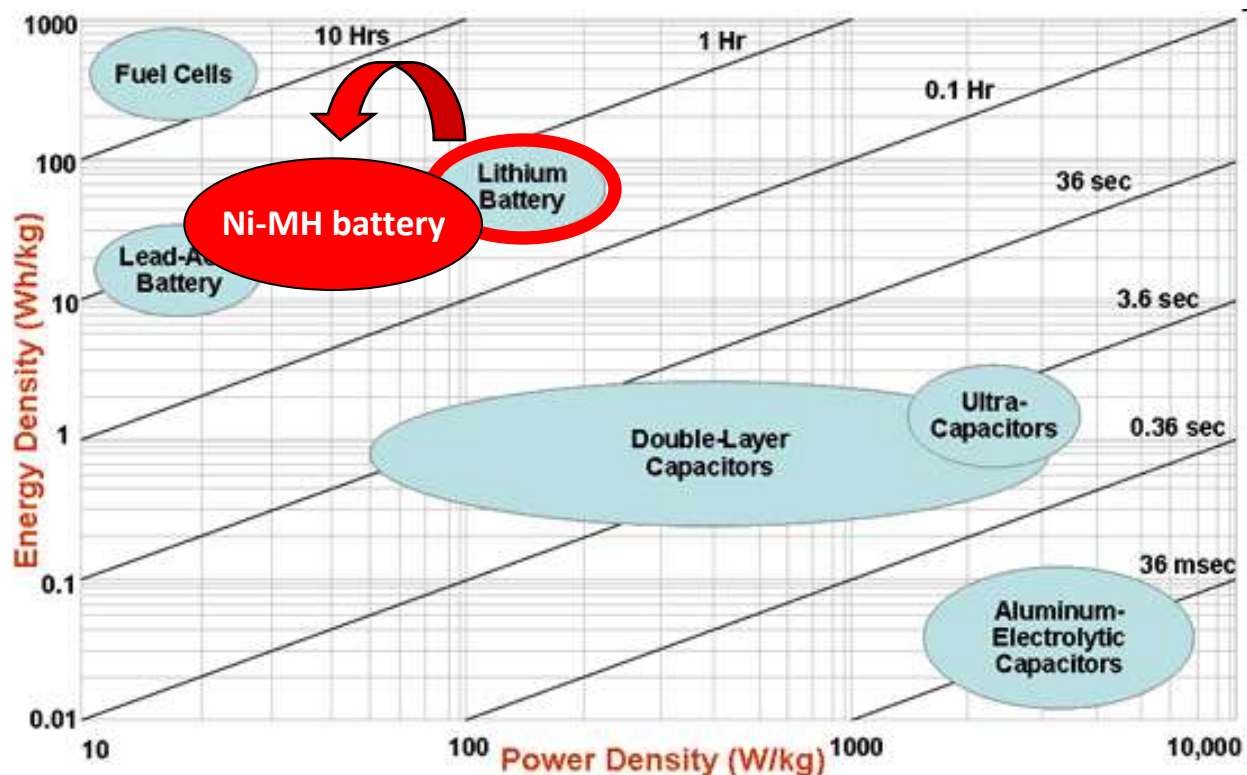


Source US Defence Logistics Agency

Diversifier les systèmes



Résultats stockage électrochimique 2007-2008



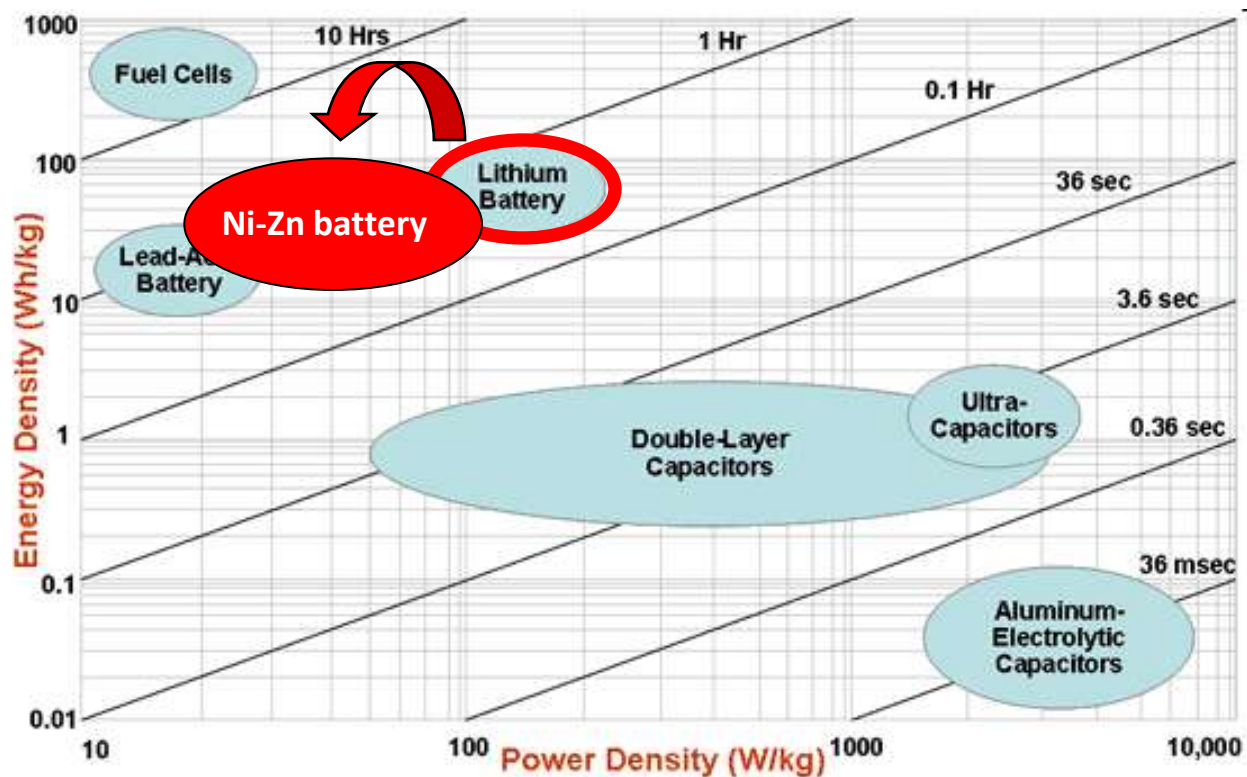
Source US Defence Logistics Agency

Diversifier les systèmes

- ✓ Amélioration des accumulateur Nickel Zinc pour applications stationnaires.
- ✓ Mise au point de nouveaux matériaux pour l'amélioration des batteries NiMH.



