

**CONCOURS SUR ÉPREUVES D'ADMISSION
DANS LE CORPS DES OFFICIERS DE LA
GENDARMERIE NATIONALE**

Ouvert aux candidats titulaires d'un diplôme ou titre conférant le grade de master ou d'un diplôme ou titre homologué ou enregistré au répertoire national des certifications professionnelles au niveau I de la nomenclature française ou au moins de niveau 7 de la nomenclature européenne

- OG SCI -

SESSION 2021

ÉPREUVE DE SYNTHÈSE DE DOSSIER

(Durée: 04 heures – Coefficient: 04 – Note éliminatoire < 05/20)

La note de synthèse est construite selon un plan classique: introduction, développement, conclusion.

Elle est entièrement rédigée. Seules les grandes parties peuvent éventuellement être précédées d'un titre.

Elle doit être objective, dénuée d'appréciation personnelle.

Le candidat doit rédiger en 600 mots (tolérance + 10%) une note de synthèse claire, précise et concise.

Le dépassement du nombre de mots imposé pour la rédaction génère une pénalité fixée dans le tableau ci-dessous :

NOMBRE DE MOTS ÉCRITS PAR LE CANDIDAT	PÉNALITÉ CORRESPONDANTE
Rédaction de 661 à 670 mots	Moins 1 point
Rédaction de 671 à 680 mots	Moins 2 points
Rédaction de 681 à 690 mots	Moins 3 points
Rédaction de 691 à 700 mots	Moins 4 points
Rédaction de plus de 700 mots	Moins 10 points

Le véhicule électrique :

Entre dépendances, éthique et développement, le véhicule électrique est-il un compromis écologique acceptable pour les sociétés occidentales?

SOMMAIRE			
Pièce	Titre	Nombre de pages	Index
1	Voiture électrique : effet de mode ou solution d'avenir ? Source : Roman Lorencki – Fondation IFRAP – Septembre 2015	4	3
2	Enjeux du développement de l'électromobilité sur le système électrique Source : Rapport collectif (extrait) – Réseau de Transport de l'Electricité (RTE) – Mai 2019	5	7
3	Voiture électrique, une aubaine pour la Chine Source : Guillaume Pitron – Le Monde Diplomatique – Aout 2018	5	12
4	Métaux rares : la réouverture de mines en France est-elle envisageable ? Source : Giulietta Gamberini – La Tribune – 25 juillet 2018	1	17
5	L'Europe possède aussi de grandes réserves de Lithium ... et c'est le Portugal qui a la main dessus Source : Ludovic Dupin avec AFP – novethic.fr – 13 septembre 2018	1	18
6	Le nucléaire est-il bon pour l'environnement ? Source : Valérie Faudon – Total Foundation – 16 janvier 2019	2	19
7	Batterie Lithium-ion : comment ça marche ? Source : Anonyme – Total Foundation – 15 avril 2019	2	21
8	Bilan électrique 2019 (synthèse) Source : Rapport collectif - Réseau de Transport de l'Electricité (RTE) - édition 2020	2	23
9	L'électricité d'origine nucléaire dans le monde en 2018 Source : Anonyme - Total Foundation – 7 mars 2020	1	25
10	La face honteuse du « métal bleu » Source : Akram Belkaïd – Le Monde Diplomatique – juillet 2020	5	26
11	La guerre des terres rares aura-t-elle lieu ? Source : Camille Bortolini – Le Monde Diplomatique – Juillet 2020	3	31
12	Le recyclage des batteries lithium-ion : un enjeu stratégique pour l'Alliance européenne des batteries Source : Raphaël Damino-Perraud - Études de l'IFRI – 11 mars 2020	2	34
13	Les autonomies de voitures électriques peuvent-elle encore progresser? Source: Christophe Congrega - L'Automobile Magazine - 27 novembre 2020	2	36

Voiture électrique: effet de mode ou solution d'avenir?

Source: Roman Lorencki - Fondation IFRAP - Septembre 2015

À l'approche de la conférence sur le climat qui aura lieu à Paris en décembre prochain, la voiture électrique tente de s'imposer comme le seul moyen de transport individuel « propre » permettant de réduire nos émissions de gaz à effet de serre. Après les promesses déçues des agrocarburants de première génération, le véhicule électrique est présenté - notamment en France - comme le miracle technique tant attendu pour verdir l'industrie automobile et sauver notre planète. L'État suit la tendance avec de nombreuses aides et incitations financières. Vaste coup médiatique ou véritable solution ?

Contexte

Après une tentative timide dans les années 90, la voiture électrique fait son grand retour grâce à une performance en hausse (autonomie, cycles de charge/décharge), un prix du pétrole qui ne manquera pas de remonter, mais aussi à de fortes incitations de l'État.

Le parc français de véhicules particuliers et d'utilitaires légers électriques et hybrides est actuellement le premier européen (environ 200.000 unités) et le troisième mondial derrière les États-Unis et le Japon. Les ventes à destination des particuliers, qui restent faibles, connaissent toutefois une forte progression depuis plusieurs années. Elles étaient d'environ 2.500 en 2011. En 2013, elles s'élevaient à 8.779. Les 6 premiers mois de 2015, il s'en est déjà vendu 7.900. Sur cette période la voiture électrique d'entrée de gamme, Zoé de Renault, tire son épingle du jeu avec 61,5% des parts de marché. Elle distance largement la Nissan Leaf et la Bluecar de Bolloré qui se partagent respectivement 14,8% et 6,3% des ventes. La berline modèle S de Tesla au prix catalogue de 76.300 euros arrive en quatrième position avec 4,1% de parts de marché pour seulement 326 véhicules écoulés. Si en 2010, il n'existait que 3 à 4 modèles, la gamme s'est considérablement étoffée depuis.

La France dispose du premier parc européen de bornes de recharge, notamment grâce aux 5.000 points de charge d'Autolib. Malgré tout, le réseau est encore insuffisant pour rassurer les potentiels acheteurs de véhicules électriques. La peur de la panne, voilà ce qui freine le développement de ce marché. D'autant plus que de fortes disparités existent sur l'ensemble du territoire.

Le temps de charge, constitue une autre entrave à l'expansion de la mobilité électrique. Celui-ci est d'une dizaine d'heures à domicile (220 V, 10-20A). Le réseau de bornes déployé permet en général de recharger son véhicule dans un laps de temps compris entre 4 et 6 heures. Les bornes à charge rapide, destinées à recouvrer 80% de la capacité d'une batterie en moins de 30 minutes, sont insuffisantes. Fin 2015 on devrait en compter environ 500, le prix d'installation de 15.000 euros reste dissuasif, notamment pour les collectivités locales.

Une filière largement soutenue par l'État

L'Etat français n'est pas étranger à cette montée en puissance de la voiture électrique en offrant un important soutien public à leur développement. Loin de se contenter d'avoir aidé à l'avènement d'une motorisation performante via des aides publiques de recherche, il propose de subventionner l'achat d'une voiture électrique dans une première phase d'amorçage de la filière pour les rendre plus compétitives face aux voitures thermiques. La Renault Zoé profite ainsi de 7.000 euros de « bonus écologique », ce qui lui permet d'abaisser son prix à 13.500 euros. Depuis le premier avril, ces incitations ont encore augmenté lorsqu'on se débarrasse d'un vieux diesel. La prime de conversion peut désormais atteindre jusqu'à 10.000 euros pour l'achat ou la location de plus de deux ans d'un véhicule 100% électrique (qui émet moins de 20 g de CO₂/km), et jusqu'à 6.500 euros pour une voiture hybride rechargeable (21 à 60 g de CO₂/km), à condition de mettre à la casse une voiture diesel mise en circulation avant le 1er janvier 2001.

Autre coup de pouce en faveur de l'électrique, une commande groupée décidée en 2010 entre des entreprises publiques, 18 entreprises privées, des collectivités locales et l'État, a abouti à une procédure d'achat de 50.000 véhicules électriques. Les livraisons des véhicules sont prévues jusqu'en 2016. De plus dans le cadre des Investissements d'avenir, l'État a confié à l'Ademe le rôle d'opérateur du programme « véhicule du futur », doté de 1 milliard d'euros. Au travers de ce programme, l'État accompagnera les collectivités pilotes s'engageant dans le déploiement des infrastructures de recharge pour véhicules hybrides ou électriques rechargeables. Les collectivités locales ne sont pas en reste dans le développement du véhicule électrique. Elles ont notamment accompagné cet élan grâce au développement du système d'autopartage proposant des voitures électriques (Autolib' à Paris, BlueLy à Lyon).

Enfin, une proposition de loi a été votée en mai 2014, «facilitant le déploiement d'un réseau d'infrastructures de recharge de véhicules électriques sur 2/13 de l'espace public», l'objectif étant de mettre en place, d'ici à

la fin 2014, 8.000 points de charge en plus des 8.000 existants ou programmés. Jusqu'à 2020, le coût global des infrastructures est estimé à 2,8 milliards d'euros. Ces coûts incluent le coût d'investissement, le coût de génie civil, le coût de raccordement au réseau et les frais de maintenance et de renouvellement. Bien que les bornes publiques représentent seulement 30% de l'ensemble, elles pèsent pour 70% du coût total, soit 1,8 milliard d'euros.

