

GÉOPOLITIQUE DE L'INNOVATION

I 4 fiches pour découvrir les technologies des batteries

VUE D'ENSEMBLE DES 14 FICHES PÉDAGOGIQUES

Introduction	Les multiples critères de performance d'une batterie
	Les principales applications des batteries
	Les principaux composants d'une batterie
Les chimies lithium-ion	Les batteries lithium-cobalt oxyde (LCO)
	Les batteries lithium-manganèse oxyde (LMO)
	Les batteries lithium-fer-phosphate (LFP)
	Les batteries lithium-ion nickel-cobalt-aluminium (NCA)
	Les batteries lithium-ion nickel-manganèse-cobalt (NMC)
Les chimies du futur	Les batteries sodium-ion (Na-ion)
	Les batteries tout-solide
	Les batteries à flux-circulants
	Les batteries lithium-soufre (Li-S)
	Les batteries zinc-air
	Les supercondensateurs

LE RS2E

Le Réseau sur le stockage électrochimique de l'énergie est un réseau de recherche et de transfert technologique français qui se consacre aux différents dispositifs de stockage d'énergie: batteries rechargeables, supercondensateurs et technologies alternatives destinés à de nombreux usages.

L'IRIS

L'IRIS, association créée en 1991 reconnue d'utilité publique, est un think tank français travaillant sur les thématiques géopolitiques et stratégiques. L'IRIS est organisé autour de 4 pôles d'activité : la recherche, la publication, la formation et l'organisation d'événements.

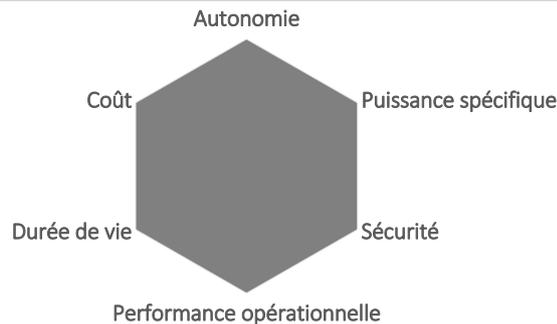
FICHE PÉDAGOGIQUE

Les multiples critères de performance d'une batterie

VUE D'ENSEMBLE DES CRITÈRES DE PERFORMANCE D'UNE BATTERIE

Note : échelle de performance croissante, (1 : performance ou coût faible ; 4 : performance ou coût élevé)

Critères de performance retenus



<p>Autonomie Densité d'énergie</p>	<p>Définition : quantité d'énergie stockée par unité de masse (ou de volume) d'accumulateur</p> <p>Unité de mesure : watt-heure par kilogramme, (Wh/kg) ou en watt-heure par litre (Wh/l)</p> <p>Important pour : les produits électroniques grand public, comme les téléphones portables, qui ont besoin de batteries de petite taille pour des usages de longue durée</p>
<p>Puissance Densité de puissance</p>	<p>Définition : puissance (énergie électrique fournie par unité de temps) pouvant être fournie par unité de masse d'accumulateur</p> <p>Unité de mesure : watt par kilogramme (W/kg)</p> <p>Important pour : les appareils industriels équipés d'un groupe motopropulseur, qui ont besoin de fournir sur un temps court une grande quantité d'énergie</p>
<p>Sécurité</p>	<p>Définition : état où les risques industriels pouvant entraîner des dommages dans le cadre d'une utilisation standard sont contrôlés</p> <p>Important pour : les applications comme les avions, pour éviter tout risque d'incendie en vol par exemple</p>
<p>Performance opérationnelle</p>	<p>Définition : capacité à fonctionner dans des conditions variées, notamment en termes de température, selon des usages divers</p> <p>Important pour : les batteries d'alimentation de secours installés dans des milieux soumis à un climat rude (Sahara, Alaska)</p>
<p>Durée de vie Cyclabilité</p>	<p>Définition : nombre de fois où la batterie peut être rechargée sans que ses performances passent en deçà d'un certain seuil</p> <p>Unité de mesure : nombre de cycles</p> <p>Important pour : les engins spatiaux utilisés des missions de très longue durée, comme l'exploration du système solaire</p>
<p>Coût</p>	<p>Définition : somme de l'ensemble des frais liés à la production de la batterie</p> <p>Unité de mesure : unité monétaire (EUR, USD, etc.)</p> <p>Important pour : tous les types d'appareils, en particulier grand public</p>

Une combinaison de performance

Il existe de multiples critères de performance d'une batterie. À l'heure actuelle, aucune technologie n'est supérieure aux autres sur tous ces critères à la fois. Chaque batterie est optimisée pour répondre à une utilisation spécifique.