Résultats stockage électrochimique 2007-2008



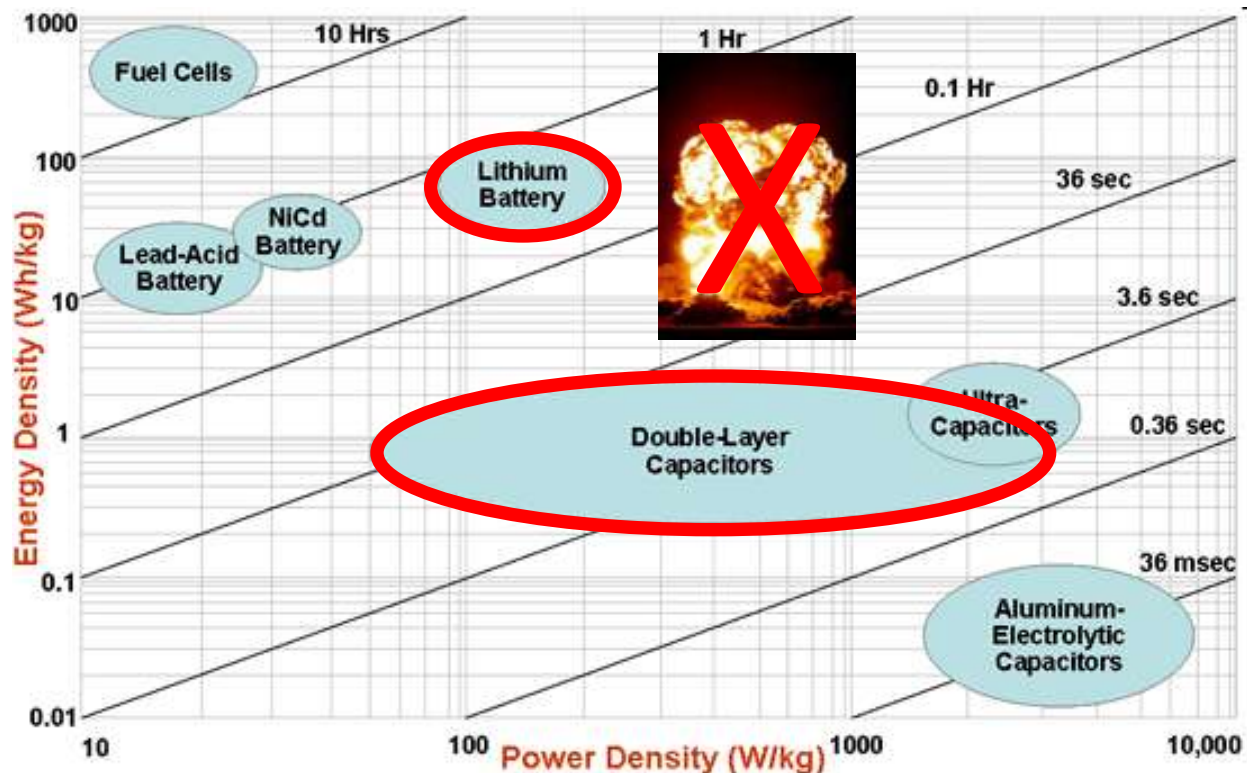
Source US Defence Logistics Agency

Diversifier les systèmes

- ✓ Amélioration des accumulateurs Nickel Zinc pour applications stationnaires.
- ✓ Mise au point de nouveaux matériaux pour l'amélioration des batteries NiMH.



