

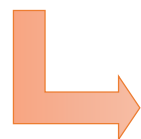
Batteries du futur

Amandine LECOCQ
INERIS

22 NOVEMBRE 2022
Maison de la RATP – Paris

Perspectives de développement des technologies de batteries - Contexte

- ❑ Les batteries Li-ion devraient rester la technologie de choix pour la prochaine décennie



développements visant l'amélioration des performances, la réduction du coût et l'amélioration de la sécurité

Mais...

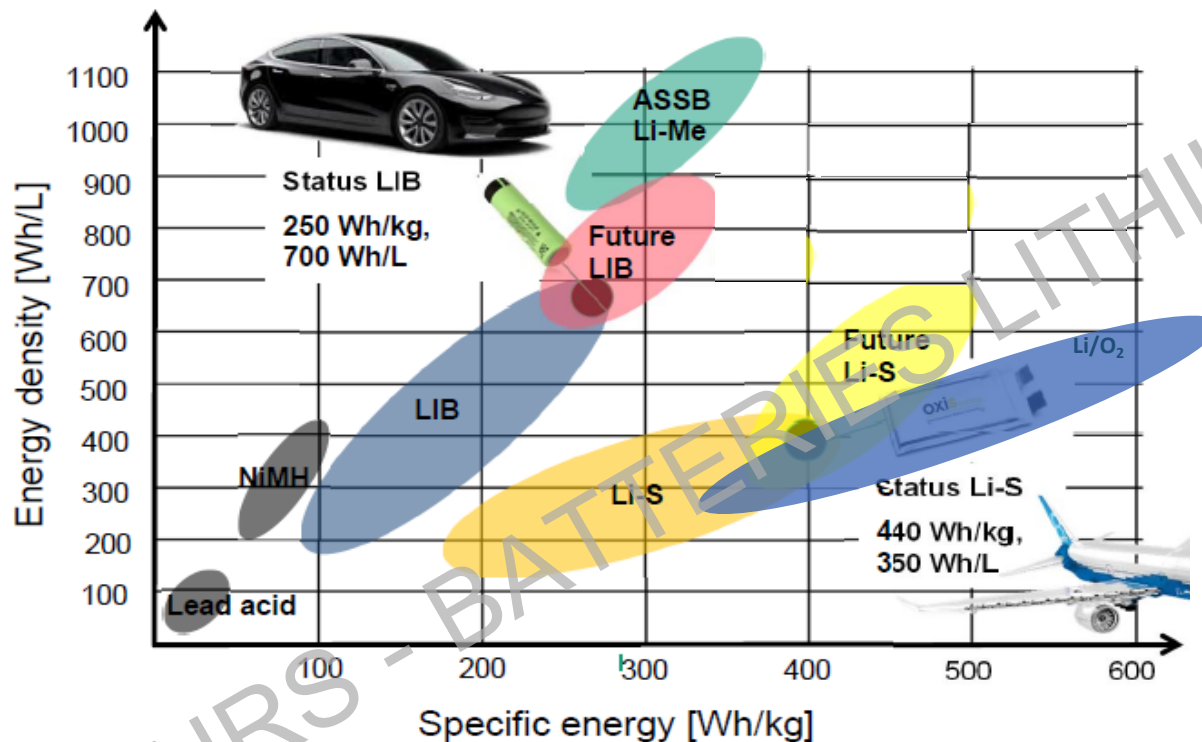
- ❑ Performances de la technologie Li-ion proches de leurs limites théoriques
- ❑ Besoins en densité d'énergie de plus en plus importants (pour une plus grande autonomie), d'un coût faible, de réduire la dépendance à certains métaux critiques, d'améliorer la sécurité....



