

**Filière des batteries électriques : passage d'un
élément de voiture propre à un éco-système
énergétique distribué**



Etudiants :

Emma Bonhomme

Aude Gombert

Antoine Questel

Enseignant-responsable du projet :

Dany Vandromme

Date de remise du rapport : **19/06/2017**

Référence du projet : STPI/P6/2017-20

Intitulé du projet : Filière des batteries électriques : passage d'un élément de voiture propre à un éco-système énergétique distribué.

Type de projet : Bibliographie

Objectifs du projet :

Nous allons étudier les nouvelles technologies en matière de batteries électriques en partant des batteries de voitures propres pour en venir à étudier les possibilités d'utiliser des batteries pour aider le réseau électrique afin de combler les problèmes des pics de consommation d'électricité. Mais aussi étudier la possibilité de l'utilisation des batteries électriques pour apporter l'électricité dans des endroits où le réseau électrique n'est pas développé.

Traitement du projet : Après avoir discuté au sein du groupe et avec notre professeur nous avons décidé, dans le but de répondre à notre problématique, de traiter le sujet de manière globale en présentant l'industrie des batteries électriques, leurs utilisations et le marché des voitures électriques. Il nous a aussi semblé intéressant de nous concentrer sur des cas plus spécifiques tel que l'apport d'électricité sur le continent africain et les territoires insulaires. En effet les batteries électriques permettent l'électrification dans des régions isolées sans avoir à s'appuyer sur un plus gros réseau électrique.

Mots-clefs du projet : **Batteries électriques – Transition énergétique – Solutions**

Table des matières

Introduction :	4
Méthodologie répartition du travail	5
Partie 1 : L'état actuel du marché des batteries électriques	6
a) Présentation globale du marché de l'industrie des batteries électriques	6
b) Les batteries électriques et le marché automobile	8
Partie 2 : Les batteries et leur potentiel	11
a) Le vehicle-to-grid	11
b) La réutilisation des batteries	13
1. Stockage électrique pour une seconde vie des batteries	13
2. Recyclage final des batteries en fin de vie	16
c) Les batteries domestiques	22
Partie 3 : Des batteries pour remplacer le réseau électrique	27
a) L'état des lieux en Afrique	27
b) Des projets pour l'électrification de l'Afrique	28
Conclusion	33
Bibliographie	34

Introduction :

« Une batterie est un appareil qui permet de stocker de l'énergie électrique, et qui selon le besoin, fournit ou reçoit de l'électricité », d'après le dictionnaire en ligne « Dico du net ».¹

Ce sont les batteries électriques qui se retrouvent au cœur même de notre projet.

Ces batteries électriques sont de plus en plus présentes autour de nous et dans notre vie quotidienne. En effet, leur production a connu une croissance exponentielle depuis leur création, et à en juger par le développement des véhicules électriques, elles pourraient bientôt jouer un rôle déterminant dans la transition énergétique à laquelle nous devons faire face.

Il a été annoncé à l'occasion la Cop21 de décembre 2015 que la France devait atteindre une part de 23% d'énergies renouvelables dans son mix énergétique d'ici 2020.

Seulement le développement des énergies renouvelables est difficile car ce sont des énergies intermittentes. En effet si nous prenons l'exemple du photovoltaïque : le soleil décline lorsqu'on a besoin de lumière tandis que les panneaux photovoltaïques produisent un surplus d'électricité pendant la journée.

Grâce à leurs capacités de stockage, les batteries électriques pourraient avoir une destinée bien plus grande que la seule utilisation dans les véhicules électriques car elles pourraient permettre de stocker pour ensuite redistribuer l'énergie produite au niveau local.

Dans ce projet, nous allons donc nous intéresser à la filière des batteries électriques, en étudiant la problématique du passage d'un élément de voiture propre à un éco-système énergétique distribué.

Dans un premier temps, nous allons présenter le marché global actuel des batteries électriques pour ensuite faire le lien avec celui des voitures électriques et étudier leur croissance ainsi que leur étendue.

Nous verrons, dans une deuxième partie, les différentes applications que permettent les batteries électriques, ainsi que leur réutilisation et leur recyclage.

Enfin nous traiterons un cas particulier, celui du continent africain pour lequel le taux d'électrification est encore très bas. Nous observerons ainsi comment les batteries électriques peuvent se présenter comme une partie d'une solution à ce problème et par la suite se développer à d'autres zones géographiques ou à des contextes particulier comme les situations insulaires.

En conclusion, nous pourrons donc dresser le bilan de nos différentes recherches bibliographiques afin de répondre à la problématique posée.

¹ <http://www.dicodunet.com/definitions/sciences/batterie.htm>

Méthodologie répartition du travail

Emma Bonhomme a étudié le marché des batteries électriques ainsi que le concept du Vehicle-to-Grid.

Aude Gombert s'est penchée sur la réutilisation des batteries électriques avec concept de seconde vie ainsi que leur recyclage final.

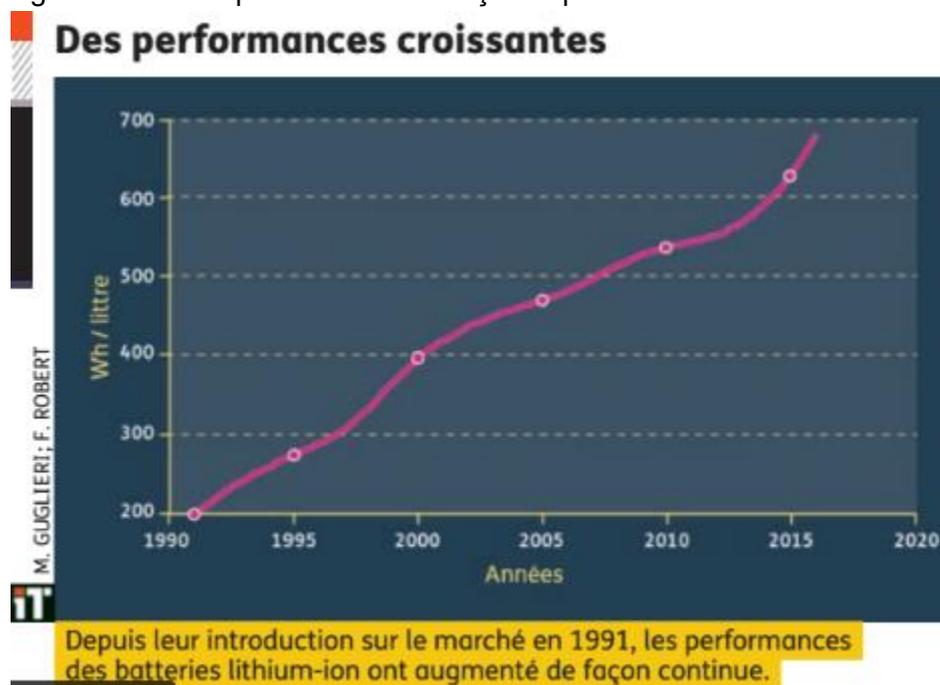
Antoine Questel s'est concentré sur l'état actuel du parc automobile électrique et l'émergence des batteries domestiques.

Nous avons décidé de travailler tous les trois sur le cas de l'électrification de l'Afrique. De même, l'introduction et la conclusion ont été rédigées par l'ensemble du groupe.

Partie 1 : L'état actuel du marché des batteries électriques

a) Présentation globale du marché de l'industrie des batteries électriques

Pour tous nos objets rechargeables contemporains, ce sont des batteries lithium-ion qui sont utilisées. Que ce soit pour nos téléphones, tablettes, ordinateurs, robots ménagers ou encore voitures électriques, les batteries lithium-ion sont omniprésentes. La batterie lithium-ion représente 100% du secteur de l'électronique portable et plus de 95% de celui des voitures électriques². Chaque année, ce sont plus de 6,8 milliards de batteries lithium-ion qui sont fabriquées³. Les batteries rechargeables lithium-ion sont les plus performantes et les plus rentables du marché actuel. Depuis leur création au Japon en 1991, leur performance n'a cessé d'augmenter et leur prix a baissé de façon exponentielle.



Source : innovation et technologie

La production de ces batteries électriques est actuellement majoritairement asiatique. Mais cette répartition des sites de production de batteries électriques est en passe d'être changée. En effet, le 29 juillet 2016, le constructeur automobile Tesla en association avec Panasonic a inauguré une nouvelle usine de production de batteries lithium-ion dans le désert du Nevada. Cette usine est qualifiée de « Gigafactory », elle a une superficie de plus 71

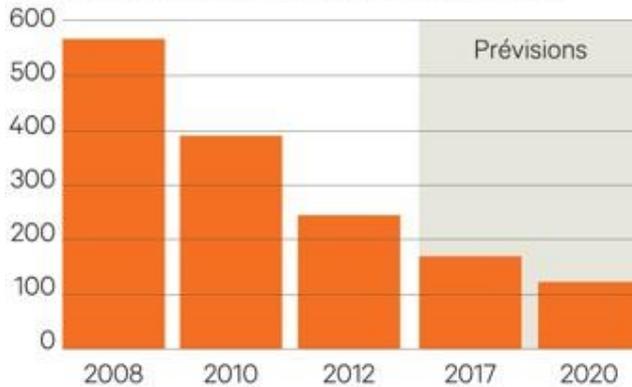
² "L'indétrônable batterie Lithium-ion", *Innovation et Technologie*, n°595, février 2017, p50-55

³ "L'indétrônable batterie Lithium-ion", *Innovation et Technologie*, n°595, février 2017, p50-55

terrains de football et produira à elle seule l'équivalent du double de la production mondiale actuelle de batteries⁴.

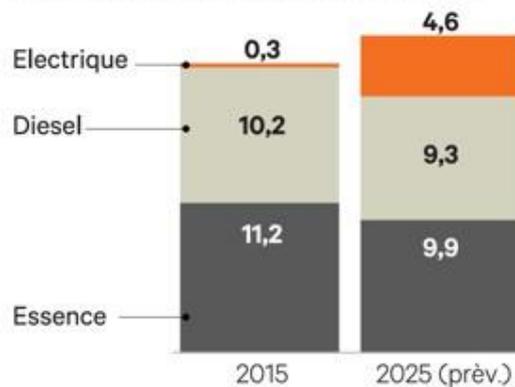
La baisse du prix des batteries

En dollars par kWh (modèles construits par Tesla)



La croissance de l'électrique

En millions de moteurs produits en Europe



« LES ÉCHOS » / SOURCE : GOLDMAN SACHS

Selon son site officiel, le but de cette « Gigafactory » est « d'accélérer la transition mondiale vers une énergie durable ». Ainsi, les batteries produites sur ce site seront principalement destinées aux voitures électriques. Elon Musk, PDG de Tesla, compte fabriquer 500 000 voitures électriques par an au cours des cinq prochaines années⁵.

La batterie lithium-ion est pour l'instant la batterie électrique la plus utilisée et la plus performante.

Le marché européen en matière de batteries électriques est encore très peu développé. Lucas Goal dans son article « Production de batteries : une filière industrielle européenne encore balbutiante » indique que l'Europe est trop en retard sur l'industrialisation des batteries électriques, le marché est principalement asiatique et américain⁶.

Pourtant, le groupe Bolloré voulant se développer sur des solutions de stockage électrique a choisi quant à lui de développer les batteries lithium métal polymère (LMP)⁷. Sa filiale Blue Solutions fabrique ces batteries électriques en Bretagne mais aussi à Boucherville au Canada. Le fonctionnement des LMP est quelque peu différent des batteries lithium-ion. Mais la principale différence est la durée de vie de ce type de batterie. En effet, avec une tension identique à celle de la lithium-ion, les batteries LMP ont une durée de vie de 10 ans⁸. De plus, ces batteries assurent une autonomie de 250km aux voitures électriques, ce qui est sensiblement la même autonomie qu'avec une voiture équipée d'une batterie de type Lithium-ion. Le but du groupe Bolloré est de fabriquer des batteries qui seraient plus résistantes que

⁴ Voiture Electrique, 27 janvier 2016, <http://www.voitureelectrique.net/la-baisse-du-prix-des-batteries-pour-aider-lindustrie-de-la-voiture-electrique-5121>, consulté le 30 mars 2017

⁵ Tesla, 26 février 2014 https://www.tesla.com/fr_FR/gigafactory, consulté le 1er avril 2017.

⁶ L'energyGEEK, 13 septembre 2017, <https://lenergeek.com/2016/09/13/production-de-batteries-une-filiere-industrielle-europeenne-encore-balbutiante/>, consulté le 1er avril 2017.

⁷ Bolloré, <http://www.bollore.com/fr-fr/activites/stockage-d-electricite-et-solutions>, consulté le 3 avril 2017.