D'autres critères à considérer

Le temps de charge :

Durée nécessaire pour stocker une quantité d'énergie donnée

La performance environnementale

Capacité à limiter les modifications qualitatives, quantitatives et fonctionnelles de l'environnement engendrée par l'appareil sur toute sa durée de vie, de sa conception à sa fin de vie

FICHE PÉDAGOGIQUE

Les principales applications des batteries

VUE D'ENSEMBLE DES APPLICATIONS DES BATTERIES

Solution « devant le compteur »	Solutions « derrière le compteur »	Solutions de mobilité	Solutions portatives
✓	✓	✓	✓

Exemples d'applications

Les applications des batteries peuvent être divisées en deux grands types d'usages :

- le **stockage stationnaire**, qui regroupe les solutions « **devant le compteur** » et les solutions « **derrière le compteur** »
- le **stockage** embarqué, qui comprend les solutions de **mobilité**, comme le véhicule électrique, et les usages **portatifs**, comme les batteries d'appareils électroniques.

<h3>Stockage stationnaire</h3> <p>Garantir l'équilibre entre la production et la consommation d'électricité</p>	<h4>Les solutions « devant le compteur »</h4> <p>Présentation : solutions de stockage reliées aux systèmes de production et aux réseaux de transmission et de distribution</p> <p>Marchés clients : Producteurs, gestionnaires de réseaux</p> <p>Services : stabilisation de la tension et de la fréquence du réseau électrique, intégration des EnR intermittentes</p>	<h4>Les solutions « derrière le compteur »</h4> <p>Présentation : solutions de stockage situés au niveau des consommateurs d'électricité</p> <p>Marchés clients : industrie, services, bâtiment résidentiel</p> <p>Services : fourniture de solutions de secours en cas de coupure électrique, réduction de la facture énergétique pendant les heures de pointe, intégration des EnR locales</p>
	<h3>Stockage embarqué</h3> <p>Fournir l'électricité nécessaire au fonctionnement des équipements et appareils mobiles</p>	<h4>Les solutions de mobilité</h4> <p>Présentation : solution de stockage embarqué dans les véhicules de transport</p> <p>Marchés clients : utilitaires, véhicule automobile, petite mobilité (vélo, trottinette, etc.)</p> <p>Services : alimentation des groupes motopropulseurs, alimentation des systèmes électriques embarqués, démarrage des moteurs à explosion</p>

FICHE PÉDAGOGIQUE

Les principaux composants d'une batterie

PRINCIPAUX COMPOSANTS D'UNE BATTERIE

Une **batterie** (ou pack de batteries) est un assemblage de **modules** qui contiennent des **cellules**. Ces dernières déterminent une grande partie des performances du pack. La conception et la fabrication des cellules est au cœur de la compétition internationale de la technologie des batteries. Les composants de base d'une cellule de batterie sont l'**anode**, la **cathode** et l'**électrolyte**.

Pack de batterie	<p>Un pack de batterie (ou batterie) est un assemblage de modules couplés ensemble pour générer une tension définie. Un système de management électronique (BMS en anglais), des capteurs et un système de refroidissement sont intégrés pour sécuriser et optimiser le fonctionnement des modules.</p>	<p>Nombre de pack de batterie dans une BMW i3 : 1</p> <p>Au total, un pack de batterie de BMW i3 comprend 8 modules et 96 cellules.</p>	<p>Principaux composants</p> <ul style="list-style-type: none"> • Boîtier • Système de management électronique • Capteurs • Câbles • Système de refroidissement
Module de batterie	<p>Un module de batterie est un assemblage de cellules disposées en série ou en parallèle et protégées par un boîtier contre des chocs extérieurs.</p>	<p>Nombre de modules contenus dans 1 pack de batterie d'une BMW i3 : 8</p>	<p>Principaux composants</p> <ul style="list-style-type: none"> • Boîtier • Système de refroidissement • Connecteurs
Cellule de batterie	<p>Une cellule de batterie est l'unité de base d'un pack de batterie. Une cellule comprend deux électrodes (l'anode et la cathode, qui correspondent aux pôles de la batterie), un séparateur (pour éviter tout contact et court circuit entre l'anode et la cathode), plongés dans un électrolyte (qui assure la conduction des ions) et reliés par collecteur de courant (permettent la circulation des électrons).</p>	<p>Nombre de cellules contenues dans 1 module de batterie d'une BMW i3 : 12</p>	<p>Principaux composants</p> <ul style="list-style-type: none"> • Électrodes (anode et cathode) • Séparateur • Électrolyte • Collecteur de courant • Boîtier

LE DÉFI TECHNOLOGIQUE DU STOCKAGE DE L'ÉLECTRICITÉ

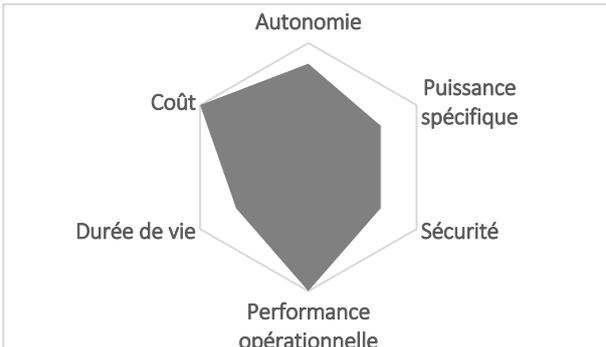
L'électricité est un phénomène physique qui se caractérise par un déplacement d'électrons au niveau atomique. En tant que phénomène en mouvement, l'énergie électrique ne peut pas être stockée sous sa forme propre. Il est nécessaire de la convertir en un autre type d'énergie pour reporter son usage dans le temps. Dans le cas des batteries, l'énergie est stockée sous forme d'énergie chimique.

