

Stockage d'électricité : à l'aube d'une révolution énergétique

17/09/2023

Confidentiel

Résumé

Longtemps considéré comme techniquement et économiquement irréaliste, le stockage direct d'électricité est désormais une réalité. Les systèmes de stockage d'énergie sur batterie connectées au réseau électrique, ou BESS (battery energy storage system) se sont imposées en quelques années comme un complément indispensable à la production d'électricité solaire ou éolienne, en compensant leur caractère intermittent. En fournissant, lors des pics de consommation, l'excès d'énergie produit durant les heures creuses, les BESS permettent de réduire ou d'éliminer l'usage des centrales d'appoint – majoritairement alimentées au gaz ou au fioul – et donc réduire les émissions de CO₂, tout en maîtrisant les fluctuations de prix de l'énergie. Ils rendent aussi de nombreux services auxiliaires : stabilisation de la fréquence ou du voltage, équilibrage de l'offre et de la demande en temps réel, redémarrage du réseau après une panne...

Le nombre et la taille des installations ont explosé au niveau mondial : 74 gigawattheures (GWh) devraient être installés dans le courant de l'année 2023, contre 27 GWh en 2021 et 42 GWh en 2022. Cette progression exponentielle devrait se poursuivre dans les années à venir, atteignant selon certaines projections plus de 1800 GWh à l'horizon 2030. Un chiffre à rapporter aux 9000 GWh de capacité totale de l'ensemble des stations de transfert par pompage (STEPs) en service à travers le monde, fruit de près d'un siècle d'investissement et qui représentaient pratiquement l'unique méthode économiquement viable de stockage d'énergie jusqu'ici.

Le développement des BESS de grande capacité est pour l'heure largement concentré aux Etats-Unis et en Chine. Mais d'autres grands marchés électriques, comme l'Union européenne ou encore l'Inde, pourraient devenir des utilisateurs de premier plan. Les batteries sur réseau peuvent aussi s'avérer pertinentes dans les pays émergents. Des petits BESS sont opérationnels depuis 2021 au Malawi – l'un des premiers pays d'Afrique subsaharienne à s'être équipé – où ils permettent de raccorder des centrales solaires au réseau sans devoir lourdement investir dans la rénovation de celui-ci. L'Afrique du sud parie quant à elle sur des BESS de grande taille pour résoudre sa grave crise de l'électricité, tandis que les Philippines ou la Barbade les emploient pour répondre aux contraintes liées à leur caractère insulaire.

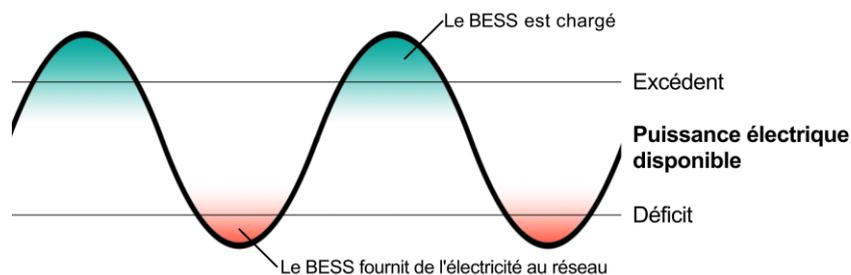
1. Batteries de réseau : principes de fonctionnement¹

Les systèmes de stockage d'énergie par batterie, ou BESS (*battery energy storage systems*), emploient des batteries semblables à celles utilisées dans les véhicules électriques, plus souvent de type lithium-ion. Celles-ci sont intégrées en grand nombre dans des modules standardisés, généralement des conteneurs maritimes de dimension standard (20 ou 40 pieds de longueur). Ces « packs », d'une capacité de plusieurs mégawattheures (MWh) – 3,9 MWh dans le cas du Megapack de Tesla, l'un des leaders de ce marché – peuvent eux-mêmes être installés en série. Couplés à un onduleur, un transformateur et d'autres équipements, ils forment un BESS, dont les capacités de stockage vont de quelques dizaines à plusieurs centaines, voire plusieurs milliers, de MWh. **La plus grande installation du monde, à Moss Landing (Californie) a été agrandie mi-2022 pour atteindre une capacité de 3000 MWh et une puissance de 750 mégawatts (MW)** – ce qui signifie qu'elle peut délivrer cette puissance maximale pendant 4 heures.

1.1. Le complément indissociable aux énergies renouvelables intermittentes

Si les BESS indépendants se multiplient – notamment pour les plus grandes installations –, ils restent le plus souvent **associés à des centrales solaires ou éoliennes**, ou du moins situés dans des régions productrices d'énergies renouvelables. **Le principal usage des BESS consiste en effet à « lisser » dans le temps la production d'électricité renouvelable**, par nature intermittente : **chargés lorsque la puissance fournie par dépasse les besoins du réseau** – à la mi-journée pour les centrales solaires, souvent de nuit pour les parcs éoliens – ils **restituent ensuite cette énergie lors des pics de consommation**.

Graphique 1 : les BESS jouent un rôle de lissage de la puissance électrique disponible



Source : Global Sovereign Advisory

Ce principe offre de nombreux avantages. Pour le fournisseur d'énergie, il permet d'**optimiser sa production en limitant les périodes de mise à l'arrêt de ses centrales, et d'optimiser ses revenus** en vendant son électricité au moment où la demande est la plus forte, et donc les prix les plus élevés.

