

Syndex hors-série

> STOCKAGE DE L'ÉLECTRICITÉ

Février 2020

EDITO

Le stockage va-t-il sauver le climat ?

Trouver, enfin, la solution écologique, économique et technologique qui permette de stocker l'électricité... Le Graal, en quelque sorte ! Faisons un saut de quelques années dans le futur. L'intermittence des productions d'électricité d'origine éolienne ou solaire est compensée par des moyens de stockage puissants et performants. Le moteur électrique s'est substitué au moteur thermique pour les voitures, les camions, les bateaux, les trains (les avions ?) ; les stations de recharge ultra-rapides ont remplacé les stations essence. La production des matières premières et composants des batteries comme leur recyclage sont maîtrisés, ce qui en fait une industrie sans déchets ultimes...

Cette image du futur constitue une réponse à la montée rapide des préoccupations environnementales dans l'opinion publique tant l'électricité s'impose comme l'énergie propre de demain. Elle conduit aussi à attirer davantage l'attention sur le stockage, un enjeu central puisque l'électricité ne peut être stockée en tant que telle. Le défi est technologique, industriel, mais il est aussi social, comme en témoigne la filière automobile, que l'électricité bouleverse.

Beaucoup de monde s'intéresse à ce sujet aux multiples dimensions : la filière automobile est concernée au premier chef ; les grands énergéticiens sont tous à la recherche de pépites à acquérir pour monter rapidement en compétence ; les pouvoirs publics nationaux et européens ne veulent pas être en reste en laissant trop d'avance aux pays asiatiques.

Nous proposons à travers ce hors-série d'éclairer la manière dont différentes filières industrielles approchent cette question du stockage de l'électricité, et d'identifier les enjeux que portent les transformations stratégiques et technologiques à venir, en particulier pour les salariés des différentes filières appelées à être remodelées.

SOMMAIRE

- Edito
- Stockage de l'électricité, de quoi parle-t-on ?
- Le stockage, un chaînon manquant dans le secteur de l'électricité ?
- Auto : les industriels européens retroussent leurs manches pour contrer les batteries asiatiques
- Véhicule électrique : une opportunité pour le réseau électrique français
- Une pénurie de matières premières menace-t-elle les batteries ?
- Quels enjeux en matière d'emplois et de compétences ?
- Soutenir une « transition juste »

Stockage de l'électricité, de quoi parle-t-on ?

Comment avoir de l'électricité à disposition quand on en a besoin et rendre utilisables ultérieurement les excès de production alors que l'électricité n'est pas stockable en tant que telle ? C'est l'équation que le stockage cherche à résoudre à l'aide de technologies répondant chacune à des usages et à des enjeux différents. Tour d'horizon des types de stockage et solutions existantes.

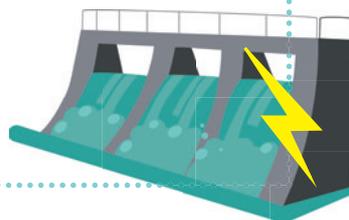
Les types de stockage

L'usage final qu'on a de l'électricité détermine la façon dont elle doit être stockée : sur place mais disponible plus tard ou mobile pour un fonctionnement autonome.

STOCKAGE STATIONNAIRE

Il permet de décaler l'usage de l'électricité dans le temps sans le décaler dans l'espace, principalement pour ajuster la production et la consommation d'électricité.

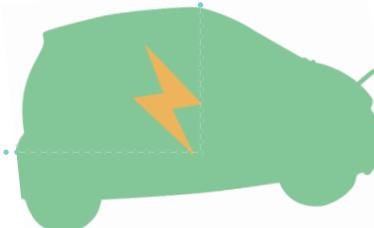
Domaines d'application
production d'énergie,
industrie



STOCKAGE EMBARQUÉ

Il est utilisé comme moyen de propulsion pour différents modes de transport (véhicules légers, bus, camions, etc.).

Domaines d'application
transports de personnes, de
marchandises



STOCKAGE PORTABLE

Il sert pour le fonctionnement autonome d'appareils électroniques portables (téléphones, ordinateurs, appareils photos, etc.). Il n'est pas abordé dans cette note.

Domaines d'application : produits de
grande consommation



Source : d'après l'Ademe

Les technologies de stockage de l'électricité

Stocker l'électricité signifie la transformer en une énergie potentielle convertible à la demande en électricité. Ces technologies servent notamment à gommer les décalages entre production et consommation. Trois d'entre elles dominent.

STATION DE TRANSFERT D'ÉNERGIE PAR POMPAGE (STEP)



Caractéristiques

L'eau est remontée par pompage lors des pics de production. Elle est relâchée en fonction des besoins en électricité. C'est une technique bien maîtrisée offrant un bon rendement (70-85%) et la possibilité d'un stockage massif et pilotable à des puissances élevées.



Les capacités françaises devraient croître de 30% d'ici à 2035 (5 GW aujourd'hui).

Acteurs en France : EDF (exploitant 6 step), General Electric Hydro (industriel)



STOCKAGE MÉCANIQUE



C'est le mouvement qui permet le stockage puis la production d'électricité.

Autres technologies : CAES (air comprimé) et volant d'inertie.

BATTERIES



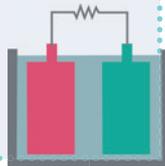
Caractéristiques

Le plomb serait supplanté dès 2020 par le lithium qui offre de très bons rendements, une densité énergétique croissante et des coûts de revient en baisse. Ce marché se développe rapidement. Des recherches sont menées pour trouver une alternative au lithium.



Acteurs en France :

- > Recherche : CEA, IFPEN
- > Construction électrique : Saft (Total), Northvolt, General Electric, ABB, Siemens
- > Automobile : Renault, Nissan, BMW
- > Chimie : Solvay, BASF
- > Électronique : Panasonic, Samsung, Catl
- > Réseau : RTE



STOCKAGE CHIMIQUE

C'est une réaction chimique qui permet le stockage puis la production d'électricité.