⁸ Vehicule, « Batteries Lithium polymère », https://vehicules.com/wiki/Batteries_Accumulateurs_LMP_Lithium_ion_metal_polymere, consulté le 3 avril

les lithium-ion, or l'utilisation des batteries LMP est limitée à une gamme de température modérée, typiquement entre 60°C et 80°C. La batterie est donc utilisée pour produire la chaleur nécessaire à son utilisation, il faut donc la laisser branchée lorsqu'elle n'est pas utilisée : "A défaut, les batteries LMP se vident en moins de 3 jours à tenter de conserver la chaleur qui leur est nécessaire."⁹ De ce fait, ces batteries sont critiquées car comme le souligne l'article "l'indétrônable batterie lithium-ion" du magazine Innovation et Technologie : "cette contrainte cantonne le domaine d'application de la batterie lithium-polymère au véhicule électrique."

Mais des recherches sont encore en cours. Renaud Bouchet, professeur à l'Institut national polytechnique de Grenoble (INPG) et chercheur au Laboratoire d'électrochimie et de physicochimie des matériaux et des interfaces (Lepmi), est actuellement en train de faire des recherches pour améliorer la batterie LMP, ses propos sont reportés dans l'article "Des batteries mille fois plus puissantes" de La Tribune hebdomadaire : « Nous développons de nouveaux polymères qui vont remplacer, sous forme solide, l'électrolyte liquide présent dans les batteries. Notre technologie va contribuer à en abaisser les coûts, tout en éliminant les solvants inflammables qui y sont présents. La principale différence, c'est que nous fonctionnons à des températures moins élevées, de l'ordre de 60 °C contre 90 °C pour la batterie de Blue Solutions, la filiale de Bolloré»¹⁰.

Ainsi, les batteries électriques sont majoritairement des batteries lithium-ion, malgré la volonté de produire des batteries électriques différentes. Avec les récentes recherches que nous avons pu voir, nous pouvons donc compter sur le développement de batteries de plus en plus performantes.

b) Les batteries électriques et le marché automobile

Depuis 2010 environ, le marché des voitures électriques est devenu une réalité avec la production de nouveaux modèles à l'échelle industrielle. Depuis, ce marché n'a pas cessé de croître avec des taux d'immatriculations en hausse constante.

Le mois de mars 2017 ayant été un mois record en France avec 2889 immatriculations, ce qui représente une hausse de 7,1% par rapport au mois de mars 2016.¹¹ Les voitures électriques représentent aujourd'hui 1,1% des voitures particulières en France. Alors cette forte croissance va-t-elle continuer dans les années à venir? On estime que oui, suivant le déploiement des bornes de recharges encore trop peu nombreuses, et suivant les capacités des batteries électriques, cas auquel nous allons nous intéresser.

En cinq ans, les fabricants de batteries sont parvenus à doubler les capacités de stockage de leurs batteries. On a maintenant pour un poids et volume identiques, une

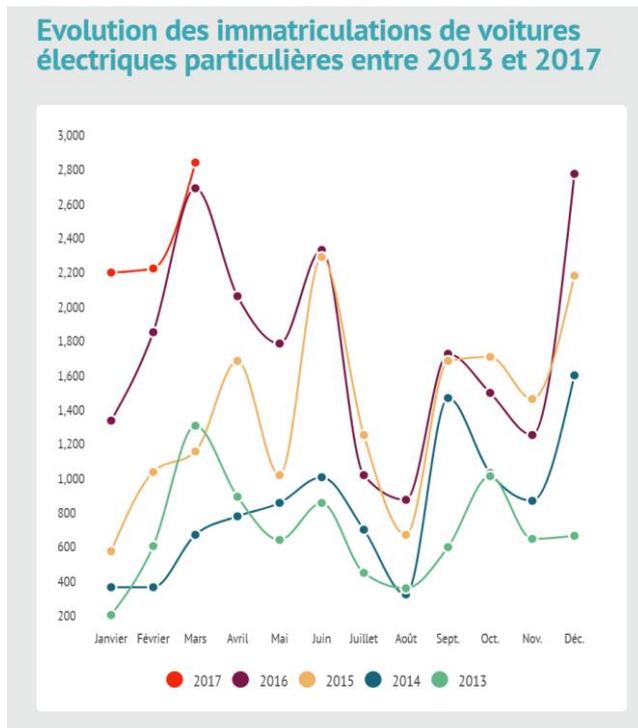
⁹ Wehicle, "Batteries Lithium polymère",

https://vehicules.com/wiki/Batteries_Accumulateurs_LMP_Lithium_ion_metal_polymere, consulté le 3 avril

¹⁰ E.H et E.K "Des batteries 1000 fois plus puissantes", *La Tribune hebdomadaire*, n°133, 5 juin 2015, page 8-9.

¹¹ http://www.aveve-france.org/Site/Article/?article_id=6923&from_espace_adherent=0

autonomie doublée pour la voiture. De plus, ce ne sont pas uniquement les batteries qui vont s'améliorer avec le temps mais la voiture électrique toute entière, par exemple le rendement de son moteur qui est déjà excellent avec plus de 90% contre 30% pour les meilleurs propulseurs thermiques. Ces moteurs seront aussi de plus en plus compacts et légers.



Source : http://www.aveve-france.org/Site/Article/?article_id=6923&from_espace_adherent=0

D'autre part, le prix des batteries des voitures électriques représente une partie importante du prix global de la voiture qui est pour l'instant encore un peu trop élevé pour être tout public. Cependant, comme nous l'avons dit plus tôt, celui-ci ne fait que décroître au fil des années renforçant ainsi la part de l'électrique dans le marché automobile.

Mais alors, si les voitures électriques deviennent partie intégrante de ce marché automobile, le réseau électrique sera-t-il à la hauteur de la demande?

A priori oui. On estime que d'ici la fin de l'année 2017, le nombre de voitures électriques sera de 100 000 unités. La recharge sur la borne accélérée ou rapide étant par nature ponctuelle, le réseau électrique doit avant tout se préoccuper de la recharge lente s'effectuant la nuit sur la prise domestique ou wallbox.

Voilà quelques calculs faits par le site du magazine "l'auto-journal":

"Considérons une recharge systématique et simultanée de l'ensemble du parc sur wallbox à 5 kW (il y a plus de Zoé que de Model S en circulation...). Cela représente une consommation électrique instantanée de 0,5 GW, soit 0,4 % de la puissance du parc électrique du pays. Autant dire que le réseau est prêt, d'autant que la consommation annuelle de ces 100 000 véhicules (en tenant compte d'une moyenne de 12 500 km par an) représenterait, avec une moyenne de 15 kWh aux 100 km, à peine plus de 187 GWh, soit moins de 0,04 % de la consommation annuelle en France, où l'éclairage public extérieur consomme à lui seul plus de 5 500 GWh, et réclame jusqu'à 1,3 GW en puissance instantanée."¹²

Avec cette arrivée de voitures électriques de plus en plus importante dans les années à venir, différentes nouvelles technologies verront le jour.

En effet, la recherche et le développement consacrés à ce marché et principalement à celui de la batterie électrique permettent déjà d'apercevoir de nouvelles formes de technologies applicables dans notre vie de tous les jours et qui pourraient aussi révolutionner

¹² <http://news.autojournal.fr/news/1510831/Electrique-batterie-recharge-borne-autonomie>

notre manière de consommer de l'énergie.

Comme nous le verrons plus tard, les batteries "nouvelle génération" plus puissantes, encourageront indirectement l'utilisation des énergies renouvelables ou notre consommation sur le réseau électrique par exemple.

L'essor des voitures électriques aura donc de nombreuses répercussions importantes dans des secteurs variés.

Nous allons nous intéresser aux différentes innovations liées à la voiture propre afin d'étudier la transition entre cette voiture et un éco-système énergétique distribué.

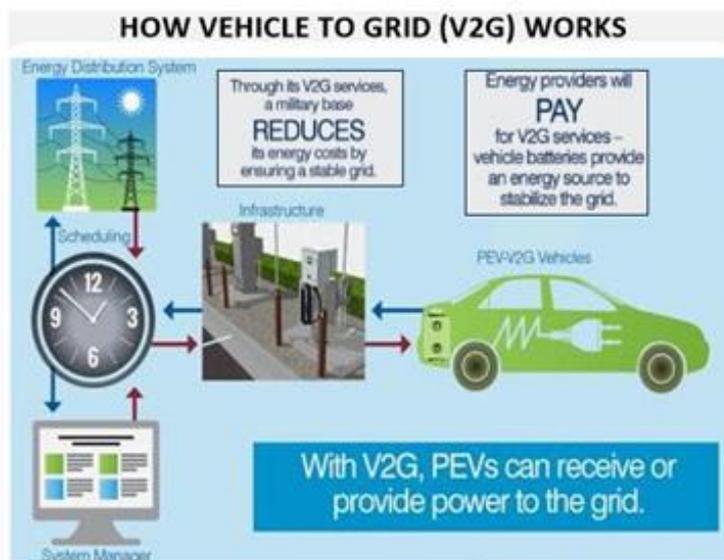
Partie 2 : Les batteries et leur potentiel

a) Le vehicle-to-grid

Les batteries électriques de voiture pourront bientôt permettre de soulager le réseau électrique. Selon EDF, 50 % des véhicules stationnent en permanence au domicile et 69 % des actifs restent garés 6 heures par jour en moyenne sur un emplacement réservé¹³. Avec le vehicle-to-grid (V2G), littéralement “du véhicule vers le réseau”, les moments où la voiture est inutilisée l'énergie contenue dans la batterie pourra être redistribuée dans le réseau électrique.

La commission de régulation de l'énergie définit ainsi le V2G : “ le véhicule électrique alimente le réseau en fonction des besoins du système électrique (modèle bidirectionnel) et lui offre un service de flexibilité.”¹⁴

Depuis 2013, le département de la Défense US a lancé une expérimentation sur la base de l'armée de l'air américaine à Los Angeles. En effet, la Californie a connu une crise de l'énergie entre 2000 et 2001, avec une augmentation du prix de l'électricité mais aussi des nombreuses coupures inopinées. Il a ainsi été choisi de créer une flotte 100 % électrique de 42 véhicules pour tester les systèmes de V2G en vue de pouvoir les étendre aux particuliers. Deux phases ultérieures sont envisagées avec le déploiement de 500 puis de 1 500 véhicules sur 5 autres bases militaires.¹⁵



Projet de V2G sur une base militaire en Californie.

Le vehicle-to-grid est pour l'instant développé au Japon par Toyota et Mitsubishi. En plus de pouvoir réinjecter l'électricité dans le réseau, les utilisateurs peuvent choisir d'utiliser leur batterie de voiture pour fournir l'électricité dans leur propre maison, c'est le vehicle-to-

¹³ Smart grids-cre, <http://www.smartgrids-cre.fr/index.php?p=vehicules-electriques-v2g>, 17 avril 2017

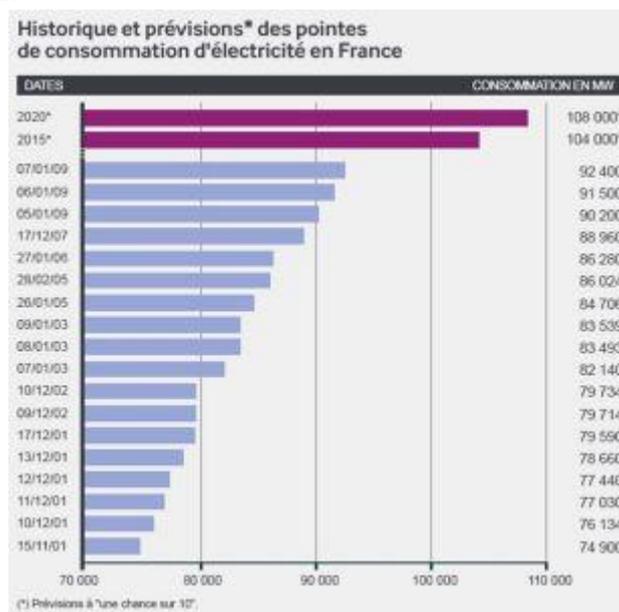
¹⁴ Smart grids-cre, <http://www.smartgrids-cre.fr/index.php?p=vehicules-electriques-v2g>, 17 avril 2017

¹⁵ Smart grids-cre, <http://www.smartgrids-cre.fr/index.php?p=vehicules-electriques-v2g>, 17 avril 2017

Home. Le vehicle-to-home (V2H) existe depuis 3 ans au Japon seul pays où ce dispositif est développé pour les particuliers à l'heure d'aujourd'hui. Le dispositif de vehicle-to-home fonctionne grâce à un caisson relié à la maison sur lequel l'utilisateur peut relier sa voiture, la maison sera ensuite alimentée par les 22 kW contenu dans la batterie¹⁶. Nissan et Mitsubishi comptent d'abord importer le V2G en Europe avant de tester le V2H. La batterie électrique de voiture devient donc un outil pour rendre le réseau électrique plus intelligent. On a donc une voiture qui ne sert plus seulement à se déplacer mais qui permet de rendre service au réseau électrique.