En lisant les variations de production, y compris les plus ponctuelles et plus difficiles à prévoir (par exemple lorsqu'un nuage passe au-dessus d'une centrale solaire ou qu'une bourrasque provoque un pic de puissance éolienne), les BESS peuvent aussi **grandement faciliter leur incorporation au réseau de transmission et de distribution** et ainsi **limiter, pour l'opérateur du réseau électrique, les lourds investissements nécessaires pour mettre celui-ci à niveau**. En effet, les réseaux de transmission et distribution ont historiquement été conçus pour acheminer l'électricité produite de façon régulière et centralisée. Le déploiement de centrales EnR - intermittentes et décentralisées par nature - oblige donc à installer des systèmes de gestion intelligents, ou « *smart grids* »,² capables d'équilibrer la charge entre les différents nœuds

¹ Pour des raisons de concision, cette étude ne prend pas en compte les autres modèles de stockage d'électricité par batterie : batteries installées « après le compteur » à domicile ou dans les entreprises ; réseaux électriques indépendants (off-grid) ; restitution d'électricité au réseau par les véhicules électriques (vehicle-to-grid) ; opérateurs « virtuels » fournissant de l'électricité au réseau grâce aux batteries installées chez des particuliers ; etc. Si les modèles économiques et techniques diffèrent radicalement, ces systèmes visent, eux aussi, à lisser les pics de consommation, stabiliser les prix, et équilibrer le réseau électrique.

² [L'insertion des EnR sur les réseaux électriques en 3 minutes](#), Commission de régulation de l'énergie (France), décembre 2020

du réseau, et/ou à surdimensionner le réseau pour absorber l'excédent d'énergie. **Ces difficultés d'intégration des énergies renouvelables aux réseaux électriques existants ont longtemps constitué un frein majeur à leur développement**³. L'emploi de BESS peut donc s'avérer particulièrement pertinent dans le cas des réseaux nationaux fragiles, et insuffisamment raccordés à ceux des pays voisins, et ne pouvant donc pas faire appel à eux pour lisser leurs pics de consommation ou de production.

Les BESS de grande capacité peuvent enfin se substituer, au moins en partie, aux centrales électriques d'appoint (peaker plants), qui n'entrent en fonctionnement que lors des pics de demande. Or, bien qu'elles ne représentent qu'une petite fraction de l'électricité totale consommée, **celles-ci génèrent des surcoûts importants**. Utilisant généralement des turbines à gaz pour fournir rapidement les puissances nécessaires, elles sont près de 50% moins efficaces que les centrales thermiques à cycle combiné⁴. Elles mobilisent aussi des capitaux importants alors qu'elles sont peu sollicitées (250 à 1500 heures par an⁵). Enfin, les centrales de pointe jouent un rôle-clé dans le mécanisme de formation des prix provoquant parfois des hausses aussi drastiques qu'injustifiées (voir l'encadré Europe en page 5). A Lessines, en Belgique, un BESS de 100MWh installé par Corsica Sole, composé de 40 Megapacks fabriqués par Tesla –présentée comme la plus grande d'Europe au moment de son inauguration fin 2022 - a permis de remplacer une centrale à gaz en service depuis 70 ans⁶. Dans de nombreux autres cas, notamment aux Etats-Unis, la construction de BESS a permis d'éviter la construction de centrales d'appoint à gaz.

1.2. Un rôle de stabilisation des réseaux électriques

Du fait de leur capacité à injecter très rapidement – en quelques millisecondes - de l'électricité sur le réseau, les installations BESS, même de capacité relativement modeste, peuvent aussi fournir de nombreux services auxiliaires, comme la **stabilisation de la fréquence ou du voltage**, permettant ainsi de **prévenir les pannes d'électricité** provoquées par les déséquilibres d'offre et de demande. Dans les cas extrêmes, elles peuvent même permettre de **remettre sous tension le réseau après une panne de courant généralisée (black start service)**: le redémarrage des centrales traditionnelles nécessite en effet un apport initial de courant électrique.

1.3. Des systèmes adaptables et réactifs

Tous ces services existaient déjà avant le développement des BESS. Les stations de transfert par pompage (STEP), apparues dès le début du XXème siècle, représentent toujours, de loin, la principale technique de stockage des surplus d'électricité, en pompant aux heures creuses de l'eau vers des réservoirs situés en altitude (barrages, retenues, lacs artificiels), qui alimentent ensuite des turbines hydroélectriques lorsque la production d'électricité est nécessaire. Mais **contrairement aux STEP, les BESS peuvent être installées pratiquement n'importe où, ne nécessitant ni relief ni eau en grande quantité**.

De même, **la réactivité des BESS est bien supérieure aux STEP et même aux centrales de pointe au gaz naturel les plus performantes, qui ont besoin de plusieurs minutes pour atteindre leur pleine charge**⁷: un avantage précieux lorsqu'il est nécessaire de stabiliser des réseaux instables et soumis à des variations brutales.

La conception modulaire des BESS rend, enfin, leur installation très flexible : outre la facilité de transport et de mise en place, ils peuvent être **dimensionnés pour correspondre précisément aux besoins des opérateurs** : d'un seul module conteneurisé à plusieurs dizaines voire centaines d'exemplaires, pour les projets les plus ambitieux. Il est aussi relativement **simple d'augmenter la capacité des BESS en ajoutant progressivement de nouveaux modules**.

