

Stockage stationnaire par batteries :

5 technologies à privilégier pour réduire la dépendance aux matériaux critiques et contribuer à la transition énergétique

Synthèse de l'étude Sia Partners sur le stockage stationnaire par batteries



Marché actuel et tendances

Les capacités de stockage stationnaire par batteries ont été multipliées par 11 entre 2018 et 2023 dans le monde, atteignant un **parc installé d'une puissance totale de 86 GW**. Ces capacités vont continuer à se multiplier dans les prochaines années, permettant de diversifier significativement les technologies de stockage d'électricité, actuellement majoritairement porté par le STEP. Pour contribuer à l'atteinte les objectifs de neutralité carbone en 2050, il est nécessaire de **maintenir le rythme d'augmentation actuel des capacités jusqu'en 2030**.

La **mise en place de réglementations** et la **diversification des méthodes de valorisations des batteries stationnaires**, seront les principaux vecteurs du développement des batteries stationnaires et permettront à terme d'améliorer la rentabilité des installations.



Contraintes matériaux

Les objectifs de déploiement du stockage stationnaire prévus avec les politiques actuelles vont provoquer une **multiplication par 14 de la demande en matériaux** (Cobalt, Nickel, Lithium, Vanadium et Manganèse) **d'ici à 2040**. Or, les capacités minières du lithium, du cobalt et du nickel, composants principaux et critiques de la majorité des batteries disponibles actuellement sur le marché, sont déjà sous tension et ne permettront plus d'adresser la demande prévue pour 2030. Par ailleurs, ces tensions d'approvisionnement ont provoqué une **hausse de x2 à x5 des prix de ces métaux entre 2021 et 2023**, impactant le prix des batteries durant la période. Les instabilités possibles des prix des batteries en lien avec les tensions d'approvisionnement pourraient, à terme, menacer la contribution des batteries stationnaires à la transition énergétique.



Les nouvelles technologies de batteries

Face à ces enjeux d'approvisionnement des matériaux et pour garantir le développement du marché, les **investissements doivent se tourner vers la diversification des technologies** de batteries avec des **matériaux plus durables**. L'**analyse proposée par Sia Partners**, met en avant que de **nouvelles technologies (batteries au sodium et au potassium, batteries Redox à base de vanadium)** émergent et présentent des performances similaires voire meilleures que les technologies matures aujourd'hui, tout en garantissant une meilleure durabilité, pour **compléter les batteries déjà matures et performantes**.

Table des matières

1.	Synthèse	2
2.	Partie introductive : préambule et éléments de contexte du stockage stationnaire par batteries	4-7
3.	Le stockage stationnaire par batteries, un marché en forte accélération, porté par la Chine	8-16
4.	L'approvisionnement en matériaux, un enjeu essentiel pour la pérennité du marché	17-26
5.	De nouvelles technologies de batteries sont développées pour diminuer la dépendance aux matériaux critiques	27-31
6.	À propos de Sia Partners	32-35

Préambule

Cette étude propose des clés de lecture sur les batteries stationnaires*, en particulier sur les différentes technologies de batteries et les matériaux associés. Sia Partners s'appuie sur son expertise sectorielle pour proposer un panorama mondial du marché du stockage stationnaire par batteries.

L'atteinte de la neutralité carbone d'ici 2050 nécessite de développer des solutions de flexibilité électrique pour répondre à l'intermittence causée par l'intégration des sources d'énergies renouvelables sur le réseau. Parmi ces solutions, le stockage stationnaire par batteries devrait à terme constituer la plus grande source de stockage d'énergie devant les centrales hydroélectriques de pompage-turbinage, qui dominent aujourd'hui les capacités de stockage mondiales.

Notre étude, qui s'appuie sur de nombreuses sources d'informations et notre analyse, met en évidence un manque d'approvisionnement en matériaux critiques (lithium, cobalt, nickel) d'ici à 2030 face à la demande croissante du stockage stationnaire par batteries nécessaire à la neutralité carbone.

Face à ce constat, Sia Partners propose une analyse comparative des performances des technologies de batteries recensées en confrontant notamment les technologies matures aux technologies émergentes disponibles. Deux axes majeurs se distinguent dans cette analyse : la durabilité des matériaux principaux composant la batterie étudiée et le potentiel d'utilisation de la technologie pour un acteur industriel souhaitant installer un parc de batteries stationnaires sur son site.

** La mention du terme « batteries stationnaires » dans cette étude se réfère aux technologies disponibles pour le stockage stationnaire par batteries*

Le stockage d'énergie est un moyen essentiel pour ajuster l'offre et la demande tout en limitant les pertes

Le stockage d'énergie permet l'adaptation dans le temps entre offre et demande en mettant en réserve une quantité d'énergie pour une utilisation ultérieure. Cela concerne non seulement les demandes en électricité, mais également en chaleur et en froid. Il permet en outre de limiter les pertes en cas de surproduction.

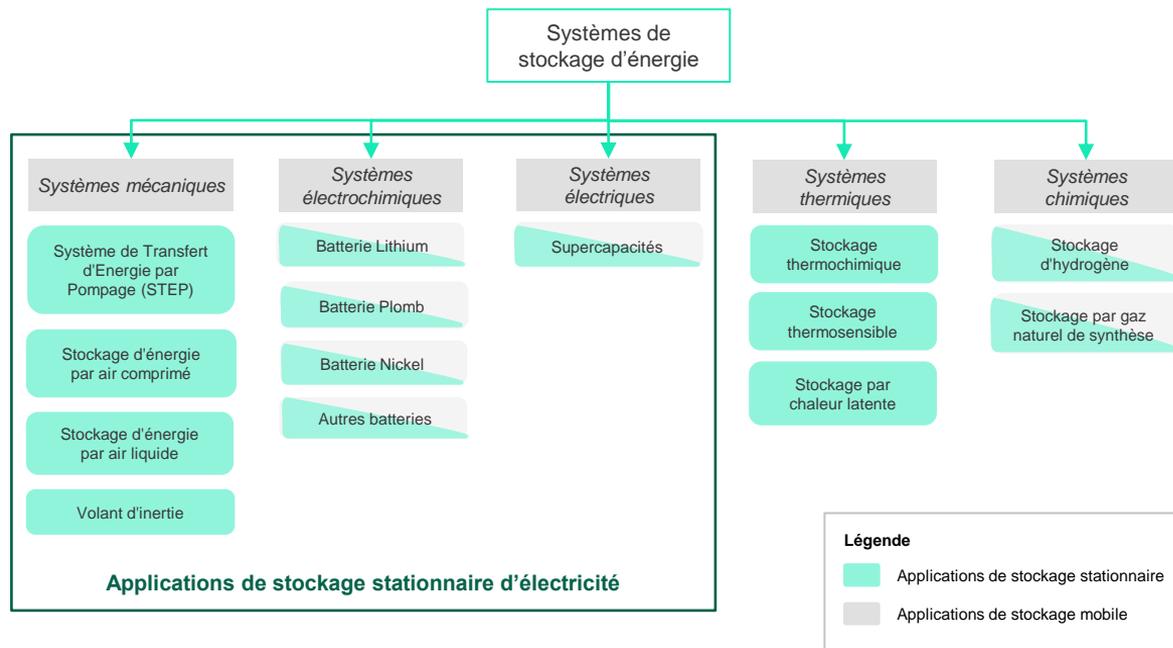


La demande d'énergie, notamment la demande d'électricité est variable au cours de l'année et dans la journée.

Les forts pics de consommation sont à date principalement amortis par la mise en route de centrales thermiques (gaz/fioul) et par l'utilisation de systèmes de stockage comme le STEP (Système de Transfert d'Énergie par Pompage).

Le développement du stockage permet ainsi de diminuer la production de CO₂, valoriser les EnR, et donc de limiter les importations d'électricité.

Principales technologies de stockage d'énergie



Parmi les technologies de stockage stationnaire d'électricité, le STEP reste la plus largement déployée aujourd'hui, mais les batteries émergent

En opposition avec le stockage embarqué ou portable, dédié aux applications mobiles telles que les véhicules électriques (VE), de téléphones et d'ordinateurs, le stockage stationnaire rassemble les technologies capables de stocker l'énergie dans des installations fixes et décaler son usage pour la restituer à un moment plus avantageux.



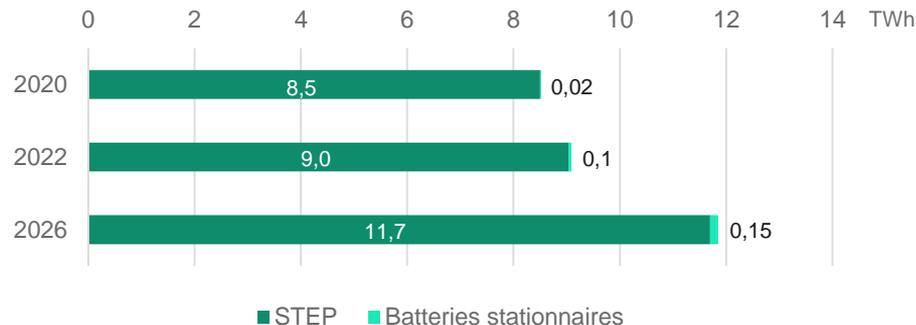
Le stockage stationnaire **permet de stocker des quantités importantes d'électricité** (jusqu'à plusieurs MW) sur des **durées variables** (de 1h à plusieurs dizaines d'heures) en fonction des applications et des technologies.

Le STEP est la technologie la plus répandue à ce jour.

Les batteries jouent toutefois un rôle de plus en plus important, notamment car elles peuvent être **installées n'importe où**, et possèdent une **gamme variée en termes de capacités**.

Les champs d'applications du stockage stationnaire sont très larges et les batteries peuvent être installées chez les **particuliers**, les **industriels** ou même directement sur les installations des **exploitants du réseau**.