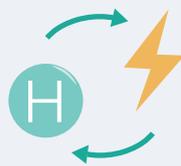
Les batteries classiques et à circulation n'utilisent pas les mêmes éléments chimiques.

STOCKAGE PAR L'HYDROGÈNE



Caractéristiques

Principalement utilisé par le secteur chimique, l'hydrogène est une technologie encore en développement. Il est utilisé soit dans une **pile à combustible** (transport), soit plus fréquemment pour être converti en méthane pour alimenter une centrale en **power to gas**. Il offre un potentiel intéressant pour le stockage massif et intersaisonnier et une plus grande autonomie que les batteries au lithium. L'infrastructure de recherche est à construire.



Acteurs en France :

- > Engie, Air Liquide, EDF, McPhy, Hynamics, Sylfen, Faurecia, Vinci énergie, Saft, Gestinnaires de réseau électrique et gazier, CEA



STOCKAGE MAGNÉTIQUE

Le magnétisme est aussi utilisé pour stocker l'électricité, notamment avec les bobines supraconductrices (SMES)

Le stockage, un chaînon manquant dans le secteur de l'électricité ?

Le développement des énergies renouvelables intermittentes exige une plus grande flexibilité du réseau électrique. Le stockage est une solution parmi d'autres, dont le développement en France ne s'exprimerait pas avant 2035.

Le profil du mix électrique français devrait significativement évoluer d'ici à 2035 d'après les objectifs fixés par le Gouvernement : la part du nucléaire serait ramenée à un peu moins de 50%, celle de l'éolien serait multipliée par 5 et celle du photovoltaïque par 8. Les énergies renouvelables représenteront alors, selon ces prévisions, 44% de la production française d'électricité.

FLEXIBILITÉ. Une caractéristique majeure du réseau électrique est que l'équilibre offre-demande doit y être assuré en permanence. L'intégration d'énergies intermittentes, dont la production fonctionne par à-coups, accentue donc le besoin en flexibilité du système, qui doit pouvoir s'adapter aux décalages entre production et consommation. Ces décalages apparaissent par exemple en été lorsque l'ensoleillement est fort alors

que la demande est faible ou, inversement, en hiver quand la production solaire est faible alors que la saison est propice aux pics de consommation, les fameuses « pointes ».

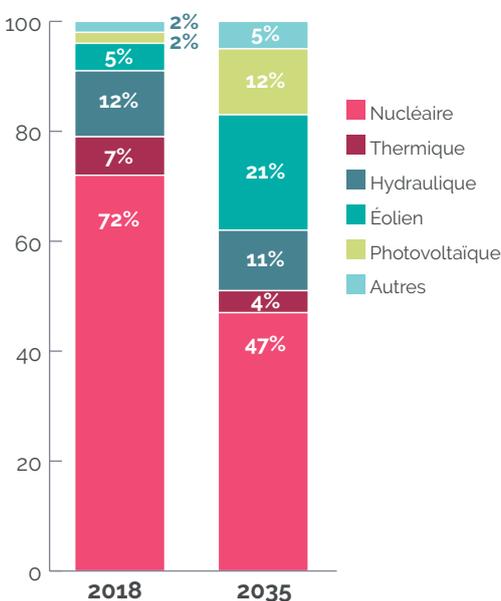
Le stockage de l'électricité, en décorrélant le temps de production du temps de consommation, permet de répondre en partie à ce besoin, mais ce n'est pas le seul. En effet, le système électrique français métropolitain est aujourd'hui déjà flexible grâce :

- à un **foisonnement important** : il existe une multiplicité des sources de productions / consommation reliées entre elles par un réseau important sur un territoire peu étendu ;
- au **stockage hydraulique**, via les stations de transfert d'énergie par pompage (STEP), qui permettent de stocker sur différentes échelles de temps, y compris intersaisonnier ;

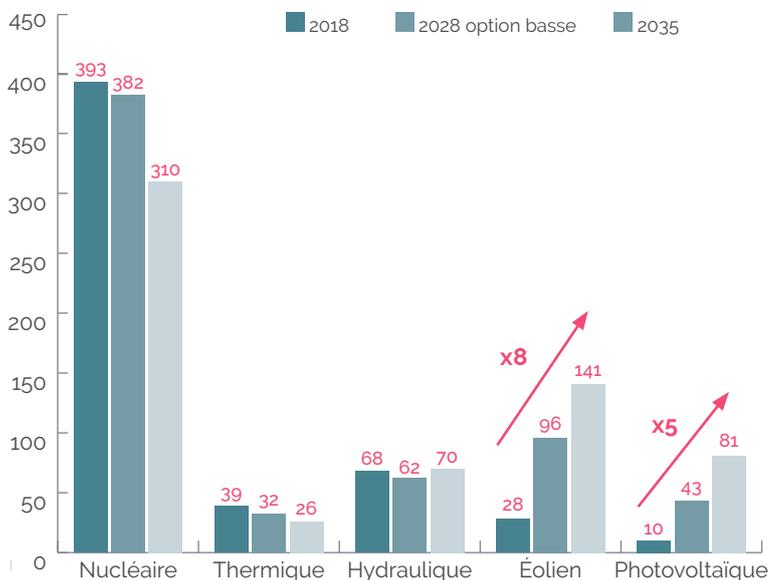
- à des **interconnexions électriques** croissantes avec tous ses voisins européens ;
- au **pilotage de la demande**, via la programmation des ballons d'eau chaude ou l'effacement contre rémunération des industriels (et bientôt des particuliers ?) ;
- aux **moyens de production pilotables** : barrages hydrauliques, centrales thermiques et nucléaires dans une moindre mesure.