La « voiture propre » n'existe pas

La voiture électrique n'émet directement aucun polluant au niveau local, ce qui représente des arguments de taille en faveur de la qualité de l'air et de la vie en ville. Pour autant la voiture électrique ne peut être qualifiée de « propre » comme s'en est targué Renault pour sa voiture Zoé « *Pour lutter contre la pollution, roulez en voiture* ».

Tout d'abord il a fallu produire la voiture et le fait qu'elle soit électrique ne rend pas plus vert le processus de fabrication. Comme pour une voiture ordinaire, il faut extraire de nombreuses matières premières (des minerais de fer, de cuivre, de manganèse, de nickel, d'or et de platine, et de divers autres métaux) et tout cela engendre des pollutions locales. Comme pour une voiture ordinaire, il faut désormais fabriquer des composants électroniques, avec des procédés qui sont tout aussi néfastes pour l'environnement. Comme pour une voiture ordinaire, il faut produire du plastique, donc extraire du pétrole...

Mais la voiture électrique nécessite l'emploi de ressources jusqu'ici relativement absentes des voitures thermiques (lithium, terres rares). Une massification des voitures électriques entraînera mécaniquement une forte hausse de la demande mondiale pour ces matières premières nécessaires à la fabrication des batteries. Tout comme nous dépendons d'une poignée de pays pour l'accès au pétrole ou à l'uranium, cette même relation de dépendance se présente pour l'accès à ces ressources. Pour l'instant, la Chine se trouve en quasi-monopole sur l'exportation des terres rares, et le lithium est produit presque exclusivement en Amérique latine (Chili, Bolivie, Argentine), en Australie et encore une fois en Chine. Cette situation de dépendance est évidemment à prendre en compte sur les plans géopolitique et économique dans tout projet de généralisation de la mobilité électrique. En outre, la production de ces batteries nécessite une importante industrie métallurgique et chimique qui par ailleurs demande autant d'énergie que pour fabriquer le reste de la voiture. De plus la fin de vie de ces dernières est pour l'instant un problème qui reste en suspens.

Dès le départ le véhicule « propre » a du plomb dans l'aile. Regardons si le bilan est plus positif dans la deuxième partie de sa vie, une fois que le particulier, tout seul au volant de sa voiture électrique, se vante d'être un citoyen respectueux de l'environnement.

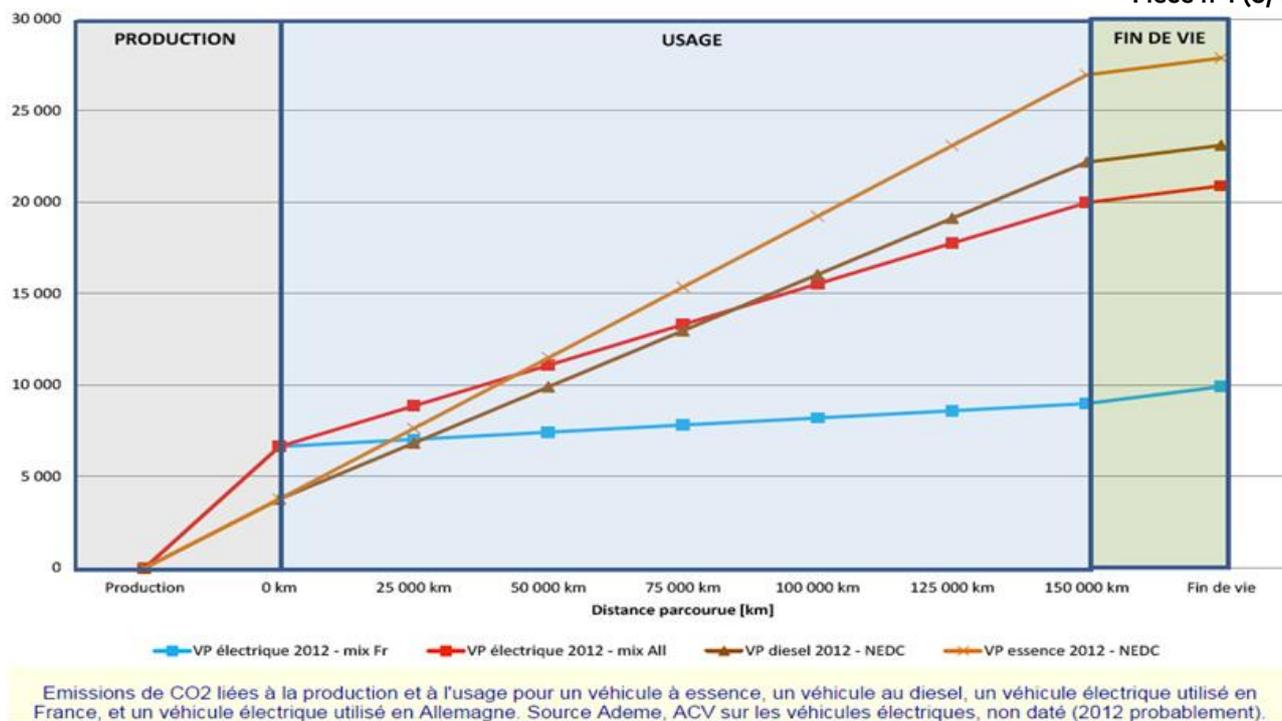
La voiture électrique n'a pas de pot d'échappement, elle ne rejette pas de CO₂. C'est bon, cette fois nous y sommes, un véhicule vert qui ne consomme que de l'électricité. Pas si simple. En effet, le cœur du problème en termes d'émission et d'impacts environnementaux des voitures électriques, n'est pas dans l'analyse des émissions directes, mais bien celle prenant en compte les émissions de la production énergétique. Ainsi, l'éventuel avantage environnemental des voitures électriques par rapport aux voitures thermiques réside dans cette question de la production électrique. La voiture électrique ne peut pas se targuer d'être une voiture propre ou décarbonée si son énergie provient du charbon, du pétrole ou du nucléaire.

Or, actuellement, la production électrique mondiale est faite :

- pour environ 40% avec du charbon (cette proportion monte à 50% pour les USA ou l'Allemagne, et plus encore en Pologne ou en Australie), qui est la plus sale des énergies que nous utilisons ;
- pour environ 25% avec du gaz ;
- pour environ 5% avec des produits pétroliers (fioul lourd le plus souvent) ;
- pour environ 13% avec du nucléaire ;
- pour environ 15% avec des barrages ;
- et... pour moins de 3% avec de l'éolien (et moins de 0,3% avec du photovoltaïque).

Résultat, la production électrique mondiale crache plus de CO₂ que la totalité des moyens de transport.

Certes, la France, première puissance nucléaire au monde, présente un profil intéressant sur le plan de l'impact carbone de sa production électrique (73,3% de sa production vient du nucléaire). Mais un tel ratio est loin d'être la norme. Si l'électricité est bien décarbonée (cas de la France), alors les émissions de gaz à effet de serre sur l'ensemble du cycle sont significativement plus faibles que pour un véhicule à pétrole. Mais avec le "mix moyen mondial", dont l'Allemagne est proche (les États Unis aussi), la voiture électrique présente le même bilan que le véhicule à pétrole (graphique ci-dessous).



Autre problème sur lequel il faut se pencher quand on parle de développement du véhicule électrique : la hausse de la consommation. Sur ce point il est difficile de se faire une idée précise tant les modes de calcul et les estimations divergent.

L'ADEME, dans son rapport Enjeux, consommations électriques, émissions CO₂ des transports électriques à l'horizon 2020 – 2030, prévoit que la consommation électrique du million de véhicules électriques en circulation en 2020 serait de 2,2 TWh, soit un peu moins de 0,5% de la consommation nationale d'électricité annuelle (489,5 TWh en 2012 selon RTE). Cela représente une économie d'émission d'environ 2,2 Mt de CO₂ à l'échelle nationale (sur 124 Mt de CO₂ émis par les transports et 299 Mt émis tous secteurs confondus en France en 2012, selon CITEPA). Étendue à tout le parc actuel (environ 30 millions de voitures), cette estimation porte à 66 TWh la consommation électrique d'un modèle automobile français exclusivement électrique, soit 13% de la consommation électrique actuelle. D'autres sources parlent, pour électrifier l'ensemble de notre parc automobile actuel, et à performance identique, d'une hausse du besoin d'électricité équivalent à 50% de notre consommation actuelle (soit environ la construction de 18 EPR supplémentaires).

Si le développement restait limité autour de 4 millions d'unités sur un parc total de près de 35 millions de véhicules, l'intégration au système électrique serait aisée, mais la contribution globale de réduction des émissions de CO₂ resterait faible et limitée. À l'inverse, si la généralisation des VE devait être plus ambitieuse, se poseraient alors des questions stratégiques sur le système électrique.