³ [Integrating Variable Renewable Energy: Challenges and Solutions](#) – National Renewable Energies Laboratory, 2013

⁴ [Average Tested Heat Rates by Prime Mover and Energy Source – 2011 – 2021](#), Agence internationale de l'énergie, 2022

⁵ [The Load Following Power Plant: The New Peaker](#), GE, 2017

⁶ [40 Tesla Megapacks Replace 70-Year-Old Generating Station In Belgium](#) – Cleantechica, 12 décembre 2022

⁷ [The Load Following Power Plant: The New Peaker](#), GE, 2017

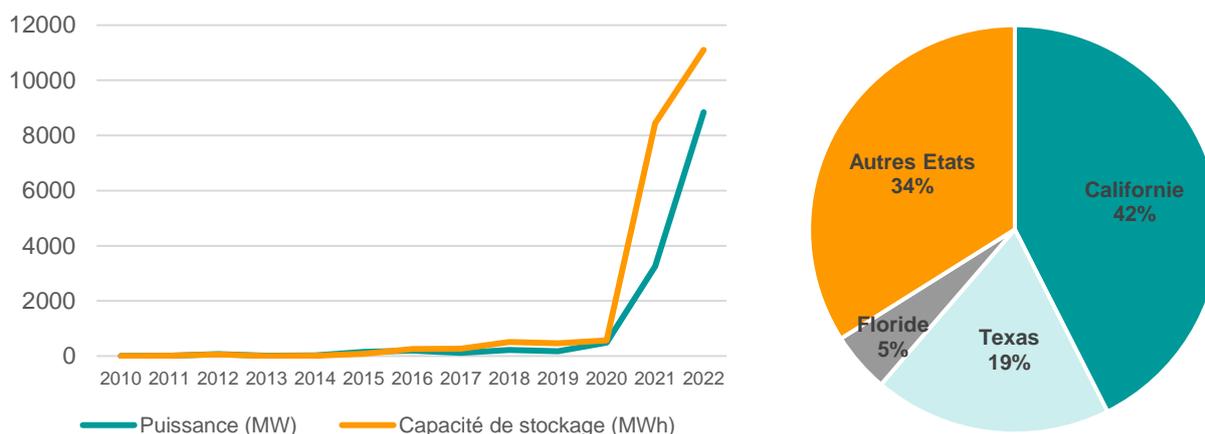
2. Une hausse exponentielle des déploiements

Si les premières installations expérimentales de BESS remontent au début des années 2010⁸, **ce n'est qu'à partir de 2021 que la technologie a pris son envol commercial** : selon l'Agence internationale de l'énergie (IEA), 6,4 GW de puissance cumulées ont été installées cette année-là, et près de 11 GW en 2022, une progression de 72% sur un an. Les chiffres fournis par l'agence sont cependant parcellaires, puisqu'ils ne prennent en compte que la puissance pouvant être fournie par les installations (exprimée en GW) plutôt que leur capacité de stockage (en GWh), plus pertinente pour des systèmes conçus dans ce but. **Selon la société de conseil en énergie Rystad, 27 GWh ont été installés en 2021, et 43 GWh en 2022** – une progression de près de 60%. Le cabinet norvégien est encore plus optimiste pour l'année en cours, où il table sur le **raccordement de 74 GWh supplémentaires, une progression de 72% par rapport à 2022**⁹.

2.1. La Californie et le Texas propulsent les Etats-Unis à la première place mondiale

Aux Etats-Unis, le développement, très soutenu depuis 2020 (graphique 2), s'est principalement concentré en Californie et au Texas (graphique 3). Ces nouvelles installations visent à suivre – et faciliter - le développement de la production d'électricité solaire et éolienne, dont ces deux Etats sont devenus d'importants producteurs. **La quasi-totalité (97%) des nouvelles centrales solaires prévues en Californie intègrent en effet une composante batterie, selon le Laboratoire national Lawrence Berkeley¹⁰, dépendant du Département de l'énergie américain.** Du fait du fort déploiement de centrales solaires, la Californie est en effet confrontée à un déséquilibre structurel entre sa demande de pointe (après le coucher du soleil) et son maximum de production (à la mi-journée). Ce profil de consommation dit en « courbe de canard » oblige le gestionnaire du réseau CAISO (California Independent System Operator) ainsi que les producteurs à trouver des solutions de lissage dans le temps, dont les BESS. En dehors de la Californie, ce pourcentage **s'établit à 48% en moyenne aux Etats-Unis**. Et si seules 8% des centrales éoliennes en projet aux Etats-Unis prévoient, selon cet institut, d'intégrer une composante BESS, ce chiffre monte à 45% en Californie. Ces disparités illustrent la grande versatilité des installations BESS, qui peuvent être adaptées aux contraintes techniques et climatiques des producteurs d'électricité et des opérateurs de réseau.

Graphiques 2 et 3 : Installations BESS aux Etats-Unis et répartition de la capacité par Etat



Source : U.S. Energy Information Agency

L'accélération des installations de BESS au Texas correspond également à une volonté de remédier à un problème structurel de fiabilité du réseau électrique, géré par l'opérateur Electric Reliability Council of

⁸ [A brief history of utility-scale energy storage](#), Renewable Energy World, 2017

⁹ [New battery storage capacity to surpass 400 GWh per year by 2030 – 10 times current additions](#) – Rystad Energy, 14 juin 2023

¹⁰ [Queued Up: Characteristics of Power Plants Seeking Transmission Interconnection As of the End of 2022](#) – Lawrence Berkeley National Laboratory, avril 2023

Texas (ERCOT). Le nombre de projets a en effet explosé dans les mois qui ont suivi **la tempête hivernale Uri en février 2021**, qui avait provoqué une gigantesque panne d'électricité en mettant à l'arrêt de nombreuses centrales d'appoint à gaz au moment où la demande était la plus forte. Le Texas est aussi confronté à d'importants pics de consommation estivaux du fait de l'usage généralisé de la climatisation. Or, il est, pour des raisons politiques, **totalemment déconnecté du reste du réseau américain**, et ne peut donc importer d'électricité de ses voisins. L'installation à grandes échelles de batteries BESS vise donc tant à stabiliser le réseau¹¹ qu'à éviter une répétition du scénario vécu durant la tempête Uri.