FICHE PÉDAGOGIQUE

Les batteries lithium-cobalt oxyde (LCO)

VUE D'ENSEMBLE DE LA BATTERIE LCO

Note : échelle de performante croissante, (1 : performance ou coût faible ; 4 : performance ou coût élevé)

Commentaires	Principaux critères de performance
<p>La technologie LCO est la première chimie Li-ion d'insertion à avoir été commercialisée (par Sony). Toutes les batteries Li-ion commercialisées aujourd'hui s'appuient sur le principe de fonctionnement de la technologie LCO. Les batteries LCO présentent une densité d'énergie correcte mais connaissent des problèmes de sécurité qui limitent leur intérêt.</p>	

Source : RS2E

PRINCIPALES PISTES DE RECHERCHE DE LA BATTERIE LCO

- Les améliorations de cette technologie ont conduit au développement des batteries NCA, NMC et LFP

PRINCIPALES APPLICATIONS DE LA BATTERIE LCO

Solution « devant le compteur »	Solutions « derrière le compteur »	Solutions de mobilité	Solutions portatives
			✓

Exemples d'applications

Les chimies NCA et NMC ont aujourd'hui largement remplacé la LCO. Cette chimie demeure toujours utilisée pour équiper les petits appareils portatifs (caméras, téléphones ou ordinateurs). Dans d'autres cas, LCO est souvent mélangé avec des matériaux NMC ou NCA pour limiter ses problèmes de sécurité.

Source : RS2E

PRINCIPAUX COMPOSANTS DE LA BATTERIE LCO

Composant	Principaux matériaux	Commentaires
Cathode	Cobalt	La quantité non-négligeable en cobalt du matériau de cathode rend le prix de cette technologie élevé et surtout incertain.
Anode	Graphite	
Électrolyte	Lithium	

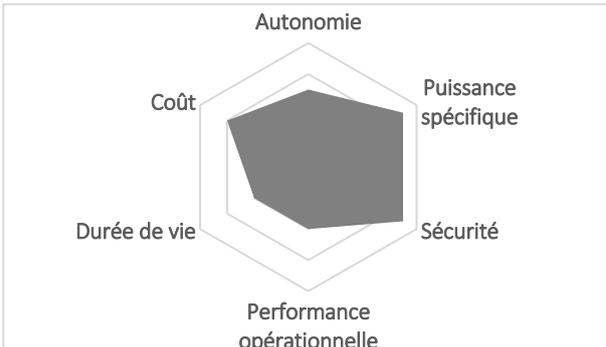
Source : RS2E

FICHE PÉDAGOGIQUE

Les batteries lithium-manganèse oxyde (LMO)

VUE D'ENSEMBLE DE LA BATTERIE LMO

Note : échelle de performante croissante, (1 : performance ou coût faible ; 4 : performance ou coût élevé)

Commentaires	Principaux critères de performance
<p>Les batteries LMO ont été introduites sur le marché quelques années après la technologie LCO. La technologie LMO, moins dense énergétiquement que la LCO, est cependant plus stable et offre une plus grande sûreté d'utilisation. Sa durée de vie se dégrade malheureusement très vite si sa température de fonctionnement n'est pas optimale.</p>	

Source : RS2E

PRINCIPALES PISTES DE RECHERCHE DE LA BATTERIE LMO

- Tend à être remplacée par les batteries NMC, NCA ou LFP

PRINCIPALES APPLICATIONS DE LA BATTERIE LMO

Solution « devant le compteur »	Solutions « derrière le compteur »	Solutions de mobilité	Solutions portatives
		✓	✓

Exemples d'applications

Les batteries LMO « pures » sont rarement utilisées de nos jours. Les matériaux LMO sont souvent mélangés avec du NMC ou NCA afin d'améliorer leurs performances opérationnelles. Ces batteries équipent certains véhicules électriques ou hybride ainsi que des outillages portatifs. La technologie LMO (NMC) équipe par exemple les véhicules Leaf de Nissan (groupe Renault Nissan Mitsubishi)

Source : RS2E

PRINCIPAUX COMPOSANTS DE LA BATTERIE LMO

Composant	Principaux matériaux	Commentaires
Cathode	Manganèse	Contrairement au cobalt, le manganèse est un élément peu coûteux et surtout abondant. Il y a peu de tension sur ce métal.
Anode	Graphite	
Électrolyte	Lithium	