Capacités de stockage stationnaire* dans le monde en 2020, 2022 et 2026



* Les autres technologies de stockage stationnaire sont absentes de ce graphique car elles sont à ce jour marginales

Les installations de stockage stationnaire par batteries utilisent depuis plusieurs années très majoritairement des batteries au lithium

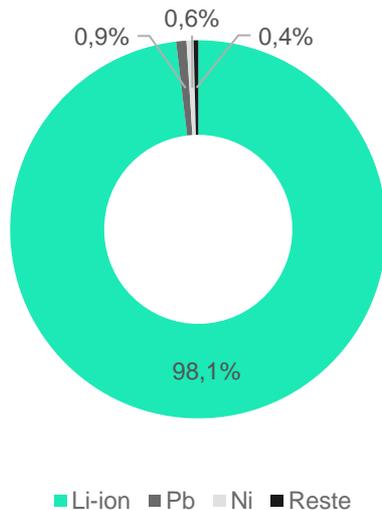
La part des batteries dans le stockage stationnaire augmente grâce à la diversité des technologies de batteries, la baisse de leurs coûts et leur facilité d'installation par rapport aux STEP.

Parmi les différentes technologies de batteries stationnaires, **les batteries Li-ion dominant, constituant en 2023, 98% du marché des batteries stationnaires.** Elles dominaient déjà ce marché en 2020, avec 97% de parts de marché.

Cette étude se focalisera dans un 1^{er} temps sur les **9 technologies de batteries les plus matures, réparties en 3 familles, présentées dans le tableau ci-contre.**

Les parts de marché des 7 autres technologies émergentes choisies pour cette étude restent à ce jour négligeables.

Parts de marché au niveau mondial des technologies de batteries dans les installations de stockage stationnaire (2023)

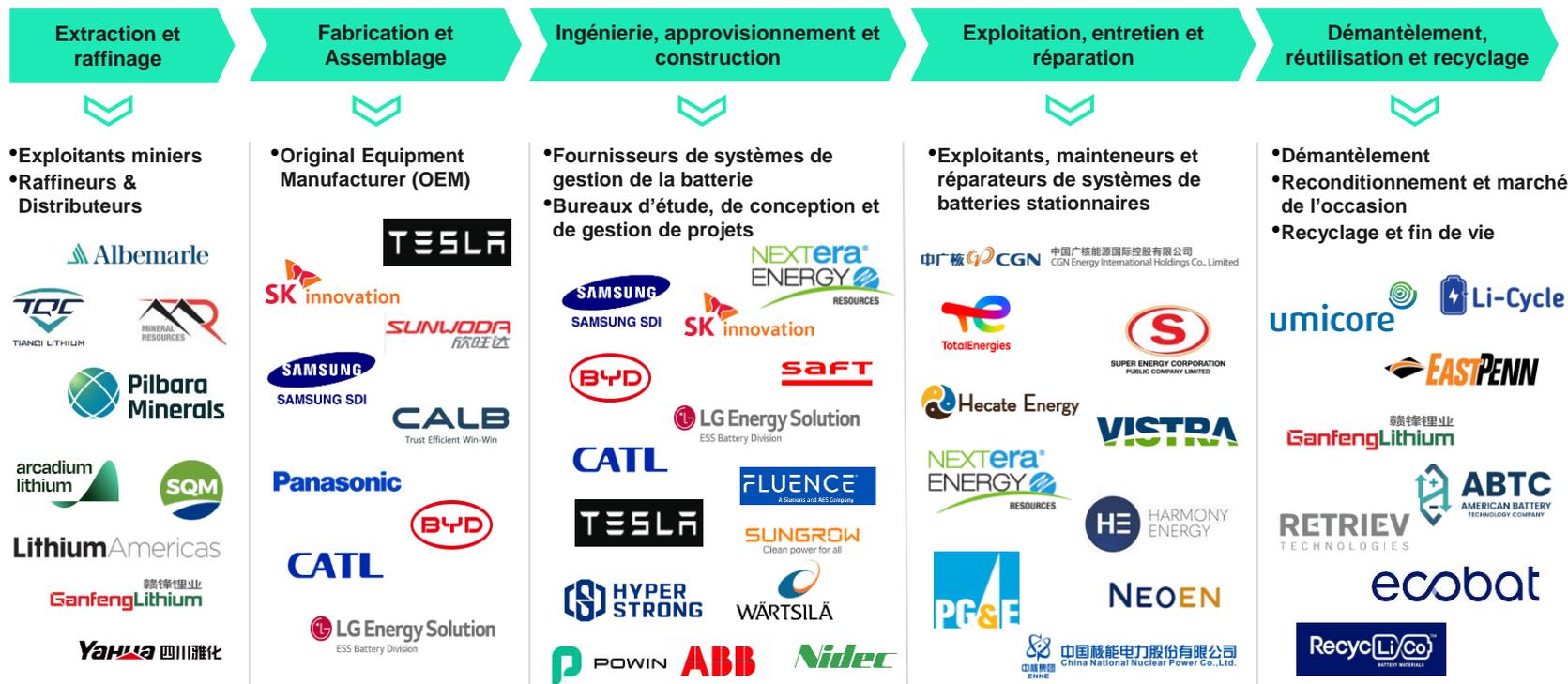


Famille	Technologies de batteries matures	
Lithium (Li-ion)	NMC	<i>Lithium Nickel Manganèse Cobalt</i>
	LFP	<i>Lithium Fer Phosphate</i>
	LMO	<i>Lithium Manganèse Oxide</i>
	LCO	<i>Lithium Cobalt Oxide</i>
	NCA	<i>Lithium Nickel Cobalt Aluminium</i>
	LTO	<i>Lithium Titanium Oxide</i>
Plomb	Pb	<i>Plomb</i>
Nickel	Ni-Cd	<i>Nickel Cadmium</i>
	Ni-Mh	<i>Nickel Métal Hydrure</i>



Le stockage stationnaire par batteries, un marché en forte accélération, porté par la Chine

Le marché du stockage stationnaire par batteries se consolide, avec des acteurs qui s'intègrent sur les différentes étapes de la chaîne de valeur



N.B : Les entreprises représentées ont été choisies comme exemples d'acteurs majeurs du secteur, mais ces listes ne sont en aucun cas exhaustives

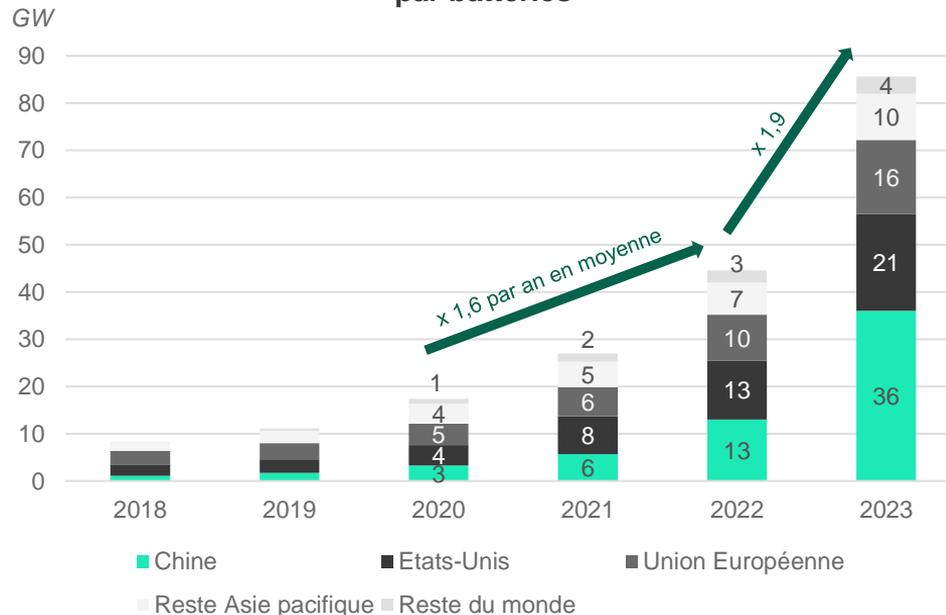
Depuis 2018, les capacités mondiales ont été multipliées par 11, tirées principalement par la Chine

Le nombre d'installation systèmes de stockage par batteries stationnaires (BESS*) devrait fortement augmenter au cours de cette décennie, avec une accélération en 2023, où les installations additionnelles ont presque doublé par rapport à l'année précédente.

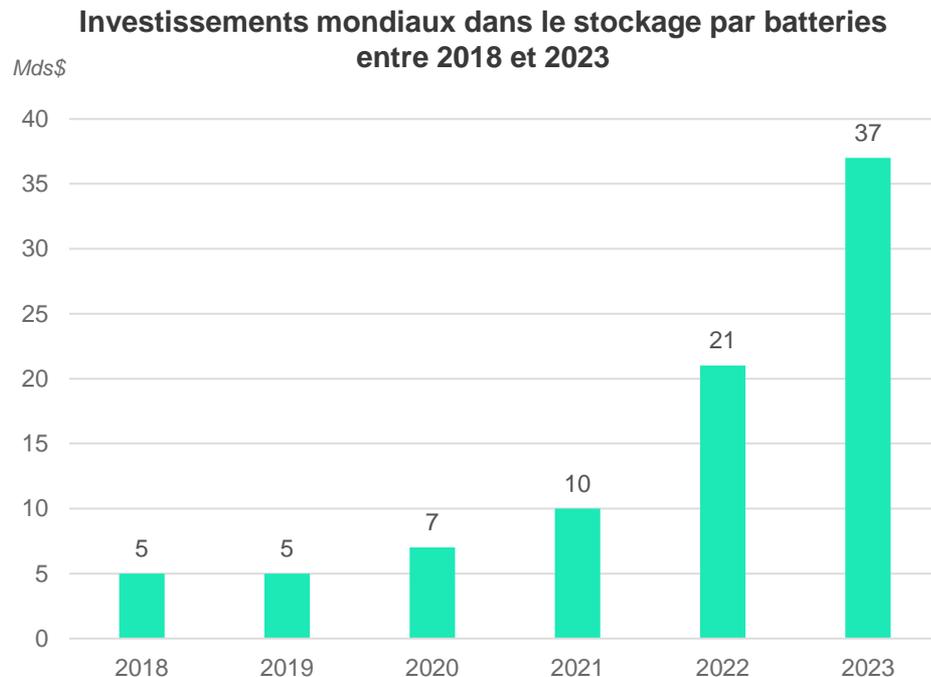
Une baisse des coûts, des politiques publiques favorables et l'émergence progressive d'une réglementation sont les principaux moteurs de l'accélération des BESS, qui ont de plus en plus accès à de nouvelles sources de revenus sur le marché de l'électricité et des services auxiliaires.