2.2. Pékin adopte un plan quinquennal dédié aux BESS

En Chine, c'est aussi le développement sans précédent des énergies solaire et éolienne qui tire la croissance des installations de batteries de réseau. Ce mouvement est soutenu au plus haut niveau de l'Etat : la plupart des projets de BESS sont portés par des compagnies publiques, qu'il s'agisse de producteurs d'électricité ou de gestionnaires de réseau¹². Surtout, les autorités centrales se sont fixé des objectifs ambitieux, **souhaitant atteindre 30GW de puissance installée dès 2025. La seule State Grid Corporation of China (SGCC) voudrait pour sa part porter ses propres capacités à 100GW en 2030, contre 3GW aujourd'hui**¹³.

Le développement des systèmes BESS fait désormais partie intégrante de la stratégie énergétique nationale. En mars 2022, La Commission nationale du développement et de la réforme et l'Administration nationale de l'énergie ont publié le **Plan de mise en œuvre pour le développement des nouvelles technologies de stockage d'énergie** pour le 14^e plan quinquennal (2021-2025). Ce texte vise notamment à faire **diminuer les coûts de stockage de l'électricité de 30%**, afin que les BESS puissent être rentables sans subventions¹⁴. De fait, la Chine peut s'appuyer sur son leadership incontesté dans le domaine de la production de batteries et du raffinage des minerais nécessaires à leur production¹⁵. Le choix des autorités de développer les systèmes BESS est aussi une tentative de développer un cercle économique vertueux, comme cela a été le cas avec les véhicules électriques¹⁶ : il offrira en effet de nouveaux débouchés à ses producteurs de batteries, mais aussi de panneaux solaires et d'éoliennes, puisque les BESS permettent d'éliminer les goulets d'étranglement limitant la construction de nouvelles centrales renouvelables.

UE : vers un soutien accru des pouvoirs publics, sur fond de guerre en Ukraine

Jusqu'à présent, l'Union européenne est restée relativement à l'écart du boom des BESS. 4,5 GW à 5GW de puissance seraient actuellement opérationnelles selon différentes sources¹⁷, ce total incluant également les installations réalisées en Grande-Bretagne. Mais la situation pourrait évoluer rapidement avec **la réforme du marché électrique européen**, lancée en réaction au déclenchement de la guerre en Ukraine, en février 2022. Le début du conflit avait mis en lumière la dépendance de l'UE au gaz russe et, surtout, provoqué l'explosion des prix de l'électricité dans de nombreux pays membres. Selon les mécanismes actuels du marché européen, les prix de gros de l'électricité sont déterminés non pas par son coût de production moyen, mais par le **coût marginal de production, c'est-à-dire celui du dernier MWh produit, issu des centrales électriques de pointe, mises en route pour faire face aux pics de demande**¹⁸. Or celles-ci sont **généralement alimentées au gaz naturel, dont le prix a flambé avec l'arrêt des importations de gaz russe**.

Si les arbitrages n'ont pas encore été rendus, la proposition de réforme présentée en mars par la Commission européenne a souligné le « *manque de solutions de flexibilité pour les énergies non fossiles (stockage ou participation active de la demande, par exemple)* ». Le texte¹⁹ envisage plusieurs pistes favorables au développement des BESS, proposant notamment « **d'imposer aux Etats membres d'évaluer leurs besoins**

¹¹ Heat is battering Texas's power grid. Are giant batteries the answer? – Washington Post, 24 juin 2023

¹² Five things powering China's energy storage boom – Caixin, 20 juillet 2023

¹³ China targets 30GW of battery storage by 2025 as BESS output grows 150% – Energy Storage News, 4 mars 2022

¹⁴ China's Energy Storage Sector: Policies and Investment Opportunities – China Briefing, Deezan Shira & Associates, 8 juillet 2022

¹⁵ Minerais stratégiques : le raffinage, clé de la domination chinoise – Global Sovereign Advisory, juillet 2023

¹⁶ Véhicules électriques : quelles opportunités pour les pays émergents ? Global Sovereign Advisory, mai 2023

¹⁷ Europe reached 4.5GW of battery storage installed in 2022: could hit 95GW by 2050 – Energy storage news, 20 avril 2023

¹⁸ <https://www.lesechos.fr/industrie-services/energie-environnement/energie-comment-est-fixe-le-prix-de-lelectricite-en-4-questions-1784515>

¹⁹ Proposition de règlement (...) afin d'améliorer l'organisation du marché de l'électricité de l'UE, Commission européenne, 14 mars 2023