Dans l'optique de gérer le réseau électrique en prenant en compte l'aide d'unités de stockage telles que les voitures électriques, le constructeur automobile Nissan s'est associé avec la société italienne d'électricité Enel. Le but est de développer le V2G en Europe. Les premiers tests seront effectués au Danemark puis en Allemagne pour ensuite s'étendre à toute l'Europe.¹⁷ Ernesto Ciorra, Directeur Innovation et développement durable du groupe Enel, a déclaré que le véhicule électrique est une pierre angulaire du marché de l'énergie.¹⁸

Selon certaines estimations, le vehicle-to-grid permettrait de faire face aux pics de consommation d'électricité en France. Ces pics de consommation surviennent en hiver le soir entre 18h et 22h. En février 2017 le pic a été atteint à 101 GW. Pour pallier cette forte consommation, les fournisseurs d'énergie utilisent des énergies fossiles qui induisent une forte émission de CO2.



Source RTE

Le professeur Jean-Charles Papazian, agrégé de Génie Électrique a calculé la

¹⁶ Breezcar, 29 mars 2015, <https://www.breezcar.com/actualites/article/vehicule-to-home-voiture-electrique-source-electricite-0315>, 4 mai 2017.

¹⁷ electric vehicle news, 20 décembre 2015, <https://evinfo.info/nissan-revive-car-to-grid-plan-with-enel/>, 18 avril 2017

¹⁸ Réseau Durable, 14 janvier 2016, <http://reseau durable.com/vehicule-to-grid-un-systeme-experimente-par-nissan-et-enel-en-europe-en-2016/>, 18 avril 2017

quantité d'énergie hypothétiquement réinjectée dans le réseau pour 3 millions de voitures électriques, Ce qui correspond à 10% du parc automobile français, un stade qui sera atteint, selon lui, au mieux en 2025. Ainsi 3 Millions de véhicules électriques V2G sont équivalents à 72 GW.h d'énergie totale stockable. De plus l'énergie utilisée par 3 millions de véhicules électriques en 24h est de 17 GW.h. On part du principe que 50% de l'énergie est potentiellement réinjectable sur 24h, donc $\frac{72-17}{2} = 27,5\text{GW.h.}$ ¹⁹ Papazian affirme que 27 GW.h permettent d'effacer les pics de consommation.

Ces 3 millions de véhicules électriques en V2G seraient donc un outil indispensable pour pallier la demande en énergie toujours croissante en période de grand froid. En effet, d'après ses calculs (expliqués précédemment), Papazian affirme que "3 millions de véhicules électriques permettraient de diminuer le pic de novembre 2010 de 7 GW."

Et cette diminution correspondrait aux centrales au fioul et au charbon, qui relâchent du CO₂ au rythme de 5 000 à 10 000 tonnes par heure (source RTE). Ainsi la stratégie V2G permettrait donc d'éviter l'émission de 150 à 200 000 tonnes de CO₂ lors des journées de pointes de consommation.²⁰

Encore à l'état d'expérimentation, deux problèmes majeurs se posent déjà. Tout d'abord un manque d'infrastructures : pour n'importe quel véhicule électrique l'installation d'une borne de recharge est nécessaire au domicile et sur le lieu de travail. Selon Arthur Martin sur Energy Stream, le blog de consultants qui mettent leurs expertises au service de leurs clients du secteur de l'énergie : "Le déploiement des véhicules électriques et des infrastructures de charge s'opère plus lentement que prévu initialement"²¹. L'autre obstacle au développement du V2G concerne l'absence de réglementation sur la restitution de l'énergie provenant des batteries électriques vers le réseau. En effet nous n'avons pour l'instant encore aucune idée de combien l'utilisateur va acheter son électricité pour charger sa voiture mais surtout combien il va pouvoir revendre celle-ci lorsqu'elle est réinjectée dans le réseau électrique.

Une fois ces deux obstacles passés, le V2G promet de grandes avancées en matière de gestion de la consommation d'électricité. C'est un outil indispensable à la gestion intelligente du réseau. Or il ne faut pas oublier que le développement des voitures électriques dépend du cours du prix du pétrole ainsi il est difficile de prévoir si la technologie du V2G va rester à l'état de projet ou va devenir omniprésente dans un futur proche.

b) La réutilisation des batteries

1. Stockage électrique pour une seconde vie des batteries

Lorsqu'un véhicule électrique ne fonctionne plus correctement, généralement après une petite dizaine d'années d'utilisation, sa batterie possède encore 80% de ses aptitudes.

¹⁹ Expert Véhicule électrique, <http://www.expert-ve.fr/smartgrid-et-v2grid.html>, 18 avril 2017

²⁰ Expert Véhicule électrique, <http://www.expert-ve.fr/smartgrid-et-v2grid.html>, 18 avril 2017

²¹ Energystream, 4 mars 2013, <https://www.energystream-wavestone.com/2013/03/vehicule-to-grid-le-vehicule-electrique-au-servic-du-reseau/>, 18 avril 2017.

Ces batteries ont alors une capacité de stockage de l'électricité encore importante et non négligeable. Cela donne progressivement des idées de projets aux constructeurs automobiles qui repensent l'utilisation de leurs batteries après une première vie. C'est le concept de seconde vie des batteries. La durée de vie de cette seconde vie se situe entre cinq et dix ans.

D'après l'article "Les batteries des voitures électriques ont de l'énergie à revendre" rédigé par Stéphanie Senet le 31 août 2016 paru dans le Journal de l'environnement²², le nombre d'utilisateurs potentiels de véhicules électriques aura considérablement augmenté d'ici 2025, et en toute logique, le nombre de véhicules électriques également. Cela correspondrait à un potentiel de charge de 29 GWh dont un tiers pourrait servir à une seconde vie, ce qui dépasse de loin la taille du marché actuel du stockage électrique. Bien que les constructeurs automobiles auront fait des progrès dans les capacités des batteries après que la voiture soit hors d'usage (70% contre 80% aujourd'hui) - ce qui correspond à une durée de vie plus longue du véhicule - il faudra attendre 2025 pour que les batteries usagées représentent "une manne intéressante". En effet, les batteries seront conçues pour deux tiers d'entre elles dans le but d'être réutilisées (garantie valable pour une seconde vie comprise ce qui est rarement le cas aujourd'hui) contre un tiers seulement aujourd'hui.

Néanmoins, des projets voient déjà le jour.

En effet, Eric Béziat, journaliste dans Le Monde²³, nous apprend à travers un article nommé "L'automobile expérimente le stockage électrique", paru le 13 février 2017, que le stade de 55 000 places, l'Amsterdam Arena, aux Pays-Bas, est équipé de 280 packs batteries de Nissan Leaf en fin de vie. Cet équipement est une mesure de secours qui permet de prévenir les pannes de courant sur une dizaine d'années. Pour Nissan, ce système sera "le premier au monde à alimenter un stade de cette ampleur".

Les batteries en seconde de vie permettent également de soulager le réseau. Le constructeur allemand, Daimler, propose une connexion au réseau public du plus grand centre de stockage électrique issu de mille batteries de Smart usagées. Ce dispositif est situé à Lünen en Allemagne et contribue à la stabilisation du réseau dans la région.

Dans le même esprit, Renault expérimente lui aussi le stockage d'électricité pour soulager le réseau, notamment aux heures de pointe, avec une armoire de six batteries Renault Zoé usagées. Ce dispositif est mis en place au siège social Ampère de la filiale immobilière de la société Sogeprom en région parisienne où il gère les pics de consommation électrique le matin, le soir et à l'heure de la cantine, notamment lorsque la demande d'ascenseurs est forte. Nicolas Schottey, directeur adjoint du programme véhicules électriques de Renault, livre dans une interview de Arnaud Garrigues donnée à la Gazette des communes le 11 janvier 2017 que chaque batterie a une puissance de 16 kW, ce qui fait un total de 96 kW pour l'ensemble du système²⁴. Renault affirme que cela permettra d'effectuer

²² **SENET Stéphanie.** Les batteries des voitures électriques ont de l'énergie à revendre. *Journal de l'environnement*. 31 août 2016, [date de consultation : 27 avril 2017].

<http://www.journaldelenvironnement.net/article/les-batteries-des-voitures-electriques-ont-de-l-energie-a-revendre,74097>

²³ **BEZIAT Eric.** L'automobile expérimente le stockage électrique. *Le Monde Economie*. 13 février 2017, [date de consultation : 3 mars 2017].

http://www.lemonde.fr/economie/article/2017/02/13/l-automobile-experimente-le-stockage-electrique_5078815_3234.html?xtmc=batterie&xtcr=11

²⁴ **GARRIGUES Arnaud.** Comment les batteries de véhicules électriques sont recyclés dans le stockage énergétique. *La*

“de solides économies sur la facture d’électricité”, vient compléter le journal Les Echos dans un article de Maxime Amiot intitulé “Renault : quand le constructeur devient fournisseur d’énergie” publié le 6 décembre 2016.²⁵

Cette dernière expérience participe au projet ELSA (Energy Local Storage Advanced system) qui est un projet “à vocation européenne” et réunit dix membres (dont notamment Bouygues Energies & Services, Renault SAS, Nissan West Europe SAS, RWTH Aachen University, United Technologies Research Centre Ireland Limited, Engineering Ingegneria Informatica S.p.) de cinq pays européens (France, Allemagne, Italie, Espagne et Royaume-Uni), nous renseigne Joël Spaes dans GreenUnivers dans un article intitulé “Recycler des batteries pour stocker intelligemment” du 28 octobre 2016²⁶. L’idée globale de ce gros projet est d’utiliser, avant de les recycler, des batteries de “seconde vie” de capacités et qualités différentes dans le but de commercialiser des équipements de recharge pour véhicules électriques, et des solutions de stockage d’électricité dans des usines, des immeubles de bureau, des bâtiments résidentiels, ou encore sur des réseaux locaux. Les principaux avantages qui ressortent d’un tel projet sont d’une part le lissage de la consommation d’électricité aux heures de pointe (comme vu pour la société Sogeprom), et d’autre part, une diminution du coût du stockage et du prix des véhicules est entraînée puisque le prix du recyclage de la batterie n’est plus compris dans celui de la voiture. Pour finir, les batteries utilisées pour cet usage coûtent deux fois moins cher que des batteries neuves car elles ont déjà servi.

Renault propose à travers un partenariat avec Connected Energy un autre projet, pour servir la mobilité électrique. Le constructeur automobile souhaite intégrer ses batteries au lithium usagées au système de stockage d’énergie renouvelable E-STOR, qui est lui-même une solution de recharge pour les véhicules électriques. Le principe est le suivant : au lieu de recharger la batterie du véhicule électrique directement sur le réseau en exploitant une alimentation de haute capacité, elle est approvisionnée par des batteries usagées. La charge de ces dernières s’effectue sur une durée plus lente à faible puissance via le stockage d’énergies renouvelables qui est organisé par E-STOR. Ce système a l’avantage de proposer à l’utilisateur une charge plus rapide de son véhicule (moins de 30 minutes contre plusieurs heures lorsque la charge se fait directement sur le réseau). L’autre intérêt majeur se trouve dans le fait que ce dispositif n’impacte pas le réseau²⁷.

Gazette des communes. 11 janvier 2017, [date de consultation : 10 mars 2017].

<http://www.lagazettedescommunes.com/481071/comment-les-batteries-de-vehicules-electriques-sont-recyclees-dans-le-stockage-energetique/>

²⁵ **AMIOT Maxime**. Renault : quand le constructeur devient fournisseur d’énergie. *Les Echos*. 06 décembre 2016, [date de consultation : 3 mars 2017].

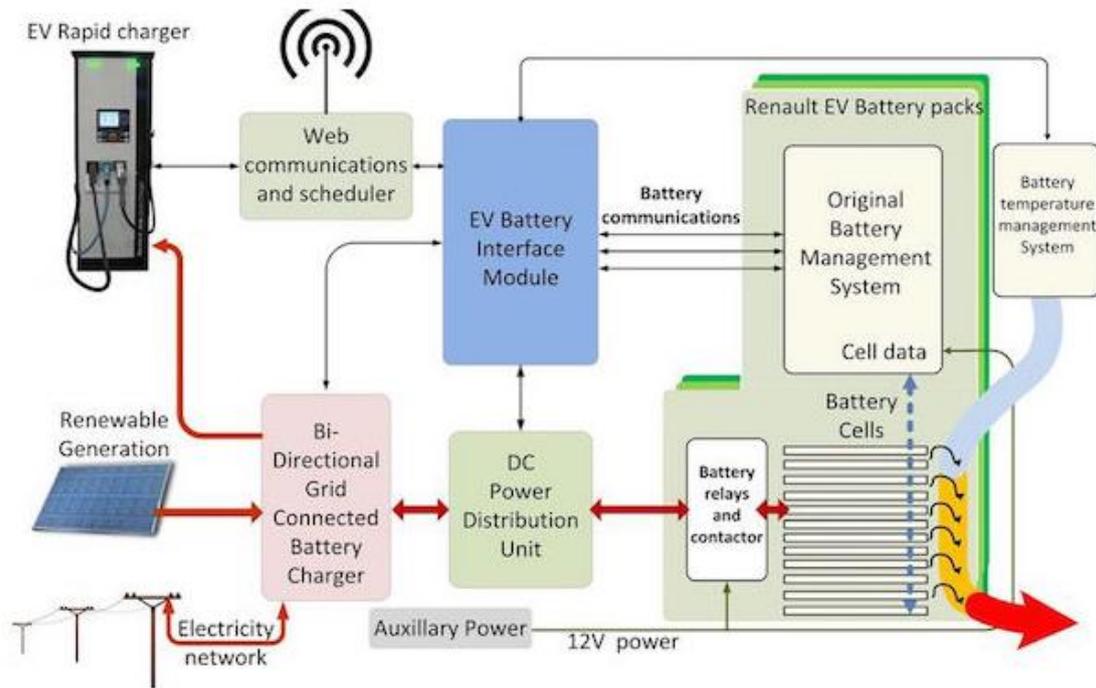
https://www.lesechos.fr/06/12/2016/lesechos.fr/0211568886810_renault---quand-le-constructeur-devient-fournisseur-d-energie.htm

²⁶ **SPAES Joël**. Recycler des batteries pour stocker intelligemment. *Green Univers*. 28 octobre 2016, [date de consultation : 30 mars 2017].