Résultats stockage électrochimique 2007-2008

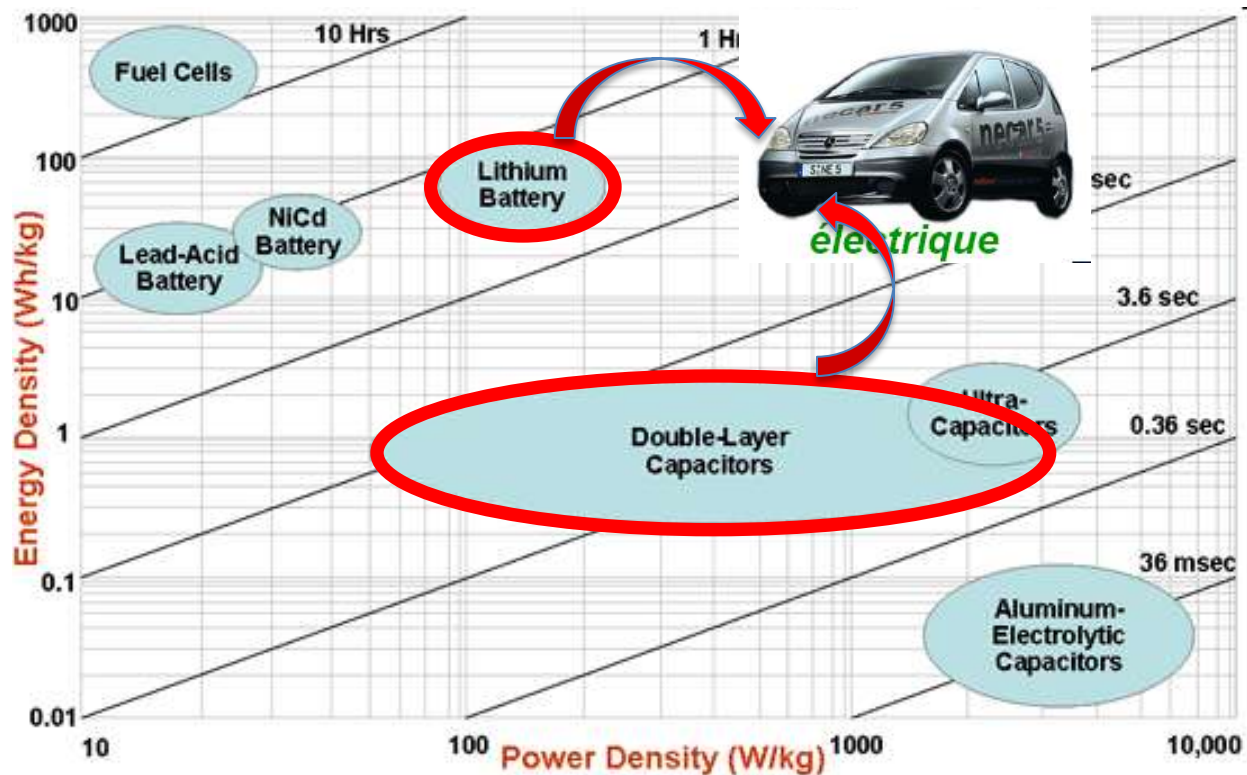


Sécuriser les batteries et les supercondensateurs

- ✓ Avancée dans le domaine des batteries tout solides
- ✓ Supercondensateur hybride fonctionnant en milieu aqueux
- ✓ Interface électrode / électrolyte pour accumulateurs lithium ion haute tension
- ✓ Electrolyte inorganique à haute performance pour microbatteries 3D