Conclusion

Parmi toutes les inconnues et hypothèses qui l'entourent, nous avons une certitude : la voiture électrique n'est pas une voiture propre. Outre sa fabrication, son impact sur les émissions de gaz à effet de serre dépend de l'origine de la production et peut s'avérer plus néfaste que les voitures thermiques si l'électricité est produite à partir de charbon. En France, le bilan carboné de notre électricité est bon mais quid des problèmes liés à la filière nucléaire (risque d'accident, gestion des déchets) ? Le véhicule électrique est une idée aussi bonne que le contexte dans lequel il prend place.

La voiture électrique présente tout de même des avantages à faire valoir pour s'inscrire dans la mobilité durable, et plus particulièrement pour les flottes captives et partagées (véhicules de collectivités locales, auto-partage en milieu urbain, transports en commun, certains véhicules professionnels...). Autre avantage, la voiture électrique peut permettre un transfert de la pollution diffuse des voitures thermiques vers une pollution concentrée pour les centrales utilisant des combustibles fossiles, autorisant au passage de capter une partie des rejets.

Le soutien de l'État en faveur de la mobilité électrique permet à l'industrie française automobile de ne pas décrocher sur le plan technologique alors que le marché promet d'exploser dans les années à venir. De plus, les incitations financières pour le remplacement des vieux diesels paraissent plus qu'opportunes au vu de la noci

tivité des particules fines qu'ils dégagent. Néanmoins, ce soutien peut poser question dans la mesure où la voiture électrique n'est pas une solution pérenne pour surmonter le défi climatique. L'État, via ces aides pense davantage au futur développement du marché de la voiture électrique et à ses éventuelles retombées économiques, qu'au futur de la planète.

Une politique publique de promotion des véhicules électriques cohérente ne peut donc se penser sans le principe de précaution et sans une transition énergétique ambitieuse privilégiant les énergies décarbonées.

Enjeux du développement de l'électromobilité sur le système électrique
Source: Rapport collectif (extrait) - Réseau de Transport d'Electricité (RTE) - Mai 2019

**L'ÉTAT DES LIEUX INITIAL :
 DES PREMIERS ENSEIGNEMENTS SUR L'INTÉGRATION DE L'ÉLECTROMOBILITÉ AU SYSTÈME ÉLECTRIQUE
 DANS LE BILAN PRÉVISIONNEL 2017 DE RTE**

1.1 L'essor de la mobilité électrique est désormais une certitude et son intégration au système électrique doit être préparée

En France, la consommation énergétique du secteur des transports représente près de 30% de la consommation énergétique finale et près de 40% des émissions de gaz à effet de serre, dont 95% est émis par le transport routier. C'est le seul secteur dont les émissions ont augmenté de façon continue depuis 1990. Les ambitions publiques en matière de réduction des émissions de gaz à effet de serre et notamment l'objectif de neutralité carbone à horizon 2050 découlant de l'accord de Paris, impliquent de réduire très fortement les émissions de ce secteur.

Outre les émissions de gaz à effet de serre, le secteur des transports induit des impacts environnementaux locaux (nuisances sonores, pollution de l'air, etc.) qui affectent la qualité de vie et la santé des français. À ce titre, la transition du véhicule thermique vers d'autres types de mobilité figure également parmi les priorités du Gouvernement.

Face à ces problématiques environnementales et de santé publique, les pouvoirs publics, aux niveaux européen, national et local, mettent en place des politiques publiques visant à faire émerger une mobilité plus propre. Ces différents outils portent à la fois sur l'offre et la demande de transport, et prennent la forme de mesures prescriptives ou d'incitations financières : objectifs contraignants pour les constructeurs sur les émissions moyennes des nouveaux modèles commercialisés, mise en place de «zones à faible émissions» (ZFE), prime à la conversion, bonus-malus écologique, taxe carbone, défiscalisation de la recharge de véhicules électriques fournie par une entreprise à ses salariés, exonération de la taxe sur les véhicules de société pour les véhicules propres, etc.

La maîtrise des impacts environnementaux des transports s'appuiera sur différentes solutions : report modal vers les transports en commun ou la mobilité douce, développement du covoiturage et sobriété mais également développement de différentes solutions techniques de mobilité propre (véhicules tout électriques, véhicules hybrides rechargeables, véhicules à hydrogène, véhicules au gaz naturel, etc.).

Parmi ces solutions, les véhicules électriques représentent aujourd'hui la principale solution envisagée pour réduire les émissions de gaz à effet de serre du transport routier, en s'appuyant sur un parc de production d'électricité peu carboné. Si les véhicules électriques ne constituent pas la seule solution pour décarboner le secteur des transports, leur développement est sensiblement plus avancé que celui des technologies propres alternatives. Bien qu'encore modeste à l'heure actuelle, la part de marché du véhicule électrique s'inscrit dans une trajectoire de fort développement en France mais également au niveau mondial.

Si la dynamique précise de pénétration de la mobilité électrique à moyen terme reste soumise à plusieurs incertitudes, il apparaît désormais très probable que le véhicule électrique devrait se développer fortement au cours des prochaines années. Ainsi, les différentes projections des constructeurs (scénarios de la Plateforme française automobile – PFA) et des pouvoirs publics (ambitions de la Programmation pluriannuelle de l'énergie et de la Stratégie nationale bas carbone) tablent sur un nombre de véhicules électriques en circulation en France de plus d'un million d'unités à l'horizon 2022-2023, de 4,8 millions en 2028 (échéance de la PPE), et pouvant atteindre 7 à 16 millions d'unités (véhicules particuliers et véhicules utilitaires légers) en 2035 (soit entre près de 20% et plus de 40% du parc total). Le développement devrait concerner en premier lieu essentiellement les véhicules particuliers et véhicules utilitaires légers mais devrait à terme également porter sur les véhicules lourds (bus et camions électriques).

Le développement massif du véhicule électrique constitue un défi et une évolution structurante pour les secteurs de l'énergie et des transports, et la réussite de ce développement nécessite que plusieurs conditions soient remplies. Outre les problématiques liées à l'accessibilité des bornes de recharge ou à l'évolution industrielle de la filière automobile, la maîtrise de la sécurité d'approvisionnement en électricité, des impacts environnementaux et des coûts pour la collectivité et pour l'utilisateur sont des facteurs de nature à faciliter l'intégration de la mobilité électrique.

Ces problématiques suscitent cependant encore des interrogations. Une partie d'entre elles portent notamment sur la capacité du système électrique à assurer l'approvisionnement en énergie de millions de véhicules électriques, ou encore sur l'intérêt de déployer des solutions de pilotage de la recharge des véhicules. Ces problématiques doivent faire l'objet d'études détaillées afin d'anticiper les impacts du développement de l'électromobilité et de préparer le système électrique à l'intégration massive de ce nouvel usage.

1.2 Le Bilan prévisionnel 2017 a montré la faculté du système électrique à intégrer un nombre massif de véhicules électriques sous réserve d'un minimum de pilotage de la recharge

En 2017, RTE a apporté des premiers éclairages sur les impacts du développement de l'électromobilité dans le cadre du Bilan prévisionnel, établi chaque année au titre du Code de l'énergie.

Les scénarios de long terme construits en concertation avec les parties prenantes du secteur électrique et publiés dans l'édition 2017 du Bilan prévisionnel intègrent ainsi différentes trajectoires contrastées de développement de l'électromobilité, atteignant jusqu'à 15,6 millions de véhicules électriques à horizon 2035. Les scénarios Volt et Ampère, utilisés par le Gouvernement pour établir le scénario de la PPE (programmation pluriannuelle de l'électricité), prévoient notamment des trajectoires soutenues de développement de la mobilité électrique.

L'objectif des analyses réalisées dans le Bilan prévisionnel 2017 n'était pas de prédire la dynamique de pénétration du véhicule électrique mais de tester la résilience du système électrique à un développement massif de cette technologie. En particulier, les études menées sur le scénario «haut» de développement de la mobilité électrique ont démontré, en première approche, la faculté du système à accueillir jusqu'à 15 millions de véhicules électriques d'ici 2035 sans difficulté majeure.

Ces analyses aboutissent à une double conclusion :

- Sur la consommation en énergie, les analyses du Bilan prévisionnel ont montré qu'il n'existait pas de doutes sur la capacité du système électrique à produire la quantité d'énergie nécessaire à la recharge de plusieurs millions de véhicules, dans un contexte de baisse de consommation observée sur les autres usages. Ainsi, la consommation annuelle de 15,6 millions de véhicules électriques représenterait environ 35 à 40 TWh d'électricité, soit moins de 8% de la production d'électricité totale en France.
- Sur les appels de puissance, un point de vigilance était identifié sur la maîtrise de la pointe du soir en hiver, mais la faculté d'absorber une flotte massive de véhicules électriques semble attestée et dès lors que des solutions simples de pilotage (par exemple, asservissement tarifaire sur le signal heures pleines/heures creuses de manière similaire au dispositif utilisé aujourd'hui pour l'eau chaude sanitaire) sont mises en place pour une partie du parc de véhicules électriques.