*BESS = Battery Energy Storage System

Evolution des capacités mondiales de stockage stationnaire par batteries



Les investissements dans le stockage par batterie ont quasiment quadruplé en 2 ans et continueront d'augmenter pour répondre à la demande

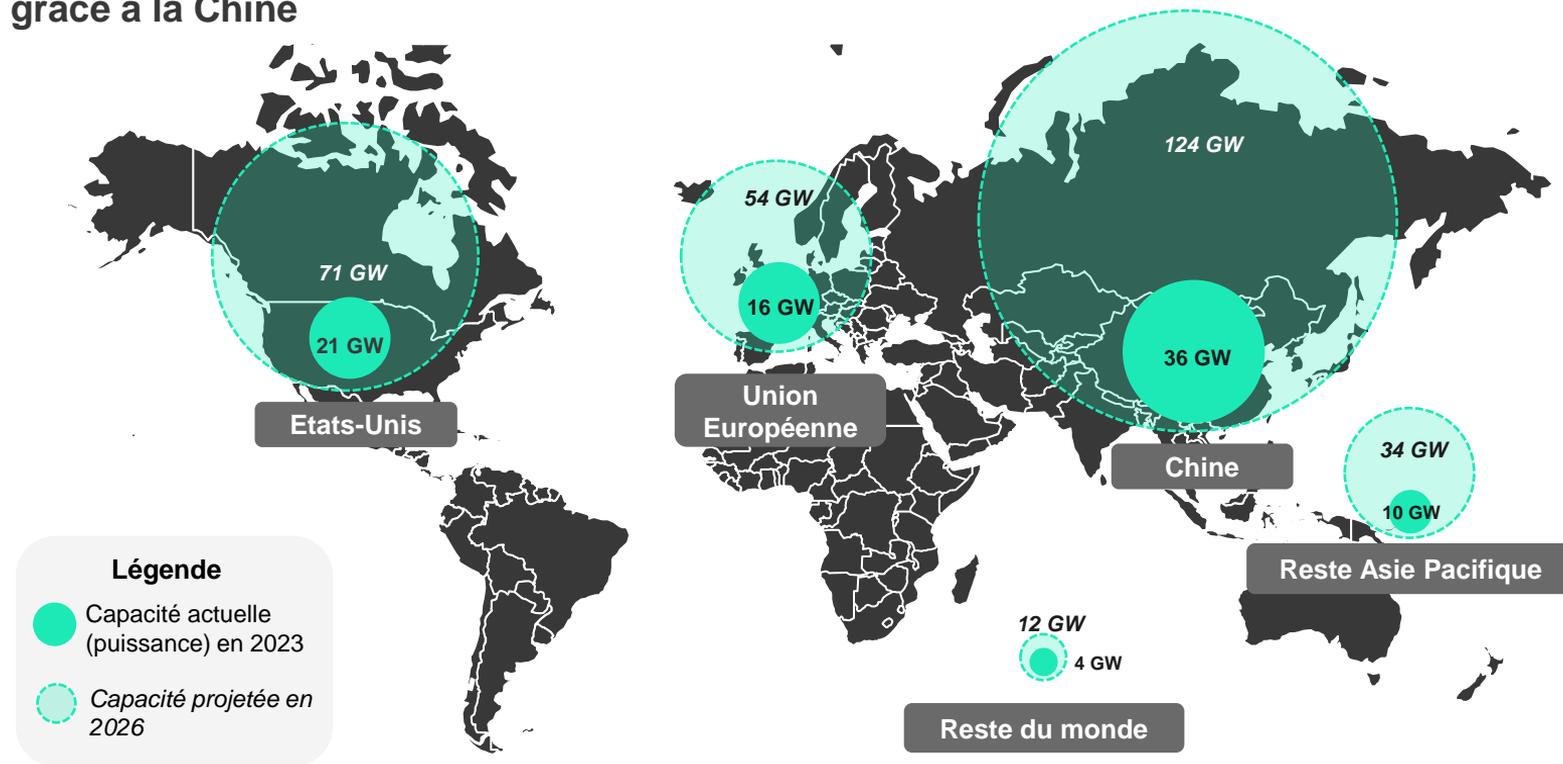


De nombreux acteurs du secteur de l'énergie, (entreprises technologiques, fabricants de batteries, développeurs de projets d'énergie renouvelable, sociétés de services publics) investissent massivement dans le développement et le déploiement de solutions de stockage d'énergie par batterie à grande échelle.

Les investissements dans les batteries stationnaires ont connu **une hausse significative** sur les 2 dernières années, pour atteindre **37 Mds \$ en 2023**.

Cette tendance à la hausse devrait se poursuivre: selon Aurora Energy Research, les **opportunités d'investissement cumulées en Europe devraient s'élever à 50 Mds € entre 2023 et 2050**, dont 40% seront déployés avant fin 2030.

D'ici 2026, la capacité installée des batteries stationnaires sera multipliée par 3, principalement grâce à la Chine



Légende

- Capacité actuelle (puissance) en 2023
- Capacité projetée en 2026

Les capacités en puissance pour 2026 sont calculées en projetant la croissance moyenne 2018-2022.

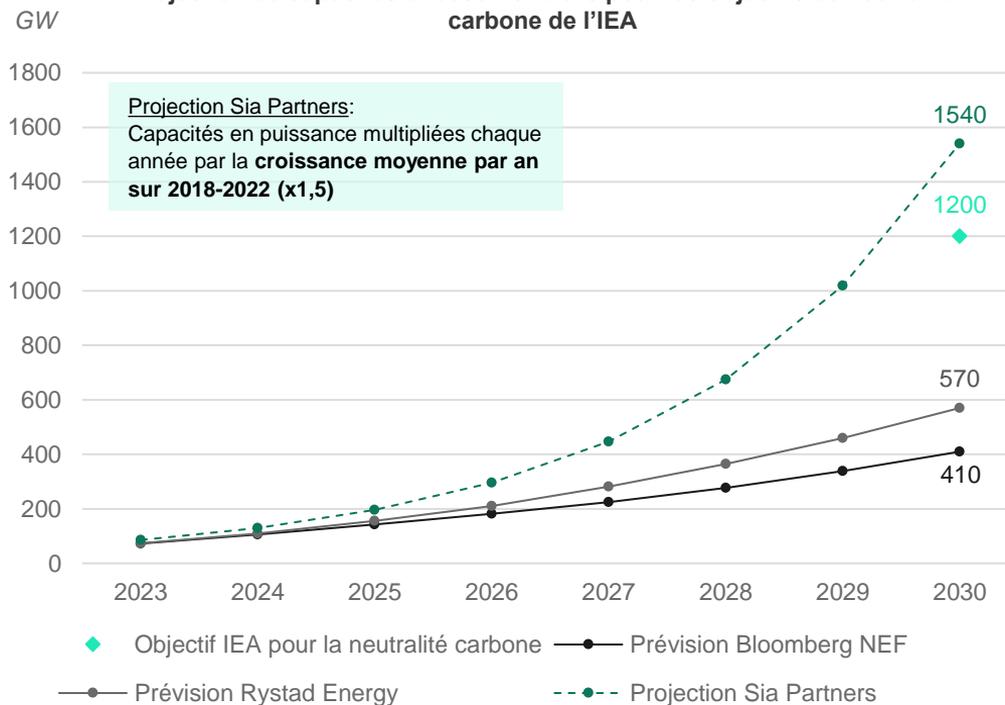
La croissance de l'année 2023 a été exclue car cette année a été exceptionnelle en termes de nouvelles installations, ce qui est dû à la baisse des prix des batteries en 2023 précédée par une hausse des prix pour la première fois en 2022, et au report de nombreux projets de 2022 vers 2023

Les objectifs pour la neutralité carbone en 2050 seront atteints si les capacités de stockage continuent d'augmenter selon la tendance actuelle

- ▶ Selon l'IEA, **près de 1 200 GW de stockage stationnaire par batteries seront nécessaires d'ici 2030** afin d'atteindre la neutralité carbone en 2050.
- ▶ En dépit des objectifs, Bloomberg NEF et Rystad Energy prévoient pour 2030 des capacités de stockage insuffisantes, aux alentours de 400-550 GW.
- ▶ Sia Partners envisage une projection plus optimiste avec des données plus récentes, calculée à partir des croissances moyennes sur les 6 dernières années, en faisant le choix d'exclure l'année 2023 car exceptionnelle en termes de nouvelles installations.

Cette projection **se réalisera uniquement si le développement des batteries continue d'être encouragé par les réglementations et des mécanismes de valorisations financières, et par le développement de technologies de batteries émergentes** répondant aux problèmes d'approvisionnement en matériaux.