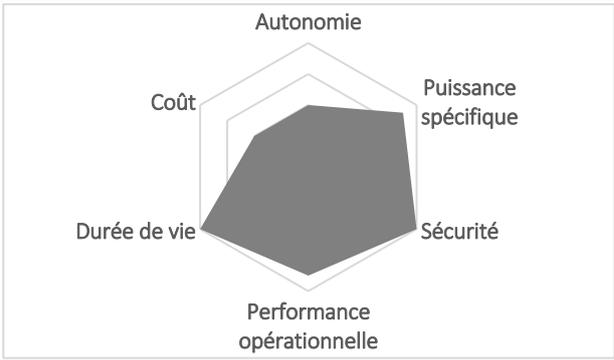
Source : RS2E

FICHE PÉDAGOGIQUE

Les batteries lithium-fer-phosphate (LFP)

VUE D'ENSEMBLE DE LA BATTERIE LFP

Note : échelle de performante croissante, (1 : performance ou coût faible ; 4 : performance ou coût élevé)

Commentaires	Principaux critères de performance
<p>Les batteries LFP présentent une excellente stabilité d'utilisation et une bonne durée de vie. Elles sont par contre moins performantes que les batteries NMC et NCA. La chimie LFP a fortement pénétré le marché chinois (en raison de son coût moindre) mais est moins exploitée en Europe et en Amérique du Nord</p>	

Source : RS2E

PRINCIPALES PISTES DE RECHERCHE DE LA BATTERIE LFP

- Amélioration de la densité énergétique

PRINCIPALES APPLICATIONS DE LA BATTERIE LFP

Solution « devant le compteur »	Solutions « derrière le compteur »	Solutions de mobilité	Solutions portatives
✓	✓	✓	

Exemples d'applications

Les batteries LFP ont longtemps été en concurrence directe avec les chimies NMC et NCA. Elles ont finalement été distancées en raison de leur plus faible autonomie. Mais elles pourraient s'imposer d'ici dès 2030 sur le marché du stockage stationnaire. Blue Solutions (Groupe Bolloré) exploite une version de cette technologie, qui présente l'inconvénient de ne fonctionner qu'à une température d'environ 60 °C (voir fiche « batterie tout solide »).

Source : RS2E/ Wood Mackenzie

PRINCIPAUX COMPOSANTS DE LA BATTERIE LFP

Composant	Principaux matériaux	Commentaires
Cathode	Lithium, Fer, Phosphate	<p>Cette chimie présente l'avantage d'avoir recours à des précurseurs plus abondants et plus « éco-responsable » que le nickel et le cobalt.</p>
Anode	Graphite	
Électrolyte	Lithium	

Source : RS2E

LABORATOIRES DE R&D FRANÇAIS

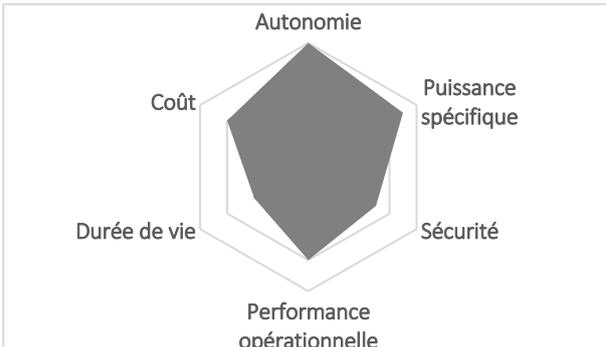
LEPMI

FICHE PÉDAGOGIQUE

Les batteries lithium-ion nickel-cobalt-aluminium (NCA)

VUE D'ENSEMBLE DE LA BATTERIE NCA

Note : échelle de performante croissante, (1 : performance ou coût faible ; 4 : performance ou coût élevé)

Commentaires	Principaux critères de performance
<p>Les batteries NCA, assez proches des NMC en termes de coût et de performances, sont surtout utilisées pour des applications de mobilité et de puissance. La chimie NCA étant très réactive, elle est moins simple à utiliser que la chimie NMC.</p>	

Source : RS2E

PRINCIPALES PISTES DE RECHERCHE DE LA BATTERIE NCA

- Réduction de la teneur en cobalt via l'augmentation de la teneur en nickel
- Stabilisation de la structure du matériau pour compenser la diminution du cobalt
- Découverte de meilleurs électrolytes pour fonctionner à haut potentiel

PRINCIPALES APPLICATIONS DE LA BATTERIE NCA

Solution « devant le compteur »	Solutions « derrière le compteur »	Solutions de mobilité	Solutions portatives
✓	✓	✓	

Exemples d'applications

Les batteries NCA sont destinées essentiellement au marché de la mobilité électrique. Tesla, par exemple, équipe ses voitures avec des batteries de ce type. En France, la compagnie Saft (Total), produit des cellules de batteries basées sur cette chimie.