<https://www.greenunivers.com/2016/10/recycler-des-batteries-pour-stocker-intelligemment-152308/>

²⁷ **AVERE France**. Des batteries en seconde vie réutilisées pour la recharge rapide des véhicules électriques.

http://www.aver-france.org/Site/Article/?article_id=6451, consulté le 17 mars 2017



Fonctionnement du processus du projet entre Renault et Connected Energy

Tous ces projets semblent très prometteurs, mais le journaliste du Monde, Eric Béziat, prévient tout de même qu'il faut rester prudent quant à la réutilisation des batteries pour une seconde vie. En effet, il ne faudrait pas qu'il y ait une augmentation de l'offre de stockage qui déstabiliserait le marché, d'autant qu'actuellement, le stockage n'est pas rentable, il sert à se "débarrasser" du problème que pose le recyclage final des batteries qui est à la fois coûteux et polluant.²⁸

2. Recyclage final des batteries en fin de vie

Il existe quatre grandes familles de batteries de véhicules électriques²⁹ :

- les batteries au lithium-ion (Li-ion), utilisées pour les véhicules 100% électriques ;
- les batteries au nickel métal hydrure (NiMh), utilisées essentiellement pour les véhicules hybrides ;
- les batteries au nickel cadmium (NiCad) ;
- et les batteries au plomb (Pb).

Ces deux dernières technologies sont les plus anciennes.

²⁸ **BEZIAT Eric**. L'automobile expérimente le stockage électrique. *Le Monde Economie*. 13 février 2017, [date de consultation : 3 mars 2017].
http://www.lemonde.fr/economie/article/2017/02/13/l-automobile-experimente-le-stockage-electrique_5078815_3234.html?xtmc=batterie&xtcr=11

²⁹ **SPATH Fabrice**. Voitures hybrides et électriques : les batteries sont-elles-recyclées ?. *Breezcar*. 4 juillet 2014, [date de consultation : 17 mars 2017].
<http://www.breezcar.com/actualites/article/recyclage-batteries-voitures-electriques-et-hybrides-bmw-i-et-activehybrid-0714>

Dans cette partie, nous allons étudier les différents dispositifs mis en œuvre dans le processus de recyclage de ces différents types de batterie.

a. Les batteries au plomb

La batterie au plomb est la technologie la plus ancienne utilisée dans le domaine de l'automobile. C'est probablement ce qui explique que son processus de recyclage soit aujourd'hui le plus mature et le plus maîtrisé.

Cette filière est, de plus, "viable économiquement". En effet, le recyclage de cette catégorie de batteries est rentable dans la mesure où la valeur du plomb récupéré au cours du processus permet de compenser le coût investi³⁰.

Avant de rentrer dans le processus de recyclage à proprement parler, les batteries au plomb sont rechargées et ré-utilisées jusqu'à ce que la batterie ait atteint les limites de ses capacités de charge.

Ce n'est qu'à la fin de cette vie que les batteries sont recyclées.

Le recyclage des batteries au plomb s'effectue selon le principe suivant : dans un premier temps, la batterie est vidée de son acide qui est neutralisé dans un centre spécialisé. Ensuite, la partie restante de la batterie (c'est-à-dire essentiellement du plomb et du plastique) est broyée, ce qui permet la séparation des différents éléments qui la composent (plomb métallique, pâte de plomb...). Le plomb récupéré est fondu afin d'obtenir du plomb métallique brut non affiné. Vient enfin l'étape de l'affinage qui permet d'obtenir des alliages de plomb de compositions bien définies grâce à l'ajout d'autres métaux. De son côté, le plastique est lavé puis granulé afin de rentrer dans la constitution de matières plastiques.³¹³²

A travers ce processus, ce sont près de 96% des matériaux de la batterie au plomb qui sont récupérés (en comparaison, lors du recyclage du verre, seulement 38% de la matière sont récupérés)³³.

b. Les batteries au nickel cadmium et au nickel métal hydrure

En ce qui concerne les batteries au Nickel Cadmium et au Nickel Métal Hydrure, leur recyclage est également une technologie maîtrisée et mature. Leur recyclage est compris dans leur coût.³⁴

³⁰ DURABLE. *Le recyclage des batteries pour les voitures électriques.*

<http://voiture-electrique.durable.com/a-le-recyclage-des-batteries-pour-les-voitures-electriques>, consulté le 10 mars 2017

³¹ GROUPE CHIMIRE C. *Recyclage et valorisation des déchets de batteries au plomb.*

<http://chimirec.fr/recyclage-et-valorisation-des-dechets-de-batteries-au-plomb-362800-4-24-28.php>, consulté le 24 mars 2017

³² Encyclopédie libre

WIKIPEDIA. *Batterie au plomb - Recyclage.*

https://fr.wikipedia.org/wiki/Batterie_au_plomb#Recyclage, consulté le 7 avril 2017.

³³ TESLADICT. *Batteries recyclables : bonnes nouvelles !.* *Tesla Magazine*. 3 mai 2016, [date de consultation : 17 mars 2017].

<http://www.tesla-mag.com/batteries-recyclables-bonnes-nouvelles/>

³⁴ TORREGROSSA Michaël. *Le recyclage des batteries - Enjeu majeur pour la voiture électrique.* *AVEM*. 26 mai 2010, [date de consultation : 13 mars 2017].

<http://www.avem.fr/actualite-le-recyclage-des-batteries-enjeu-majeur-pour-la-voiture-electrique-1506.html>

Ces batteries sont recyclées selon le même principe que les batteries au plomb³⁵.

c. Les batteries au lithium-ion

Bien que la technologie de la batterie au lithium soit aujourd'hui la plus performante sur le marché de l'automobile, celle-ci reste relativement récente, à l'image de sa filière de recyclage.

L'entreprise Global Metal, experte en terres rares et métaux précieux, nous propose une définition³⁶ de ces "terres rares", dont le lithium fait partie : elles constituent un ensemble de 17 éléments chimiques aux propriétés proches. Ces métaux prennent une place importante et indispensable dans la conception et la fabrication d'éléments de haute technologie (comme le lithium pour les batteries de véhicules électriques). Contrairement à ce que leur nom pourrait laisser penser, elles sont relativement abondantes dans la croûte terrestre, mais de par leurs différentes propriétés, elles sont difficiles à extraire. Cette extraction est d'ailleurs extrêmement polluante. C'est pourquoi des progrès en matières de recyclage deviennent indispensables pour récupérer les terres rares et ne plus les produire. C'est ce que nous renseigne GEO dans un article³⁷ publié le 8 septembre 2014, "Les terres rares, qu'est-ce que c'est ?".

Les besoins en lithium ne cessent d'augmenter, et les impacts environnementaux et sociaux se font ressentir. En effet, l'extraction de lithium pollue l'eau et menace les populations de leur accès à cette ressource. Aujourd'hui, seulement 5% du lithium qui compose les batteries commercialisées sur le marché européen sont récupérés. Le reste est incinéré ou bien mis en décharge, ce qui fait que l'Europe n'est pas indépendante en matière de lithium et reste dépendante des pays producteurs. Si ce gaspillage continue, les conséquences environnementales et sociales pourront s'avérer très lourdes³⁸.

Les métaux à recycler dans les batteries au lithium des véhicules électriques tels que le manganèse, le nickel, le fer, l'aluminium ou encore le cuivre sont « de moindre valeur » en comparaison de celle de la batterie. De plus, le coût du recyclage du lithium est actuellement supérieur à son coût d'extraction. Ainsi, il est difficile de rentabiliser le processus de recyclage, car les entreprises recherchent au minimum un équilibre économique, voire le profit avant de répondre à l'enjeu écologique. Néanmoins, une certaine intention de réduire les ressources en matières premières afin de diminuer le coût de fabrication des batteries, et par extension, rentabiliser leur recyclage, se fait de plus en plus ressentir. Comme le dit Elon Musk, PDG de

³⁵ **TESLADDICT**. Batteries recyclables : bonnes nouvelles !. *Tesla Magazine*. 3 mai 2016, [date de consultation : 17 mars 2017].

<http://www.tesla-mag.com/batteries-recyclables-bonnes-nouvelles/>

³⁶ **Global Metal**. *Qu'est-ce que les Terres Rares ?*.

<http://www.globalmetal.fr/terres-rares/qu-est-ce-que-les-terres-rares.html>, consulté le 25 avril 2017

³⁷ **GEO**. *Les terres rares, qu'est-ce que c'est ?*

<http://www.geo.fr/environnement/les-mots-verts/definition-terres-rares-scandium-yttrium-et-lanthanides-124433>, consulté le 25 avril 2017

³⁸ **Amis de la Terre**. *LITHIUM : nécessité et urgence d'introduire de nouveaux processus de collecte et de recyclage*.

<http://www.amisdelaterre.org/IMG/pdf/lithium.pdf>, consulté le 15 avril 2017

la société Tesla Motors : « *Mieux vaut miner une batterie qu'un rocher* »³⁹⁴⁰.

Le recyclage des batteries de voitures électriques au lithium-ion représente donc un véritable défi pour les constructeurs automobiles et les sociétés de recyclage.

Tesla semble le pionnier en matière de recyclage de ses batteries au lithium-ion. En effet, depuis 2010, il établit un partenariat avec la société de recyclage Umicore⁴¹. Ils entreprennent ensemble un programme de recyclage des batteries au lithium de ses véhicules électriques, permettant de capturer notamment les métaux dits « rares » et le lithium contenus dedans, selon le processus suivant :

- Tesla récupère tout ce qui concerne les composants électriques de ses batteries, soit 10% de leur poids.
- Umicore fait fondre deux des matériaux encore présents dans la batterie et récupère ainsi de l'oxyde de cobalt lithium (matériau précieux et coûteux nécessaire à la fabrication des batteries) qui est destiné à être revendu à des fabricants. L'autre matériau recyclé est un résidu contenant du lithium. Celui-ci est réutilisé dans la fabrication de ciment⁴². Il constitue un additif qui pourrait participer à la réduction des émissions de CO₂ car la fabrication de ciment est responsable à 5% des rejets humains mondiaux de gaz à effet de serre⁴³.

Grâce à ce processus de récupération des matériaux composant ses batteries, Tesla parvenait en avril 2016 à recycler près de 60% de ses batteries au lithium et espère atteindre un taux de recyclage de 80% pour ses batteries Ryden Dual Carbon qui sont à la fois "biodégradables et dépourvues de métaux lourds"⁴⁴.

Renault, de son côté, établit un « cycle d'économie circulaire », c'est-à-dire que 100% de ses batteries en fin de vie sont collectées pour leur recyclage. Il récupère et valorise ainsi certains matériaux comme l'aluminium, le cuivre, le cobalt ou encore le lithium qui peuvent être réutilisés dans la production de nouvelles batteries⁴⁵. Pour cela, un partenariat avec la société Sita, une filiale de Suez Environnement, et Veolia Suez permet notamment de mettre au point une structure de recyclage des véhicules, selon le procédé suivant :

³⁹ **TORREGROSSA Michaël**. Le recyclage des batteries - Enjeu majeur pour la voiture électrique. *AVEM*. 26 mai 2010, [date de consultation : 13 mars 2017].

<http://www.avem.fr/actualite-le-recyclage-des-batteries-enjeu-majeur-pour-la-voiture-electrique-1506.html>

⁴⁰ **ROZIERES Grégory**. La Gigafactory de Tesla, le pari risqué d'Elon Musk pour révolutionner la voiture électrique. *Huffingtonpost*. 29 juillet 2016, [date de consultation : 31 mars 2017].

http://www.huffingtonpost.fr/2016/07/28/Gigafactory-tesla-elon-musk-pari-fou-voiture-electrique_n_11238554.html

⁴¹ <http://www.umicore.fr/>

⁴² **TESLADDICT**. Batteries recyclables : bonnes nouvelles !. *Tesla Magazine*. 3 mai 2016, [date de consultation : 17 mars 2017].