Projection de capacités et besoins futurs pour les objectifs de neutralité carbone de l'IEA



La mise en place de politiques publiques favorables au stockage d'énergie, principal moteur de développement, s'accélère sur l'ensemble du globe

Pays / régions	Nom du texte	Date	Provisions relatives au stockage stationnaire	Voté	Proposé
	Plan action pour une politique industrielle des batteries	2018	Vise à promouvoir une politique industrielle européenne pour les batteries en soutenant la chaîne de valeur des batteries, dans le but de déployer 44 GWh en 2020 et 1200 GWh en 2030.		
	Decree Law 345	2019	Extension de crédits par la Banque centrale de Cuba aux acheteurs d'actifs solaires et autorisation de l'autoconsommation et de la revente de surplus d'électricité au réseau		
	Inflation Reduction Act	2022	Extension des crédits d'impôt à la production (ITC) aux producteurs en soutien de projets de stockage d'énergie, de batteries et de production ENR		
	New Energy Storage Development Plan	2022	Lignes directrices du gouvernement visant à réduire le coût d'installations des BESS de 30% d'ici 2025, et de déployer 30GW de BESS d'ici 2025, reprises et complétées au niveau régional pour atteindre 10 à 20% de taux d'allocation de stockage d'énergie renouvelable		
	Energy Storage Obligation	2022	Fixe un taux de stockage obligatoire de l'électricité totale générée à 1% d'ici 2024 et à 4% d'ici 2030 pour les distributeurs d'électricité		
	Directive RED III	2023	Vise à augmenter la part des ENR dans la consommation finale d'électricité à 42,5% d'ici 2030, encourage le recours aux accords d'achat d'énergie renouvelable et facilite les délais d'instruction et les demandes de permis pour les projets d'ENR		
	Règlement UE 2023/1542 relatif aux déchets de batteries	2023	Impose la déclaration de l'empreinte carbone pour les batteries industrielles, rechargeables et celles pour les véhicules électriques pour leur mise sur le marché, et fixe des objectifs de collecte et de recyclabilité pour les batteries lithium, nickel et plomb		
	Energy Bill	2023	Définit le stockage de l'énergie comme un sous-ensemble de la production pour encourager son développement à grande échelle sur le territoire.		
	Réforme marché de l'électricité	2024 (à venir)	Vise à augmenter la prévisibilité, la sécurité et la flexibilité de l'électricité en Europe, et oblige les Etats membres à définir des objectifs nationaux de réponse à la demande et de stockage dans leur Plan national énergie et climat (Pnec).		

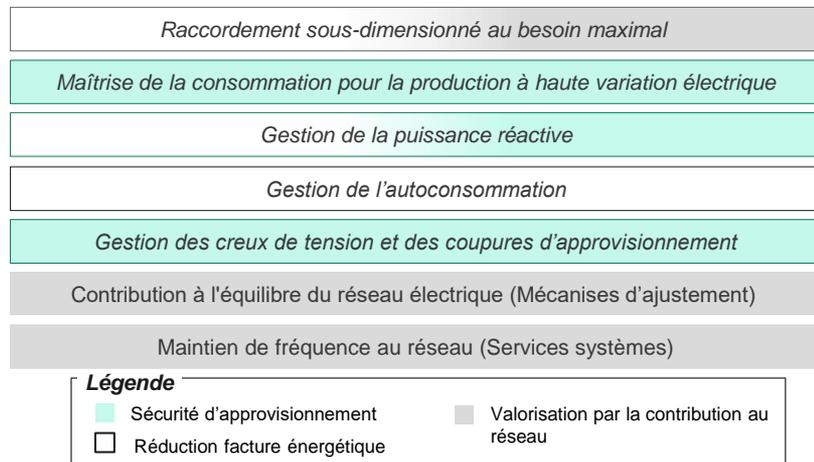
 Contraignant  Non-contraignant

Si la réglementation favorise le développement de la filière, la rentabilité des projets de stockage stationnaire doit tout de même être améliorée pour attirer davantage d'investissements privés

Eurelectric, représentant de nombreux acteurs européens de l'industrie électrique, notamment RTE, EDF et TotalEnergies en France, propose dans son rapport publié en 2023 des mesures incitatives afin d'accroître la rentabilité des projets de stockage stationnaire.

1 Rémunération pour chaque service rendu (*revenue stacking*)

Actuellement, certains services fournis par le stockage ne sont pas évalués dans les calculs de rentabilité, et dans de nombreux pays, seules certaines combinaisons de services peuvent être autorisées en raison de restrictions de cumul de valeurs. Une **rémunération adaptée à la capacité multiservice du stockage permettrait d'améliorer la rentabilité du stockage stationnaire** en diversifiant les sources de revenus.



2 Suppression de la double taxation, au niveau du prélèvement à la décharge



- ▶ Ces deux entités appellent à **supprimer la double taxation existante sur l'injection et le soutirage**, dans la mesure où les installations de stockage ne «consomment pas d'énergie», et ne devraient donc pas subir une taxe à la réinjection, conformément à l'article 18 de la directive EU/2019/943. Eurelectric appelle à l'implémentation du règlement EU/2019/943 et la directive EU/2019/944 sur la conception du marché, **en adoptant une définition claire du stockage de l'énergie**, supprimant les plafonds de prix, réduisant la taille minimale des offres et limitant les services auxiliaires non rémunérés et non liés à la fréquence.
- ▶ En mars 2024, dans un courrier adressé aux représentants de la commission des affaires économiques et monétaires (ECON), un groupement d'industriels (dont fait partie Eurelectric) ont proposé un amendement pour que les consommateurs possédants des installations de stockage d'énergie (VE, batteries stationnaires), et les transformateurs d'électricité **soient considérés comme des redistributeurs lorsqu'ils fournissent l'électricité et ne soient donc pas soumis à la double taxation**. Cela permettrait de favoriser le développement de la participation des consommateurs à la stabilité du réseau, comprenant notamment l'installation de systèmes locaux de batteries stationnaires.

La France, un marché européen secondaire pour le stockage stationnaire par batteries, mais qui a vocation à progresser rapidement, porté par les initiatives de l'Etat

La France cherche à porter la part des ENR dans son mix à 33% de sa consommation finale d'énergie en 2030, elle souhaite aussi développer sa capacité d'effacement pour atteindre 6,5 GW d'ici 2028 afin d'améliorer l'équilibrage du réseau.



Capacité de stockage par batterie début 2024



807 MW en service en France

300 MW en construction

Perspectives du marché du stockage

Face à l'importance de l'hydraulique (utilisant le stockage STEP) et du nucléaire dans la part du mix énergétique, le potentiel du marché du stockage stationnaire est plus faible en France que dans certains autres pays européens mais est cependant voué à progresser rapidement :

- **Programmation Pluriannuelle de l'Energie (PPE)** : Dispositif de soutien aux énergies renouvelables avec pour objectif le développement des énergies renouvelables, des mécanismes incitatifs a été mis en place.
- Des **plans d'investissements** ont été annoncés et se sont multipliés récemment :
 - ❖ **EDF annonce 8 Mds€ d'investissement d'ici 2035** pour atteindre 10 GW de capacité de stockage grâce aux batteries stationnaires
 - ❖ **Engie ambitionne 10 GW de capacité de stockage stationnaire en 2030** (monde)
 - ❖ **TotalEnergies vise 5 à 7 GW de capacité de stockage stationnaire en 2030** (monde)
 - ❖ En 2020 RTE a lancé son appel d'offres pour une capacité de 253 MW

Contexte réglementaire lié aux batteries

- Évolution réglementaire à venir : développement des projets de stockage évoqués par la CRE, avec la possibilité de mettre en place un statut ad hoc pour les opérateurs de stockage
- Loi Climat & résilience élargie en 2021 sur la **procédure d'appels d'offres aux dispositifs de stockage d'électricité** (Art.L352-2 code de l'énergie) : « les gestionnaires de réseaux publics ne peuvent pas posséder, développer ou exploiter des installations de stockage d'énergie dans le système électrique » sauf certaines dérogations possibles
- Les appels d'offres sont demandés par le ministre chargé de l'énergie lorsque les capacités de stockage ne répondent pas aux objectifs de programmation pluriannuelle. RTE est chargé d'analyser les offres et de proposer à l'autorité administrative un classement des candidatures ([Art L352-1-1 de la loi du 22/08/21](#))

Projets notables

- **AMARENCO** mène le projet « Claudia » de stockage par batteries Li-Ion, d'une puissance de 105 MW / 98 MWh, en Gironde
- **TotalEnergies** a mis en service fin 2021 un site de stockage de 61 MWh dans la zone portuaire de Dunkerque (27 conteneurs de 2,5 MWh)

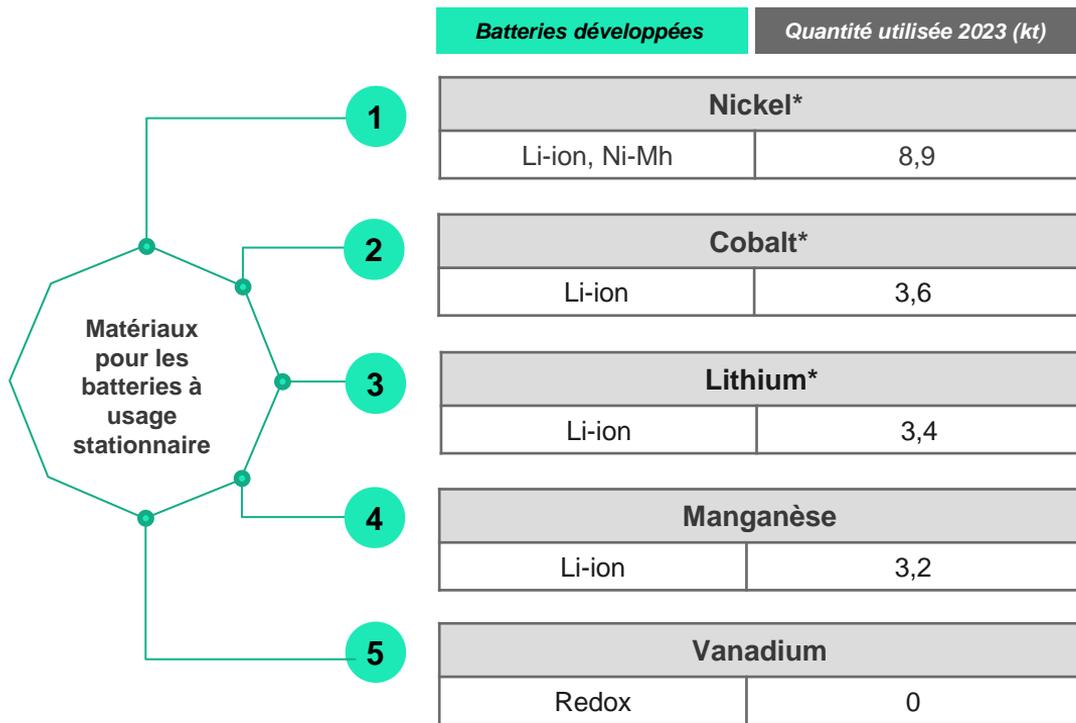


Le potentiel du marché pour le stockage stationnaire en France est voué à progresser rapidement, notamment grâce aux incitations et dispositifs mis en place par l'Etat