Résultats stockage électrochimique 2007-2008



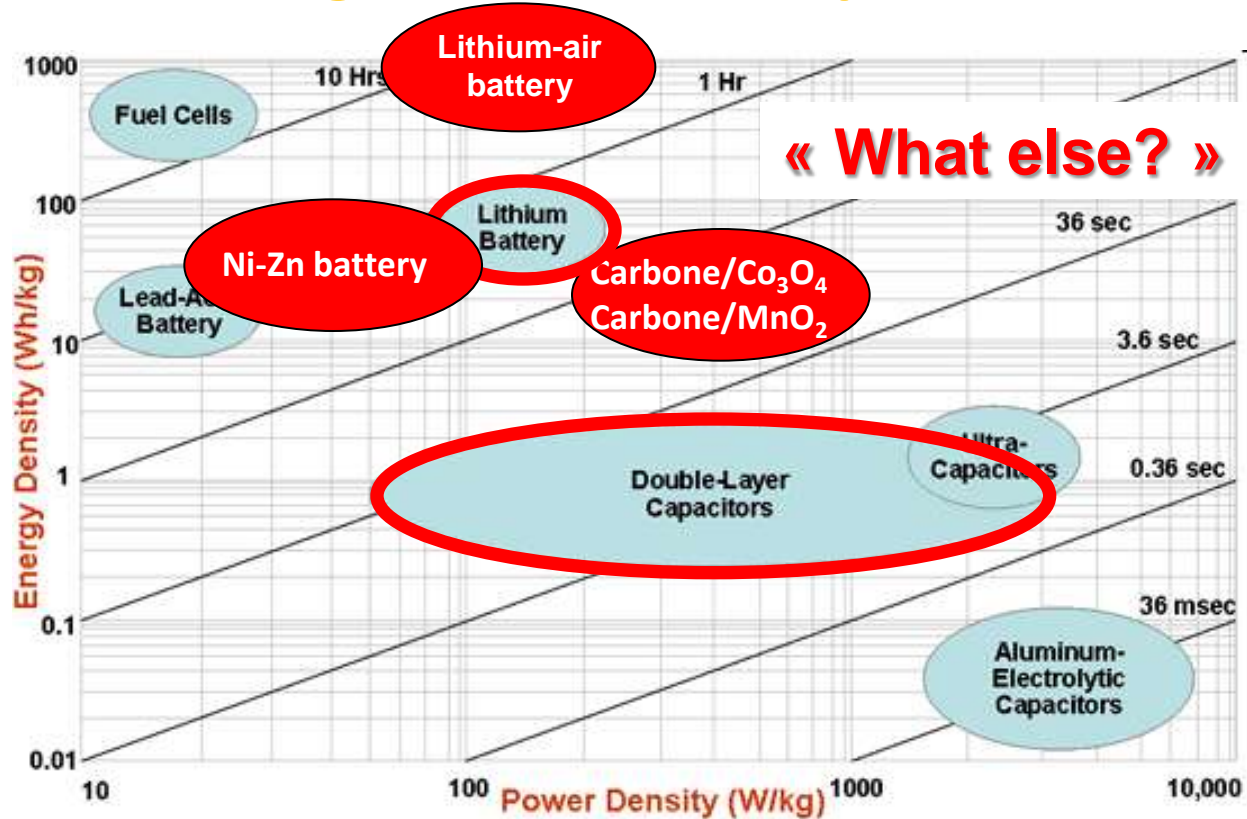
Source US Defence Logistics Agency

Connaître le vieillissement, Intégrer plus facilement

- ✓ Méthode d'évaluation de l'état de santé et de l'état de charge par spectroscopie d'impédance avec amélioration de la compréhension du vieillissement des batteries.