<http://www.tesla-mag.com/batteries-recyclables-bonnes-nouvelles/>

⁴³ **SOLIVELLAS Benoît**. Tesla : des batteries recyclables, comme des bouteilles en verre. *CNET France*. 31 janvier 2011 [date de consultation : 20 avril 2017].

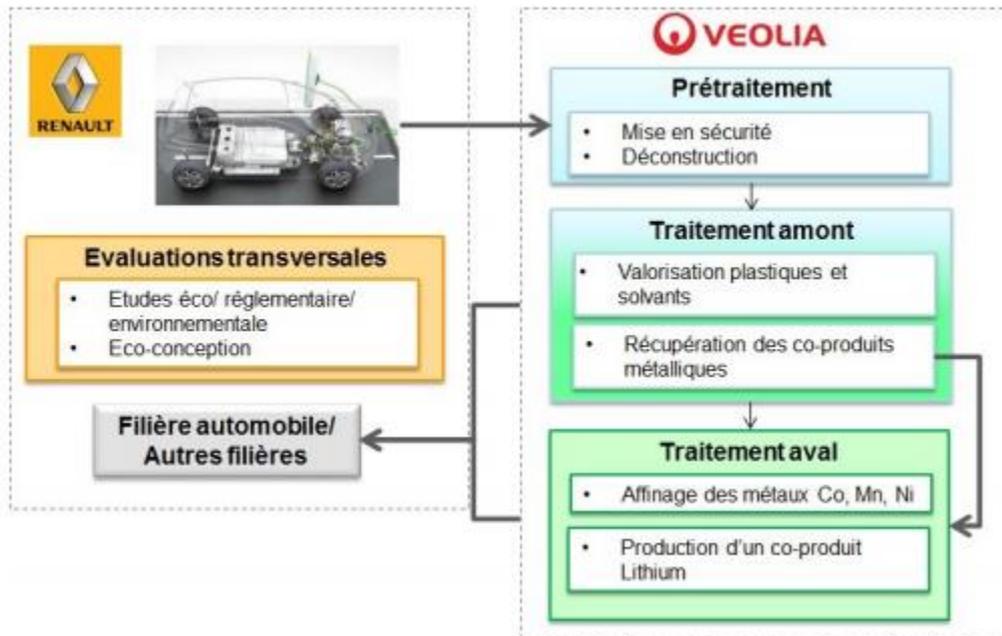
<http://www.cnetfrance.fr/cartech/recyclage-batterie-tesla-39757883.htm>

⁴⁴ **VERSET Jean-Claude**. La batterie : le côté obscur de la voiture électrique. *RTBF*. 27 avril 2016, [date de consultation : 25 avril 2017].

https://www.rtf.be/info/societe/detail_la-batterie-le-cote-obscur-de-la-voiture-electrique?id=9280221

⁴⁵ **TESLADDICT**. Batteries recyclables : bonnes nouvelles !. *Tesla Magazine*. 3 mai 2016, [date de consultation : 17 mars 2017].

<http://www.tesla-mag.com/batteries-recyclables-bonnes-nouvelles/>



Filière de recyclage des batteries Li-Ion des véhicules électriques⁴⁶

Un autre partenariat entre BMW et la Société Nouvelle d’Affinage des Métaux⁴⁷ (SNAM) est mis en place afin de recycler les batteries de véhicules électriques et hybrides du constructeur automobile, c’est-à-dire les technologies au lithium-ion et au nickel métal hydrure. Ici encore, plusieurs voies de recyclage interviennent, comme le stockage d’énergie ou encore la remise à neuf de la batterie en remplaçant les cellules endommagées et enfin le recyclage et la valorisation complète de la batterie, ce qui est plus difficile et devient plus coûteux à moyen terme⁴⁸.

Le groupe leader de recyclage de batteries RECUPYL⁴⁹ propose un traitement par hydrométallurgie : la batterie est immergée dans un liquide ce qui permet de retrouver les métaux sous leur forme ionique en solution. Les impuretés présentes dans cette solution sont ensuite éliminées et les métaux encore présents sont purifiés.

Grâce à cette méthode, ce sont près de 95 % des batteries qui sont recyclées. Le reste est mis en décharge ou incinéré⁵⁰.

⁴⁶ ADEME. *Création d’une filière de Recyclage des Batteries Li-Ion de Véhicules Électriques*. [recherche-ficheslaureats.ademe.fr > ademe/index/file/type/fichier/id/248](http://recherche-ficheslaureats.ademe.fr/ademe/index/file/type/fichier/id/248), consulté le 3 mai 2017

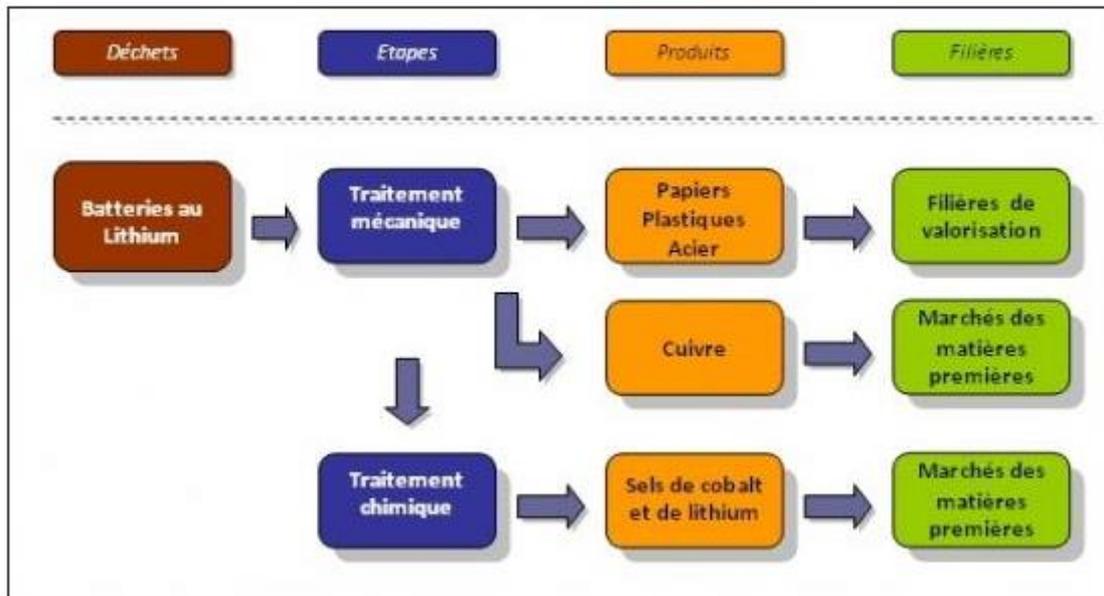
⁴⁷ <http://www.snam.com/>

⁴⁸ SPATH Fabrice. *Voitures hybrides et électriques : les batteries sont-elles-recyclées ?*. *Breezcar*. 4 juillet 2014, [date de consultation : 17 mars 2017]. <http://www.breezcar.com/actualites/article/recyclage-batteries-voitures-electriques-et-hybrides-bmw-i-et-activehybrid-0714>

⁴⁹ <http://recupyl.fr/>

⁵⁰ *Les voitures électriques... Pas si écologiques !. Les Batteries*.

<http://voitures-electriques-pas-si-ecologiques.e-monsite.com/pages/pas-si-ecologiques/les-batteries.html>, consulté le 17 février 2017



Les étapes du recyclage d'une batterie au lithium (RECUPYL)

La société de recyclage de batteries au plomb Toxco⁵¹ possède une usine de recyclage spécialisée dans le traitement des batteries au lithium-ion. Deux méthodes s'appliquent alors⁵²:

- Lorsqu'elles sont complètement déchargées, les batteries sont «déchiquetées» afin que les composantes métalliques telles que le cuivre et l'acier soient triées facilement.
- "Si les batteries possèdent encore une charge, elles sont congelées dans l'azote liquide et brisées en morceaux congelés. L'azote liquide est si froid que les batteries ne peuvent pas réagir tant que le broyage est sécuritaire." Les métaux sont ensuite séparés et sont prêts à servir pour une autre utilisation.

Le recyclage des batteries de la filière lithium-ion se révèle compliqué et difficile, mais des solutions pour récupérer les différents composants des batteries, même les plus complexes comme le lithium, voient progressivement le jour.

Peut-être même qu'un jour, les batteries des véhicules électriques utiliseront d'autres technologies que celle du lithium-ion, moins polluantes et tout aussi efficaces, si ce n'est plus.

En effet, de récents travaux menés à l'Université de Stanford aux Etats-Unis ont permis de mettre au point une batterie durable et dépourvue de lithium. Cette technologie à l'al-ion est aujourd'hui uniquement adaptable aux batteries des téléphones portables, mais elle pourrait peut-être se développer pour s'adapter aux batteries des véhicules électriques. Il faudrait alors améliorer considérablement la densité massique d'énergie de cette nouvelle

⁵¹ <http://toxcommc.com/>

⁵² TESLADDICT. Batteries recyclables : bonnes nouvelles !. *Tesla Magazine*. 3 mai 2016, [date de consultation : 17 mars 2017].
<http://www.tesla-mag.com/batteries-recyclables-bonnes-nouvelles/>

batterie⁵³.

On parle également d'autres technologies innovantes : les batteries du futur. Qu'elles utilisent le graphène (comme pour les batteries développées par la société espagnole Graphenano qui seraient jusqu'à quatre fois plus efficaces que les batteries actuelles), le sodium-air (projet lancé par le CNRS et le CEA français), ou encore la technologie lithium-air (technologie développée par des chercheurs britanniques qui permettrait une autonomie équivalente à celle des véhicules à essence ce qui permettrait à la voiture d'effectuer près de 120 000 kilomètres supplémentaires pour une batterie d'un poids cinq fois inférieur à celui des batteries actuelles), ces "batteries du futur" semblent constituer l'avenir des batteries du secteur automobile⁵⁴.

c) Les batteries domestiques



C'est en 2015 avec l'annonce de Powerwall, nouveau produit de Tesla que le marché des batteries électriques domestiques prend son essor.

En effet, au temps du réchauffement climatique et d'une pollution de plus en plus importante, de nombreux particuliers se tournent maintenant vers des sources d'énergie plus propres, comme les éoliennes domestiques ou les panneaux photovoltaïques.

Cependant, les moyens de stockage de l'énergie produite par ces derniers étaient jusqu'alors peu efficaces, ou la consommation devait se faire directement. Tesla a donc annoncé en 2015 l'arrivée de son nouveau produit baptisé Powerwall.

Powerwall c'est en fait une batterie électrique se fixant au mur capable de stocker l'énergie produite par une éolienne, des panneaux solaires ou bien le réseau électrique classique et permet la restitution de cette énergie en temps voulu.

Les batteries domestiques répondent donc à un vrai problème. Les moments de la journée où la consommation d'électricité atteint son maximum sont le matin et le soir, mais le soleil lui ne

⁵³ **LANGLOIS Pierre.** La nouvelle batterie Al-ion de stanford ; génial mais pas pour les voitures électriques. *Roulez Electrique*. 10 avril 2015, [date de consultation : 30 mars 2017].

<http://roulezelectrique.com/la-nouvelle-batterie-al-ion-de-stanford-genial-mais-pas-pour-les-voitures-electriques/>

⁵⁴ **VERSET Jean-Claude.** La batterie : le côté obscur de la voiture électrique. *RTBF*. 27 avril 2016, [date de consultation : 25 avril 2017].

https://www.rtf.be/info/societe/detail_la-batterie-le-cote-obscur-de-la-voiture-electrique?id=9280221

peut produire une énergie maximale qu'en milieu de journée, lors de bonnes conditions climatiques. Les batteries permettent donc le stockage de cette énergie produite en journée, et la restitution le soir, la nuit, le matin ou quand vous le voulez, lorsque le soleil n'est pas présent. Il en est de même pour les éoliennes, lorsqu'il n'y a pas de vent les batteries permettent un apport continu en électricité grâce à l'énergie stockée précédemment.

Le stockage de l'énergie provenant du réseau électrique permet quant à lui d'être à l'abri lors des pics de consommation ou de black-out. Cela permet aussi de faire quelques économies, en rechargeant la batterie en heures creuses lorsque l'électricité coûte moins cher, et de la réutiliser plus tard.

Toutefois, compte-tenu des tarifs de rachat de l'énergie, il est plus avantageux de revendre son énergie produite à EDF que de l'auto-consommer.

Il existe maintenant différents modèles de batteries électriques comme l'EcoBlade de Schneider Electric, xStorage Home de Nissan, Energy Storage Home de Mercedes-Benz ou bien LiEDO de Panasonic. On peut remarquer que la plupart de ces constructeurs sont aussi des constructeurs automobiles, notamment de voitures électriques.