**L'approvisionnement en
matériaux, un enjeu essentiel
pour la pérennité du marché**

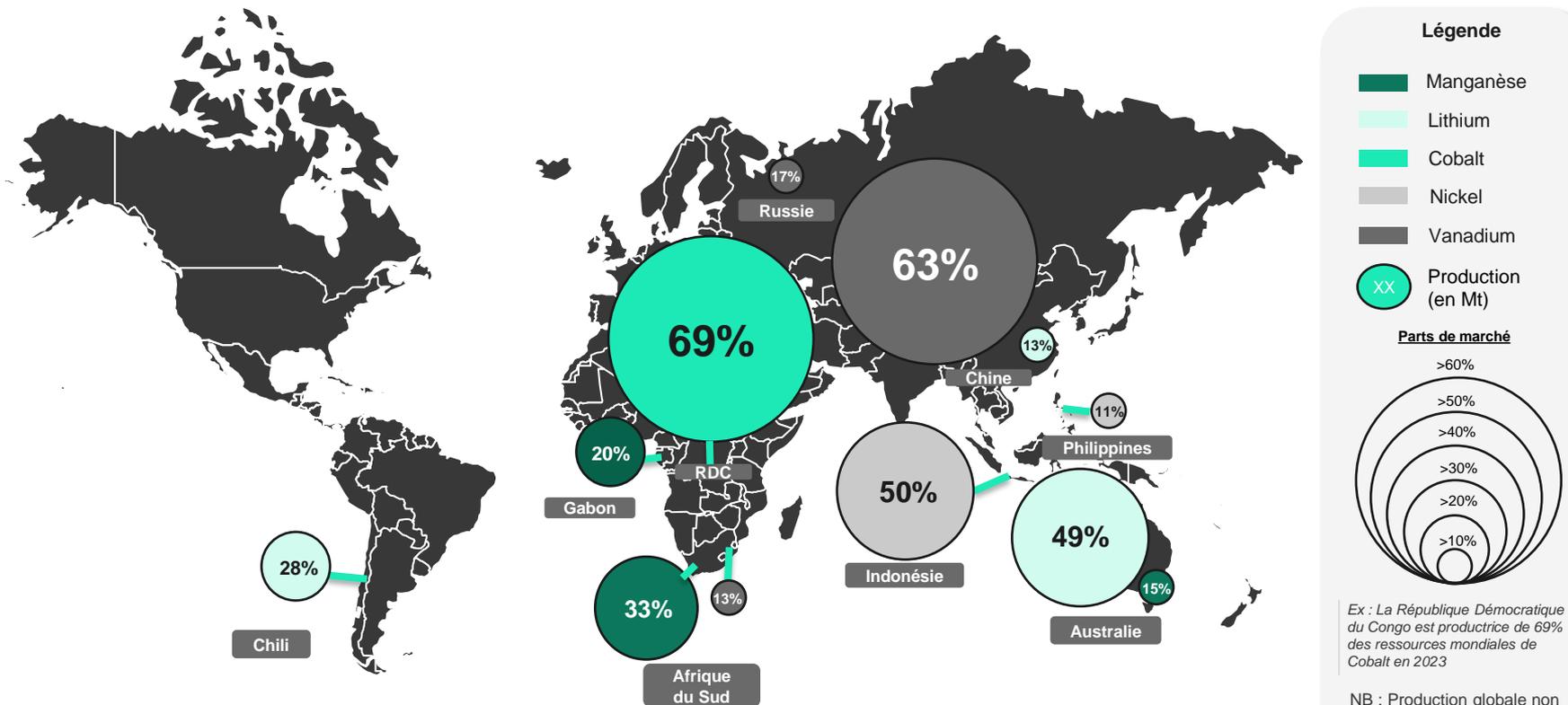
Le stockage stationnaire par batteries repose à date sur 4 matériaux utilisés pour le matériel cathodique, mais un 5e, le vanadium, connaîtra la plus forte croissance dans les années à venir



- ▶ Le nickel est le **matériel le plus utilisé** et devrait **remplacer le cobalt**, plus cher et moins disponible.
- ▶ Le **lithium** est le **principal composant** des batteries Li-ion **dominant** le marché. Le lithium est peu à peu **remplacé par du nickel**, plus performant, ou par des **matériaux plus durables** et disponibles.
- ▶ Le **manganèse**, 12^e élément chimique le plus abondant, est de plus en plus présent car il permet de **limiter l'impact sur les ressources minières**.
- ▶ La demande de **vanadium**, à date inexistante pour les batteries stationnaires, **croît** depuis les prémices de commercialisation des batteries à flux Redox (VFRB), de sorte que l'évolution de sa demande est à considérer.

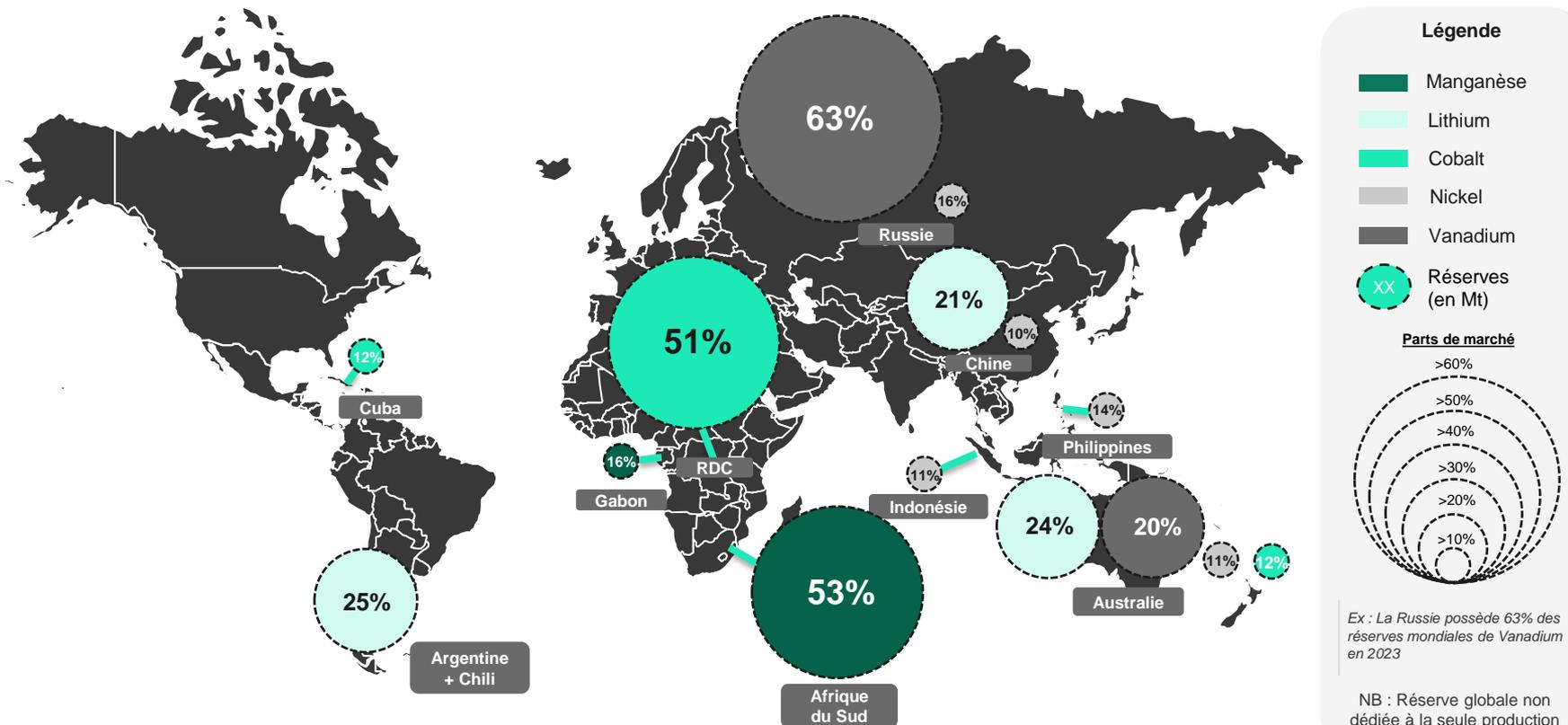
*Matériaux considérés comme critiques, au regard des tensions d'approvisionnement

La production des matériaux les plus utilisés pour les batteries stationnaires est morcelée dans différents pays, chacun dominant sur un matériau



Proportion par pays des principales productions de matériaux dans le monde, 2023

La répartition des réserves identifiées n'est pas corrélée à celle de la production, et sera à surveiller avec l'avènement des besoins futurs



Proportion par pays des principales réserves mondiales de matériau dans le monde, 2023

Les besoins en stockage stationnaire par batterie multiplieront a minima par 14 la demande de matériaux d'ici 2040 et en particulier de vanadium