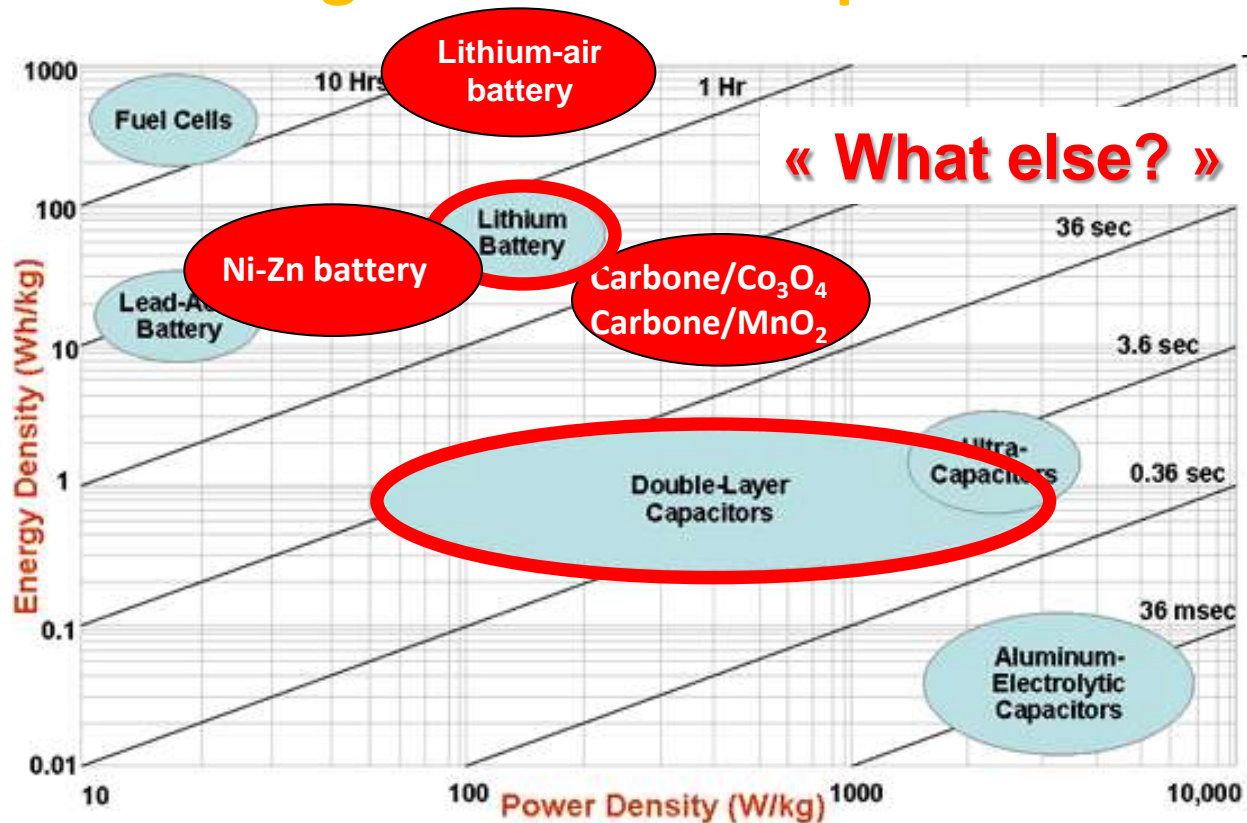
Résultats stockage électrochimique 2007-2008



Source US Defence Logistics Agency



Résultats stockage électrochimique 2007-2008



Source US Defence Logistics Agency

Nouveau système de stockage de l'électricité

- ✓ Développement de technologie d'aimants supraconducteurs à haute performance pour sources impulsionnelles de puissance compactes.