Les batteries domestiques sont en effet un moyen pour les constructeurs de recycler les batteries de leurs voitures électriques en batteries domestiques. Celles-ci n'étant plus assez puissantes pour les besoins d'une auto, elles sont encore tout à fait capables de stocker et restituer de l'énergie.

La batterie des voitures électriques i3 et Mini électrique de BMW sera la première à être utilisée domestiquement exactement telle qu'elle est fabriquée. Elle sera donc reconvertie entièrement, contrairement aux autres constructeurs qui fabriquent des systèmes spécifiques constitués de cellules individuelles de batteries de voitures.



Source : <http://www.clubic.com/mag/maison-connectee/actualite-809984-batterie-domestique-bmw-independance-energetique.html>

Pouvons-nous alors compter sur une autonomie réelle et entière du réseau électrique?

A terme peut-être, mais pour cela il reste encore deux problèmes à résoudre : celui de la puissance de la batterie, et celui de l'installation chez le particulier qui permettra la production d'énergie.

En effet, la consommation moyenne d'un ménage français est de moins de 15 kWh⁵⁵ par jour mais la plupart des offres disponibles pour le moment sont des batteries ne dépassant pas les 10kW de stockage, à l'exception de deux, celle de BMW qui est déclinée sous deux modèles à 22 et 33kWh et la Powerwall 2.0 à 14 kWh. Celles-ci permettent donc de répondre facilement ou presque (pour la Powerwall) aux besoin journaliers d'un ménage.

Il est toutefois possible d'associer plusieurs batteries comme Powerwall par exemple afin d'agrandir sa capacité de stockage.

D'autre part, pour être tout à fait autonome, il faut d'abord produire son énergie avant de la stocker, il est donc nécessaire d'installer une mini-éolienne ou des panneaux solaires par exemple. Tesla a d'ailleurs lancé une gamme de tuiles pour les toits agissant comme des panneaux photovoltaïques, permettant de capter l'énergie du soleil sans installation apparente.



Source : <http://insideevs.com/tesla-solar-roof-and-powerwall-2-reveal-details/>

Etude de cas: Les îles Kauai et Ta'u

L'île Ta'u fait partie des Samoa américaines, dans l'océan Pacifique. Sa particularité est que son énergie provient à 100% de l'énergie solaire depuis 2016.

Grâce à 5328 panneaux solaires et 60 batteries PowerPack, qui sont le modèle de batteries créées par Tesla pour les entreprises avec une capacité de stockage bien supérieure à la Powerwall, l'île est maintenant complètement autonome et parvient à alimenter les 600 habitants. Elle peut tenir 3 jours sans aucun rayon de soleil et lorsque les batteries sont vides

⁵⁵<http://www.planetoscope.com/nucleaire/3-consommation-moyenne-electrique-d-une-famille-francaise-en-kwh-.html>

il suffit de 7 heures pour les recharger complètement.

Une telle installation permet donc à l'île d'économiser 440 000 litres de diesel importés tous les ans par bateau venus des Etats Unis.

C'est moins de quatre mois plus tard qu'Elon Musk, dirigeant de Tesla, décide de recommencer et a pour projet d'équiper Kauai, une île de 1446 km carrés située au nord de l'archipel d'Hawaï. Cette île peuplée d'environ 66 000 habitants dépend fortement des énergies fossiles, notamment le fioul afin de s'alimenter en électricité.

C'est donc conjointement avec Kauai Island Utility Cooperative, l'énergéticien local, que Tesla y installe 54 978 panneaux solaires reliés à 272 batteries PowerPack. Ainsi, l'énergie produite en journée est restituée la nuit ou lors des pics de consommation. D'après Tesla, ce serait près de 6 millions de litres de fioul qui seraient économisés chaque année.

Cependant, pour l'instant l'entreprise ne vend à l'énergéticien locale que l'énergie stockée dans les batteries, et les habitants de l'île ne pourront pas bénéficier directement pendant la journée de l'énergie produite par le soleil, ils recevront dans leurs foyers celle générée par la centrale thermique.

Toutefois ce territoire prévoit de devenir autonome énergétiquement d'ici 2040.





Installations sur l'île de Kauai

source:<http://www.designboom.com/technology/tesla-kauai-solar-farm-03-09-2017/>

La batterie domestique promet donc de subvenir, à terme, à ses propres besoins énergétiques, mais à l'heure actuelle le prix de l'électricité en France, bien que croissant, n'est pas encore assez élevé pour que l'installation de tels appareil soit rentable. Il faudra donc encore attendre quelques années avant de voir un réel intérêt pour nous dans ces batteries domestiques.

Partie 3 : Des batteries pour remplacer le réseau électrique

a) L'état des lieux en Afrique

L'urgence aujourd'hui est d'apporter l'électricité sur le continent africain. En effet, comme l'a dit dernièrement le président du Parlement panafricain, Roger Nkodo Dang, «75% des Africains n'ont pas accès à ces droits fondamentaux que sont l'éclairage et l'électricité»⁵⁶. Le continent africain héberge 15% de la population mondiale, mais représente seulement 3% de la demande mondiale en énergie primaire. Si on compare la situation africaine avec celle des autres pays seuls 42% des Africains ont accès à l'électricité, contre 75% dans les pays développés. Comme on l'observe sur la carte, les pays ayant un plus grand accès à l'électricité sont ceux qui sont les plus développés (par exemple l'Afrique du Sud consomme 5 060 kW par an).

Comme le dit justement Khaled Igué journaliste du Huffington post dans son article "L'énergie en Afrique, une situation alarmante" : "Cette faible consommation constitue un véritable frein à son « décollage » économique et social." En effet, l'énergie est la base de tout développement, qu'il soit économique ou social.

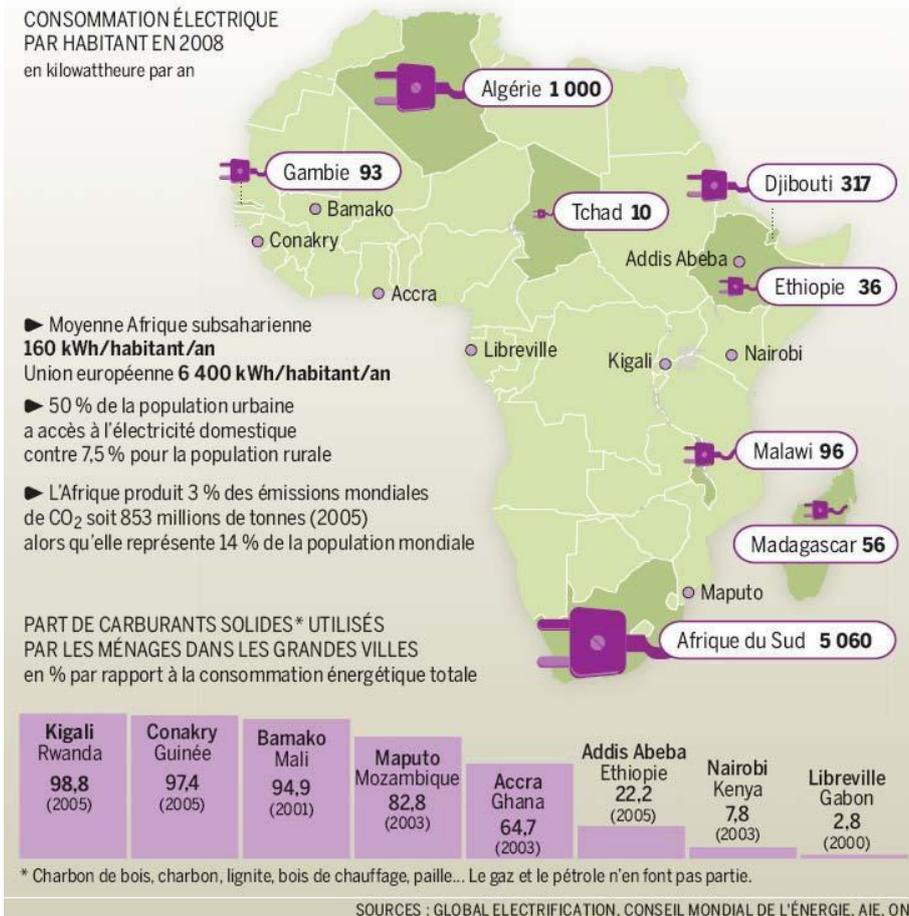
Or l'électricité qui est produite sur le continent africain est très onéreuse pour les ménages: le coût de revient d'un kWh pour un ménage africain peut monter jusqu'à 4 euros, contre 0,15 euro pour un ménage européen.⁵⁷

C'est pourquoi, comme nous le montre la carte suivante, c'est la consommation de charbon et de bois de chauffe qui est privilégiée, bien que cette énergie abordable pour les Africains soit polluante et néfaste pour la santé. En effet dans une grande ville comme Kigali au Rwanda (de plus d'un million d'habitants), la part de carburants solides utilisés par les ménages est de plus de 98% par rapport à la consommation énergétique totale.

⁵⁶ LaTribune.fr "Le « plan Marshall » pour l'électrification de l'Afrique prend forme"

⁵⁷ "L'énergie en Afrique, une situation alarmante"

De lourdes pénuries d'électricité



Source : global electrification, conseil mondial de l'énergie, AIE, ONU

Dans 30 ans le continent africain abritera 2 milliards d'habitants, par conséquent de nombreux projets sont mis en place afin d'électrifier l'Afrique de la meilleure façon possible.

b) Des projets pour l'électrification de l'Afrique

Comme nous l'avons vu précédemment, le continent africain tarde à s'électrifier pour de nombreuses raisons déjà mentionnées alors que les énergies renouvelables sont particulièrement abondantes sur le territoire.

Néanmoins, ces énergies renouvelables ne sont pas disponibles en continu. Prenons l'exemple de l'énergie solaire. Des panneaux photovoltaïques permettent de la transformer en électricité, seulement ils ne captent les rayons du soleil que le jour. Ainsi, en Afrique, où cette énergie est abondante, il y a une « sur-production » d'électricité la journée quand le soleil est présent, et elle est « perdue » la nuit tombée. Les batteries semblent être une solution possible à ce problème car elles permettent le stockage de l'électricité. Ainsi, il devient envisageable d'utiliser la nuit l'électricité ainsi produite le jour, et contribuer de cette façon à l'électrification de l'Afrique.

“Quand on parle de l'électrification d'un continent, on pense spontanément à de grands

réseaux centralisés : construction de kilomètres de lignes électriques et de grosses centrales sur le modèle de ce qui a été fait en Occident.” Voilà la constatation qu’établit la fondation Nicolas Hulot pour la Nature et l’Homme dans un article intitulé : “Electrifier l’Afrique par Jean-Louis Borloo et Nicolas Hulot”⁵⁸. Seulement il semblerait que la solution à adopter pour répondre à cette problématique en Afrique soit différente. En effet, il s’agirait plutôt de développer des solutions autonomes qui ne dépendraient pas d’un grand réseau et qui seraient différentes en fonction des régions du continent afin qu’elles s’adaptent aux installations locales. Ces solutions dites “autonomes” s’appuieraient finalement sur un réseau fondé sur l’utilisation des énergies renouvelables, en intégrant, par exemple, les capacités de stockage des batteries. Un tel système permettrait ainsi de pouvoir électrifier une partie du continent, ou du moins, répondre à certains besoins énergétiques légitimes, sans pour autant attendre les décennies nécessaires à la construction de grands réseaux électriques conformes aux installations occidentales (sans parler de la dimension du prix que cela coûterait). “La page de l’histoire électrique des pays d’Afrique reste largement à écrire : laissons-les développer le réseau du XXI^{ème} siècle. [...] Ne faisons pas l’erreur de reproduire les réseaux électriques occidentaux conçus avec les moyens et technologies du XX^{ème} siècle.”

Pour Alain Grandjean, cofondateur du cabinet de conseil Carbone 4 et membre du Comité stratégique de la Fondation Nicolas-Hulot qui s’exprimait en septembre 2009 dans une interview publiée dans le journal La Croix et recueillie par Jean-Claude Bourbon, les grands plans d’électrification de l’Afrique ont souvent été des échecs. Aujourd’hui, un élément de réponse à cette problématique semble être le développement de petites installations solaires et autonomes qui est possible grâce aux progrès effectués dans le domaine du stockage et également dans la baisse des coûts des panneaux photovoltaïques : « C’est un nouveau modèle de développement, complètement différent du nôtre, qui est en marche ». Il permettrait de répondre à des besoins locaux en énergie, même dans des endroits isolés. « L’Afrique peut devenir un laboratoire des énergies renouvelables ».⁵⁹ Également, l’Afrique pourrait atteindre ses objectifs d’électrification grâce à la construction de centrales photovoltaïques autonomes, soutenues par des batteries pour stocker l’énergie produite. C’est ce que nous renseigne Elham Ibrahim dans une interview donnée à « Rapprocher la science et le développement » intitulée “Q&R : 40 milliards de dollars pour électrifier l’Afrique”⁶⁰.