Ces résultats étaient établis sur une représentation simplifiée des besoins de mobilité, l'essentiel de l'analyse portant sur les caractéristiques principales des scénarios de transition (évolution du parc nucléaire, des énergies renouvelables et du parc thermique, régimes d'évolution de la consommation, politiques énergétique des pays voisins, etc.).

L'ENJEU DE L'ÉTUDE APPROFONDIE : UNE BONNE COMPREHENSION DES DETERMINANTS ET DES PARAMETRES CLÉS POUR LE SYSTÈME

2.1 Les besoins de mobilité : une analyse détaillée, basée sur les données de l'enquête nationale transports et déplacements

Caractériser précisément les formes de mobilité des véhicules électriques est essentiel pour modéliser leur impact sur le système électrique dans une approche de prévision ou de prospective.

Ceci implique de disposer d'une évaluation robuste des distances parcourues (et des vitesses) – qui conditionneront la consommation en énergie – mais aussi d'identifier les types de trajets effectués, les heures et lieux de départ et d'arrivée qui détermineront à quels instants les utilisateurs sont susceptibles de charger leurs véhicules et avec quelle puissance, ou encore de caractériser les services de flexibilité que ces véhicules peuvent rendre au système électrique sans contraindre la mobilité des utilisateurs.

La représentation des besoins de mobilité et de leur évolution utilisée pour ces travaux repose sur l'étude détaillée des habitudes de transport et de leurs projections, et notamment :

- une analyse détaillée des caractéristiques de la mobilité actuelle au sein des différentes catégories de population, issue des enquêtes sur les habitudes de déplacement (en particulier l'enquête nationale transports et déplacements) ;
- l'établissement de plusieurs projections différenciées sur l'évolution de ces besoins de mobilité (tenant compte du développement du télétravail, du covoiturage, etc.) ;
- des hypothèses prospectives sur la diffusion de l'électromobilité parmi les différents profils d'utilisateurs.

L'enquête nationale transports et déplacements (ENTD) réalisée en 2008 fait office de document de référence sur les habitudes de mobilité. Elle fournit des informations détaillées sur la mobilité actuelle du parc de véhicules légers, les différents types de trajets (motifs, lieux d'origine et de destination, distances parcourues, horaires de départ et d'arrivée, selon les jours et selon les catégories d'utilisateurs). L'analyse détaillée des données de l'enquête permet ainsi de dresser un état des lieux factuel sur la mobilité des français, potentiellement différent des représentations implicites que peuvent s'en faire les uns et les autres.

Elle permet de révéler plusieurs caractéristiques marquantes de la mobilité :

- Chaque jour ouvré, seulement 30 % des véhicules sont utilisés pour réaliser des trajets domicile-travail et 7% des véhicules sont utilisés pour des trajets professionnels. Les autres véhicules ne sont utilisés que pour d'autres types de déplacements locaux (33%), pour des déplacements longue distance (2%) ou ne se déplacent pas du tout (28%).
- Parmi les véhicules qui sont utilisés pour des trajets domicile-travail, une partie significative (15%) rentrent à leur domicile pour la pause méridienne. Il s'agit d'une spécificité française.
- Seulement 15% des distances parcourues annuellement par un véhicule correspondent à des trajets de plus de 250 km, susceptibles de dépasser l'autonomie typique d'un véhicule électrique actuel.
- La distance moyenne parcourue chaque jour par un véhicule utilisé pour la mobilité locale est d'environ 35 à 40 km, ce qui signifie que l'autonomie typique d'un véhicule électrique actuel permet de réaliser l'équivalent d'une semaine de déplacements moyens.

Ce sont ces caractéristiques «intrinsèques» qui détermineront le profil des appels de charge sur le système électrique et les marges de manœuvre envisageables pour piloter la recharge. Typiquement, les besoins de recharge d'un véhicule concerné par un trajet longue distance seront très contraints – mais peu de véhicules sont concernés chaque jour. A contrario, la large majorité des véhicules qui réalisent des trajets «locaux» (70% des véhicules en semaine, 48% le dimanche) ou ne sont pas utilisés (28% des véhicules en semaine, 50% le dimanche) disposeront de plus de latitude pour piloter leur recharge.

Ces caractéristiques apparaissent d'emblée favorables au développement du véhicule électrique, et à une recharge choisie – plutôt que subie – par l'utilisateur.

2.2 Le pilotage de la recharge : une analyse systématique des différentes variantes envisageables

Le véhicule électrique en tant que consommation «pilotable » selon l'état du système

Un véhicule particulier est majoritairement un objet statique : la majeure partie du temps, il est stationné – souvent à domicile ou sur le lieu de travail –, et beaucoup plus rarement, il est utilisé (4% du temps en moyenne). Au niveau de tout le pays, même lors des heures de déplacement les plus chargées, moins de 10% du parc de véhicules est en circulation.

Une partie des véhicules en stationnement ne peuvent pas être systématiquement raccordés à une borne. Par exemple, 6 millions de ménages en France parmi ceux qui possèdent au moins une voiture n'ont pas accès à une place de stationnement à usage privé. L'accès à la recharge sur le lieu de travail constitue également un enjeu. Néanmoins, même en intégrant ces facteurs, de nombreuses voitures sont très souvent immobiles à proximité immédiate d'un point de recharge. Dès lors que le véhicule électrique est largement adopté et qu'un nombre suffisant de points de charge existent, un nombre important de véhicules électriques pourront être raccordés au système en quasi permanence : pour tous ces véhicules, des marges de manœuvre réelles existent sur le positionnement de la recharge.

De plus, l'analyse des données sur la mobilité des français montre que les périodes de stationnement sont généralement longues (plusieurs heures d'affilée, notamment la nuit). Ces durées sont suffisamment importantes pour permettre de placer la charge aux meilleurs moments (à la fois pour le système électrique et le consommateur). Sauf dans des configurations spécifiques (par exemple recharge en itinérance sur autoroute lors d'un trajet long), la recharge des véhicules électriques peut être pilotée sans impact sur la mobilité.

Le pilotage de la recharge des véhicules offre donc une source de flexibilité très intéressante pour le

système électrique. Ceci présente a priori un grand intérêt dans un système où la consommation (température) et la production (vent, ensoleillement, hydraulique) dépendent fortement de paramètres exogènes.

Le véhicule électrique en tant que solution de stockage

Dans leur dimensionnement et leur doctrine d'exploitation, les systèmes électriques ont été construits selon un principe simple : l'électricité ne se stocke pas, et à l'exception de certains barrages hydrauliques (type STEP) en nombre limité, les solutions de stockage sont très onéreuses.

Or, à partir du moment où les véhicules électriques seront diffusés en nombre suffisant, une flotte de petites batteries seront en permanence connectées au système électrique. Ceci offre la possibilité d'une mise en partage à large échelle de ce potentiel de flexibilité, et d'envisager que ce «stockage diffus» joue un rôle important dans l'optimisation et l'équilibrage du système et la réduction de ses coûts.

En tant que tel, le développement de la mobilité électrique conduit donc à modifier largement notre représentation du système électrique, et à envisager ce nouvel usage comme une opportunité technique.

Des volumes importants de flexibilité, pouvant être gérés à l'échelle de la semaine

L'analyse technique de ces nouveaux gisements (pilotage simple accessible via une recharge mono-directionnelle, utilisation comme un stockage via une recharge réversible) montre, sur le plan technique, le grand intérêt que représente la mobilité pour le secteur électrique.

D'une part, le pilotage peut porter sur un volume très important : les recharges flexibles – c'est-à-dire celles qui ne correspondent pas à des besoins de recharge en temps contraint – représentent environ 85% de l'énergie annuelle consommée par les véhicules. Dans le scénario médian utilisé dans l'analyse (11,7 millions de véhicules à horizon 2035), la consommation pilotable équivaut à 25 TWh par an, soit un volume comparable à l'énergie consommée aujourd'hui par les ballons d'eau chaude, également pilotables. Avec le véhicule-to-grid, la flexibilité apportée par les véhicules électriques est encore plus importante. À horizon 2035, la capacité de stockage cumulée des véhicules électriques devrait représenter entre 6 et 11 fois celle des stockages hydrauliques actuels (STEP) : avec seulement 20% des véhicules électriques équipés pour la recharge réversible, la flexibilité qui peut être fournie par les véhicules à chaque instant est au moins égale à celle des STEP, à la fois en capacité de stockage en énergie et en puissance disponible.