3 scénarios permettent d'évaluer la projection de la demande de matériaux

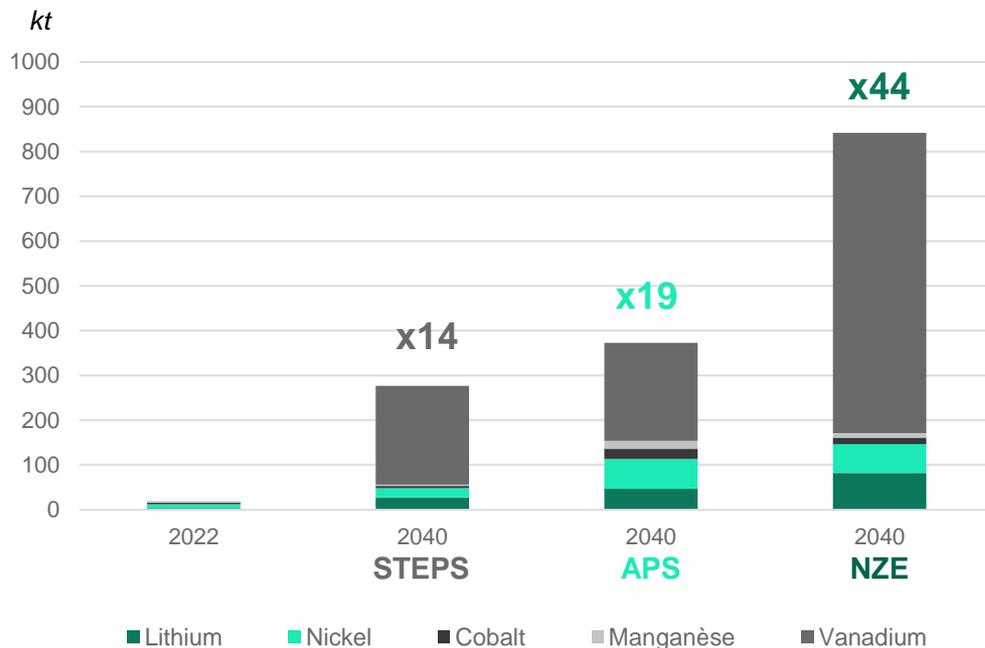
NZE « Net Zero Emission »
Objectifs internationaux de neutralité carbone en 2050 fixés par l'IPCC

APS « Announced Pledge Scenario »
Atteinte des objectifs annoncés par les gouvernements

STEPS « Stated Policies Scenario »
Avancement actuel selon les politiques publiques mises en place

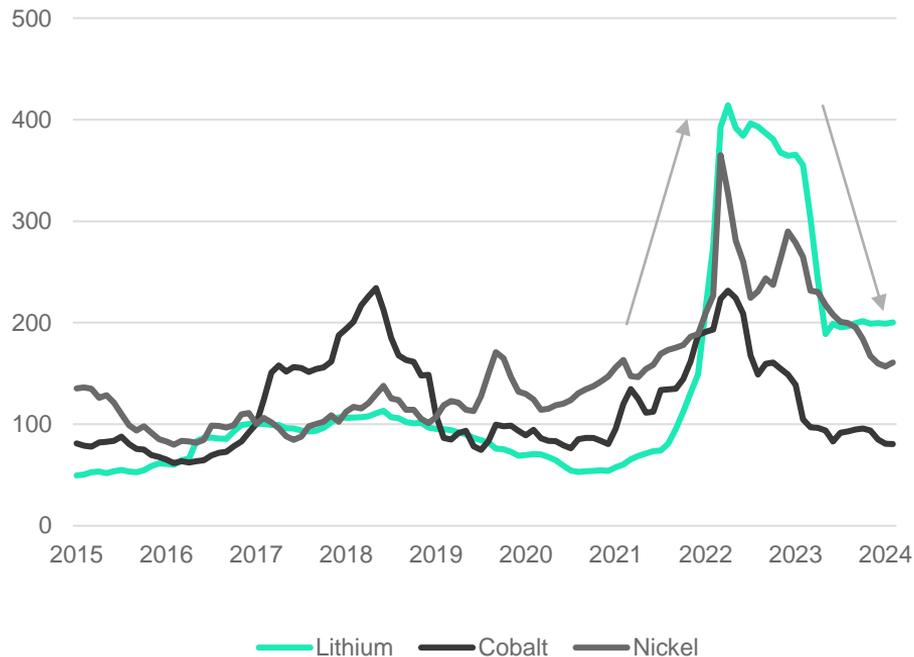
► Si le stockage par batteries stationnaires **compte actuellement pour moins de 1% de la demande totale des matériaux** à travers les scénarios, la hausse de la demande future sera **≈ 6x supérieur** à la tendance observée pour les autres technologies (VE, EnR ...etc.)

Evolution de la demande des matériaux selon les scénarios de l'IEA



La demande en matériaux critiques est fluctuante et entraîne une volatilité importante des prix de marché sur ces dernières années

Evolution du prix des matériaux critiques (indice 100 = janv. 2017)



La demande dépassant largement l'offre disponible de ces matériaux critiques a entraîné l'**envolée de leurs prix en 2022**.



Depuis fin 2023, le prix des matériaux critiques a drastiquement **chuté**.

- 70 %
Lithium

- 40 %
Cobalt et Nickel

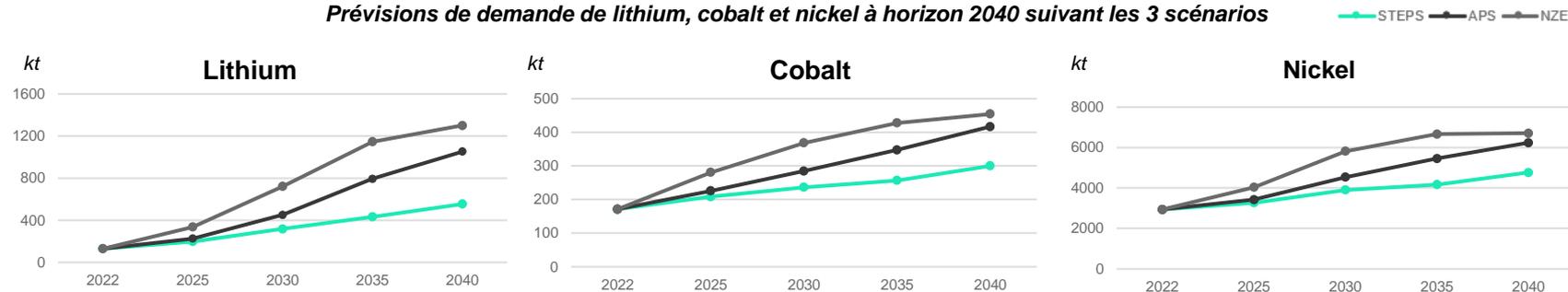
Evolution du prix de la tonne de carbonate de lithium, cobalt et nickel vendue en Chine depuis le 1er janvier 2023.

Cette baisse de prix s'explique par :

- l'**augmentation de la production** pour répondre à la demande
- les **avancées technologiques** entraînant une moindre utilisation des matériaux critiques
- une **politique de subvention chinoise des véhicules électriques** entraînant une offre artificiellement haute, supérieure à la demande

Or, l'approvisionnement de ces matériaux critiques continuera à croître et devra répondre aux futurs besoins et ce quel que soit le scénario considéré

Prévisions de demande de lithium, cobalt et nickel à horizon 2040 suivant les 3 scénarios



- ▶ La demande croissante quel que soit le scénario considéré dépassera les capacités d'approvisionnement sur ces trois principaux métaux utilisés, et ce dès 2030 d'après l'IEA. Des **investissements supplémentaires** conséquents seront nécessaires pour adresser la demande.
- ▶ Dans ce contexte de tension, un **déploiement trop rapide des batteries Li-ion**, qui dépendent de ces métaux, pourrait complexifier la **transition énergétique au niveau mondial**.
- ▶ Quel que soit le scénario, il est nécessaire de trouver des **solutions** pour surmonter ces **tensions d'approvisionnement**. La substitution des matériaux semble l'approche la plus efficace.

Ainsi

Volatilité importante des prix de marché des matériaux

&

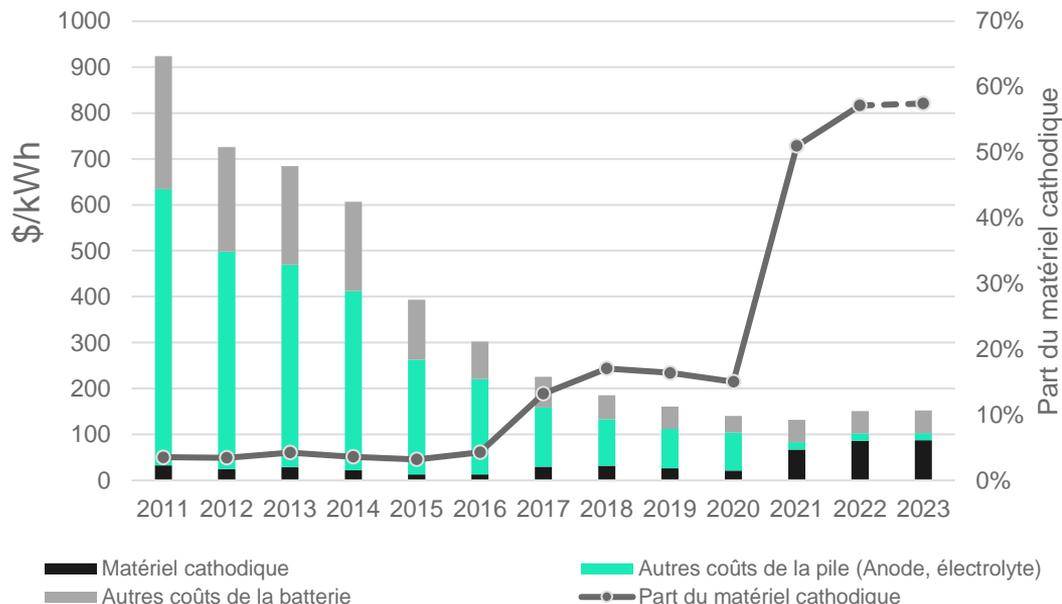
Dépendance forte à ces matériaux des technologies de batteries

Risques et instabilités dans l'approvisionnement et le développement des technologies de batteries pour la transition écologique

Focus Lithium – Ion : Le prix des batteries a augmenté de nouveau en raison de l'instabilité du prix du matériel cathodique

Le coût total du *produit* batterie peut être décomposé grossièrement entre le coût de la pile (anode et électrolyte), le coût du matériel cathodique (notamment lithium, cobalt, nickel) et les autres coûts liés à la batterie.