De plus en plus de projets s’appuyant sur les batteries comme stockage de l’énergie voient progressivement le jour :

Tout d’abord, Jean Louis Borloo, ancien ministre de l’écologie, a fondé en collaboration avec les 54 chefs d’Etats africains le projet Energies pour l’Afrique dont il est aujourd’hui le

⁵⁸ **Fondation Nicolas Hulot pour la Nature et l’Homme.** *Electrifier l’Afrique par Jean-Louis Borloo et Nicolas Hulot.* <http://www.fondation-nicolas-hulot.org/magazine/electrifier-lafrique-par-jean-louis-borloo-et-nicolas-hulot>, consulté le 28 avril 2017

⁵⁹ **BOURBON Jean-Claude.** Alain Grandjean : “L’Afrique peut devenir un laboratoire des énergies renouvelables”. *La Croix.* 30 septembre 2015 [date de consultation : 21 avril 2017]. <http://www.la-croix.com/Actualite/Monde/Afrique/Alain-Grandjean-L-Afrique-peut-devenir-un-laboratoire-des-energies-renouvelables-2015-09-30-1362923>

⁶⁰ **Science et Développement.** *Q&R : 40 milliards de dollars pour électrifier l’Afrique.* <http://www.scidev.net/afrique-sub-saharienne/energie/article-de-fond/40-milliards-de-dollars-pour-electrifier-l-afrique.html>, consulté le 21 avril 2017

président. Ce projet a pour objectif principal de connecter 600 millions d'Africains à l'électricité d'ici 2025, soit la moitié de la population du continent. Cela reflète bien l'état actuel de l'électrification en Afrique, en retard par rapport au reste du monde.

Comme l'indique le site internet Energies pour l'Afrique, "l'électricité est un préalable à l'agriculture, à la santé, à l'accès à l'eau, au développement économique, culturel, social, démocratique. L'obscurité appelle l'obscurantisme, quand la lumière appelle les Lumières."

Le projet s'engage donc au travers d'un fond de soutien à l'électrification de l'Afrique, c'est-à-dire un réceptacle unique à l'ensemble des initiatives et des investissements internationaux afin de développer l'accès à l'électricité sur l'ensemble du continent.

Cet organisme sera dirigé par les Etats africains eux-mêmes et sera exclusivement réservé à l'électrification du continent via le compte unique.

Ce projet de grande ampleur ne précise cependant pas clairement comment sera électrifiée l'Afrique, mais il montre l'intérêt important que porte le monde, et le continent lui-même sur le développement de son accès à l'électricité⁶¹.

Myrtille Delamarche nous parle d'un projet semblant innovant dans un article intitulé « Deux start-up françaises main dans la main pour électrifier l'Afrique » publié dans Usine Nouvelle le 11 novembre 2015. L'entreprise bordelaise Sunna Design, qui conçoit et produit notamment des lampadaires LED solaires tout-terrains, a entrepris une collaboration avec Lendosphere, une entreprise de financement participatif, afin de subventionner son projet. Ces deux start-up souhaitent développer des « lampadaires LED solaires intelligents à forte résistance climatique capables d'électrifier quatre foyers » c'est-à-dire des lampadaires fonctionnant grâce à l'énergie solaire et constituant également un "nanogrid" muni d'une batterie capable d'électrifier quatre foyers simultanément. Leur durée de vie serait de 10 ans, soit 50 000 heures sans maintenance. Ce système constitue un « nanogrid ». Il fonctionne notamment grâce à une batterie au nickel métal hydrures placée en haut du mât, ce qui a comme avantage qu'elle est plus difficile à voler. Comme nous le renseigne l'auteure de l'article, « la batterie est associée à une électronique de gestion innovante permettant d'adapter la solution aux besoins, par exemple en réduisant l'intensité lorsque l'ensoleillement a été faible dans la journée ».

Les utilisateurs auraient accès à ce dispositif avec une offre prépayée. C'est avec le même système d'offre prépayée que l'Afrique a su s'adapter à la téléphonie mobile.

Cet équipement permet l'accès à l'électricité pour un prix inférieur à celui du kérosène qui est présent dans la plupart des lampes en actuelles en Afrique. De plus, il serait rentabilisé en trois ans.⁶²

Au Kenya aussi, des projets d'électrification voient le jour. Gwladys Johnson en parle dans un article intitulé "Kenya : Xago Africa construira la première batterie de stockage à grande échelle d'énergie solaire", publié le 21 février 2017 sur agenceecofin.com. En effet, la société Xago Africa cherche à construire une batterie de stockage à grande échelle d'énergie solaire dans le pays. Si le projet était une réussite, cette batterie aurait la capacité de stocker

⁶¹ source : <http://www.energiespourlafrique.org/objectifs>

⁶² DELAMARCHE Myrtille. Deux start-up françaises main dans la main pour électrifier l'Afrique. *L'Usine Nouvelle*. 11 novembre 2015 [date de consultation : 2 mai 2017]. <http://www.usinenouvelle.com/article/deux-start-up-francaises-main-dans-la-main-pour-electrifier-l-afrique.N362339>

l'énergie produite par la centrale solaire de Siaya, soit une capacité de stockage de 40 MW. L'électricité alors produite par la centrale serait exploitable même une fois la nuit tombée. Issac Kiva, directeur des énergies renouvelables au ministère kényan de l'énergie nous informe que « le développement de cette technologie de stockage d'énergie positionnera le Kenya en tant que hub pour le développement de ce type d'énergie dans la région ».

Le Kenya, dont la capacité énergétique actuelle s'élève à 2 400 MW, espère voir augmenter le développement de la technologie de stockage de l'énergie solaire, dont la part représente aujourd'hui seulement moins de 1% de l'énergie consommée, alors que cette ressource est abondante dans le pays.⁶³

Le 8 février 2015, les Nigériens ont pu assister à la finale de la Coupe d'Afrique des nations grâce à une diffusion en direct du match sur des écrans géants qui avaient été installés pour l'occasion, nous raconte Mehdi Ba dans Jeune Afrique dans un article paru le 11 juin 2015, "Solaire : les Bluezones, des oasis électriques en plein désert". Dans cette région de l'Afrique où les coupures de courant sont fréquentes, et alors même que le site n'est pas connecté au réseau électrique, les supporters de football ont pu regarder le match sans craindre ni coupure d'électricité, ni de voir le match coupé. C'est avec un système qui fonctionne grâce aux batteries lithium-métal-polymère développées par Bolloré, couplées à des panneaux solaires fabriqués par Sunpower (filiale de Total Energie Développement) que cette installation est possible : de l'électricité fournie gratuitement 24 h/24.⁶⁴

IDSUD Energies Afrique, entreprise localisée au Maroc, propose avec sa Nheobox un système autonome et mobile de production d'énergies renouvelables. Il fonctionne grâce à la technologie photovoltaïque et la distribution d'électricité se fait à travers un micro-réseau. Cet équipement permet de répondre à des besoins énergétiques, et semble particulièrement pertinent pour les sites isolés, où seules les solutions autonomes paraissent être une réponse à la problématique d'électrification. Son utilisation peut se révéler utile après qu'une catastrophe naturelle survienne par exemple, mais cette boîte peut également se révéler d'une grande aide dans des régions rurales ou désertiques d'Afrique dans lesquelles l'accès au réseau traditionnel local est souvent difficile, voire impossible. De plus, la Nheobox a l'avantage de pouvoir "fournir une énergie maximale en tout lieu géographique et en toute saison". Ce système semble tellement innovant et idéal pour la situation précaire de l'Afrique que la société investit massivement en recherche et développement pour améliorer et perfectionner son produit^{65,66}.

Enfin, l'électrification du continent africain avance progressivement grâce à des petits projets autonomes qui s'adaptent aux différentes régions et aux traditions et cultures des populations locales. Les batteries électriques ont un grand rôle à jouer dans ce processus

⁶³ **Agence Ecofin.** Kenya : Xago Africa construira la première batterie de stockage à grande échelle d'énergie solaire. <http://www.agenceecofin.com/solaire/2102-45006-kenya-xago-africa-construira-la-premiere-batterie-de-stockage-a-grande-echelle-d-energie-solaire/>, consulté le 3 mai 2017

⁶⁴ **BA Mehdi.** Solaire : les bluezones, des oasis électriques en plein désert. *Jeune Afrique*. 11 juin 2015 [date de consultation : 2 mai 2017]. <http://www.jeuneafrique.com/234810/economie/solaire-les-bluezones-des-oasis-electriques-en-plein-desert/>

⁶⁵ **IDSUD Energies.** La nheobox : une innovation au potentiel indéniable. <http://www.idsud-energies.com/blog/nheobox-innovation-potentiel-indeniable/>, consulté le 5 mai 2017

⁶⁶ **IDSUD Energies.** Nheobox : la dernière édition. <http://www.idsud-energies.com/blog/nheobox-derniere-edition/>, consulté le 5 mai 2017

car elles permettent de combler les intermittences dues aux énergies renouvelables, qui se trouvent être la clé de la solution à ce problème d'électrification.

Conclusion

Le marché des batteries électriques est donc devenu une réalité. Cependant, n'étant encore que relativement récent, il fait face à différents problèmes inhérents à son développement dans les années à venir. Les coûts de production, la raréfaction des matériaux, le recyclage sont en effet des questions parmi d'autres auxquelles il faudra répondre le plus tôt possible.

Toutefois, l'avenir des batteries électriques est prometteur, et a un rôle important à jouer dans notre mode de consommation d'électricité quotidien.

Pour l'instant les batteries électriques sont développées principalement pour des modes de transport écologique, or de nombreuses recherches et projets montrent que les batteries pourraient dans un futur proche soulager le réseau électrique mais aussi peut être le remplacer pour des endroits plus reculés.

En effet, comme nous avons pu le voir, les batteries possèdent de multiples applications, telles que le véhicule-to-grid et le véhicule-to-home entre autres, qui pourraient être une solution à la consommation électrique grandissante, utilisant des formes d'énergies de plus en plus rares et polluantes.

Le marché de la batterie électrique semble certes très prometteur, mais il ne faut néanmoins pas en oublier les conséquences environnementales et sociales que peuvent poser les batteries électriques si elles ne sont pas recyclées. Plus particulièrement, il devient indispensable de progresser dans le domaine du recyclage des batteries au lithium-ion, car la « non récupération » de cette terre rare, polluante et difficile d'extraction est très coûteuse et empêche l'Europe d'être auto-suffisante dans cette ressource, ce qui constitue un frein au développement du marché européen des batteries électriques.

Enfin, nous sommes les témoins d'une transition énergétique très intéressante, comme le montrent les différents projets pour l'électrification de l'Afrique. Les principales solutions se trouvent dans l'utilisation de batteries électriques pour mieux gérer le réseau. Il s'agit de ne pas reproduire un réseau électrique victime des pics de consommation.

Alors peut-être vivrons-nous un jour de manière complètement autonome du réseau électrique grâce aux énergies renouvelables.

Il n'est cependant pas encore à notre avantage de nous déconnecter de ce réseau. Les prix de telles batteries ainsi que leur installation sont encore trop élevés pour pouvoir concurrencer les offres des fournisseurs d'électricité conventionnels.