Source : RS2E

PRINCIPAUX COMPOSANTS DE LA BATTERIE NCA

Composant	Principaux matériaux	Commentaires
Cathode	Nickel, Cobalt, Aluminium	Comme pour les batteries NMC, la présence de cobalt pose problème. Ce métal est rare et son extraction est souvent entachée par du travail forcé d'enfants.
Anode	Graphite	
Électrolyte	Lithium	

Source : RS2E

LABORATOIRES DE R&D FRANÇAIS

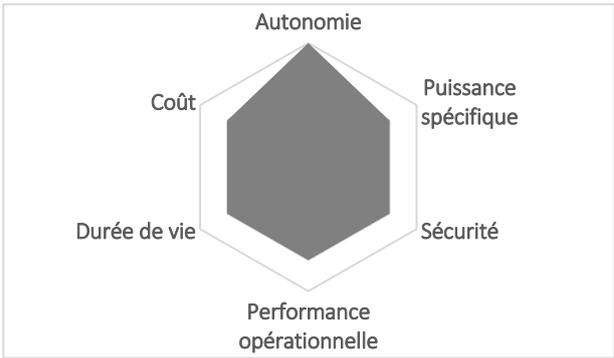
ICMCB
CSE

FICHE PÉDAGOGIQUE

Les batteries lithium-ion nickel-manganèse-cobalt (NMC)

VUE D'ENSEMBLE DE LA BATTERIE NMC

Note : échelle de performante croissante, (1 : performance ou coût faible ; 4 : performance ou coût élevé)

Commentaires	Principaux critères de performance
<p>Les batteries NMC sont aujourd'hui parmi les plus utilisées et ce pour un très grand nombre d'applications. Cette chimie présente d'excellentes performances pour un coût qui se réduit de jour en jour.</p>	

Source : RS2E

PRINCIPALES PISTES DE RECHERCHE DE LA BATTERIE NMC

- Réduction de la proportion de cobalt dans la cathode, d'où les recherches actives sur les batteries NMC811 (bientôt commercialisées) et les batteries NMC955

- Amélioration des performances de l'électrode négative (l'anode), par le développement de composites carbone/silicium ou carbone/oxyde de silicium

PRINCIPALES APPLICATIONS DE LA BATTERIE NMC

Solutions « devant le compteur »	Solutions « derrière le compteur »	Solutions de mobilité	Solutions portatives
✓	✓	✓	✓
Exemples d'applications			
<p>Usage massif pour la mobilité électrique (voitures, scooters, trottinettes...). Tesla commercialise aussi cette technologie pour le stockage individuel de l'énergie à domicile (solution Powerwall). Les industriels français de l'automobile comme Renault pour sa Zoé s'appuient sur cette chimie.</p>			

Source : RS2E

PRINCIPAUX COMPOSANTS DE LA BATTERIE NMC

Composant	Principaux matériaux	Commentaires
Cathode	Nickel, Manganèse, Cobalt	<p>Les producteurs de cellule tentent progressivement de diminuer dans la cathode la proportion de cobalt. En effet, cet élément inégalement réparti dans le monde est essentiellement extrait en République démocratique du Congo dans des conditions peu éthiques. La teneur en cobalt est diminuée au profit de la teneur en nickel. Certains experts craignent pour ce matériau une concurrence future avec les producteurs d'acier.</p>
Anode	Graphite	
Électrolyte	Lithium	

Source : RS2E/Fair Cobalt Alliance

LABORATOIRES DE R&D FRANÇAIS

CSE

ICMCB

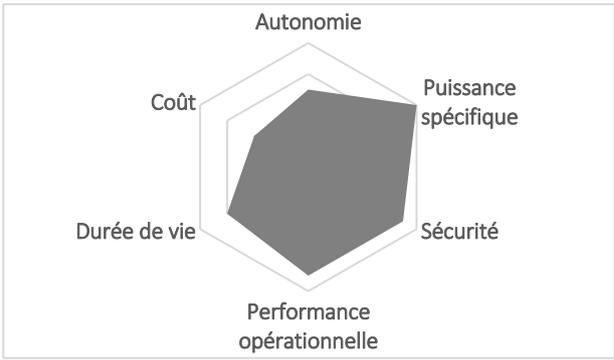
LRCS

FICHE PÉDAGOGIQUE

Les batteries sodium-ion (Na-ion)

VUE D'ENSEMBLE DE LA BATTERIE SODIUM-ION

Note : échelle de performance croissante, (1 : performance ou coût faible ; 4 : performance ou coût élevé)

Commentaires	Principaux critères de performance
<p>La batterie sodium-ion présente une densité de puissance massique plus importante que la batterie Li-on, avec un temps de charge beaucoup plus rapide et des performances opérationnelles améliorées grâce à la décharge à 0 volt et des facilités de transport. En revanche, elle offre une densité d'énergie massique et volumétrique inférieure au Li-on</p>	