Résultats stockage chaleur 2007-2008



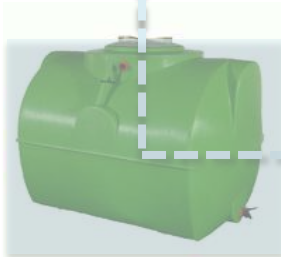
Solaire



Chaleur perdue

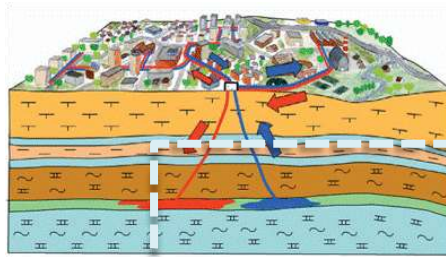


Electricité



Nature de l'énergie stockée

Résultats stockage chaleur 2007-2008



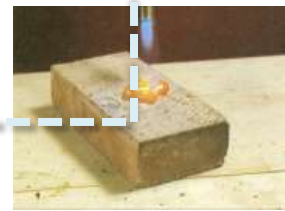
Aquifère

Massif rocheux



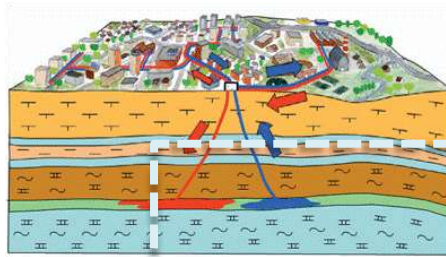
Absorbant/solvant

Matériaux réfractaires



Mode de stockage

Résultats stockage chaleur 2007-2008



Aquifère

Massif rocheux



Solaire



Chaleur perdue

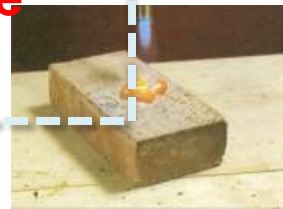


Electricité



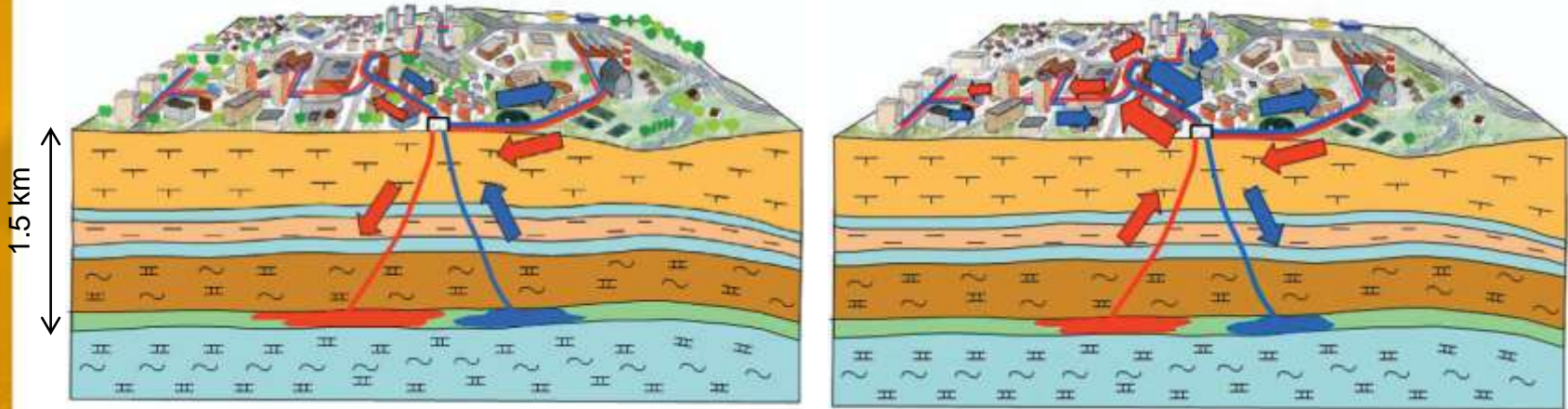
Absorbant/solvant

Matériaux réfractaires



Supervision, contrôle des procédés, gestion des flux, etc...