Bibliographie

- [1] <http://www.dicodunet.com/definitions/sciences/batterie.htm>
- [2] "L'indétronable batterie Lithium-ion", *Innovation et Technologie*, n°595, février 2017, p50-55
- [3] "L'indétronable batterie Lithium-ion", *Innovation et Technologie*, n°595, février 2017, p50-55
- [4] Voiture Electrique, 27 janvier 2016, <http://www.voitureelectrique.net/la-baisse-du-prix-des-batteries-pour-aider-lindustrie-de-la-voiture-electrique-5121>, consulté le 30 mars 2017
- [5] Tesla, 26 février 2014 https://www.tesla.com/fr_FR/gigafactory, consulté le 1er avril 2017.
- [6] L'energyGEEK, 13 septembre 2017, <https://lenergeek.com/2016/09/13/production-de-batteries-une-filiere-industrielle-europeenne-encore-balbutiante/>, consulté le 1er avril 2017.
- [7] Bolloré, <http://www.bollore.com/fr-fr/activites/stockage-d-electricite-et-solutions>, consulté le 3 avril 2017.
- [8] Vehicle, "Batteries Lithium polymère", https://vehicules.com/wiki/Batteries_Accumulateurs_LMP_Lithium_ion_metal_polymere, consulté le 3 avril
- [9] E.H et E.K "Des batteries 1000 fois plus puissantes", *La Tribune hebdomadaire*, n°133, 5 juin 2015, page 8-9.
- [10] http://www.avere-france.org/Site/Article/?article_id=6923&from_espace_adherent=0
- [11] <http://news.autojournal.fr/news/1510831/Electrique-batterie-recharge-borne-autonomie>
- [12] Smart grids-cre, <http://www.smartgrids-cre.fr/index.php?p=vehicules-electriques-v2g>, 17 avril 2017
- [13] Smart grids-cre, <http://www.smartgrids-cre.fr/index.php?p=vehicules-electriques-v2g>, 17 avril 2017
- [14] Smart grids-cre, <http://www.smartgrids-cre.fr/index.php?p=vehicules-electriques-v2g>, 17 avril 2017
- [15] Breezcar, 29 mars 2015, <https://www.breezcar.com/actualites/article/vehicule-to-home-voiture-electrique-source-electricite-0315>, 4 mai 2017.
- [16] electric vehicle news, 20 décembre 2015, <https://evinfo.info/nissan-revive-car-to-grid-plan-with-enel/>, 18 avril 2017
- [17] Réseau Durable, 14 janvier 2016, <http://reseaudurable.com/vehicule-to-grid-un-systeme-experimente-par-nissan-et-enel-en-europe-en-2016/>, 18 avril 2017
- [18] Expert Véhicule électrique, <http://www.expert-ve.fr/smartgrid-et-v2grid.html>, 18 avril 2017
- [19] Expert Véhicule électrique, <http://www.expert-ve.fr/smartgrid-et-v2grid.html>, 18 avril 2017
- [20] Energystream, 4 mars 2013, <https://www.energystream-wavestone.com/2013/03/vehicule-to-grid-le-vehicule-electrique-au-servic-du-reseau/>, 18 avril 2017.
- [21] **SENET Stéphanie**. Les batteries des voitures électriques ont de l'énergie à revendre. *Journal de l'environnement*. 31 août 2016, [date de consultation : 27 avril 2017]. <http://www.journaldelenvironnement.net/article/les-batteries-des-voitures-electriques-ont-de-l-energie-a-revendre,74097>
- [22] **BEZIAT Eric**. L'automobile expérimente le stockage électrique. *Le Monde Economie*. 13 février 2017, [date de consultation : 3 mars 2017].

http://www.lemonde.fr/economie/article/2017/02/13/l-automobile-experimente-le-stockage-electrique-5078815_3234.html?xtmc=batterie&xtcr=11

[23] **GARRIGUES Arnaud.** Comment les batteries de véhicules électriques sont recyclés dans le stockage énergétique. *La Gazette des communes*. 11 janvier 2017, [date de consultation : 10 mars 2017].

<http://www.lagazettedescommunes.com/481071/comment-les-batteries-de-vehicules-electriques-sont-recyclees-dans-le-stockage-energetique/>

[24] **AMIOT Maxime.** Renault : quand le constructeur devient fournisseur d'énergie. *Les Echos*. 06 décembre 2016, [date de consultation : 3 mars 2017].

https://www.lesechos.fr/06/12/2016/lesechos.fr/0211568886810_renault---quand-le-constructeur-devient-fournisseur-d-energie.htm

[25] **SPAES Joël.** Recycler des batteries pour stocker intelligemment. *Green Univers*. 28 octobre 2016, [date de consultation : 30 mars 2017].

<https://www.greenunivers.com/2016/10/recycler-des-batteries-pour-stocker-intelligemment-152308/>

[26] **AVERE France.** Des batteries en seconde vie réutilisées pour la recharge rapide des véhicules électriques.

http://www.aver-france.org/Site/Article/?article_id=6451, consulté le 17 mars 2017

[27] **BEZIAT Eric.** L'automobile expérimente le stockage électrique. *Le Monde Economie*. 13 février 2017, [date de consultation : 3 mars 2017].

http://www.lemonde.fr/economie/article/2017/02/13/l-automobile-experimente-le-stockage-electrique-5078815_3234.html?xtmc=batterie&xtcr=11

[28] **SPATH Fabrice.** Voitures hybrides et électriques : les batteries sont-elles recyclées ?. *Breezcar*. 4 juillet 2014, [date de consultation : 17 mars 2017].

<http://www.breezcar.com/actualites/article/recyclage-batteries-voitures-electriques-et-hybrides-bmw-i-et-activehybrid-0714>

[29] **DURABLE.** *Le recyclage des batteries pour les voitures électriques.*

<http://voiture-electrique.durable.com/a-le-recyclage-des-batteries-pour-les-voitures-electriques>, consulté le 10 mars 2017

[30] **GRUPE CHIMIRE C.** *Recyclage et valorisation des déchets de batteries au plomb.*

<http://chimirec.fr/recyclage.et.valorisation.des.dechets.de.batteries.au.plomb-362800-4-24-28.php>, consulté le 24 mars 2017

[31] **Encyclopédie libre**

WIKIPEDIA. *Batterie au plomb - Recyclage.*

https://fr.wikipedia.org/wiki/Batterie_au_plomb#Recyclage, consulté le 7 avril 2017.

[32] **TESLADDICT.** Batteries recyclables : bonnes nouvelles !. *Tesla Magazine*. 3 mai 2016, [date de consultation : 17 mars 2017].

<http://www.tesla-mag.com/batteries-recyclables-bonnes-nouvelles/>

[33] **TORREGROSSA Michaël.** Le recyclage des batteries - Enjeu majeur pour la voiture électrique. *AVEM*. 26 mai 2010, [date de consultation : 13 mars 2017].

<http://www.avem.fr/actualite-le-recyclage-des-batteries-enjeu-majeur-pour-la-voiture-electrique-1506.html>

[34] **TESLADDICT.** Batteries recyclables : bonnes nouvelles !. *Tesla Magazine*. 3 mai 2016, [date de consultation : 17 mars 2017].

<http://www.tesla-mag.com/batteries-recyclables-bonnes-nouvelles/>

[35] **Global Metal.** *Qu'est-ce que les Terres Rares ?.*

<http://www.globalmetal.fr/terres-rares/qu-est-ce-que-les-terres-rares.html>, consulté le 25 avril 2017

[36] **GEO.** *Les terres rares, qu'est-ce que c'est ?*

<http://www.geo.fr/environnement/les-mots-verts/definition-terres-rares-scandium-yttrium-et-lanthanides-124433>, consulté le 25 avril 2017

[37] **Amis de la Terre.** *LITHIUM : nécessité et urgence d'introduire de nouveaux processus de collecte et de recyclage.*

<http://www.amisdelaterre.org/IMG/pdf/lithium.pdf>, consulté le 15 avril 2017

[38] **TORREGROSSA Michaël.** Le recyclage des batteries - Enjeu majeur pour la voiture électrique. *AVEM*. 26 mai 2010, [date de consultation : 13 mars 2017].

<http://www.avem.fr/actualite-le-recyclage-des-batteries-enjeu-majeur-pour-la-voiture-electrique-1506.html>

[39] **ROZIERES Grégory.** La Gigafactory de Tesla, le pari risqué d'Elon Musk pour révolutionner la voiture électrique. *Huffingtonpost*. 29 juillet 2016, [date de consultation : 31 mars 2017].

- http://www.huffingtonpost.fr/2016/07/28/Gigafactory-tesla-elon-musk-pari-fou-voiture-electrique_n_11238554.html
- [40] <http://www.umicore.fr/>
- [41] **TESLADDICT**. Batteries recyclables : bonnes nouvelles !. *Tesla Magazine*. 3 mai 2016, [date de consultation : 17 mars 2017].
<http://www.tesla-mag.com/batteries-recyclables-bonnes-nouvelles/>
- [42] **SOLIVELLAS Benoît**. Tesla : des batteries recyclables, comme des bouteilles en verre. *CNET France*. 31 janvier 2011 [date de consultation : 20 avril 2017].
<http://www.cnetfrance.fr/cartech/recyclage-batterie-tesla-39757883.htm>
- [43] **VERSET Jean-Claude**. La batterie : le côté obscur de la voiture électrique. *RTBF*. 27 avril 2016, [date de consultation : 25 avril 2017].
https://www.rtf.be/info/societe/detail_la-batterie-le-cote-obscur-de-la-voiture-electrique?id=9280221
- [44] **TESLADDICT**. Batteries recyclables : bonnes nouvelles !. *Tesla Magazine*. 3 mai 2016, [date de consultation : 17 mars 2017].
<http://www.tesla-mag.com/batteries-recyclables-bonnes-nouvelles/>
- [45] **ADEME**. *Création d'une filière de Recyclage des Batteries Li-Ion de Véhicules Électriques*.
[recherche-ficheslaureats.ademe.fr > ademe/index/file/type/fichier/id/248](http://recherche-ficheslaureats.ademe.fr/ademe/index/file/type/fichier/id/248), consulté le 3 mai 2017
- [46] <http://www.snam.com/>
- [47] **SPATH Fabrice**. Voitures hybrides et électriques : les batteries sont-elles recyclées ?. *Breezcar*. 4 juillet 2014, [date de consultation : 17 mars 2017].
<http://www.breezcar.com/actualites/article/recyclage-batteries-voitures-electriques-et-hybrides-bmw-i-et-activehybrid-0714>
- [48] <http://recupyl.fr/>
- [49] **Les voitures électriques... Pas si écologiques !. Les Batteries**.
<http://voitures-electriques-pas-si-ecologiques.e-monsite.com/pages/pas-si-ecologiques/les-batteries.html>, consulté le 17 février 2017
- [50] <http://toxcommc.com/>
- [51] **TESLADDICT**. Batteries recyclables : bonnes nouvelles !. *Tesla Magazine*. 3 mai 2016, [date de consultation : 17 mars 2017].
<http://www.tesla-mag.com/batteries-recyclables-bonnes-nouvelles/>
- [52] **LANGLOIS Pierre**. La nouvelle batterie Al-ion de stanford ; génial mais pas pour les voitures électriques. *Roulez Electrique*. 10 avril 2015, [date de consultation : 30 mars 2017].
<http://roulezelectrique.com/la-nouvelle-batterie-al-ion-de-stanford-genial-mais-pas-pour-les-voitures-electriques/>
- [53] **VERSET Jean-Claude**. La batterie : le côté obscur de la voiture électrique. *RTBF*. 27 avril 2016, [date de consultation : 25 avril 2017].
https://www.rtf.be/info/societe/detail_la-batterie-le-cote-obscur-de-la-voiture-electrique?id=9280221
- [54] <http://www.planetoscope.com/nucleaire/3-consommation-moyenne-electrique-d-une-famille-francaise-en-kwh-.html>
- [55] LaTribune.fr "Le « plan Marshall » pour l'électrification de l'Afrique prend forme"
- [56] "L'énergie en Afrique, une situation alarmante"
- [57] **Fondation Nicolas Hulot pour la Nature et l'Homme**. *Electrifier l'Afrique par Jean-Louis Borloo et Nicolas Hulot*.
<http://www.fondation-nicolas-hulot.org/magazine/electrifier-lafrique-par-jean-louis-borloo-et-nicolas-hulot>, consulté le 28 avril 2017
- [58] **BOURBON Jean-Claude**. Alain Grandjean : "L'Afrique peut devenir un laboratoire des énergies renouvelables". *La Croix*. 30 septembre 2015 [date de consultation : 21 avril 2017]. <http://www.la-croix.com/Actualite/Monde/Afrique/Alain-Grandjean-L-Afrique-peut-devenir-un-laboratoire-des-energies-renouvelables-2015-09-30-1362923>
- [59] **Science et Développement**. Q&R : 40 milliards de dollars pour électrifier l'Afrique. <http://www.scidev.net/afrique-sub-saharienne/energie/article-de-fond/40-milliards-de-dollars-pour-electrifier-l-afrique.html>, consulté le 21 avril 2017

[60] source : <http://www.energiespourlafrique.org/objectifs>

[61] **DELAMARCHE Myrtille**. Deux start-up françaises main dans la main pour électrifier l'Afrique. *L'Usine Nouvelle*. 11 novembre 2015 [date de consultation : 2 mai 2017]. <http://www.usinenouvelle.com/article/deux-start-up-francaises-main-dans-la-main-pour-electrifier-l-afrique.N362339>

[62] **Agence Ecofin**. Kenya : Xago Africa construira la première batterie de stockage à grande échelle d'énergie solaire. <http://www.agenceecofin.com/solaire/2102-45006-kenya-xago-africa-construira-la-premiere-batterie-de-stockage-a-grande-echelle-d-energie-solaire>, consulté le 3 mai 2017

[63] **BA Mehdi**. Solaire : les bluezones, des oasis électriques en plein désert. *Jeune Afrique*. 11 juin 2015 [date de consultation : 2 mai 2017]. <http://www.jeuneafrique.com/234810/economie/solaire-les-bluezones-des-oasis-electriques-en-plein-desert/>

[64] **IDSUD Energies**. La nheobox : une innovation au potentiel indéniable. <http://www.idsud-energies.com/blog/nheobox-innovation-potentiel-indeniable/>, consulté le 5 mai 2017

[65] **IDSUD Energies**. Nheobox : la dernière édition. <http://www.idsud-energies.com/blog/nheobox-derniere-edition/>, consulté le 5 mai 2017

Image de couverture : <https://www.theverge.com/2017/3/8/14854858/tesla-solar-hawaii-kauai-kiuc-powerpack-battery-generator>

L'île de Kauai à Hawaii, avec l'installation de Tesla PowerPack, fournissant toute l'île en électricité.