Besoin d'un saut technologique: batteries « post Li-ion » ou de substitution de certains matériaux



Perspectives de développement des technologies de batteries

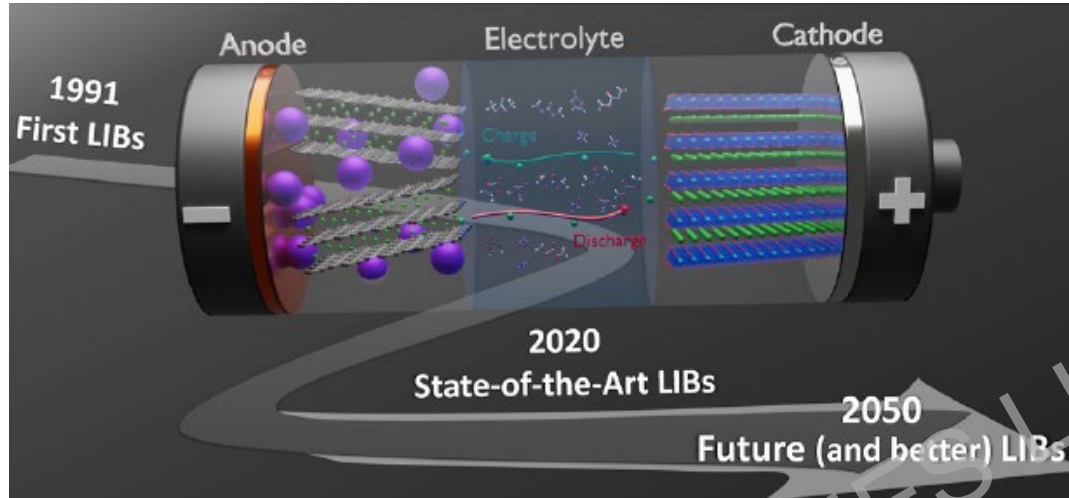


LIB: Li-ion batteries

ASSB: all solid state batteries = batteries tout solide

1. Court-terme : poursuivre les développements de la technologie Li-ion
2. Moyen terme: développement des batteries « tout solide » et émergence du Na-ion
3. Long terme: développement de batteries post Li-ion (Li-S, métal-air,...)

1. Court-terme : poursuivre les développements de la technologie Li-ion



Source: Armand & al. JPS (2020) <https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2020.228708>

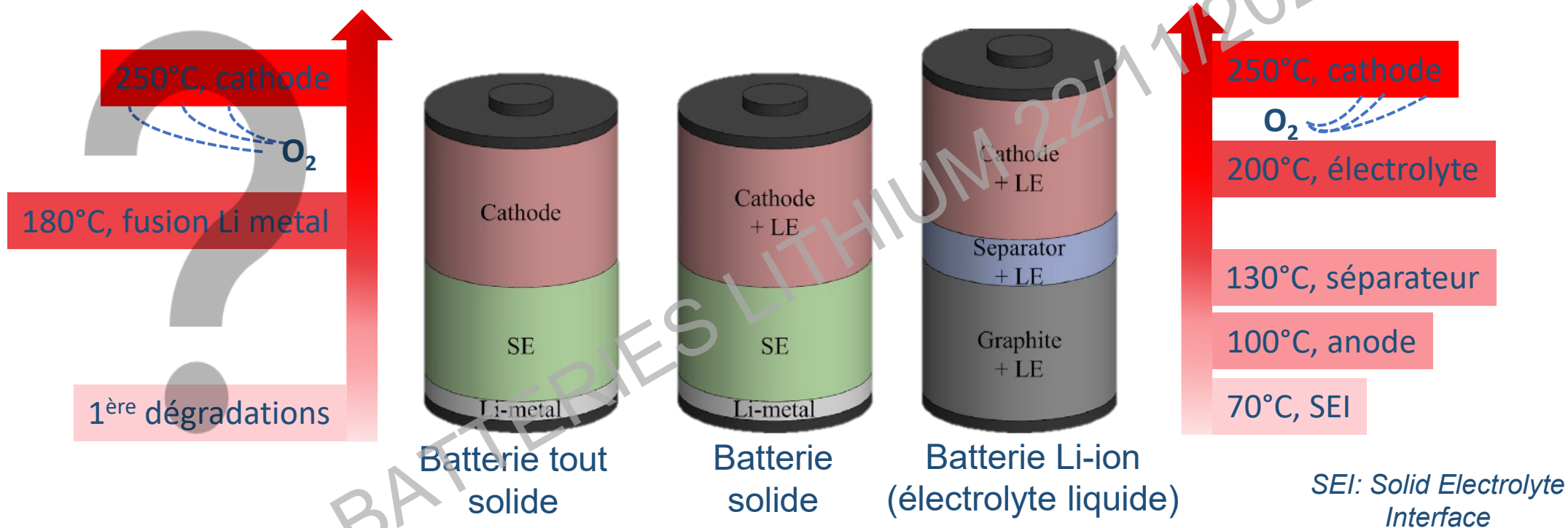
Pour :