Notation théorique, chimie en développement / Source : RS2E

PRINCIPALES PISTES DE RECHERCHE DE LA BATTERIE SODIUM-ION

- Concevoir des matériaux actifs d'électrode positif plus éco-compatibles
- Développement d'anode de carbone à moindre porosité
- Mettre au point l'électrolyte optimale (pour un fonctionnement à 50°C)

PRINCIPALES APPLICATIONS DE LA BATTERIE SODIUM-ION

Solution « devant le compteur »	Solutions « derrière le compteur »	Solutions de mobilité	Solutions portatives
✓		✓	

Exemples d'applications

Cette technologie est adaptée aux solutions exigeant une forte puissance et une charge rapide pour les applications de mobilité (démarrage de véhicules hybrides (bus et voiture), récupération de l'énergie au freinage, etc.) et de stockage stationnaire « devant le compteur ». En revanche, cette technologie est peu adaptée pour les produits électroniques grand public et les voitures électriques exigeant une longue autonomie. En France, la jeune pousse Tiamat a commencé à déployer ses batteries Na-ion dans un bus Keolis, des trottinettes et des scooters électriques.

Source : RS2E

PRINCIPAUX COMPOSANTS DE LA BATTERIE SODIUM-ION

Composant	Principaux matériaux	Commentaires
Cathode	Matériau polyanionique à base de sodium	Une batterie sodium-ion est très proche de la technologie lithium-ion. Le procédé de fabrication et le standard industriel des cellules sont également similaires. La principale différence réside dans l'utilisation du sodium pour l'électrolyte et d'un matériau polyanionique à base de sodium pour la cathode. Contrairement au lithium et au cobalt, ces matériaux sont abondants et abordables.
Anode	Carbone	
Électrolyte	Sodium	

Source : RS2E

LABORATOIRES DE R&D FRANÇAIS

- LRCS
- CSE
- ICMCB
- IS2M
- CIRIMAT

FICHE PÉDAGOGIQUE

Les batteries tout-solide

VUE D'ENSEMBLE DE LA BATTERIE TOUT-SOLIDE

Note : échelle de performance croissante, (1 : performance ou coût faible ; 4 : performance ou coût élevé)

Commentaires	Principaux critères de performance
<p>La batterie tout solide présente une meilleure sécurité (l'électrolyte solide n'est pas inflammable), une meilleure densité d'énergie massique (et volumique), avec une durée de vie plus longue que la technologie lithium-ion. Cette chimie serait une solution idéale pour l'industrie des batteries.</p>	

Note : notation théorique, chimie en cours de développement / Source : RS2E

PRINCIPALES APPLICATIONS DE LA BATTERIE TOUT-SOLIDE

Solution « devant le compteur »	Solutions « derrière le compteur »	Solutions de mobilité	Solutions portatives
✓	✓	✓	

Exemples d'applications

La batterie tout-solide serait en priorité destinée aux véhicules électriques avec une forte autonomie kilométrique et aux solutions de stockage stationnaire. En France, les batteries Blue Solutions de Bolloré équipent des flottes de bus et VE mais l'électrolyte polymère, et donc la batterie, doit être maintenue à une température supérieure à 60°C en permanence.

Source : RS2E

PRINCIPAUX COMPOSANTS DE LA BATTERIE TOUT-SOLIDE

Composant	Principaux matériaux	Commentaires
Cathode	À définir	<p>La batterie tout solide (<i>Solid State Battery</i>) présente un changement de paradigme : L'électrolyte liquide du Li-on est remplacé par un électrolyte solide, ce qui permet d'utiliser du lithium métallique pour l'électrode négative tout en limitant les risques de formation de dendrites. La moindre voire l'absence d'utilisation de matériaux comme le cobalt l'expose moins à la problématique de la criticité des matériaux.</p>
Anode	Lithium-métal	
Électrolyte	À définir (solide)	

Source : RS2E

PRINCIPALES PISTES DE RECHERCHE DE LA BATTERIE TOUT-SOLIDE

- Concevoir un électrolyte solide conducteur à basse température
- Améliorer la stabilité des interfaces
- Renforcer la cohésion des composants solides
- Développer de nouveaux procédés de fabrication adaptés pour diminuer la pression nécessaire lors du cyclage

LABORATOIRES DE R&D FRANÇAIS

CSE
LRCS
LCMCP

FICHE PÉDAGOGIQUE

Les batteries à flux-circulants

VUE D'ENSEMBLE DE LA BATTERIE À FLUX-CIRCULANTS

Note : échelle de performance croissante, (1 : performance ou coût faible ; 4 : performance ou coût élevé)

Commentaires	Principaux critères de performance
<p>La technologie à flux circulants (<i>redox flow</i>) est une technologie bien spécifique. Elle n'emploie pas d'électrodes mais deux électrolytes distincts. Simple d'utilisation, cette technologie peut difficilement être miniaturisée</p>	