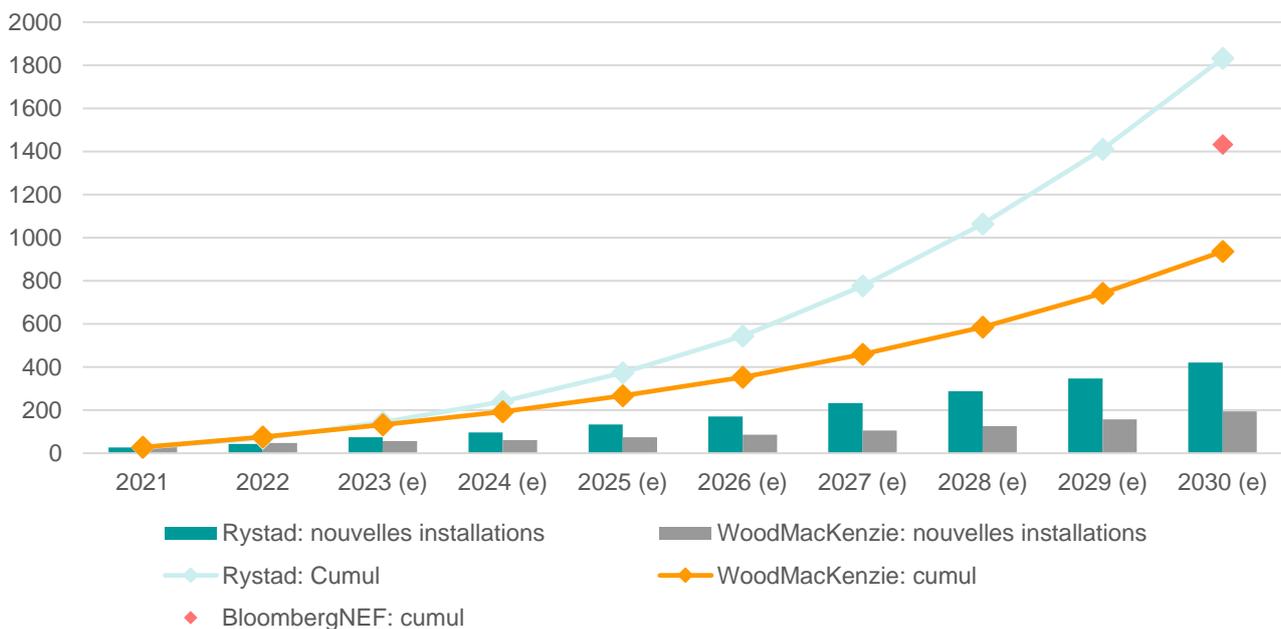
en matière de solutions de flexibilité du système électrique » ; d'adapter les marchés intrajournaliers aux technologies de stockage ; et d'autoriser les Etats à subventionner les capacités de stockage. En juillet, la commission de l'Industrie, de la recherche et de l'énergie (ITRE) du Parlement européen a proposé d'amender ce texte dans un sens encore plus favorable aux systèmes BESS, avec notamment l'ajout de l'article 37a, soulignant la nécessité du déploiement de batteries de réseau pour atteindre le plein potentiel des énergies renouvelables²⁰.

Parallèlement à sa proposition de réforme du marché électrique, la Commission a pris d'autres mesures de soutien aux systèmes BESS. Outre la parution d'une série de recommandations relatives au stockage de l'énergie²¹, le Règlement pour une industrie « zéro net », visant à accélérer la production de technologies propres dans l'UE, a inclus en dernière minute le stockage d'électricité parmi les technologies éligibles au statut de « projet stratégique net-zéro »²², ouvrant la voie à l'obtention de subventions et d'autres aides publiques.

2.3. Vers une adoption massive et mondiale

Du fait du caractère exponentiel et très récent des déploiements de BESS, il est délicat de prévoir leur croissance future. Les estimations réalisées par les cabinets de conseil spécialistes de l'énergie vont ainsi du simple au double ; **Rystad parie sur plus de 1800 GWh de capacité cumulée au niveau mondial en 2030, tandis que WoodMacKenzie, plus conservateur, table sur un peu plus de 900 GWh à la même date** (graphique 4).

Graphique 4 : Prévisions Rystad / WoodMacKenzie: nouvelles installations et capacité cumulée (GWh)



Sources: Rystad Energy's Battery Solution (Juin 2023) / Wood Mckenzie: Global Energy Storage Outlook H2 2021 / BloombergNEF Energy Storage Market Outlook H1 2023

Mais cet écart s'explique aussi par le fait qu'**industriels et experts du secteur revoient sans cesse à la hausse leurs prévisions** : les chiffres de WoodMacKenzie datent de 2021, tandis que l'étude de Rystad a été rendue publique en juin 2023. BloombergNEF, la division de recherche de l'agence Bloomberg dédiée aux énergies renouvelables, a pour sa part réhaussé plusieurs fois ces dernières années ses prévisions de

²⁰ Report on the proposal (...) to improve the Union's electricity market design – Parlement européen, 27 juillet 2023

²¹ Recommandation relative au stockage de l'énergie – Commission européenne, 14 mars 2023

²² European Commission's Net Zero Industry Act includes energy storage as eligible technology – Energy Storage News, 16 mars 2023

capacité totale installée à l'horizon 2030. Après l'avoir estimée à 1028 GWh en novembre 2021, elle l'a portée à 1143 GWh moins d'un an plus tard, en octobre 2022. **Sa plus récente projection, publiée en mars 2023, table désormais sur 1432 GWh de capacité totale installée en 2030**, à mi-chemin entre les estimations de ses pairs.

La répartition géographique de ces capacités fait aussi l'objet de désaccords. WoodMacKenzie prévoit ainsi que les Etats-Unis resteront leaders mondiaux, devant la Chine, et ce malgré une révision à la baisse de ses prévisions pour le marché américain en raison de perturbations dans le *pipeline* de projets d'énergies renouvelables liées aux mesures anti-dumping prises contre les producteurs chinois de panneaux solaires en 2022²³. Au contraire, BloombergNEF estime que la Chine deviendra le premier opérateur mondial de BESS, notamment en raison de l'adoption du plan quinquennal national, qui a déjà été décliné localement par plusieurs gouvernements provinciaux. **Tous s'accordent cependant à prévoir une forte croissance en Europe – qui restera toutefois largement distancée par les Etats-Unis et la Chine – et dans certains pays comme l'Inde.**

Une capacité un jour comparable à celle des STEPs ?

Si le scénario envisagé par Rystad - 1800 GWh de capacité totale en 2030 – se réalise, il deviendra pertinent de comparer la capacité de stockage cumulée des BESS à celle des stations de transfert par pompage (STEP) hydroélectriques. Représentant environ 9000 GWh au niveau mondial selon l'International Hydropower Association²⁴, celle-ci restera, à cet horizon, la principale méthode de stockage de l'électricité excédentaire, ainsi que l'une des plus compétitives économiquement. Mais ses capacités combinées devraient croître plus lentement que celles des BESS, du fait des fortes contraintes pesant sur l'installation de nouvelles STEP, qui nécessitent de disposer de suffisamment de relief et d'un approvisionnement en eau garanti. L'IEA estimait ainsi en décembre 2021 que de nouvelles STEP d'une capacité cumulée de 1170 GWh seraient construites d'ici à 2026²⁵. Autrement dit, les BESS pourraient, un jour, rivaliser en capacité avec les STEP. Et ce d'autant plus que l'efficacité énergétique totale (*round-trip efficiency*) des BESS est légèrement supérieure : 86% environ, contre 80% en moyenne pour les STEP selon les chiffres établis par le NREL.