- Augmenter les performances / la densité d'énergie et donc l'autonomie
- Diminuer le coût du kWh
- Diminuer le besoin en métaux critique (ex. Cobalt)

Développements en cours:

- Evolution des matériaux à la cathode. Ex.: teneur plus faible en cobalt (10%) et plus élevé en nickel (80%); matériaux fonctionnant à une tension plus élevée...
- Anode de type alliage en ajoutant des oxydes de silicium au graphite
→ réactivité plus élevée et augmentation de la taille des cellules
- Développement de matériaux plus sûres (électrolyte, séparateur, isolant....)

2. Moyen-terme : développement des batteries « tout solide »



Perspective d'évolution technologique:

- Performance plus élevée
- Meilleure sécurité ?

Adapté de Bates & al. Joule (2022),
<https://doi.org/10.1016/j.joule.2022.02.007>
et Guo & al. e-science (2022),
<https://doi.org/10.1016/j.esci.2022.02.008>

2. Moyen-terme : émergence des batteries Na-ion



- ❑ Même principe de fonctionnement que les batteries Li-ion en remplaçant les ions Li par des ions Na

Avantages	Inconvénients
Coût à priori plus faible que Li-ion	Densité énergétique plus faible vs Li-ion
Abondance du Sodium vs Lithium	Volume atomique Na > Li

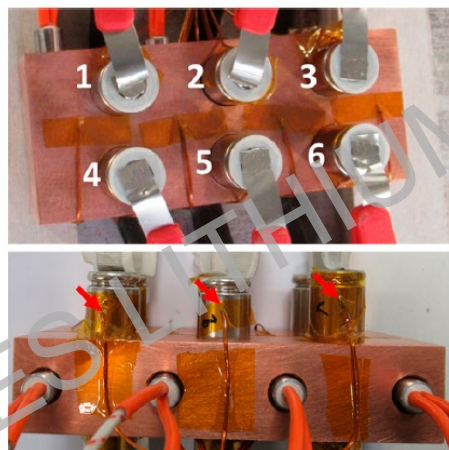
Applications :