Note : Notation théorique, chimie en cours de développement / Source : RS2E

PRINCIPALES PISTES DE RECHERCHE DE LA BATTERIE À FLUX-CIRCULANTS

- Développement d'électrolytes organiques, et donc biodégradables
- Développement de meilleures

PRINCIPALES APPLICATIONS DE LA BATTERIE À FLUX-CIRCULANTS

Solution « devant le compteur »	Solutions « derrière le compteur »	Solutions de mobilité	Solutions portatives
✓	✓		

Exemples d'applications

Les batteries redox flow peuvent trouver une place sur le marché du stockage stationnaire, là où le volume des installations n'est pas limitant (en milieu industriel notamment). En jouant sur la taille des compartiments contenant les électrolytes et la nature des liquides employés, les propriétés des batteries redox flow peuvent facilement être modulées. En France, l'entreprise française Kemiwatt développe et commercialise cette solution.

Source : RS2E

PRINCIPAUX COMPOSANTS DE LA BATTERIE À FLUX-CIRCULANTS

Composant	Principaux matériaux	Commentaires
Cathode	Aucun	Les deux liquides (catholyte et anolyte) circulent à travers une membrane échangeuse d'ions et les réactions d'oxydoréductions se font à l'interface des électrolytes et des collecteurs de courant. Les électrolytes contiennent parfois des éléments toxiques comme le vanadium.
Anode	Aucun	
Électrolyte	Deux électrolytes liquides, parfois mélangés à des composés solides organiques ou/et inorganiques, l'un positif et l'autre négatif	

Source : RS2E

LABORATOIRES DE R&D FRANÇAIS

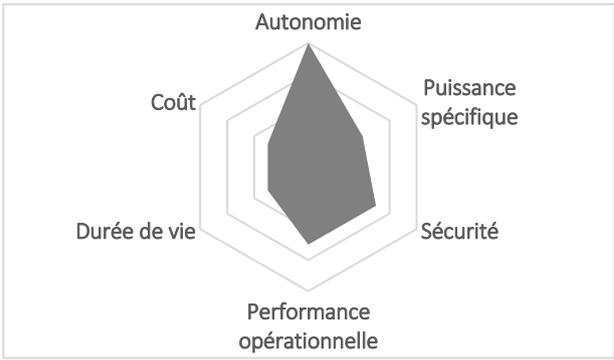
- LRCS
- IMN
- IRCP

FICHE PÉDAGOGIQUE

Les batteries lithium-soufre (Li-S)

VUE D'ENSEMBLE DE LA BATTERIE LITHIUM-SOUFRE

Note : échelle de performance croissante, (1 : performance ou coût faible ; 4 : performance ou coût élevé)

Commentaires	Principaux critères de performance
<p>La batterie lithium-soufre présente une densité d'énergie théorique très élevée mais de nombreux phénomènes parasites nuisent à sa durée de vie ainsi qu'à sa sécurité d'utilisation. Cette technologie fait l'objet de recherche depuis 50 ans, avec un regain d'intérêt ces 10 dernières années. Des prototypes existent mais ils n'ont jamais atteint le stade de la commercialisation.</p>	

Notation théorique, chimie en cours de développement / Source : RS2E

PRINCIPALES APPLICATIONS DE LA BATTERIE LITHIUM-SOUFRE

Solution « devant le compteur »	Solutions « derrière le compteur »	Solutions de mobilité	Solutions portatives
		✓	

Exemples d'applications

Les industries aéronautiques et spatiales, qui ont besoin de limiter le poids des équipements embarqués. Sur le long terme, il est envisageable que les batteries Li-S viennent équiper des véhicules électriques lourds (camions et bus). Néanmoins, il est peu probable que cette technologie concurrence un jour le Li-ion pour les voitures électriques individuelles.

Source : RS2E

PRINCIPAUX COMPOSANTS DE LA BATTERIE LITHIUM-SOUFRE

Composant	Principaux matériaux	Commentaires
Cathode	Soufre & polymères, carbone	À la différence d'une batterie Li-on, les ions-lithiums ne sont pas insérés mais réagissent avec le soufre pour donner des matériaux soufrés et lithiés pendant la décharge. Le soufre est léger, abondant et peu cher. Cependant, l'utilisation de lithium-métal provoque des dendrites qui peuvent provoquer des courts-circuits. De plus, la formation de polysulfures de lithium solubles qui jouent le rôle de navettes redox détériore rapidement la capacité de stockage de la batterie.
Anode	Lithium métallique	
Électrolyte	À définir	

Source : RS2E

PRINCIPALES PISTES DE RECHERCHE DE LA BATTERIE LITHIUM-SOUFRE

- Améliorer la sécurité associée au lithium (Li)
- Réduire le risque de pollution lié à la possibilité de contamination par sulfure d'hydrogène (H₂S) en cas de dysfonctionnement
- Renforcer la performance opérationnelle
- Augmenter le nombre de cycles et la densité d'énergie en abaissant la quantité d'électrolyte