2.3.1 Une croissance soutenue par les performances de l'industrie des batteries

Ces perspectives sont renforcées par la croissance soutenue des capacités mondiales de production de batteries lithium-ion, dopée par la demande du marché des véhicules électriques et les investissements massifs des Etats-Unis et de l'Union européenne pour limiter leur dépendance vis-à-vis de la Chine, leader mondial du secteur. **Les capacités cumulées de production de batteries au niveau mondial devraient ainsi passer de 1110 GWh en 2021 à 5500 GWh en 2030**, selon WoodMacKenzie²⁶, tandis que l'IEA estime même qu'elle pourrait approcher les 7000 GWh²⁷. Cette production additionnelle permettra aux fabricants de modules de BESS de revoir à la hausse leurs propres objectifs. Tesla, l'un des leaders de cette industrie, et qui a produit en 2022 l'équivalent de 6,5 GWh de BESS (ce chiffre n'inclut pas les systèmes de stockage à domicile qu'il fabrique également) en a fabriqué plus de 7,5 GWh rien qu'au premier semestre 2023. Et **le groupe américain prévoit d'atteindre rapidement 80 GWh par an de capacité** : Son usine de « megapacks » de Lathrop (Californie) doit atteindre dans les prochains mois un rythme de production de 40 GWh annuel, et a lancé en avril dernier la construction à Shanghai d'une seconde unité de production, de capacité égale²⁸.

2.3.2 Vers une chute drastique des coûts

Les systèmes de stockage sur batterie devraient par ailleurs voir leur coût diminuer drastiquement dans les années à venir, grâce à la **diminution du prix des batteries. Celles-ci représentent en effet, selon la**

²³ Global energy storage: staggering growth continues – despite bumps in the road – WoodMacKenzie, 28 juillet 2022

²⁴ Pumped Storage Hydropower : the World's Oldest Battery – International Hydropower Association, juin 2022

²⁵ How rapidly will the global electricity storage market grow by 2026? – Agence internationale de l'énergie, décembre 2021

²⁶ Global lithium-ion capacity to rise five-fold by 2030 – WoodMacKenzie, 22 mars 2022

²⁷ Lithium-ion battery manufacturing capacity, 2022-2030 – Agence internationale de l'énergie, 22 mars 2023

²⁸ Tesla to build Shanghai factory to make Megapack batteries – Reuters, 9 avril 2023

puissance installée, 50 à 65% des coûts d'installation d'un BESS, selon les calculs du Laboratoire national des énergies renouvelables (NREL) américain²⁹. Or la plupart des experts du secteur pronostiquent une chute durable du coût des batteries. Par ailleurs, les fabricants de BESS ont déjà engagé leur transition vers les batteries LFP (lithium-fer-phosphate), moins coûteuses car n'utilisant ni nickel, ni manganèse, ni cobalt (NMC). Elles affichent également une durée de vie supérieure, un avantage majeur lorsque les installations sont prévues pour fonctionner durant des décennies. **Le NREL anticipe donc que le coût d'installation**, qu'il évaluait à 482 USD/kWh en moyenne en 2022, **chute de 32% (son scénario médian,) à 47% (scénario optimiste)**³⁰. L'IEA estime pour sa part les coûts de capitaux moyens à 372 USD/kWh à l'horizon 2030³¹. A plus long terme, **le développement des batteries Na-Ion, où le lithium est remplacé par du sodium bon marché, pourrait encore accentuer cette baisse**. Développée initialement par le géant chinois des batteries CATL, cette technologie trouve d'ores et déjà des débouchés dans les BESS : un démonstrateur a été inauguré en juillet à Qingdao, en Chine³². Certains industriels évaluent aussi le potentiel des batteries à flux redox, dotées d'électrolytes liquides stockés dans des cuves. Ces dispositifs pourraient être très compétitifs en termes de coûts, même si leur densité énergétique est plus faible.

Les BESS pourraient enfin également **bénéficier indirectement de la chute des prix et de la hausse des rendements des panneaux solaires et des éoliennes** : les économies réalisées sur les constructions de centrale permettent aux opérateurs d'investir dans des systèmes de stockage leur permettant de lisser leur production et/ou optimiser leurs revenus.

3. Quelles perspectives pour les pays émergents ?

3.1. L'Afrique entre minicentrales et mégaprojets

Jusqu'à présent plutôt le fait d'économies développées, l'adoption des BESS concerne aussi de nombreux pays émergents. **En Afrique, la technologie a d'abord été adoptée par certains des pays les plus pauvres**, souhaitant développer l'usage des énergies renouvelables mais **dont les réseaux électriques, peu robustes et peu ou pas interconnectés avec ceux des Etats voisins, sont peu adaptés à leur déploiement à grande échelle**. C'est ainsi au Malawi qu'a été inauguré, en avril 2022, l'un des tous premiers BESS d'Afrique subsaharienne : cette installation de 10MWh fait partie de la centrale solaire de Golomoti, construite par Infracore Africa et JCM Power. Un an plus tard, le pays a inauguré un second BESS de même capacité, intégré à la centrale solaire de Dwangwa, réalisée par Voltaia. L'opérateur GreenYellow a lui aussi doté sa centrale solaire d'Ambokatra (Madagascar) d'une petite unité de stockage (5MWh) en juin 2022, et des systèmes de capacité comparable sont en projet sur tout le continent : au Sénégal (20MWh), au Tchad (4MWh), au Togo, en Côte d'Ivoire, à Maurice, etc. ; le plus souvent couplés à des centrales solaires en projet ou existantes.