Dans ce « mix de flexibilité » français, les batteries jouent un rôle marginal, le stockage étant principalement assuré par les Step (au nombre de 6, toutes exploitées par EDF). Les batteries sont aujourd'hui utilisées dans l'industrie, par exemple pour sécuriser l'approvisionnement en électricité (hôpitaux, sous-marins...). Le gestionnaire de réseau des lignes à haute tension français, RTE, commence

PROJECTION DU MIX ÉLECTRIQUE FRANÇAIS
> en %



> en tWh



LES ACTEURS FRANÇAIS DU STOCKAGE : QUELQUES INITIATIVES

Lancé début 2018, le plan stockage d'EDF prévoit le déploiement 10 GW de capacités supplémentaires dans le monde d'ici à 2035 (soit environ 5% des besoins estimés), en plus des 5 GW déjà exploités en France par le groupe sous forme de STEP aujourd'hui. Évalué à 8 milliards d'euros, le plan cible trois types de marchés :

- le stockage au service des systèmes électriques via des STEP et des batteries (6 GW) ;
- le marché de l'autoconsommation chez les particuliers, les entreprises et les collectivités (4 GW de batteries) ;
- enfin, le marché des foyers « off-grid », c'est-à-dire non connectés à un réseau électrique (Afrique sub-saharienne principalement).

Dans l'hydrogène, EDF vise l'industrie et la mobilité lourde (camion, bus voire train). L'entreprise est devenue en 2018 l'actionnaire de référence de la PMI française McPhy, qui fabrique des électrolyseurs, des solutions de stockage et de distribution d'hydrogène. Le groupe a par ailleurs lancé en 2019 Hynamics, filiale destinée à produire de l'hydrogène bas carbone.

De son côté, **Engie** entend être présent sur toute la chaîne de valeur de l'hydrogène. Le groupe investit dans la mobilité, en travaillant avec Michelin sur le développement de piles à combustibles et en développant un réseau de stations de recharge. Côté réseaux, il coordonne aussi le démonstrateur Jupiter 1000 (dont Mc Phy, GRTGaz et RTE sont partenaires).

Par comparaison avec d'autres pays européens ou certains pays asiatiques, la position des acteurs français vis-à-vis de l'hydrogène (*lire notre article*) semblait jusque-là plutôt « attentiste ». Va-t-on vers une accélération ? Le plan hydrogène français peut sembler modeste.

Enfin, **Total**, via sa filiale Saft, investit dans des systèmes de réglages de fréquence sous forme de conteneur lithium-ion.

également à utiliser des batteries Li-ion à proximité de centrales éoliennes pour stocker l'électricité lors des pics de production. Cela permet d'éviter de construire de nouvelles lignes qui « sur-dimensionneraient » le réseau.

DÉVELOPPEMENT DU STOCKAGE.

Le potentiel de développement du stockage stationnaire en France resterait modéré d'ici à 2035 d'après les estimations de l'Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie (ADEME) et de RTE, y compris dans les scénarios optimistes sur le développement des énergies renouvelables (scénarios RTE Ampère et Watt). Ce n'est que lorsque ces énergies renouvelables représenteront au moins 80% de la production d'électricité que le stockage deviendra incontournable pour assurer l'équilibre entre offre et demande. Or cet hori-

zon est plus lointain puisqu'on est aujourd'hui à 18%. L'Ademe par exemple ne le prévoit pas avant 2050 ou 2060. Les batteries pourraient alors, sous réserve de maturation technologique, servir à stabiliser le réseau en gérant les écarts de fréquence induits par les énergies renouvelables. L'hydrogène, avec le power to gas, semble être une solution privilégiée pour les réseaux, car il autoriserait un stockage massif et inter-saisonnier permettant d'utiliser en hiver l'électricité solaire produite en été, moyennant des investissements dans les infrastructures nécessaires.

UN ENJEU POUR CERTAINS TERRITOIRES.

Le stockage stationnaire n'en reste pas moins un enjeu majeur pour certains territoires et ailleurs dans le monde. Dans les territoires insulaires comme les DOM-TOM,

le foisonnement de production / consommation est très réduit, et les énergies renouvelables, plus fortement représentées, sont à l'origine de problèmes de stabilité du réseau. Le coût de la production d'électricité par des centrales thermiques y est très élevé. Dans cette configuration, le stockage stationnaire peut avoir un intérêt économique. C'est également le cas aux États-Unis ou en Australie, en raison de la fragilité de leurs réseaux, du coût élevé de l'électricité et de l'étendue de leur territoire. L'enjeu n'est pas moindre en Allemagne, qui a fait le choix de sortir du nucléaire et du charbon (à l'horizon 2038) et de développer massivement l'éolien et le solaire. Pour y parvenir, l'Allemagne doit recourir au gaz comme « énergie transitionnelle ».

Enfin, certaines régions françaises où la gestion du réseau est plus tendue, comme la région Provence Alpes Côte d'Azur (PACA) ou la Bretagne, peuvent voir dans le stockage une opportunité pour accroître leur « autonomie » énergétique et développer un tissu industriel dans un secteur innovant et en pleine émergence. Des démonstrateurs y sont actuellement mis en œuvre sur des technologies et des modèles d'affaires encore peu matures, type centrale virtuelle, blockchain ou gestion active de la demande. Avec la montée en puissance de l'autoconsommation et l'arrivée de solutions de gestion digitale, de nouveaux acteurs font leur entrée dans le monde de l'électricité (grande distribution, GAFA, constructeur automobile...). L'impact sur l'équilibre économique des gestionnaires de réseau centralisés et des régions peut être significatif.

Alors, le chaînon manquant ? Pas exactement, en tout cas pas le seul, pas tout de suite et à des conditions de coûts qui restent à préciser. Parlons plutôt d'un maillon complémentaire dans le mix de demain.

Auto : les industriels européens retroussent leurs manches pour contrer les batteries asiatiques

Face à la croissance à venir de la demande en véhicules électriques, l'Europe constate sa dépendance aux batteries asiatiques. Les initiatives se multiplient pour donner au Vieux Continent les moyens d'exister durablement sur le marché.