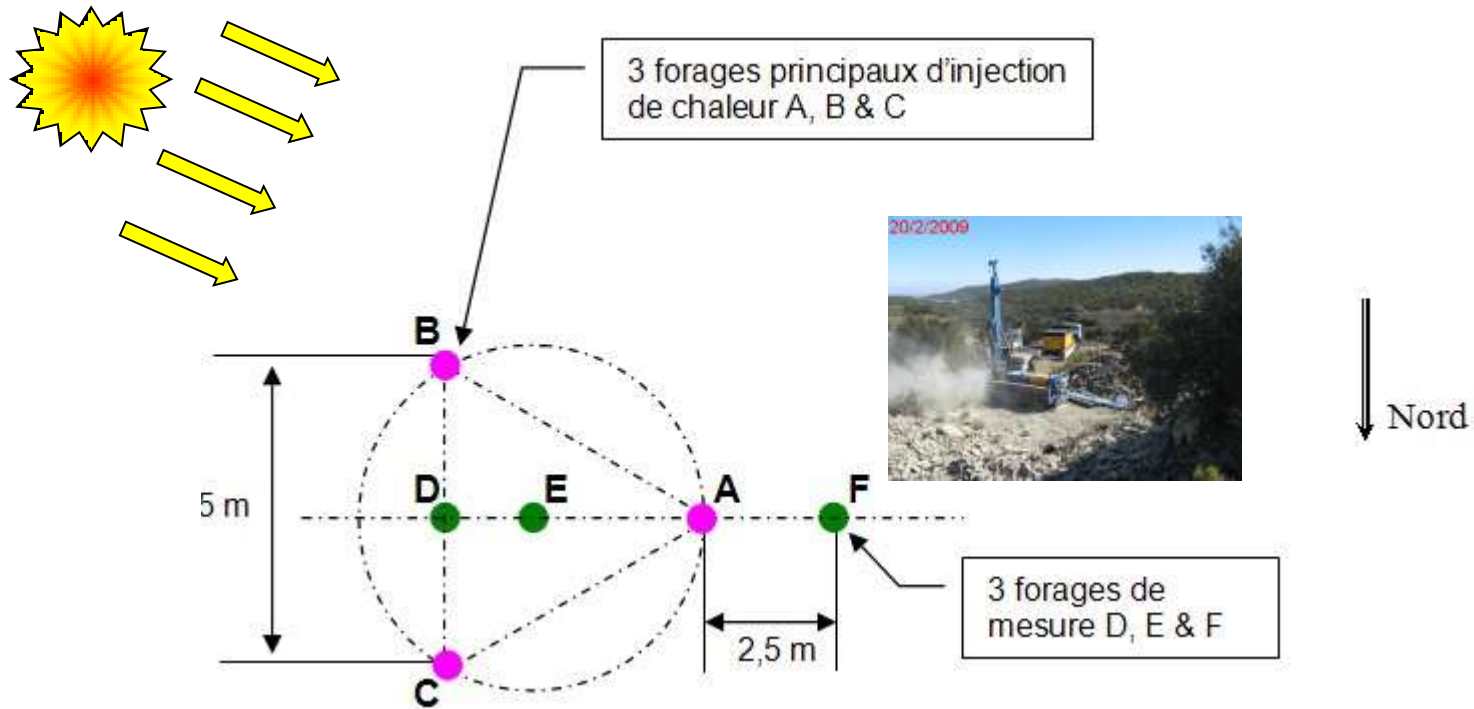
Résultats stockage chaleur 2007-2008



Chaleur industrielle

- ✓ Stockage de chaleur industrielle perdue en été dans un doublet géothermique afin de la récupérer en hiver dans un réseau de chaleur.

Résultats stockage chaleur 2007-2008



Chaleur solaire

- ✓ Potentiel de stockage intersaisonnier de chaleur solaire dans un massif rocheux et outils de supervision.

<http://eliaus.univ-perp.fr/~solargeotherm/index.htm>

Résultats stockage chaleur 2007-2008



été



http://www.centre.drire.gouv.fr/sous-sol/images/GAZ/stockage_nappe_aquifere.jpg



hiver



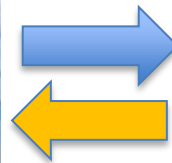
Chaleur provenant de serres agricoles

- ✓ Projet d'écoquartier avec stockage de chaleur estivale de serres agricoles dans un aquifère pour récupération hivernale.

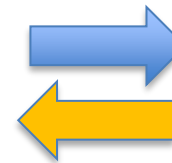


Stockage de l'énergie solaire par procédé absorption

- ✓ Développement de systèmes de stockage intersaisonnier de chaleur solaire par thermochimie ou sorption, puis comparaison d'ensemble avec les systèmes de chaleur sensible ou à matériaux à changement de phase.



Turbomachines



Stockage de l'énergie électrique dans des matériaux réfractaires à haute température

- ✓ stockage électrique de grande capacité sous forme de chaleur sensible dans des matériaux réfractaires portés à haute température et sous pression puis restituée lorsqu'un besoin de production électrique apparaît.