Mais certains pays mènent des projets bien plus ambitieux. **L'Afrique du sud, confrontée à l'effondrement de ses capacités de production électriques et sous pression de ses bailleurs et partenaires pour abandonner le charbon**, encore majoritaire dans son mix électrique, a lancé plusieurs projets de BESS. Le groupe norvégien Scatec a ainsi lancé en 2022 la construction de **trois projets totalisant 1140 MWh** dans la région de Kenhardt, qui seront alimentés par ses propres centrales solaires. Ces investissements sont menés dans le cadre du RMIPPPP (Risk Mitigation Independent Power Producer Procurement Programme) lancé en urgence par l'opérateur national Eskom pour remédier au manque d'électricité en faisant appel aux producteurs privés indépendants.

Eskom est aussi chargé de réaliser un chantier national **annoncé mi-2022 par le président Cyril Ramaphosa en personne**, qui doit aboutir à **l'installation de 1449 MWh de capacité répartis sur tout le territoire d'ici**

²⁹ Annual Technology Baseline – Utility Scale Storage – National Renewable Energies Laboratory, 2022

³⁰ Cost Projections for Utility-Scale Battery Storage: 2023 Update – National Renewable Energies Laboratory, juin 2023

³¹ Battery storage is (almost) ready to play the flexibility game – Agence internationale de l'énergie, février 2019

³² "World First" grid-scale sodium-ion battery project in China launched – Energy Storage News, 3 août 2023

à 2024. Le sud-coréen Hyosung, retenu aux côtés du chinois Pinggao pour réaliser les chantiers, a commencé en décembre 2022 les travaux sur le site d'Elandskop³³. Sans attendre les livraisons de ces premières unités, les autorités ont par ailleurs sollicité des développeurs privés début 2023 pour construire **six sites supplémentaires totalisant un peu plus de 2 GWh dans les prochaines années**³⁴.

Le développement des BESS en Afrique est soutenu par de nombreux bailleurs internationaux, qui le perçoivent comme indispensable au développement des énergies renouvelables, et dans certains cas moins coûteux que la modernisation du réseau électrique. Le BESS de Golomoti au Malawi a ainsi bénéficié d'un prêt de 25 millions USD de la **Development Finance Corporation (DFC)** américaine ainsi que d'un appui de la **Banque mondiale**. Cette dernière a par ailleurs mobilisé 311 millions USD pour le développement des énergies renouvelables en Afrique de l'ouest, dont une partie est consacrée au stockage. La **Banque africaine de développement, la Société financière internationale (SFI), USAID, la Banque européenne d'investissements (BEI)**, etc., sont également impliqués à des degrés divers dans le financement de projets sur le continent.

3.2. L'Inde, champion en devenir ?

Détenant aujourd'hui une part anecdotique de la capacité mondiale de stockage par batterie (85 MWh en 2022 selon l'India Energy Storage Alliance), l'Inde pourrait devenir un acteur de premier plan dans les prochaines années.

Le rapport sur le « mix énergétique optimal » publié en avril 2023 par le du ministère de l'énergie indique ainsi que **les besoins du pays en matière de stockage par batterie seront compris entre 208 GWh (scénario de base) et 246 GWh (scénario de forte demande) à l'horizon 2030**³⁵. Cette croissance exponentielle de la demande est liée au développement soutenu du solaire et de l'éolien, dont l'intégration au réseau électrique national est de plus en plus difficile. **Dans certains Etats (Gujarat, Karnakata, Rajasthan, Karnakata) la part des renouvelables est en effet déjà supérieure à 10%, avec des conséquences profondes sur le pilotage du réseau électrique**³⁶. Or les autorités comptent encore accélérer, souhaitant ajouter 250 GW de capacité renouvelable supplémentaire, pour atteindre 500 GW au total³⁷, conformément au plan « Net Zero Emissions by 2070 » du gouvernement³⁸. Dans le scénario de base, la capacité combinée des BESS représenterait, à l'horizon 2030, environ 41 GW, **soit l'équivalent de 5,35% de la capacité de génération électrique totale du pays à cette date** (777 GW) mais plus de deux fois la capacité totale des STEP indiennes (18,9 GW).

Pour accélérer le déploiement des BESS, essentiellement couplées à de nouvelles centrales solaires et éoliennes, **le gouvernement prévoit d'allouer 455 millions USD de subventions** à des projets totalisant 4GWh d'ici à 2030³⁹. Mais plusieurs grands projets ont déjà été lancés sans attendre cette manne. L'entreprise publique **Solar Energy Corporation of India (SECI) a ainsi attribué en début d'année un contrat de construction de deux sites totalisant 1 GWh à JSW Energy**⁴⁰, qui devraient être les premiers BESS de grande taille du pays.

Une autre société d'Etat, NTPC Renewable Energy, a elle aussi lancé plusieurs appels d'offres pour l'installation de plusieurs BESS, dont une unité de 500 MWh dans l'Uttar Pradesh. Mais, alors qu'elle avait laissé aux candidats proposer les technologies de leur choix pour répondre à son grand appel d'offres de mi-2022 (3 GWh de stockage à travers plusieurs sites), elle a retenu Greenko Group pour construire des stations de transfert par pompage. Celles-ci se sont avérées mieux répondre aux exigences techniques du marché : les installations doivent pouvoir fournir plusieurs centaines de MW d'électricité pendant 6 heures d'affilée.