En 2018, les véhicules électriques et hybrides rechargeables restent marginaux dans les ventes mondiales : environ 2%. Pourtant, leurs immatriculations ont progressé de 64% cette même année, à 2,1 millions d'unités au niveau mondial selon EV-volumes.com, signe d'un début d'essor du marché en dépit d'obstacles importants : prix des véhicules, infrastructures et temps de charge (sur voie ou à domicile), autonomie des batteries, etc. Plusieurs facteurs y contribuent : incitations financières à l'achat, bannissement à moyen terme des motorisations traditionnelles par certains États ou métropoles, normes d'émissions de CO₂.

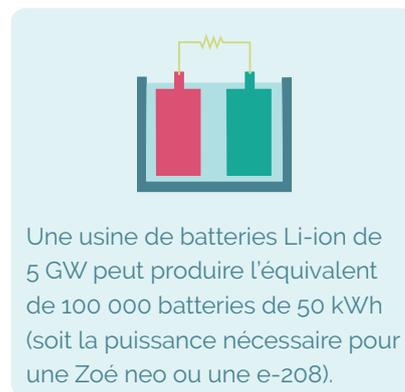
Le cabinet IHS prévoit qu'ensemble les véhicules électriques, hybrides et à pile à combustible auront une part de marché d'environ 20% en 2025 et 33% à horizon 2030. À l'heure actuelle, la Chine, engagée dans une stratégie de conquête de la filière électrique, est la locomotive du marché avec 56% des ventes, suivie par l'Europe à 34% et les États-Unis à 30%. En Europe, la plupart des constructeurs accélèrent l'électrification de leur offre, pour capter une part du marché mais aussi pour échapper aux amendes de la Commission européenne...

Le cabinet R. Berger anticipe une explosion de la demande mondiale en cellules de batterie pour l'automobile, passant de 70 GWh en 2017 à 1 600 GWh en 2030. Pour satisfaire cette demande, les capacités de production de batteries devront augmenter significativement, en particulier sur le Vieux Continent.

DOMINATION ASIATIQUE. À ce jour, en effet, l'Europe ne représente qu'environ 5% des capacités de production mondiale de batteries Li-ion, contre 80% en Asie (50% en Chine) et 15% aux États-Unis. L'Europe accuse ainsi un net retard dans la conception et la fabrication de batteries Li-ion pour véhicules électriques, un secteur dominé par les Japonais (Panasonic, AESC, Toshiba), les Coréens (LG Chem, Samsung SDI, SK innovation), mais aussi par les Chinois (BYD et CATL), qui ont largement bénéficié de subventions de leur État ces dernières années.

Jusqu'ici, les capacités installées ou annoncées en Europe sont essentiellement le fait d'acteurs asiatiques : LG Chem en Pologne (5 GWh), Samsung SDI et SK Innovation en Hongrie (3 GWh et 8 GWh), AESC au Royaume-Uni (3 GWh). Le chinois CATL prévoit de construire une usine géante (gigafactory) d'une capacité initiale de 14 GWh puis 60 GWh en 2026 dans la région d'Erfurt en Allemagne pour fournir notamment BMW, Volkswagen et Daimler. Tesla annonce aussi la construction de sa première usine européenne à Berlin en Allemagne.

L'Europe peut-elle s'affranchir totalement de la domination asiatique sur l'ensemble de la chaîne d'approvisionnement des batteries ? Le défi semble complexe, au moins à court terme, en raison de la mainmise asiatique sur les composants clefs des batteries, de leur avance technologique, de leurs capacités désormais installées sur le continent et de leurs



coopérations déjà établies avec de nombreux constructeurs européens.

CONTRE-OFFENSIVE EUROPÉENNE. En lançant, en 2017, l'Alliance européenne des batteries (EBA), l'UE entend sortir de la dépendance actuelle aux acteurs asiatiques en créant une chaîne de valeur compétitive et durable en Europe pour la fabrication et le recyclage des batteries. L'Alliance est aujourd'hui associée à plus de 260 parties prenantes, dont les principaux industriels du secteur. Dans son sillage, les projets industriels se multiplient.

La France et l'Allemagne se sont ainsi accordés sur une stratégie commune visant à donner naissance à un « Airbus de la batterie ». Ce projet sera financé par 3,2 milliards d'euros d'aides publiques et 5 milliards d'investissements privés apportés par les 17 entreprises partenaires du projet, dont PSA, Opel et Saft. Une première usine pilote, construite à Nersac en France (Nouvelle-Aquitaine), entrera en production en 2022. Deux autres sites devraient ensuite voir le jour, un en Allemagne et un autre en France.

Le jeune fabricant de batteries électriques Northvolt, dans lequel VAG a dernièrement pris 20%, est à l'origine de deux importants projets d'usines : en Suède, l'usine de Skellefteå, en partenariat avec ABB, aura une capacité de 32 GWh puis 40 GWh ; en Allemagne, une usine de 16 GWh sera construite avec VAG à Salzgitter. En consortium avec BMW et Umicore, Northvolt travaille également à la mise en place d'une chaîne de valeur complète et durable pour des cellules de batteries destinées aux véhicules électriques.

Saft a créé en février 2018 un consortium avec Solvay, Umicore, Siemens et Manz pour la production de cellules de nouvelle génération. Umicore a annoncé en juin 2018 un investissement à Nysa en Pologne pour la production de matériaux de cathode et la création d'un centre de compétences processus en Belgique. BASF prévoit d'ajouter des capacités de production en Europe. Solvay, qui travaille sur les électrolytes et séparateurs d'électrodes nécessaires aux batteries de haute performance, envisage de construire une usine en Europe. Siemens a récemment commencé à tester des lignes de production automatisées et numérisées.