- ✓ stockage stationnaire,
- ✓ mobilité

2. Moyen-terme : émergence des batteries Na-ion – premiers résultats de sécurité



Extraits vidéo d'essai d'une surchauffe de 6 cellules Na-ion

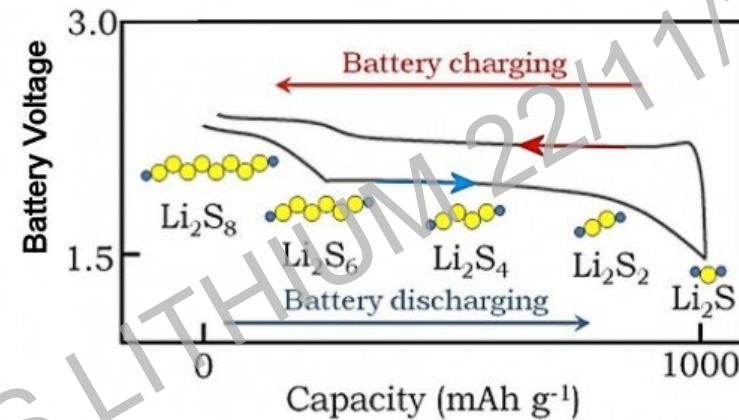
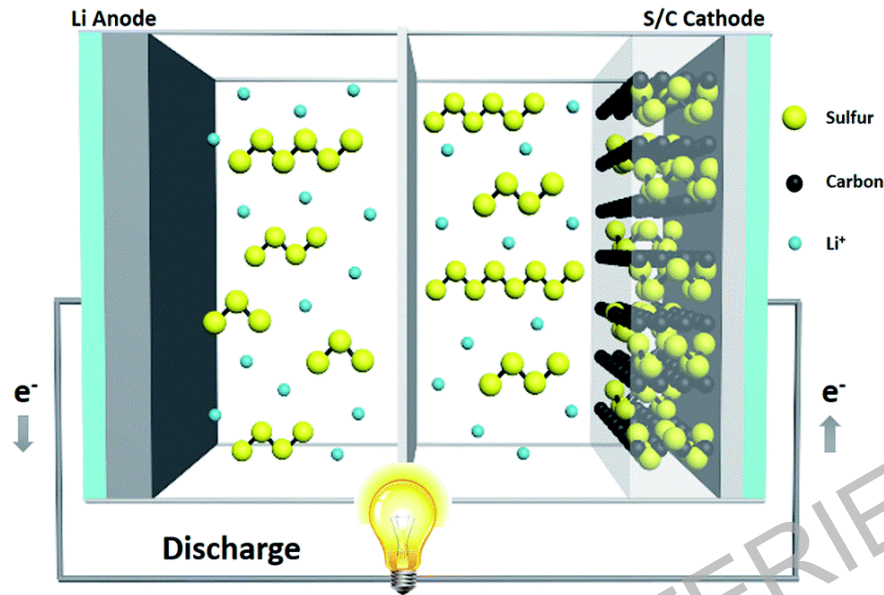


Dispositif d'essai permettant la chauffe de 6 cellules Na-ion 18650

- Réactivité de la technologie Na-ion testée se rapproche de la chimie LFP (LiFePO_4), qui est réputée la moins réactive parmi les chimies de batteries Li-ion

Source: Arnaud & al. *ACS Energy Lett.* 2022, 7, 3386–3391

3. Long terme: développement de batteries post Li-ion: batteries Li-S



Applications envisagées:

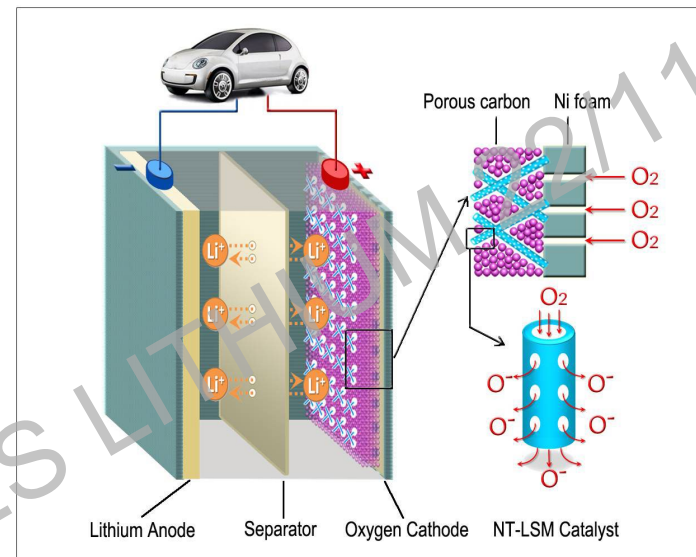
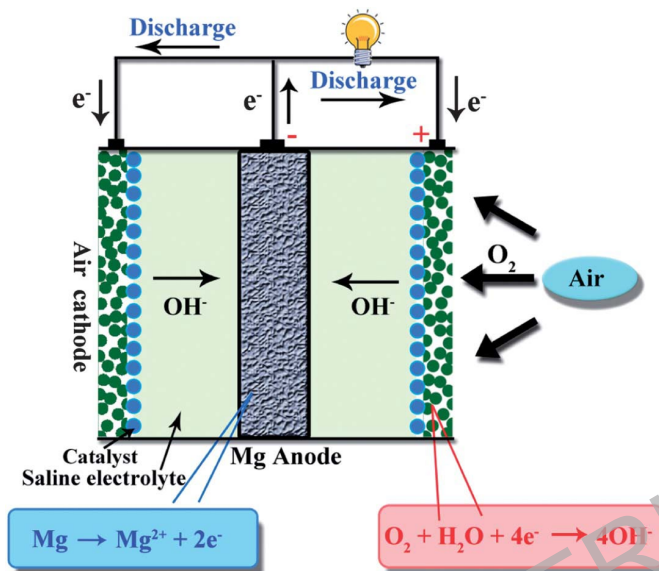
- ✓ Aéronautique,
- ✓ spatial,
- ✓ traction véhicules lourds (bus)