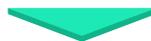
Evolution du coût des batteries Li-ion et de la part du matériel cathodique



- ▶ La **flambée des prix des matériaux** menace de **renverser la tendance à la baisse des coûts** des technologies de batteries.
- ▶ 2021 : La **part du matériel cathodique** dans le coût total a été **multipliée par 3**.
- ▶ 2022 : La **hausse du coût du matériel cathodique a causé** pour la première fois une **hausse du prix de la batterie**
- ▶ 2023 : Les coûts des batteries sont repartis à la baisse selon l'association européenne EASE, malgré des projections pessimistes en 2022. Des **tendances volatiles sont attendues** pour les prochaines années, créant un certain **degré de risques et d'instabilité pour les coûts des batteries** dépendantes de ces matériaux.

Les risques liés à la criticité des matériaux se répercutent sur les technologies de batteries

	Demande	Prix	Dépendances	Autres
Lithium	Demande croissante	Forte volatilité des prix	Les principales ressources sont réparties sur 3 continents. En revanche, la Chine domine le raffinage (65%) et les entreprises chinoises sont présentes dans de nombreux projets miniers dans le monde.	Le marché du lithium est peu flexible : la mise en exploitation d'un gisement de lithium peut prendre 10 ans.
Cobalt			65% du cobalt provient de RDC , où les activités minières posent des problèmes éthiques, et la Chine sécurise ses approvisionnements en étant le principal raffineur de cobalt (65%).	Le cobalt étant majoritairement produit en tant que sous-produit du cuivre ou du nickel, sa production est liée à celle des métaux principaux , ce qui limite la capacité d'adaptation.
Nickel			L'Indonésie est le plus grand producteur avec 55% de la production mondiale de nickel Le raffinage s'effectue principalement en Asie , avec 76% des capacités.	Une concentration élevée en nickel dans les batteries implique une plus grande densité de puissance mais un impact négatif sur le prix et la fiabilité de la batterie. Entre la découverte d'un gisement et la production, un délai de 13-20 ans peut s'écouler.
Manganèse			Les ressources sont concentrées en Afrique du Sud, qui produit 33% et possède 53% des réserves mondiales. 58% du raffinage se fait dans des usines chinoises.	L'acier est le 1^{er} consommateur de manganèse : les fluctuations de la demande en acier peuvent donc impacter la chaîne d'approvisionnement. La longue durée avant exploitation des gisements limite la flexibilité du marché.



	Risques		
	Prix	Disponibilité	Dépendance
Batteries Li-ion contenant aussi Co, Ni, Mn: <i>NMC, LMO, LCO, NCA</i>	+++	+++	+++
Batteries Li-ion sans autre matériau critique: <i>LFP, LTO</i>	+	+	+
Batteries Ni: <i>Ni-Cd, Ni-Mh</i>	+	+	++

Légende:

- + Risque faible
- ++ Risque modéré
- +++ Risque important

Il existe donc une réelle nécessité de diversifier les matériaux nécessaires à la transition énergétique avec des technologies moins dépendantes des matériaux critiques

		Diversification observée	Comment cet équilibre entre les technologies peut garantir l'atteinte d'une transition durable
Diversification de technologies existantes		Batteries au Fer de Phosphate de Lithium (LFP)	<ul style="list-style-type: none"> Le marché devrait être dominé par les batteries LFP, peu chères et sûres. Elles permettent de contourner l'inflation des coûts des matériaux critiques en substituant le nickel et/ou le cobalt.
		Transition vers des variantes Nickel moins riches en Cobalt	<ul style="list-style-type: none"> Le reste de la demande sera couvert par les batteries au nickel NMC, plus chères mais plus performantes. Une transition vers des variantes moins riches en cobalt est attendue pour en limiter le coût
Nouvelles technologies de batterie		Commercialisation des batteries Redox à base de Vanadium	<ul style="list-style-type: none"> Les batteries Redox devraient être largement commercialisées d'ici 2030 (<i>Energy Storage News</i>) et capturer par la suite une part croissante du marché des applications de stockage pour les grands projets renouvelables en raison de leur impact limité sur les ressources minières.
		Batteries au sodium et nouvelles générations de Batteries Li-ion	<ul style="list-style-type: none"> Les batteries au sodium (Na-ion) permettraient de largement réduire les coûts des batteries en raison de l'abondance naturelle du sodium (Na). Les batteries Li-S et Li-Air offrent des perspectives prometteuses en matière de densité énergétique (connexion au réseau électrique) tout en offrant un avantage coût



De nouvelles technologies de batteries sont développées pour diminuer la dépendance aux matériaux critiques

De nouvelles technologies de batteries permettant de réduire voire d'éliminer la dépendance aux matériaux en tension se développent

NOUVELLES TECHNOLOGIES

Familles	Principaux avantages et inconvénients	
<i>Lithium</i>	<ul style="list-style-type: none"> Technologies dominantes sur le marché Densité énergétique et durée de vie élevées 	<ul style="list-style-type: none"> Fort impact sur des ressources limitées Instabilité des coûts depuis 2020
<i>Nickel</i>	<ul style="list-style-type: none"> Densité énergétique > Li-ion Capture une part de marché croissante 	<ul style="list-style-type: none"> Impact sur des ressources limitées Détérioration par une surcharge répétée
<i>Plomb</i>	<ul style="list-style-type: none"> Technologie ancienne, très utilisée Coût d'achat de la batterie faible 	<ul style="list-style-type: none"> Polluante et toxique Coût au kWh élevé
Redox (VRFB)	<ul style="list-style-type: none"> Découple puissance et capacité énergétique Grande sûreté grâce à l'électrolyte liquide 	<ul style="list-style-type: none"> Commercialisation prévue en 2030 Coût du vanadium très élevé
Sodium-Soufre (Na-ion)	<ul style="list-style-type: none"> Pas d'impact sur les ressources critiques Alternative plus sûre que les Li-ion 	<ul style="list-style-type: none"> Densité énergétique généralement ≤ Li-ion
Solides	<ul style="list-style-type: none"> Densité énergétique > Li-ion Pas de risques d'explosion 	<ul style="list-style-type: none"> Détérioration des performances à la décharge Fort impact sur des ressources limitées
Métal-Air (Li-Air)	<ul style="list-style-type: none"> Impact réduit sur les ressources critiques Densité énergétique prévue > Li-ion 	<ul style="list-style-type: none"> Phase prototype : faisabilité à démontrer Temps de charge longs (état actuel)
Potassium (K-ion)	<ul style="list-style-type: none"> Pas d'impact sur les ressources critiques Alternative plus sûre que les Li-ion 	<ul style="list-style-type: none"> Faible capacité réversible Phase prototype : faisabilité à démontrer



Deux nouvelles technologies lithium (Li-S et LNMO) moins riches en lithium et cobalt sont en développement

► Un bouquet de nouvelles technologies émerge, toutes partageant une faible dépendance aux matériaux critiques (lithium, cobalt et nickel)

► Certaines, comme les batteries Redox et Na-ion, initient un cycle de commercialisation, avec des caractéristiques et performances vérifiées.

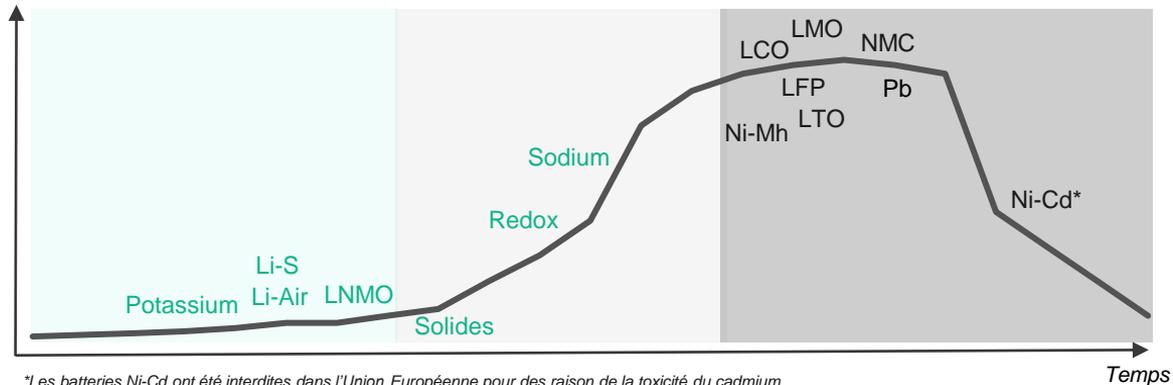
► Les autres devront poursuivre les étapes de R&D, mais les performances prévues sont encourageantes, et visent à égaler celles des batteries Li-ion, dominantes.