En parallèle, le groupe Volkswagen a lancé en mars 2019 un consortium avec Northvolt dans la recherche commune sur les batteries (production de matières premières, tech-

nologies et processus, recyclage) susceptible de recevoir un soutien financier de l'État fédéral allemand. De son côté, Daimler, via sa filiale Accumotive, construit une deuxième usine d'assemblage de batteries à Kamenz, un investissement de plus de 500 millions d'euros.

Ainsi, un écosystème européen semble se mettre en place au travers de partenariats industriels centrés sur la mobilité électrique. Leur multiplication démontre que la production de batteries revêt un intérêt stratégique grandissant pour l'Europe dans le contexte actuel de transition énergétique.

TECHNOLOGIES ALTERNATIVES.

Les Européens accusent un retard considérable face aux Asiatiques dans la bataille du Li-ion à électrolyte liquide. Cette technologie, la plus employée à l'heure actuelle, ne cesse de s'améliorer, permettant de réduire le coût des batteries tout en augmentant de façon substantielle leur densité énergétique et donc leur autonomie.

À en juger par leur feuille de route, les nouveaux acteurs européens de la batterie semblent miser à moyen terme sur les cellules li-ion de nouvelle génération à électrolyte solide (*Solid State*), qui pourrait doubler l'autonomie des véhicules électriques tout en augmentant leur durée de vie. Cette technologie, sur laquelle

planchent notamment le CEA ou le consortium emmené par Saft, permet en outre de réduire considérablement les risques d'inflammation des batteries.

La pile à combustible (*fuel cell*) constitue elle aussi une alternative stratégique au Li-ion actuel. Dans ce domaine, l'UE soutient la recherche et l'innovation pour des applications énergétiques et de mobilité. Dans le cadre du programme Horizon 2020, l'UE investit 665 M€ dans l'entreprise commune « Piles à combustible et hydrogène », un partenariat public-privé avec le secteur de l'hydrogène.

UN SOUTIEN PUBLIC INDISPENSABLE.

La création d'un secteur des batteries européen est un défi stratégique complexe nécessitant un important effort d'investissement de la part de l'UE. L'investissement dans la R&D, soutenu par une base scientifique solide, paraît indispensable à l'Europe pour être compétitive dans le domaine des batteries de nouvelle génération. Pour répondre à la future demande en véhicules électriques, l'Europe aura besoin de capacités de production supplémentaires. Les investissements liés à ces « gigafactory » mais aussi à l'infrastructure de charge se comptent en dizaines de milliards d'euros. Des montants théoriquement à la portée de l'Europe dont le Green New Deal devrait mobiliser jusqu'à 1 000 milliards d'euros.

LE PLAN HYDROGÈNE FRANÇAIS 2018

Le plan du gouvernement français fixe trois grands objectifs :

- la **décarbonation** de la production en favorisant l'hydrogène par électrolyse (jusqu'à 40% d'ici 2028) ;
- le **stockage** de l'électricité en développant des électrolyseurs dans des zones non interconnectées (ZNI) au réseau ;
- le développement de l'hydrogène dans le **transport**, avec, d'ici à 2028, une flotte de 20 000 et 50 000 véhicules légers, 2 000 véhicules lourds et 400 à 1 000 stations (l'Allemagne vise 60 000 voitures en 2022), ainsi que le passage à l'hydrogène pour les trains des lignes régionales.

Ce plan a le mérite de mettre le sujet sur le devant de la scène et de fixer des objectifs clairs. Pour autant, les moyens alloués (100 M€) ne semblent pas à la hauteur des ambitions affichées. Or la France est déjà en retard par rapport au Japon, à la Chine, aux États-Unis ou à l'Allemagne. Cette dernière a récemment affiché son ambition de devenir numéro 1 mondial des technologies de l'hydrogène.

Véhicule électrique : une opportunité pour le réseau électrique français

Le système électrique français semble en mesure d'accueillir le développement du véhicule électrique, qui pourrait même en optimiser le fonctionnement.



La consommation électrique en France est stable depuis 2010 : la hausse de la demande liée aux nouveaux usages (appareils électriques notamment) est compensée par l'efficacité énergétique, une faible croissance économique et le recul de l'industrie.

UNE PART MARGINALE. Si le secteur des transports est le premier contributeur aux besoins énergétiques de la France (un tiers de la consommation finale), il s'agit majoritairement d'un besoin de pétrole. Ainsi, d'après le *Bilan prévisionnel de l'équilibre offre-demande d'électricité en France* de 2017 de RTE, les transports contribuent peu à la consommation électrique (3% en 2016, pour les trains et métro/tram essentiellement). La voiture électrique est donc marginale dans la consommation d'électricité actuelle. RTE estime dans son scénario le plus volontariste (très forte croissance du nombre de véhicules électriques et hybrides rechargeables) que la consommation d'électricité resterait globalement stable d'ici à 2035. Le véhicule électrique en représenterait 8% contre 0,05% en 2016. Sa généralisation ne poserait donc pas de problème en termes de quantité d'électricité à fournir.

RECHARGE ET POINTE. Il existe un point de vigilance sur les appels de puissance des véhicules électriques : leur raccordement au réseau pour la recharge interviendrait principalement entre 19h et 21h, soit au moment de la pointe de consommation journalière, notamment en hiver. Néanmoins, le mix électrique prévu par le gouvernement en 2035 devrait permettre d'absorber cet accroissement de la pointe, grâce à la construction de capacités de production supplémentaires.

OPPORTUNITÉ. Le développement de la mobilité électrique ne devrait donc pas trop fortement perturber le système électrique français. Au contraire, s'il est coordonné avec la politique énergétique, elle pourrait être utilisée pour optimiser le fonctionnement du système électrique d'après RTE. En effet, il est possible d'utiliser les batteries des véhicules comme un élément d'équilibrage du réseau. Le principe est simple : d'une part, la recharge est activée dans les heures creuses ou limitée au moment des pointes pour éviter les surcharges, d'autre part les véhicules inactifs servent à stocker provisoirement des productions en excès et qui autrement seraient suspendues (écrêtement).