LABORATOIRES DE R&D FRANÇAIS

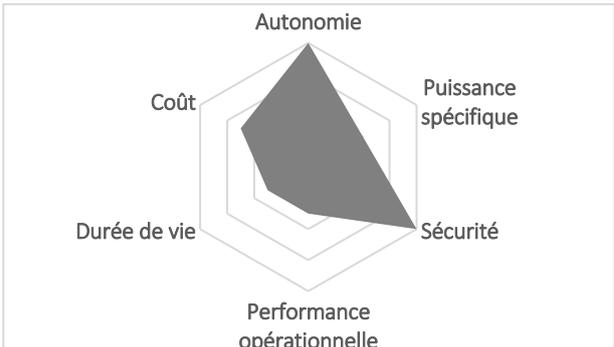
LRCS

FICHE PÉDAGOGIQUE

Les batteries zinc-air

FOCUS SUR LA BATTERIE ZINC-AIR PARMIS LES BATTERIES METAL-AIR

Note : échelle de performance croissante, (1 : performance ou coût faible ; 4 : performance ou coût élevé)

Commentaires	Principaux critères de performance
<p>La batterie zinc-air est la technologie la plus avancée au sein des différentes chimies métal-air. La zinc-air présente un coût plus compétitif, une sécurité plus importante et des composants plus abordables, moins polluants et moins critiques que la technologie lithium-ion. En revanche, la technologie zinc-air pâtit d'un temps de charge plus long.</p>	

Notation théorique, chimie en cours de développement / Source : RS2E

PRINCIPALES PISTES DE RECHERCHE DE LA BATTERIE ZINC-AIR

- S'affranchir de la troisième électrode
- Augmentation de la puissance et de la durée

PRINCIPALES APPLICATIONS DE LA BATTERIE ZINC-AIR

Solution « devant le compteur »	Solutions « derrière le compteur »	Solutions de mobilité	Solutions portatives
✓	✓		

Exemples d'applications

La technologie zinc-air est envisagée pour le stockage stationnaire de l'électricité, afin d'intégrer les énergies renouvelables dans le mix énergétique et pour alimenter en énergie des zones hors réseau. Zinium (EDF) a déployé un démonstrateur dans une maison test équipée de panneaux solaires. Un deuxième projet test est implanté à Singapour.

Source : RS2E

PRINCIPAUX COMPOSANTS DE LA BATTERIE ZINC-AIR

Composant	Principaux matériaux	Commentaires
Cathode	Air	La technologie zinc-air est une famille de technologie différente (métal-air) de celle de la batterie lithium-ion. La batterie zinc-air récupère l'oxygène de l'air pour générer un courant électrique à partir de l'oxydation d'une anode en métal plongée dans un électrolyte aqueux.
Anode	Zinc	
Électrolyte	Aqueux	

Source : RS2E

LABORATOIRES DE R&D FRANÇAIS

IRCP

FICHE PÉDAGOGIQUE

Les supercondensateurs

VUE D'ENSEMBLE DES SUPERCONDENSATEURS

Note : échelle de performante croissante, (1 : performance ou coût faible ; 4 : performance ou coût élevé)

Commentaires	Principaux critères de performance
<p>Les supercondensateurs fonctionnent sur un principe différent de celui des batteries. Ces dispositifs de stockage sont capables de délivrer très rapidement l'énergie emmagasinée. Ils sont utiles pour des applications de puissance mais pas pour des applications d'autonomie.</p>	

Source : RS2E

PRINCIPALES PISTES DE RECHERCHE DES SUPER-CONDENSATEURS

- Augmentation de l'autonomie sans nuire à la puissance
- Développement d'alternatives au carbone
- Optimisation de la microstructure des électrodes

PRINCIPALES APPLICATIONS DES SUPERCONDENSATEURS

Solution « devant le compteur »	Solutions « derrière le compteur »	Solutions de mobilité	Solutions portatives
		✓	✓

Exemples d'applications

La technologie des supercondensateurs peut être utilisée dans des moyens de transport pour récupérer l'énergie de freinage et aider au démarrage. Elle peut être miniaturisée plus facilement que les batteries Li-ion pour alimenter l'Internet des objets (IoT). La jeune entreprise française Nawa Technologies s'est lancée dans la production de supercondensateurs pour une grande variété d'applications.

Source : RS2E

PRINCIPAUX COMPOSANTS DES SUPERCONDENSATEURS

Composant	Principaux matériaux	Commentaires
Cathode	Carbone	<p>Contrairement aux batteries Li-ion où les ions qui transportent les charges s'insèrent à l'intérieur des électrodes, les éléments chargés dans les supercondensateurs sont stockés à la surface des matériaux (phénomène de double couche). Cette configuration explique les performances en puissance de cette technologie au détriment de sa densité d'énergie.</p>
Anode	Carbone	
Électrolyte	Liquide	

Source : RS2E

LABORATOIRES DE R&D FRANÇAIS

CIRIMAT
IMN
IS2M
IEMN