Avantages	Inconvénients
Coût faible et abondance du S	Autodécharge importante
Très forte densité d'énergie théorique	Production potentielle de gaz toxique (H ₂ S)
Plage d'utilisation de 100%	Présence de lithium métal

Rapport « **BATTERIES HAUTE DENSITE ENERGETIQUE AU LI-S : DIFFERENCES AVEC LA TECHNOLOGIE LI-ION, EVALUATION DES RISQUES ET MISE EN SECURITE** »

disponible sur <https://www.ineris.fr/fr/ineris/actualites/publication-rapport-batteries-haute-densite-energetique-li-differences>

3. Long terme: développement de batteries post Li-ion: batteries métal-air



Métal =

- Li
- Zinc
- Mg
- ...

Avantages	Inconvénients
Coût faible	Fonctionne uniquement à petite échelle
Très forte densité d'énergie théorique	Faible cyclabilité – difficile à recharger
	Gestion des impuretés de l'air

Applications envisagées :

- ✓ traction automobile,
- ✓ aéronautique, ...

3. Long terme: développement de batteries post Li-ion: risques spécifiques vs Li-ion conventionnel

- Risques de formation de dendrites de lithium au cours d'un fonctionnement normal

Présence de lithium métal



Dendrites de lithium → capacité à percer le séparateur et atteindre la cathode

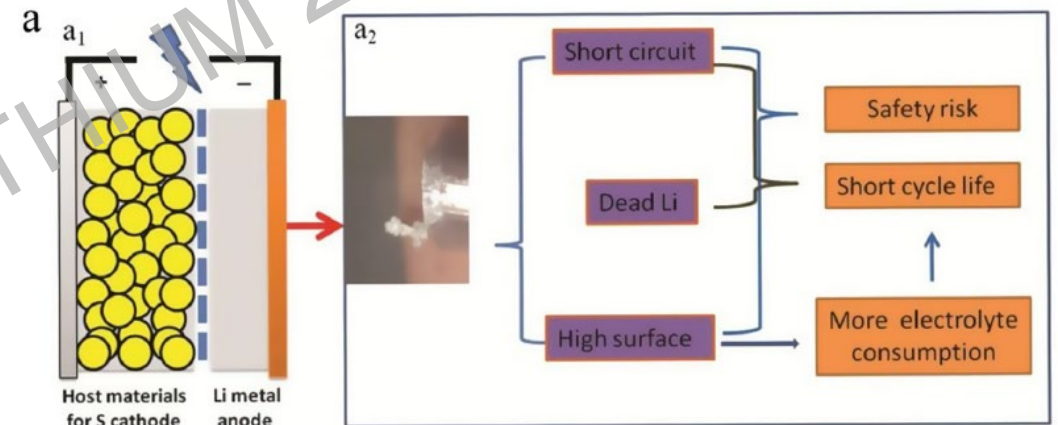


Court-circuit interne de la cellule



Si massif

Echauffements et réactions en chaîne susceptibles de dépasser le point de fusion du lithium métal (180,6°C), pouvant entraîner un incendie et/ou une explosion