³³ [Construction of Eskom's first battery energy storage begins](#) – Eskom, 8 décembre 2022

³⁴ [South Africa's DMRE issues 513MW/2GWh battery storage RFP](#), Energy Storage News, 9 mars 2023

³⁵ [Report on optimal generation mix 2030](#) – Central Electricity Authority, ministère de l'énergie, avril 2023

³⁶ [Renewables Integration in India](#) – Agence internationale de l'énergie, juillet 2021

³⁷ [Government Unveils Plans To Add 250GW Renewable Energy Capacity In Next Five Years](#) – Outlook India, 5 avril 2023

³⁸ [Renewable Energy in India](#), Press Information Bureau, 9 septembre 2022

³⁹ [India to offer \\$455 million in incentives for battery storage projects](#) – Reuters, 6 juin 2023

⁴⁰ [JSW Energy Arm Bags Two Battery Energy Storage System Projects From SECI](#) – Outlook India, 19 janvier 2023

Selon Greenko, elles permettent également d'atteindre des coûts de stockage très inférieur à ceux des batteries : 58 USD par MWh, contre 120 USD/MWh⁴¹.

Le déploiement des BESS en Inde seront par ailleurs soutenues par les grandes ambitions du pays en matière de fabrication de batteries. Pour limiter sa dépendance envers son rival chinois, et alors que ses constructeurs automobiles et de deux-roues accélèrent leur transition vers les motorisations électriques, le gouvernement indien a retenu en 2022 cinq industriels internationaux et indiens pour construire des usines de batteries d'une capacité totale de 50 GWh⁴². 20 GWh sont en cours de réattribution, suite au retrait de Hyundai Global Motors.

3.3. Barbades, Philippines... : les Etats insulaires à la pointe

A la Barbade, l'opérateur public Barbados Light and Power a installé dès 2018 une batterie d'une puissance de 5 MW et d'une capacité de 21 MWh, au sein de sa plus grande centrale solaire, inaugurée deux ans plus tôt sur le site de Trents, au nord de l'île. Alors que les centrales à diesel et gaz produisaient encore, en 2019, 90% de l'électricité du pays, représentant plus de 250 millions USD d'importations par an, **les autorités visent à parvenir à un mix énergétique 100% renouvelable à l'horizon 2030. Or, le réseau électrique de l'île est totalement isolé. Le gouvernement a donc adopté en 2022 une politique nationale de stockage d'électricité, incluant à la fois des BESS de grande taille et des systèmes installés chez les particuliers**⁴³. La construction d'un site pilote d'une puissance de 50 MW⁴⁴ permettra de tester le déploiement à plus grande échelle de cette technologie. A l'horizon 2030, les BESS devront représenter, selon la politique énergétique nationale⁴⁵, 200 MW de puissance totale : 132 MW dans des systèmes centralisés, et 68 MW dans des systèmes de plus petite taille. **Cette puissance représentera alors 24% de la capacité totale du réseau électrique national**⁴⁶, ce qui pourrait constituer un record mondial. Cette proportion élevée s'explique par le caractère insulaire du réseau électrique national et par les objectifs ambitieux de la Barbade en matière d'énergie renouvelable.

De l'autre côté du globe, les Philippines – où le réseau n'est pas seulement isolé du reste de la région mais divisé en plusieurs réseaux autonomes - ont aussi lancé un très ambitieux programme de déploiement de BESS. Le ministère de l'énergie s'est notamment tourné vers le groupe énergétique SMC Global Power (filiale du conglomérat philippin San Miguel) pour l'installation de **32 BESS à travers tout l'archipel, représentant 1000 MWh de capacité de stockage combinée, dont le déploiement est déjà largement entamé**. Dans un premier temps, il s'agit surtout de **répondre à des problèmes de fiabilité du réseau électrique** et à faire face aux pics de demande. La part du solaire et de l'éolien dans le mix énergétique philippin est anecdotique et SMC Global Power indique d'ailleurs que ses systèmes de stockage sont alimentés par des sources conventionnelles : le groupe exploite un grand barrage hydroélectrique mais aussi des centrales à charbon et à gaz. L'installation des BESS vise toutefois à faciliter le développement futur du solaire et de l'éolien, comme l'a souligné le président Ferdinand Marcos lors de l'inauguration de l'un des BESS de SMC Global Power, en mars 2023⁴⁷. Les Philippines ont fixé un objectif de parvenir à 50% d'électricité issue de sources renouvelables (y compris l'hydroélectricité) à l'horizon 2040⁴⁸.

⁴¹ [Greenko Wins The World's First And Largest Technology Agnostic Long Duration Energy Storage Tender For 3000 Mwh](#) – Communiqué de presse de Greenko Group, 9 décembre 2022

⁴² [India takes 'step towards dream,' incentivising 50GWh of domestic battery manufacturing](#) – Energy Storage News, 24 mars 2022

⁴³ [Barbados creates national energy storage policy, eyes billions of investment](#) – Energy Storage News, 25 août 2022

⁴⁴ [Barbados regulators order 50MW BESS pilot to support rapid decarbonisation by 2030](#) – Energy Storage News, 17 juillet 2023

⁴⁵ [Barbados National Energy Policy, 2019-2030](#) – Ministère de l'énergie et des ressources naturelles, juin 2019

⁴⁶ [Barbados Energy Snapshot](#) – Energy Transitions Initiative, US Department of Energy, 2020

⁴⁷ [Speech by President Ferdinand R. Marcos Jr. at the Inauguration of San Miguel Global Power's Battery Energy Storage System \(BESS\)](#) – Presidential Communications Office, 31 mars 2023

⁴⁸ [Philippines Opens Renewable Energy to Full Foreign Ownership](#) – ASEAN Briefing, Dezan Shira & Associates, 11 janvier 2023