D'autre part, cette flexibilité permet de gérer des variations à l'échelle de la semaine, et pas uniquement de la journée. En effet, même si la capacité de la batterie est considérée comme limitée par certains utilisateurs potentiels de véhicules électriques, elle présente aujourd'hui une autonomie de l'ordre de 250 km (pour une batterie de 40 kWh), suffisante pour couvrir environ une semaine de déplacements en moyenne. Ceci permet à la plupart des utilisateurs de concentrer leur recharge lors des périodes de la semaine où les prix de détail sont les plus intéressants, typiquement le week-end. Cette flexibilité pourra être encore plus importante à l'horizon 2030-2035 avec l'augmentation possible de la capacité des batteries des véhicules. En comparaison, les ballons d'eau chaude ne peuvent apporter qu'une flexibilité à l'échelle de la journée.

Une analyse détaillée des modes de recharge

De nombreuses études sur le véhicule électrique ont tendance à confondre ce qui relève de la fonctionnalité (charge monodirectionnelle ou bidirectionnelle), du mode d'asservissement et de pilotage (qui peuvent être plus ou moins dynamiques) et ce qui relève des modes de valorisation de la flexibilité. En pratique, des fonctionnalités identiques peuvent être associées à des modes de valorisation différents : à titre d'exemple, la recharge réversible peut être utilisée pour couvrir la consommation du foyer de l'utilisateur (mode véhicule-to-home) ou encore pour réinjecter sur le réseau public d'électricité (mode véhicule-to-grid). Il en résulte une grande diversité de modes possibles.

L'un des objectifs de la nouvelle étude menée par RTE avec le soutien de l'AVERE-France consiste spécifiquement à analyser en détail ces modes de pilotage et leurs impacts sur le fonctionnement du système électrique.

2.3 Le système électrique : une modélisation du mix conforme aux scénarios du Bilan prévisionnel et aux ambitions du projet de PPE

L'évaluation des impacts du développement de la mobilité électrique et des enjeux techniques, économiques et environnementaux associés à la flexibilité des recharges repose sur une modélisation du fonctionnement du système électrique européen. Cette modélisation, également utilisée pour les analyses du Bilan prévisionnel,

consiste à simuler l'équilibre offre-demande au pas horaire à l'échelle européenne (en considérant les possibilités d'échanges aux interconnexions) et pour un très grand nombre de chroniques d'aléas (consommation, production éolienne, solaire et hydraulique, disponibilité des centrales nucléaires et thermiques à flamme, etc.).

Les véhicules électriques font l'objet d'une modélisation explicite représentant leurs besoins de mobilité, les périodes où ils sont connectés (et les puissances de connexion) et l'état de charge des batteries. Cette modélisation permet de simuler la sollicitation de la flexibilité des véhicules électriques en tenant compte des besoins de mobilité.

Les hypothèses d'évolution du mix électrique utilisées pour l'analyse sont basées sur les ambitions indiquées dans le projet de PPE publié par le Gouvernement début 2019. Elles intègrent en particulier :

- une accélération du développement des énergies renouvelables (EnR) d'ici 2028 (multiplication par 2,5 des capacités d'éolien terrestre d'ici 2028 et multiplication par 4 des capacités photovoltaïques sur la même période, développement des parcs éoliens en mer, etc.), supposée prolongée sur la période 2029-2035,
- la fermeture des centrales au charbon à moyen terme et l'absence de nouveaux projets de centrales thermiques à combustible fossile,
- un déclassement de 14 réacteurs nucléaires d'ici 2035 (en comptant ceux de Fessenheim) selon la trajectoire indiquée par le Gouvernement,
- une consommation d'électricité finale stable (les effets d'efficacité énergétique compensant les nouveaux usages comme le véhicule électrique) et un développement de la production d'hydrogène par électrolyse,
- un développement soutenu des interconnexions.

Ce scénario d'évolution du mix électrique présente certaines caractéristiques communes avec les scénarios Ampère et Volt, analysés dans le Bilan prévisionnel 2017 :

- Le mix est marqué par une forte croissance du parc « décarboné à faible coût variable » (énergies renouvelables et nucléaire). Cela signifie qu'il existe souvent beaucoup de puissance disponible à faible coût, et que cette électricité est compétitive sur les marchés de l'énergie (elle trouve donc quasi systématiquement preneur).
- En conséquence, dans un contexte où la consommation électrique serait globalement stable, le système électrique français se retrouve fortement exportateur, avec des volumes d'export pouvant atteindre voire dépasser 100 TWh par an à partir de 2030. Cette caractéristique a fait l'objet d'analyses détaillées à la suite du Bilan prévisionnel 2017 qui ont confirmé la faisabilité technique de soldes exportateurs très importants dans ce type de scénario mais ont également identifié un point de vigilance sur les conditions économiques de ces exports (possible apparition de prix faibles sur les marchés de l'électricité).
- Enfin, un tel mix est « faiblement manœuvrant pour deux raisons : d'une part, il existe des contraintes techniques conduisant à des limites sur les possibilités de modulation du nucléaire (contraintes de sûreté notamment) et des EnR ; d'autre part, du point de vue économique, il est dommage d'arrêter des moyens de production dont le coût variable est faible voire nul. L'exemple du dimanche 21 avril 2019 illustre cet effet : cette journée, marquée par une consommation faible en France et en Europe ainsi que par une bonne disponibilité de la production éolienne et solaire en Allemagne et de la production nucléaire en France, a conduit à un sur-plus de production à coût faible et à des prix négatifs sur certaines heures de la journée.

Par conséquent, l'intérêt d'un mix comme celui de la PPE est fortement renforcé avec de la consommation pilotable (qui permet d'adapter la consommation à la disponibilité de la production renouvelable), et des nouveaux usages comme le véhicule électrique (qui permettent de profiter de la production d'électricité décarbonée à faible coût variable en France et entrent en concurrence avec les exports).

Ceci renforce l'intérêt de disposer d'une analyse approfondie de la coordination entre la feuille de route « énergie » et la feuille de route « mobilité ». Un développement de la mobilité électrique réalisé en cohérence avec la PPE offre l'opportunité d'exploiter le système dans ses conditions optimales (corrélés les recharges avec la production solaire ou éolienne, réduire les excès de production renouvelable, ne pas faire peser sur le nucléaire la charge de l'ajustement du système mais la renvoyer à d'autres moyens flexibles, comme la recharge des véhicules électriques, etc.).

Voiture électrique, une aubaine pour la Chine
Source: Guillaume Pitron - Le Monde Diplomatique - aout 2018

Révolution technologique, basculement géopolitique

En finir avec le pétrole et les gaz à effet de serre : telles sont les promesses de la voiture électrique. Mais l'enthousiasme actuel occulte les nouvelles pollutions et les dépendances géopolitiques que cette révolution implique. Car, grâce à son monopole de certaines matières premières, Pékin pourrait devenir la capitale mondiale de l'automobile.

«Vive la voiture électrique ! », proclamait dès 2009 M. Carlos Ghosn, président-directeur général (PDG) du groupe Renault (1). « Vous pourrez rouler gratuitement, pour toujours, grâce aux rayons du soleil », abondait en 2013 M. Elon Musk, celui du groupe américain Tesla (2). En Chine, le premier ministre Li Keqiang vante l'arrivée de ces nouveaux véhicules comme un moyen de « renforcer la croissance économique et de protéger l'environnement (3) ». L'intérêt pour l'électromobilité renaît ainsi, plus d'un siècle après le record de *la Jamais-Contente*, une voiture électrique qui fut la première automobile à dépasser la vitesse de cent kilomètres par heure, à Achères, en île-de-France... en 1899.

La planète compte à ce jour quarante-sept agglomérations de plus de dix millions d'habitants, et cette urbanisation galopante propulse la pollution de l'air — cause de millions de morts précoces — parmi les préoccupations majeures de quatre milliards de citoyens. La fraude des constructeurs pour masquer la dangerosité des moteurs diesel a encore accru la méfiance envers les voitures thermiques. Et la signature de l'accord de Paris sur le climat fixe un cadre global d'action pour réduire les émissions de gaz à effet de serre, dont le secteur des transports représente aujourd'hui 14 %.

Les modèles thermiques consommant trois litres aux cent kilomètres n'ayant pas connu le succès escompté, vers quelles énergies se tourner ? Depuis un demi-siècle, la quête de nouvelles motorisations (*lire le glossaire*) a conduit à des emballements aussi fiévreux qu'éphémères : kits d'injection Vix reposant sur l'utilisation de l'eau (années 1970), moteurs diesel (années 1980), filtres à particules (années 1990), agrocaburants (années 2000)... En attendant que la pile à combustible suscite à son tour l'enthousiasme, la traction électrique est présentée aujourd'hui comme la technologie de substitution par excellence.

« L'électrique est une énergie que l'on maîtrise bien, et l'infrastructure de production est déjà disponible, explique M. Jean-François Belorgey, responsable du secteur automobile chez EY, un cabinet d'expertise. Enfin, ces véhicules sont perçus comme ne rejetant pas de carbone. » Selon un récent sondage, plus de huit Français sur dix estiment que les voitures 100 % électriques permettent de réduire l'impact environnemental de la mobilité (4). Ce que confirme la Fondation pour la nature et l'homme (FNH), créée par M. Nicolas Hulot, aujourd'hui ministre de la transition écologique et solidaire, et selon laquelle « les atouts environnementaux du véhicule électrique sont intrinsèquement liés à la mise en œuvre de la transition énergétique (5) » — en dépit de l'existence d'analyses beaucoup plus sombres (*lire « Un bilan litigieux »*).