Légende

- Avantages (nouvelles technologies)
- Avantages (technologies matures)
- Inconvénients (nouvelles technologies)
- Inconvénients (technologies matures)

Alors que les batteries Lithium et Nickel atteignent un niveau de maturité élevé sur le marché, un nouveau bouquet de technologies, constituées de matériaux plus disponibles, émerge

Réalisation des attentes



*Les batteries Ni-Cd ont été interdites dans l'Union Européenne pour des raison de la toxicité du cadmium

Technologie de batteries	
Technologies matures	Nouvelles technologies
Lithium	Lithium
NMC	Li-S
LFP	LNMO
LMO	Li-Air
LCO	Autres
NCA	Redox
LTO	Solides
Nickel	Sodium
Ni-Mh	Potassium
Ni-Cd*	
Pb (plomb)	

Idée et développement

- Performance maximale future
- Modélisations basées sur le taux d'amélioration observé pour les batteries matures

Lancement et croissance

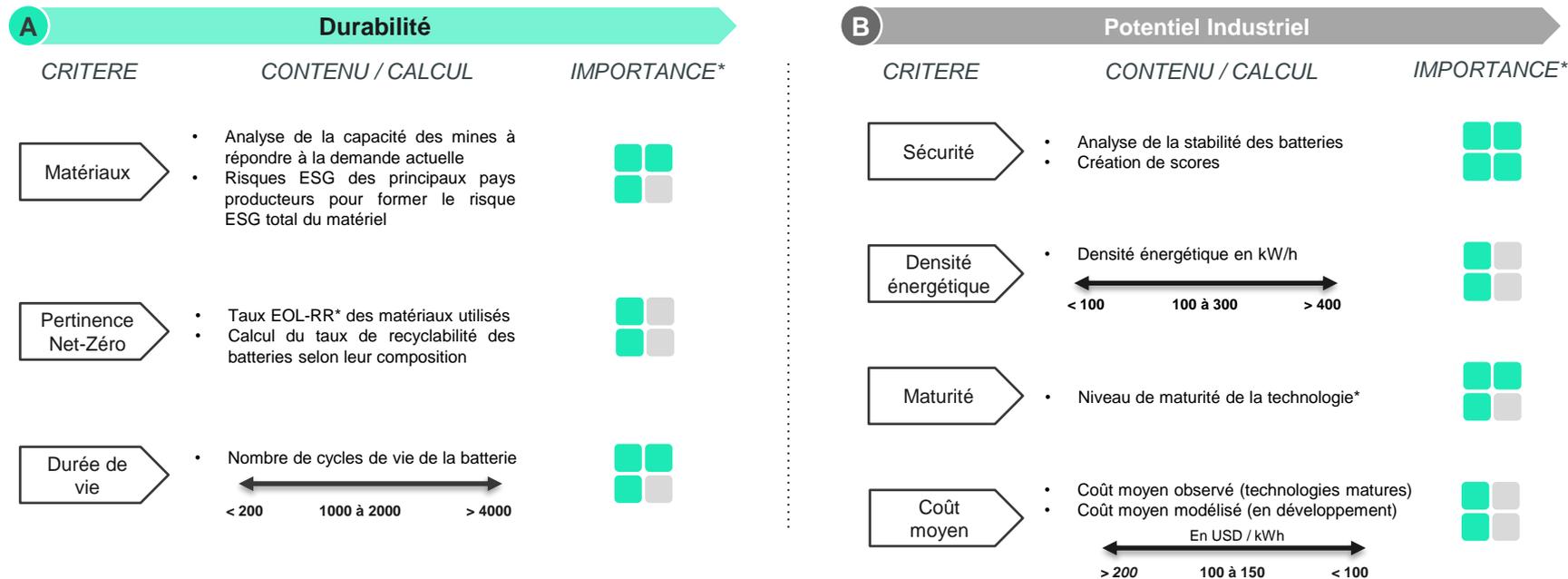
- Performance atteignable au vu des améliorations en cours
- Performance basée sur les recherches et essais pour l'amélioration

Maturité et déclin

- Performance observée et confirmée
- Peu ou pas de perspectives d'améliorations significatives

Sia Partners propose une analyse de l'attractivité des batteries, basée sur les capacités techniques attendues pour un usage industriel et les limites d'approvisionnement actuelles

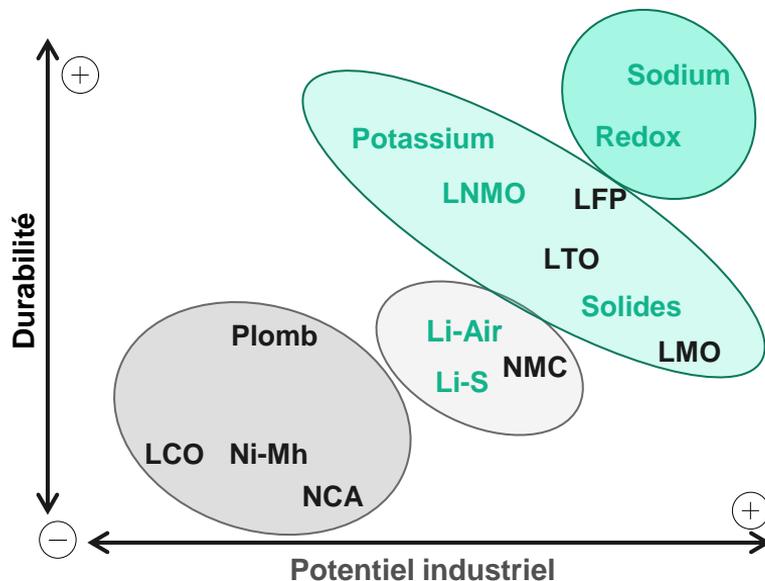
Notre analyse définit la Durabilité et le Potentiel Industriel comme les deux axes principaux pour définir l'attractivité d'une batterie dans le contexte actuel de transition énergétique, qui se déclinent en 7 critères.



* Défini selon la méthodologie Sia Partners

Le développement pérenne du marché reposera à la fois sur certaines technologies matures consommant peu de matériaux critiques, et certaines nouvelles technologies de batteries

Analyse Sia Partners de l'attractivité des batteries



- ▶ Les technologies à **très fort potentiel** : à prioriser en matière d'efforts et d'investissements initiaux car elles permettront des avantages majeurs sur le moyen à long-terme.
- ▶ Les technologies à **fort potentiel** : présentent un degré supplémentaire d'incertitude et donc de risques à considérer nécessitant une décision plus granulaire
- ▶ Les technologies à **potentiel modéré** : les investissements doivent être étudiés attentivement en fonction des objectifs prioritaires et du niveau de risques tolérés
- ▶ Les technologies à **faible potentiel** : déprioriser les efforts

Technologie de batteries

Technologies matures	Nouvelles technologies
<u>Lithium</u>	<u>Lithium</u>
NMC	Li-S
LFP	LNMO
LMO	Li-Air
LCO	<u>Autres</u>
NCA	Redox
LTO	Solides
<u>Nickel</u>	Sodium
Ni-Mh	Potassium
Pb (plomb)	

Nous préconisons de prioriser les batteries matures LFP et LTO, utilisant seulement du lithium comme matériau critique, et également les nouvelles batteries au Sodium et Redox, et sur un temps plus long les batteries au potassium

Ces nouvelles technologies permettront au marché du stockage stationnaire de se développer sans subir les risques et contraintes liées à l'approvisionnement en matériaux critiques



À propos de Sia Partners

À propos de Sia Partners

Contacts



Raphael CURTZ
Senior Manager Energy,
Utilities & Environment
Raphael.curtz@sia-partners.com



Emma GILLIOT
Consultante Energy,
Utilities & Environment



Paul FOSSEMALLE
Consultant Energy,
Utilities & Environment



Marianne LE DIOURON
Consultante Energy,
Utilities & Environment

À propos de Sia Partners

Notre empreinte mondiale et notre expertise dans plus de 40 secteurs et services nous permettent d'améliorer les activités de nos clients dans le monde entier. Nous guidons leurs projets et initiatives en matière de stratégie, de transformation d'entreprise, d'informatique et de stratégie numérique. Sia Partners accompagne ses clients pour développer les écosystèmes innovants de demain, réinventer les modèles d'affaires et les schémas organisationnels, et réimaginer l'art du leadership et de la transformation de manière concrète, efficace et responsable

Energie, Utilities et Environnement

Depuis 2000, nos experts accompagnent énergéticiens, gestionnaires de réseaux, centre de R&D, fonds d'investissement dans leur stratégie de croissance, de pilotage et de mise en œuvre de transformation ou encore de démonstrateurs des filières de demain s'inscrivant dans la transition énergétique.

Le futur mix énergétique sera centré sur l'électricité. Fort de 350 consultants dédiés à l'énergie dans le monde, dont 200 en France, Sia Partners accompagne ses clients dans leurs transformations liées aux nouveaux moyens de production, à leur intégration sur le réseau mais aussi au développement d'offres innovantes et de nouveaux usages comme le véhicule électrique et les batteries à usage stationnaire

Glossaire

BESS : Battery Energy Storage System (Système de stockage par batteries stationnaires)

Famille : catégorisation de batteries par composant chimique choisie dans cette étude, englobant plusieurs technologies de batteries

Matériau: dans cette étude, le terme matériau désigne le lithium, le nickel, le cobalt, le manganèse et le vanadium

Matériaux critiques : matériaux en tension nécessaires à la fabrication des batteries (Lithium, Nickel, Cobalt)

Stockage par batterie : stockage stationnaire par batterie

Technologie : technologie de batteries choisies dans cette étude

K-Ion : Potassium (famille Autres)

LCO : Lithium-Cobalt (famille Li-Ion)

LFP : Lithium-Fer-Phosphate (famille Li-Ion)

Li-Air : Lithium et Air (famille Métal-Air)

Li-S : Lithium-Soufre (famille Li-Ion)

LMO : Lithium Manganèse Oxyde (famille Li-Ion)

LNMO : Lithium-Nickel-Manganèse-Oxyde (famille Li-Ion)

LTO : Lithium-Titane-Oxyde (famille Li-Ion)

Na-Ion : Sulfure de Sodium (famille Sodium)

NCA : Lithium-Nickel-Cobalt-Aluminium (famille Li-Ion)

Ni-Cd : Nickel-Cadmium (famille Ni-Ion)

Ni-Mh : Nickel-Métal-Hydrure (famille Ni-Ion)

NMC : Lithium-Nickel-Manganèse-Cobalt (famille Li-Ion)

Pb : batterie au plomb (famille Plomb)

Solides : composants similaires aux Li-ion, séparateur en polymère solide ou céramique, électrolyte solide (famille Solides)

VRFB : Vanadium Redox Flow Battery (famille Redox)