Cela implique de mettre en œuvre des solutions de pilotage de la recharge simples, comme l'activation de la recharge sur des plages tarifaires incitatives ou l'installation de convertisseurs pour réinjecter l'électricité sur le réseau par exemple. Ce type de solutions permettrait d'assurer la sécurité d'approvisionnement électrique à moindre coût et renforcerait la robustesse du système électrique en ouvrant des marges de manœuvre importantes. Cette solution serait néanmoins en concurrence (et en complémentarité) avec d'autres moyens de flexibilité comme l'effacement des industries électro-intensives (alumineries par exemple).

Pour le moment, le manque d'infrastructures de charge est un frein majeur au développement du véhicule électrique. En France, cette lenteur peut s'expliquer notamment par un cadre législatif contraignant : aujourd'hui, le raccordement au réseau électrique est une activité régulée, confiée à Enedis et aux entreprises locales de distribution qui en ont le monopole. Mais celles-ci ne peuvent avoir une logique commerciale de développement, seulement raccorder qui le leur demande.

SECONDE VIE DES BATTERIES

Plusieurs initiatives témoignent de l'intérêt des constructeurs pour la fourniture d'électricité verte. Certaines sont axées sur la deuxième vie des batteries, avant recyclage. Ainsi, l'Alliance Renault-Nissan-Mitsubishi envisage la construction d'une usine de stockage utilisant des batteries et pouvant alimenter environ 100 000 maisons. Une initiative aux débouchés économiques néanmoins incertains en France, puisque les besoins de flexibilité du système électriques resteraient limités à l'horizon 2035.

Une pénurie de matières premières menace-t-elle les batteries ?

Le lithium, le nickel, le manganèse, le cobalt ou encore l'aluminium sont indispensables à la fabrication des batteries Li-ion qui équipent les véhicules électriques. L'indisponibilité de ces métaux à court, moyen ou long terme est régulièrement évoquée comme un risque lié au développement des mobilités électriques.

Deux principaux types de batteries li-ion forment aujourd'hui le marché : 85% sont des « NMC », dont la cathode est composée de nickel, de manganèse et de cobalt, et les 15% restants des « NCA », associant le nickel à du cobalt et à de l'aluminium. Selon le type de batterie utilisé, les quantités de chaque métal varient. Généralement, le nickel est le plus présent, suivi par le cobalt, le manganèse et le lithium. Précisons que ce ne sont pas des terres rares. La cathode est ainsi le composant qui posera le plus de contraintes en matière de disponibilité des matières premières.

NICKEL. Selon les analystes, la demande passerait de 22 kt en 2017 à 158 kt en 2021. Pour produire les batteries li-ion, il faut du sulfate de nickel issu de nickel très pur (« classe 1 »). Il semble que la demande soit gérable, notamment par l'ajustement de la demande de certains secteurs où le nickel est substituable, et par le développement du recyclage mais avec un ajustement à la hausse des prix du nickel de classe 1. La banque américaine Goldman Sachs a ainsi décidé d'intégrer un « facteur d'espoir » dans ses prévisions de prix du nickel en fonction des perspectives de croissance de la VE. Il est possible que le nickel « classe 1 » puisse bénéficier d'une prime en sus du cours LME en cas de tensions sur l'offre.

COBALT. 60% de la production et 50% des réserves mondiales proviennent de la République Démocratique du Congo, qui a introduit une redevance

de 10% à l'extraction. La stabilité d'approvisionnement pourrait être difficile à assurer. À cela s'ajoute le fait que le cobalt est rarement un métal extrait seul, ce qui rend le développement de son extraction tributaire d'autres métaux. La demande de production estimée en 2021 est de 70 kt, soit le double de la capacité de production installée en 2018. Compte tenu des projets lancés et des anticipations de demande, les prix ont augmenté de 282% entre le 1er semestre 2016 et le 2nd semestre 2018 pour retomber de 60% début 2019. Le cobalt est substituable par le nickel dans les batteries Li-ion. Glencore, le plus grand producteur mondial de cobalt, a augmenté sa capacité au Congo en 2018, et l'explosion de la demande a aussi doublé le nombre de petits groupes miniers entre 2016 et 2018, travaillant souvent dans des conditions illégales ou improvisées.

LITHIUM. Le lithium est présent en petite quantité dans les batteries li-ion, mais ses propriétés physiques le rendent indispensable pour la production. La demande passerait de 18kt en 2018 à 35kt en 2021. Les plus grosses réserves se situeraient au Chili (52% du total) et en Bolivie³¹. Les producteurs Albemarle (nord-américain) et Tianqi (chinois), à la fois concurrents et partenaires, représentent 70% de l'industrie mondiale du lithium, tandis que d'autres acteurs chinois comme Ganfeng grandissent. Ces deux groupes miniers chinois se sont lancés dans l'achat de mines en Amérique du Sud et en Australie, augmentant ainsi leur

LES TERRES RARES

C'est la famille des lanthanides de la table périodique des éléments, à laquelle sont associés le scandium et l'yttrium en raison de propriétés chimiques très proches. Contrairement à ce que leur nom indique, ce sont des métaux aussi abondants que le nickel ou le cuivre mais plus dispersés. Ils sont notamment utilisés pour leurs propriétés magnétiques dans les éoliennes. Il est courant dans la presse de lire que les batteries électriques contiennent un faible pourcentage de terres rares, mais ce n'est pas le cas des batteries li-ion.

poils en tant que fournisseurs de lithium dans le monde entier. L'augmentation des prix (93% en Asie et 120% en Amérique du Sud entre 2016 et 2018) a entraîné une augmentation significative des investissements dans de nouvelles capacités. Si bien que l'approvisionnement en lithium ne présente pas un risque à court terme. Des investissements supplémentaires pour démarrer de nouveaux projets d'extraction seront nécessaires à partir de 2020. Eramet, groupe contrôlé par les pouvoirs publics français, doit annoncer ses décisions d'investissements début 2020 dans l'exploitation d'un gisement en Argentine.