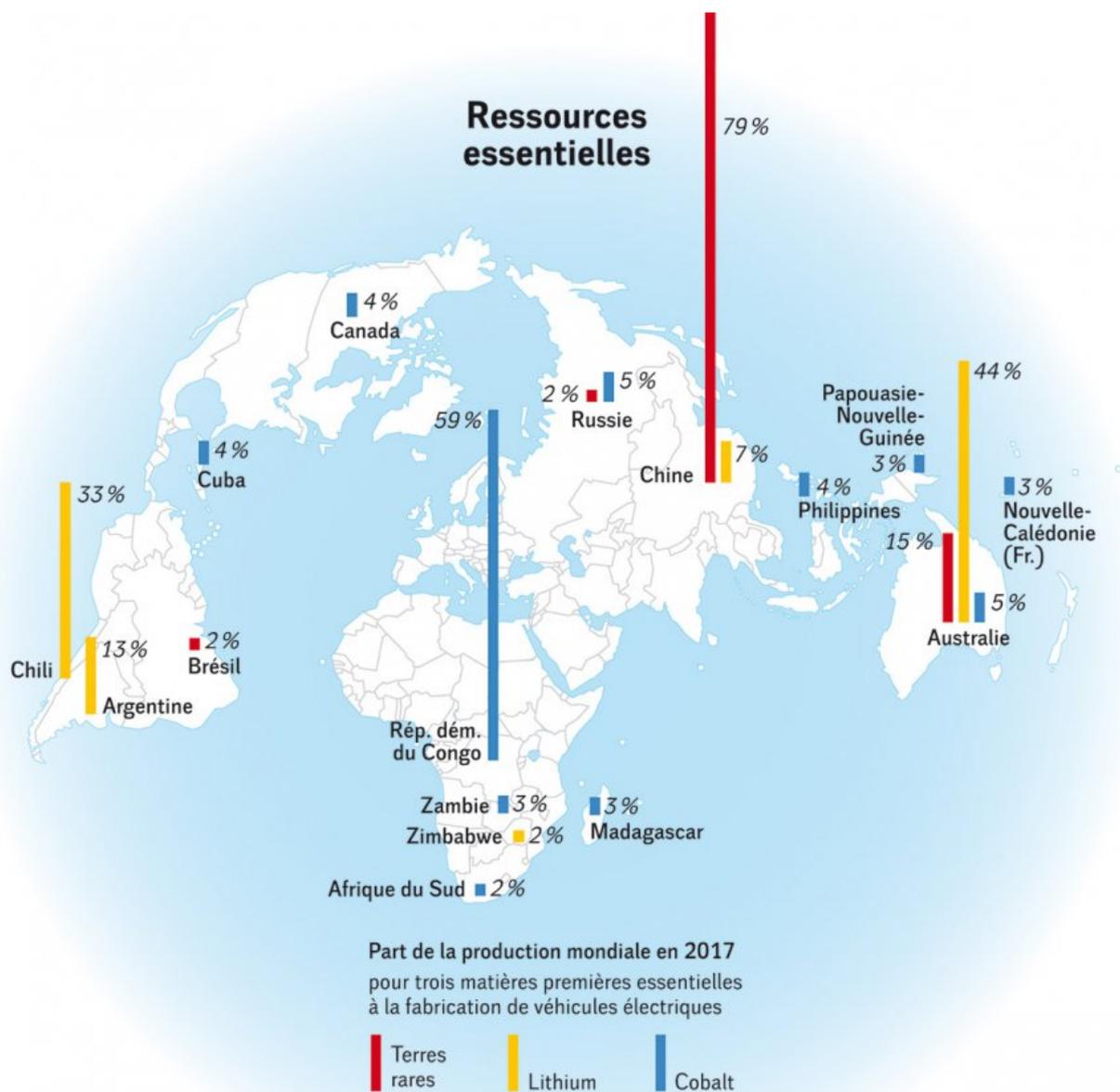
Incitations fiscales et soutiens à l'innovation

L'annonce par la Chine, en septembre 2017, de l'élaboration d'un calendrier visant à interdire la commercialisation des véhicules à essence, sans doute à l'horizon 2030-2040, a envoyé un signal décisif, repris dans la plupart des pays occidentaux. L'Allemagne et les Pays-Bas ont prévu le bannissement de la vente de voitures thermiques dès 2025. En France, en juillet 2017, M. Hulot a fixé le même objectif à l'horizon 2040. En Inde, le gouvernement ne veut pas qu'« une seule voiture à pétrole ou à gazole » soit commercialisée après 2030. Les grandes villes jouent souvent le rôle d'aiguillon : en 2017, les édiles d'une douzaine de métropoles, telles que Paris, Los Angeles, Auckland et Le Cap, se sont engagés à n'acquiescer que des bus zéro émission d'ici à 2025, et à interdire les émissions de dioxyde de carbone dans des zones importantes de leurs cités d'ici à 2030 (6).

Certains États mettent tout leur poids dans la bataille, avec la fiscalité comme levier d'action. Aux États-Unis, l'acquéreur d'une voiture électrique peut espérer jusqu'à 7 500 dollars (6 400 euros) de réduction d'impôts, tandis qu'en Allemagne son véhicule sera exempté de vignette pendant dix ans. Les incitations sont également réglementaires. En Californie et dans certaines agglomérations chinoises, les voitures électriques ont accès aux voies réservées aux transports collectifs. Encore faut-il mailler le territoire de bornes de recharge : plus de 47 000 unités aux États-Unis en 2017 ; près de 214 000 en Chine. Les soutiens à l'innovation ne sont pas négligés. En 2017, le Royaume-Uni a annoncé un investissement de 246 millions de livres sterling (276 millions d'euros) dans un programme visant à faire du pays une référence en matière de batteries électriques.

Cette conversion parée de vertus écologiques assure de nouveaux relais de croissance. Même si les automobiles électriques ne représentaient que 1 % du marché mondial des voitures en 2017 (et les hybrides, 1 % également), leurs ventes en France ont connu une croissance de 17 % cette année-là, tandis que l'ensemble des ventes automobiles progressaient de moins de 5 % (7). L'augmentation des capacités de stockage des batteries, l'effondrement de leur coût de production et la diversification des modèles proposés concourent à ce que les véhicules partiellement ou totalement électriques représentent, selon les plus optimistes, 43 % des ventes en Europe d'ici à 2025, et 36 % en Chine (8), pour un marché mondial estimé à 82 milliards d'euros.

Panacée écologique, source de richesses et d'emplois : à première vue, la conversion au « tout électrique » relève de l'évidence. « Frénésie », « manque de recul », « emballement », a rétorqué, contre toute attente, M. Carlos Tavares lors du salon de l'automobile de Francfort, en septembre 2017. « Toute cette agitation, ce chaos risque de se retourner contre nous, car nous aurons pris de mauvaises décisions. » Le président du directeur du groupe PSA ne veut pas que « dans trente ans on ait découvert les uns ou les autres quelque chose qui n'est pas aussi beau que ça en a l'air ». Il cite les problèmes liés au recyclage des batteries ou à la « gestion des matières premières rares » (9).



Source : « Mineral commodity summaries 2018 », USGS.

Le basculement dans l'électromobilité implique en effet une modification de notre consommation de ressources naturelles. Aujourd'hui largement tributaires du pétrole, nos modes de transport pourraient se révéler de plus en plus dépendants d'une trentaine de métaux rares. Gallium, tantale, cobalt, platinoïdes, tungstène, terres rares : une mine ne recèle que d'infimes quantités de ces petits métaux dotés de fabuleuses propriétés électroniques, optiques et magnétiques. Sans eux, la quasi-totalité des véhicules électriques commercialisés resteraient à l'arrêt. Ainsi, on retrouve jusqu'à trois kilogrammes et demi de terres rares — une classe de quinze métaux — dans les électro-aimants, de dix à vingt kilogrammes de cobalt et jusqu'à soixante kilogrammes d'un minerai moins rare, le lithium, dans la batterie d'une seule voiture. Un autre, le cérium, est apposé sur les pare-brise afin d'éviter les rayures. Dans l'habitacle, les écrans à cristaux liquides contiennent de l'euporium et du cérium...

Or l'extraction et le raffinage de ces matières relèvent de processus très polluants. Cette réalité saute aux yeux en Chine, pays producteur de la grande majorité de ces ressources. Première zone mondiale d'extraction et de raffinage des terres rares, la région autonome de Mongolie-Intérieure, au nord-ouest de Pékin, est dévastée par les mines à ciel ouvert. Aux abords des usines du géant minier Baogang, dans l'ouest de la région, un immense réservoir artificiel, le Weikuang Dam, déborde par intermittence dans le fleuve Jaune (Huang He) après avoir recueilli les effluents toxiques des usines de traitement des minerais.