Quelques résultats remarquables

LiO: batterie Lithium Air

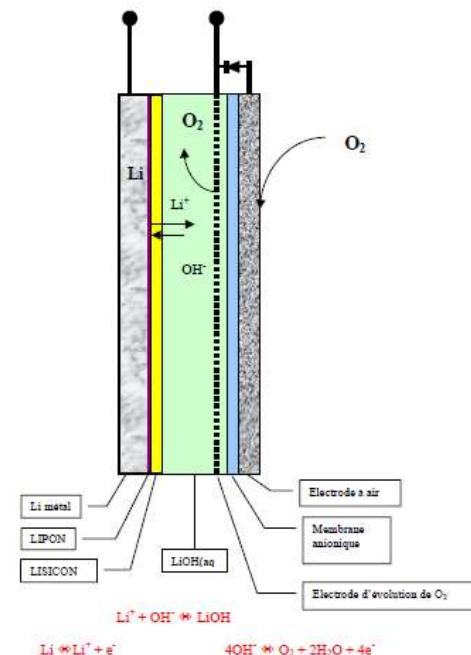


Développement d'une batterie lithium-air par la résolution de trois problèmes:

- couplage d'une électrode négative en lithium métal avec un système aqueux;
- réversibilité d'une électrode à air;
- utilisation de l'électrode à air en milieu électrolyte alcalin non décarbonaté.

Prototype avec une puissance spécifique de 450 kW/kg pendant quelques dizaines de cycles dans une atmosphère contenant du CO₂.

Projet LiO₂ soumis avec succès en 2010



5 Brevets

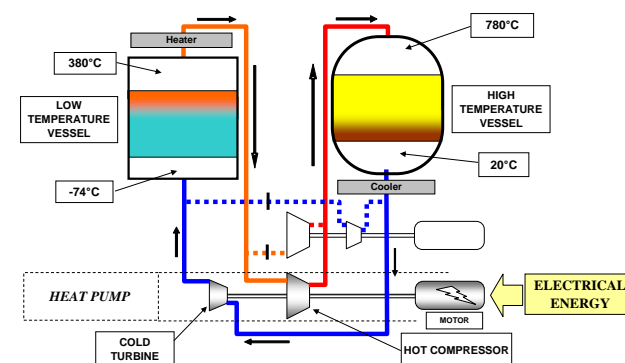


Projet SETHER (Stockage d'Electricité sous forme THERmique)



Stockage d'électricité sous forme thermique à haute température

- Modélisation numérique complète – Confirmation du fonctionnement du procédé
- Calcul des turbomachines utilisées (ex : compresseur chaud) et confirmation de leur faisabilité technologique
- Essais de stockage et déstockage thermique à 800°C au CEA Grenoble sur des matériaux réfractaires industriels et des matériaux naturels



3 brevets

Perspective : Réalisation d'une installation pilote de 1MW/6MWh



Quelles perspectives pour la recherche en stockage électrochimique?



Développer des systèmes de stockage en réponse aux applications stationnaires ou mobiles:

- Améliorer et fiabiliser les dispositifs actuels, accumulateurs et supercondensateurs: durabilité, sécurité, densités d'énergie et de puissance, diagnostic
- Développer des systèmes prospectifs en misant sur les technologies émergentes et les innovations: Li/S, Li/air, Redox flow cell, Na ion, ions fluorures
- Favoriser l'intégration des composants et leur gestion

Coupler la production et le stockage

- Intégrer l'aspect stockage avec l'aspect production
- Hybridation des systèmes
- Gérer les réseaux utilisant ces couplages



Quelles perspectives pour la recherche en stockage de chaleur?

Répondre aux besoins de stockage de chaleur aux échelles de temps compatibles avec l'exploitation du solaire thermodynamique dans le bâtiment, les centrales solaires, et l'industrie:

- Stockage géologique à différentes échelles
- Matériaux à changement de phase
- Mise au point de systèmes à sorption et thermochimie
- Nouveaux matériaux issus des déchets et leur mise en forme.

La chaleur, moyen de stockage de l'électricité à grande échelle?

- CAES adiabatiques (Advanced Adiabatic Compressed Air Energy Storage), système Sether...

MERCI DE VOTRE ATTENTION