MANGANÈSE, GRAPHITE ET ÉLECTROLYTES. Le manganèse nécessaire au développement du véhicule électrique est si faible au regard des

volumes produits et consommés chaque année (notamment dans l'industrie sidérurgique) qu'il ne saurait constituer un frein. Le graphite est un métal avec une prévalence élevée sur la terre et peut également être obtenu sous la forme synthétique. Carbone Savoie, producteur de cathodes en carbone et de spécialités carbone développe une stratégie européenne d'approvisionnement européen de la filière de production de batteries. Concernant les électrolytes, la solution la plus communément utilisée est à base de sel de lithium, et les capacités de production sont loin d'être saturées.

CUIVRE. La demande en cuivre est fortement dépendante du type de motorisation utilisé (BEV, PHEV ou HEV), le câblage des véhicules et les réseaux d'approvisionnement en électricité. Les volumes nécessaires restent gérables à court terme. Dans un contexte tendu, en raison des re-

négociations salariales chez certains des plus gros producteurs mondiaux (dans les gisements du Chili), le surcroît de demande à cause du véhicule électrique pourrait augmenter la volatilité des prix.

EN CONCLUSION, la croissance du véhicule électrique, avec une part de marché qui ne peut techniquement excéder 5% à l'horizon 2021, ne causera pas de pénurie de matières premières à court et moyen terme d'après plusieurs experts. Néanmoins, avec un équilibre de plus en plus difficile à maintenir, cette croissance de la demande est de nature à augmenter la volatilité du prix des métaux concernés, et le moindre incident sur la production pourrait entraîner une flambée des prix à court terme. À plus long terme, les dernières perspectives de croissance situent la part de marché des véhicules électriques sur le marché total à 30% d'ici 2030 et à 57% d'ici 2040.

Au-delà de la question de la quantité de ressource disponible, l'exploitation de ces métaux pour la mobilité électrique augmentera de fait l'impact sur les écosystèmes et la biodiversité. A cela s'ajoute des enjeux éthiques, notamment avec le Cobalt dont les conditions d'extraction sont dénoncées pour atteinte aux droits humains. Notons que c'est également le cas pour l'extraction du pétrole.

Afin de limiter les impacts négatifs sur l'environnement, il importe d'investir dans la recherche de matériaux alternatifs et surtout dans le recyclage des matériaux. Le rôle des pouvoirs publics est central, tant pour accélérer les liens entre recherche publiques et privées, que pour promouvoir des solutions et infrastructures de mobilité propres ou encore maintenir des activités et compétences stratégiques sur le territoire.

INDICATEURS DE RISQUE D'APPROVISIONNEMENT RELATIF ET RISQUE D'APPROVISIONNEMENT GLOBAL POUR CHAQUE ÉLÉMENT (source : Helbig et al. 2017)

Criterion	Indicator	Weighting	Lithium	Cobalt	Carbone	Manganèse	Nickel	Fer	Cuivre	Aluminium
Risk of supply restriction	Static reach reserves	8,9%	High	Low	Medium	High	High	High	High	Low
	Static reach resources	5,2%	High	High	Medium	High	High	High	Low	High
	End-of-life recycling rate	9,2%	High	High	High	Low	Medium	High	Low	Medium
Risk of demand increase	By-product dependence	3,9%	High	High	High	Low	Low	Medium	Low	High
	Future technology demand	14,1%	High	High	High	High	High	High	High	High
	Substitutability	14,2%	High	Medium	High	High	Low	Medium	High	High
Concentration risk	Country concentration	9,7%	High	High	High	Medium	High	High	Medium	High
	Company concentration	13%	High	High	High	Medium	Medium	High	Medium	High
Political risk	Political stability (worldwide governance indicator)	11,2%	High	High	High	High	High	High	High	High
	Policy perception index	5,2%	High	High	High	High	High	High	Medium	High
	Regulation risk (Human development index)	5,3%	High	High	High	High	High	High	High	High
Relative overall supply risk			High	High	High	High	High	High	High	High

Quels enjeux en matière d'emplois et de compétences ?

Le développement du stockage favorisera celui de l'énergie électrique, avec des enjeux différents d'une filière à l'autre. Sans conteste, l'automobile est le secteur où les changements seront les plus profonds.

Le besoin en emplois sur un moteur 100% électrique ne serait que de 10 à 20% par rapport à un moteur traditionnel selon Daimler. L'Union européenne reconnaît avoir largement sous-estimé les impacts sociaux liés au changement de paradigme vers le véhicule « décarboné ».

Si l'électrification des systèmes de propulsion est au centre des préoccupations des équipes en R&D des constructeurs et équipementiers français, l'électrique ne draine, pour l'instant, qu'un nombre encore limité de projets de production de véhicules. Les volumes, les compétences et la valeur se reporteront progressivement sur des systèmes de propulsion électrifiés, avec de nouveaux systèmes de stockage d'énergie. À ces impacts s'ajoutent également les futurs gains de productivité et l'automatisation d'un nombre croissant d'opérations dans le cadre de la numérisation des process de production.

Les véhicules légers (automobile) sont les premiers concernés par

cette transition, mais les poids-lourds et les véhicules agricoles et de chantier pourraient suivre rapidement.

Deux éléments viennent toutefois tempérer ces perspectives :

- l'électrification passera d'abord par les systèmes hybrides, intégrant les deux mondes, thermique et électrique, donc un système complexe préservant le volume d'emploi ;
- le renouvellement du parc est lent et la part d'électrique dans les véhicules en circulation va mettre de nombreuses années avant d'être majoritaire, soutenant ainsi les services autour du produit automobile.