À Dalahai, un aggloméré de briques et de tuiles attenant au réservoir, les quelque mille habitants qui ne se sont pas résolus à partir respirent, boivent et mangent les rejets toxiques des usines de raffinage environnantes. Mme Li Xinxia, 54 ans, nous confie que, à la suite de tests médicaux, l'endroit a été surnommé « le village du cancer » : « *Nous savons que nous respirons un air toxique et que nous n'en avons plus pour longtemps à vivre.* » La purification d'une tonne de terres rares contamine au moins deux cents mètres cubes d'eau (10). Les agriculteurs et les habitants des régions minières sont donc soumis à un fort stress hydrique. Au Chili, premier producteur mondial de cuivre, le déficit d'eau est tel qu'il devrait conduire les groupes miniers à utiliser, d'ici à 2026, 50 % d'eau de mer dessalée (11) — un processus extrêmement énergivore. Les cas de pollution générée par l'extraction et le raffinage des métaux rares s'observent au Chili, en République démocratique du Congo (RDC), aux États-Unis ou encore au Kazakhstan, et révèlent un surprenant paradoxe : la mise en service de véhicules vantés pour leur propreté nécessite l'extraction de métaux sales — mais loin des yeux et des caméras.

Faute d'être informés sur l'origine de ces ressources, que les industriels peinent à recycler et à remplacer, la plupart des Occidentaux l'ignorent. L'éloignement des mines en est la principale raison. Dans les années 1990, de strictes réglementations écologiques ont contraint des entreprises minières et des groupes de raffinage occidentaux à fermer ou à transférer leurs activités de production de terres rares. Candidate toute trouvée à la reprise de ces basses besognes, la Chine s'engagea alors dans une ambitieuse stratégie de développement industriel... au prix du saccage de ses écosystèmes (12). « *Le peuple chinois a sacrifié son environnement pour nourrir la planète entière avec des terres rares* », admet Mme Vivian Wu, spécialiste des terres rares, qui travaille dans une branche chinoise du chimiste Solvay. Il faut dès lors apprécier avec beaucoup de circonspection les voitures « propres » ou véhicules zéro émission vantés par les industriels. Une automobile électrique ne rejette certes pas de carbone à l'instant où elle roule ; mais son impact environnemental a été déplacé en amont de sa mise en service, dans les régions où sont extraits, raffinés et incorporés les matériaux qui la composent. On songe à Metropolis, la ville imaginée par le cinéaste Fritz Lang dans le film du même nom (1927), où les classes laborieuses respirent des fumées toxiques pour produire les richesses de classes bourgeoises choyées et indolentes.

Les États-Unis déposent une plainte devant l'OMC

De même, le basculement dans l'électromobilité pourrait avoir de fâcheuses conséquences industrielles. « *Pendant un siècle, les Chinois ont couru après le moteur à combustion interne en [nous] versant des royalties* », rappelait M. Tavares à Francfort. Or notre engouement pour la voiture électrique et l'éclosion de cette technologie pourraient annuler cette avance occidentale et offrir à Pékin l'occasion de « *jouer un rôle inespéré dans le secteur automobile* », explique Laurent Horvath, géoéconomiste de l'énergie.

Aucun autre État n'a échafaudé une stratégie aussi ambitieuse dans l'électromobilité que la Chine. En 2015, le plan « Made in China 2025 » a fait des batteries des voitures électriques une priorité industrielle. En outre, le pays tire avantage de son gigantesque marché intérieur, qui favorise les économies d'échelle et permet à ses constructeurs de gagner en compétitivité. Et, pour accélérer ce nouveau départ, Pékin peut compter sur la production des métaux rares qui lui sont nécessaires. Car, en délocalisant la pollution minière, l'Occident a aussi cédé à un rival le monopole des matières stratégiques pour la mobilité électrique : la Chine produit 94 % du magnésium, 69 % du graphite naturel ou encore 84 % du tungstène consommés dans le monde. Les proportions atteignent même 95 % pour certaines terres rares.

La Chine use de cette position en vendant certaines ressources jusqu'à 20 % plus cher à ses clients étrangers. L'accusant de « *désavantager les producteurs américains* », les États-Unis ont déposé en 2016 une plainte devant l'Organisation mondiale du commerce (OMC). En outre, depuis le début des années 2000, Pékin réduit ses exportations de diverses matières, telles que le molybdène, la fluorine, le magnésium ou encore le phosphore jaune. Selon la Commission européenne, une myriade de métaux contenus dans les véhicules électriques sont déjà devenus « *critiques* », c'est-à-dire que l'on risque la rupture d'approvisionnement (13).

Ces manœuvres placent les industriels occidentaux face à un dilemme : faut-il maintenir les outils de production à demeure, au risque qu'ils tournent au ralenti faute d'approvisionnement suffisant ? Ou faut-il délocaliser en Chine afin de bénéficier d'un accès illimité aux matières premières ? La main-d'œuvre bon marché venue des régions intérieures, le faible coût du capital — permis notamment par une politique de dévaluation du yuan — et le fort potentiel du marché chinois avaient déjà convaincu nombre d'entre eux de sauter le pas. Selon Dudley Kingsnorth, professeur à l'université Curtin (Australie), « *l'accès aux terres rares a fourni une motivation supplémentaire pour délocaliser les usines* ».

Depuis 1994, les groupes étrangers qui s'installent en Chine doivent constituer des coentreprises dans lesquelles ils ne peuvent détenir plus de 50 % des parts. Cette structure juridique a permis à leurs homologues chinois d'accélérer les transferts de technologies occidentales et de rattraper leur retard. Pékin s'est même arrogé, en trois décennies, l'industrialisation et les brevets des aimants, usinés grâce au néodyme et à diverses autres terres rares, indispensables à la fabrication de la plupart des moteurs électriques (14).

Résultat : alors qu'à la fin de la décennie 1990 le Japon, les États-Unis et l'Europe se partageaient 90 % du marché, la Chine contrôle désormais les trois quarts de la production. Les aimants sont fabriqués à Baotou, une agglomération de Mongolie-Intérieure surnommée par ses habitants « *la Silicon Valley des terres rares* ». L'expression n'est pas anodine, puisque, dans la logique chinoise, celui qui détient le minerai contrôle également le savoir-faire industriel.

Pékin a reproduit ce scénario avec les batteries. La Chine n'assure qu'une faible part de la production mondiale de cobalt, un minerai indispensable à la fabrication des accumulateurs lithium-ion et pour lequel la RDC répond à environ 60 % de la demande. Le cours a plus que triplé depuis 2016, obligeant ces derniers mois BMW et Volkswagen à engager des négociations directes avec des groupes miniers en vue de sécuriser leurs approvisionnements. Pourtant, le spécialiste chinois de l'industrialisation des matériaux pour batteries, Jingmen Gem, a officialisé, le 15 mars 2018, un contrat trisannuel d'achat du tiers du cobalt produit chaque année en RDC par le groupe de négoce britanno-suisse Glencore. Les fabricants de batteries chinois, tels Wanxiang, BYD Auto ou Contemporary Amperex Technology Co. Limited (CATL), s'arrogent ainsi 80 % du cobalt congolais.

À ce rythme, en 2020, la Chine devrait produire quatre batteries électriques sur cinq commercialisées dans le monde. Il est probable que, fidèle à sa logique de remontée de la chaîne de valeur, elle « *ne se contente pas de vendre des batteries au monde entier* », mais « *produise des batteries en Chine et vende des voitures électriques au monde entier* », a pronostiqué en mars M. Ivan Glasenberg, PDG de Glencore (15). Les analyses de marché lui donnent raison, puisque six des dix plus grands constructeurs de véhicules électriques mondiaux sont désormais chinois : BYD, Shanghai Automotive Industry Corporation (SAIC), Dongfeng Motor Corporation, Geely, FAW Group et Beijing Automotive Industrie Holding Co. Bruxelles a annoncé le 11 octobre 2017 la création d'une Alliance européenne des batteries afin de contrer l'avance chinoise.

« Une impasse si on cherche une solution de masse »

En attendant, il n'est pas interdit de s'interroger : en basculant du thermique à l'électrique, les pays occidentaux ne sont-ils pas candidement en train de créer une vulnérabilité commerciale dans une filière qui emploie 12,6 millions de personnes en Europe et 7,25 millions aux États-Unis ? Au vu des besoins déraisonnables qu'elle engendre en métaux rares et en énergie, « *la voiture électrique est une impasse si on cherche une solution de masse* », estime M. Jean-Marc Jancovici, associé fondateur du cabinet de conseil Carbone 4. Compte tenu de ses limites techniques — notamment sa faible autonomie —, l'électromobilité est adaptée à de courts trajets urbains, tandis que le thermique et l'hydrogène conviennent mieux aux longs déplacements, aux côtés des véhicules à gaz ou à essence synthétique. Le groupe japonais Toyota parie sur la Mirai, un modèle doté d'une pile à combustible, et sur sa nouvelle hybride rechargeable Prius.