Source : Zhao, H. ; Deng, N. ; Yan, J.; Kang,W.; Ju, J.; Ruan, Y.; Wang,X.; Zhuang, X.; Li, Q.; Cheng, B. A review on anode for lithium-sulfur batteries: Progress and prospects. Chemical Engineering Journal 347 (2018) 343–365

Recherches sur le choix des matériaux (séparateur, électrolyte...) pour limiter le risque de formation de dendrites

3. Long terme: développement de batteries post Li-ion: risques spécifiques vs Li-ion conventionnel

- **Réactivité du lithium métal avec l'eau**

La réaction du lithium avec l'eau est dangereuse et dégage des gaz inflammables

La réaction du lithium fondu avec l'eau est très violente → risque de projections de lithium fondu



→ difficultés pour les intervenants de secours en cas d'incendie sur une batterie comportant du Li métal

→ risques d'inflammation, d'explosion, d'émissions de fumées toxiques et de projections sont à prendre en compte

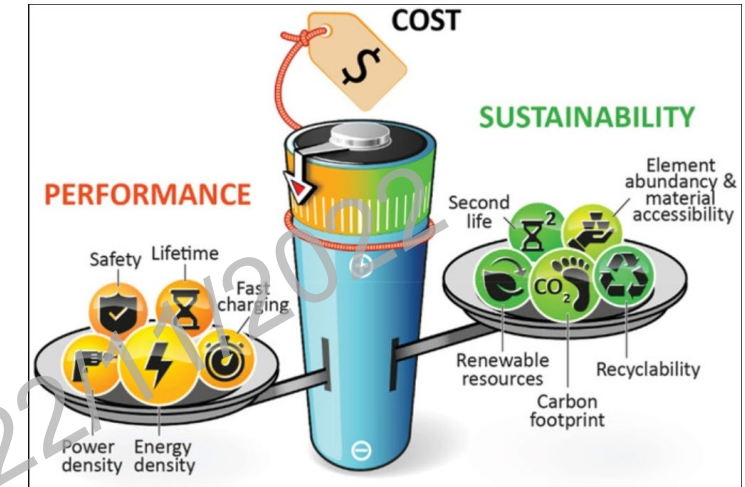


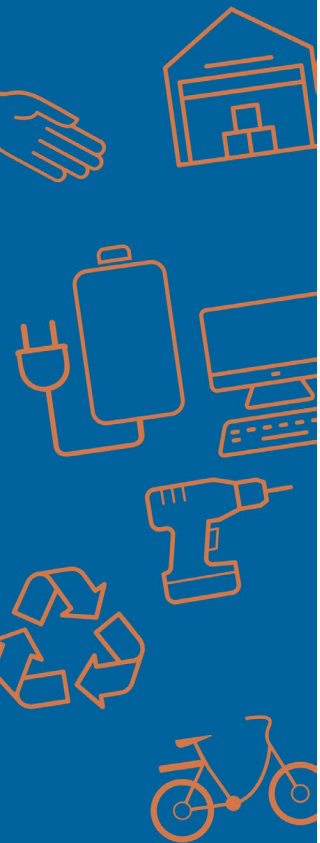
Concerne les batteries actuelles contenant du Li métal et les futures batteries tout solide, les batteries Li-métal, Li-S, Li-air....

Conclusion

Innovation galopante des technologies de batteries

- Li-ion : vers une augmentation de la densité d'énergie et donc potentiellement de la réactivité,
- Evolution vers des technologies tout solide → profils de risque différents par rapport aux batteries Li-ion actuelles
- Na-ion : en cours de développement par plusieurs industriels, évaluation de la sécurité à poursuivre
- Emergence potentielle d'autres technologies M-ion (Mg-ion, Ca-ion...)
- Batteries post Li-ion de type Li-S, métal-air : perspectives à long terme





Merci de votre attention