LA PRODUCTION D'ÉNERGIE MOINS TOUCHÉE. Dans le secteur de la production d'énergie, les impacts seraient moindres. Le mix électrique français a en effet ceci de particulier qu'il repose beaucoup sur du nucléaire et assez peu sur les énergies fossiles (7% de l'électricité produite en 2018), qui seraient les

premières affectées par l'émergence de possibilités de stockage grande échelle grâce à l'hydrogène. Ce n'est pas le cas dans toute l'Europe, loin s'en faut : 42,6% de l'électricité européenne a été produite à partir d'énergies fossiles en 2017 (source : AIE – WEO) : 21,1% à partir de charbon, 19,7% à partir de gaz naturel et 1,8% à partir de fuel.

On peut imaginer que les pays concernés, en particulier par le charbon, seront les premiers à vouloir faire la bascule vers l'hydrogène, avec des impacts emploi massifs liés aux fermetures de centrales à charbon et des sites d'extraction

Une transformation considérable des modèles de compétences est donc à venir et déjà en partie à l'œuvre dans la filière automobile tout comme dans la filière production électrique, par ailleurs fortement impactée par le développement des technologies numériques.

IMPACTS DE L'ÉLECTRIFICATION SUR LA FILIÈRE AUTOMOBILE

De probables conséquences positives sur l'emploi de certains segments de l'automobile	Des dizaines de milliers d'emplois en sursis dans la filière moteur et les services traditionnels de l'automobile
<ul style="list-style-type: none"> • Production et assemblage de cellules • Électronique de puissance, • Moteurs électriques • Réducteurs et onduleurs • Infrastructures de charge • Seconde vie des batteries en stockage stationnaire • Recyclage • Services d'électromobilité 	<ul style="list-style-type: none"> • Composants mécaniques • Ligne d'échappement • Système de filtration • Pompes • Assemblage des moteurs • Services d'entretien et réparation (le besoin de retour au garage d'un véhicule électrique est très faible, réduisant fortement le nombre d'interventions nécessaires pour le maintenir en état) • Services de distribution et de fourniture de carburant
<p>Seraient préservés : la R&D et les métiers de la conduite (en attendant le développement des véhicules autonomes)</p>	

Soutenir une « transition juste »

L'électrification porte de nombreux enjeux pour les filières industrielles françaises comme européenne. Les organisations syndicales ont un rôle à jouer pour que les salariés soient pris en compte dans la transition.



Le stockage de l'énergie s'appuyant sur les batteries de type li-ion est une filière qui reste encore à développer en France. Des plans nationaux plus ou moins ambitieux sont lancés dans quelques pays d'Europe (Allemagne, France...) autour du développement de l'hydrogène. La structuration d'une filière de recyclage des systèmes et composants obsolètes reste également à venir (et rappelons, sur ce point, les enjeux liés à la responsabilité élargie des producteurs) ; elle pourrait elle aussi constituer un nouveau gisement d'emplois, qui restera cependant limité...

Tout ceci pose la question de la volonté et de la capacité des pouvoirs publics français et européens à soutenir l'émergence de filières industrielles européennes. On a pu voir à quel point les pays asiatiques, et en particulier la Chine, avaient développé des compétences leur permettant de rivaliser dans tous les domaines. La fabrication des panneaux photo-

voltaïques en est un exemple frappant. Le Green Deal initié par la nouvelle présidente de la Commission européenne sera-t-il porteur d'ambitions en matière de développement de nouvelles filières industrielles et donc d'emplois ? Le cas échéant comment sera envisagée la conciliation des intérêts nationaux et des intérêts européens ?

Ceci pose la question du rôle que peuvent jouer les organisations syndicales dans ce contexte, et de la manière dont elles peuvent peser, à tous les niveaux.

Au niveau des entreprises, les partenaires sociaux devront sans doute redoubler d'efforts de concertation et d'anticipation sur le volet emplois et compétences, afin d'assurer le plus en amont possible une transition pour les salariés... redoublement d'efforts qui doit bien évidemment être avant tout le fait des directions d'entreprises.

Il semble aussi plus que jamais nécessaire de prendre en considération l'impact de l'activité et des actions de l'entreprise sur son environnement. De manière tout à fait concrète, par exemple, le travail des enfants dans les mines de cobalt (composant des batteries lithium-ion) en RD Congo continue de faire l'actualité fin 2019. Comment les organisations syndicales peuvent-elles se saisir des enjeux en matière de Responsabilité Sociale et Environnementale pour faire évoluer ce genre de situations ? Des opportunités sont ouvertes par la nouvelle loi française sur le devoir de vigilance. Jusqu'où les organisations syndicales peuvent-elles être promotrices de l'extension de ce genre de législations au niveau européen ?

Entreprises, filières, chaînes de valeurs, niveaux national, européen, international... Les frontières sont vivement bousculées depuis plusieurs années maintenant et les partenaires sociaux sont constamment amenés à s'adapter à ces évolutions. Peser de plus en plus fermement n'a sans doute jamais été aussi difficile, mais, sans doute également, jamais aussi indispensable. Ce qui passe par la nécessité de disposer à tout moment de l'information appropriée. Au niveau des territoires, les organisations syndicales auront tout à fait intérêt à se saisir des nouvelles opportunités offertes par les lois pour peser sur le dialogue social territorial.

SYNDEX HORS-SÉRIE // STOCKAGE DE L'ÉLECTRICITÉ

Syndex, 22, rue Pajol - 75876 Paris Cedex 18 / www.syndex.fr

Directeur de publication : Olivier Laviolette / Coordination : Service communication-documentation.

Crédits photos : Freepik, Pexels, AdobeStock, Jean-Lionel Dias

Ont contribué à ce numéro : Bénédicte Appéré, Philippe Darteyre, Franck Dequidt, Laurent Fried, David Icole, Dara Jouanneaux, Anne-Gaëlle Lefeuvre, Alain Mestre, Philippe Morvanou, José Serrano Rincon