« *Il faudrait [adopter] une approche à 360 degrés, avec la dimension énergétique (...), technologique, juridique, géopolitique* », a préconisé M. Tavares lors du Salon international de l'automobile de Genève, en mars dernier (16). Car l'ère de la voiture électrique, loin de transformer le seul quotidien de ses utilisateurs, pourrait hâter un nouveau basculement des économies-mondes — cette fois au profit de la Chine.

Guillaume Pitron Journaliste, auteur de *La Guerre des métaux rares. La face cachée de la transition énergétique et numérique*, Les Liens qui libèrent, Paris, 2018.

- (1) « La voiture électrique : fantastique ou polémique ? », Codeclitic, 28 septembre 2009.
- (2) Adam Vaughan, « Elon Musk : Oil campaign against electric cars is like big tobacco lobbying », *The Guardian*, Londres, 24 octobre 2013.
- (3) Manny Salvacion, « Premier Li urges creation of more charging sites for EV », Yibada, octobre 2015.
- (4) « Les Français et l'impact environnemental de leurs déplacements » (PDF), Harris Interactive, Paris, février 2018.
- (5) « Le véhicule électrique dans la transition écologique en France » (PDF), Paris, décembre 2017.
- (6) « Déclaration du C40 pour des rues sans énergie fossile » (PDF), C40 cities, 2017.
- (7) Selon le Comité des constructeurs français d'automobiles (CCFA).
- (8) « Future of e-mobility », Discussion Document, Roland Berger, Munich, 23 janvier 2018.
- (9) « Imposer la technologie du véhicule électrique est une folie, estime Carlos Tavares », Autoactu, 13 septembre 2017.
- (10) Oscar Allendorf, « Dwindling supplies of rare earth metals hinder China's shift from coal », TrendinTech, 7 septembre 2016.
- (11) Juan Andres Abarca, « Seawater use in Chile's mines grows by a third », BNAmericas, 16 juin 2016.
- (12) Lire Olivier Zajec, « Comment la Chine a gagné la bataille des métaux stratégiques », *Le Monde diplomatique*, novembre 2010.
- (13) Communication de la Commission européenne relative à la liste 2017 des matières premières critiques pour l'Union européenne, Bruxelles, 13 septembre 2017.
- (14) Voir le rectificatif dans le numéro de septembre.
- (15) Muryel Jacque, « Glencore n'hésiterait pas à vendre ses mines de cobalt à la Chine », *Les Échos*, Paris, 21 mars 2018.
- (16) Jean Savary, « Voiture électrique, un nouveau fiasco environnemental ? », Caradisiac, 12 mars 2018.

Métaux rares: la réouverture de mines en France est-elle envisageable?

Source: Giulietta Gamberini - La Tribune - 25 juillet 2018

Soutenue par plusieurs experts, une éventuelle réouverture des mines en France semble toutefois confrontée à un obstacle majeur : l'acceptabilité sociale.

D'une part, un marché des métaux rares de plus en plus tendu, en raison de facteurs géopolitiques comme de réputation. D'autre part, des arguments stratégiques ainsi qu'éthiques mis en avant par plusieurs experts afin de relancer la création de mines sur le territoire national et européen. Qu'est-ce qui s'oppose alors à l'idée de refaire de la France un géant minier ? Le principal obstacle qu'elle va rencontrer est sans doute d'ordre politique et social. Au lendemain de la fermeture de la ZAD de Notre Dame-des-Landes, et à l'heure où l'on redoute un durcissement de l'opposition au "cimetière de déchets radioactifs" de Bure, l'acceptabilité de nouveaux projets de mines semble plus qu'improbable.

Les précédents de Mountain Pass et de La Rochelle

Par le passé d'ailleurs, c'est bien le rejet des populations occidentales face aux conséquences environnementales de l'extraction et du raffinage des terres rares qui ont permis à la Chine de s'en approprier le monopole, montre Guillaume Pitron dans son livre. La mine américaine de Mountain Pass, dans les alentours de Las Vegas, a fini par être définitivement fermée en 2002 par la société Molycorp après une série d'accidents environnementaux, actions judiciaires et amendes. En France, la raffinerie de Rhône-Poulenc (aujourd'hui Solvay) à La Rochelle, qui dans les années 80 purifiait 50% du marché mondial de terres rares, a décidé de sous-traiter aux Chinois la première partie du raffinage en raison des craintes de la population et à la pression médiatique face aux risques de radioactivité. Et encore aujourd'hui, le projet guyanais de la Montagne d'Or rencontre l'opposition des deux tiers de la population locale, selon un sondage réalisé en juin par Ifop pour WWF.

Ce dernier dossier montre d'ailleurs aussi l'ambiguïté du gouvernement actuel face à la question de la réouverture des mines. Alors qu'Emmanuel Macron s'est dit favorable au projet lorsqu'il était ministre de l'Économie, Nicolas Hulot a exprimé ses réticences devant l'Assemblée nationale, estimant qu'il y avait "intérêt" à "re-mettre à plat" les impacts environnementaux comme les bénéfices économiques du projet. C'est d'ailleurs à la suite de la présentation par le ministre de la Transition écologique et solidaire du projet de loi mettant fin à la recherche ainsi qu'à l'exploitation des hydrocarbures que l'Académie des sciences a décidé de se pencher sur le sujet des mines et de publier sa récente "Stratégie d'utilisation des ressources du sous-sol pour la transition énergétique française", confie l'un des co-auteur, Ghislain de Marsily, qui espère rencontrer Nicolas Hulot à la rentrée.

D'autres pays et les entreprises s'organisent

En attendant que la question soit ouvertement mise sur la table puis éventuellement tranchée en France, d'autres pays s'organisent. Le Japon investit depuis une décennie non seulement dans des mines à l'étranger, mais aussi dans l'amélioration du recyclage des déchets électriques et électroniques, dans lequel il est devenu un modèle. Donald Trump a annoncé fin décembre plusieurs mesures en faveur de la relance de l'extraction de minerais critiques sur le sol américain ainsi que de l'amélioration des technologies de recyclage.

Pour leur part, conscientes des temps longs de ce genre de stratégies, les entreprises cherchent aussi leurs propres solutions. Les prises d'actifs d'industriels dans des projets miniers se multiplient, témoigne AlciMed, qui observe également le développement de stratégies de stockage de métaux rares ou de négociation directe avec les producteurs. "Le sujet de l'approvisionnement des métaux rares doit être traité sérieusement et en permanence, même en l'absence de crise", suggère le cabinet.

L'Europe possède aussi de grandes réserves de Lithium ... et c'est le Portugal qui a la main dessus

Source: Ludovic Dupin avec AFP - novethic.fr - 13 septembre 2018

L'Europe dépend à 86 % des importations pour ses besoins en lithium. Or de vastes réserves existent sur son territoire. Deux grandes mines sont en particulier présentes au Portugal dont l'exploitation pourrait débiter en 2020. Mais l'Or Blanc du pays serait 2,5 fois plus cher que celui issu du Chili, premier producteur mondial.

"Plus on creuse, plus on en trouve", se réjouit David Archer au pied d'une grue de forage qui, dans un bruit assourdissant, perfore la roche granitique des monts reculés du nord du Portugal afin d'en mesurer la teneur en lithium, devenu un "or blanc" depuis que la demande de batteries électriques explose. La société minière britannique qu'il dirige, Savannah Resources, espère ouvrir en 2020 "la première mine importante de lithium en Europe", déclare-t-il à l'AFP sur les hauteurs de Boticas, dans la région de Vila Real.

Triplement des prix

Lundi 10 septembre, Savannah a annoncé avoir revu l'estimation des gisements de Mina do Barroso en hausse de 44 %, à 20,1 millions de tonnes de minerai d'une teneur en lithium de 1,04 %. À 25 kilomètres de là, dans la commune voisine de Montalegre, la société portugaise Lusorecursos prétend elle aussi être assise sur "le plus important gisement de lithium en Europe", soit 30 millions de tonnes de minerai d'une teneur de 1,09 % qu'elle compte commencer à extraire en 2020 également, selon son directeur financier Ricardo Pinheiro.

"L'explosion de la filière de la batterie a provoqué un véritable engouement pour le lithium" et sa valeur marchande a triplé en trois ans, explique Lucas Bednarski, directeur de l'entreprise d'études de marché spécialisée Lithium Today.

Indépendance européenne

Ce métal de couleur blanche argentée, qui sert déjà à fabriquer les batteries lithium-ion utilisés dans les téléphones et ordinateurs portables, sera de plus en plus recherché en raison du développement de la voiture électrique, qui a besoin de batteries bien plus puissantes.

"Le lithium pourrait valoir de l'or pour le Portugal, puisque nous estimons qu'en 2025 le marché européen des batteries vaudra 250 milliards d'euros par an", fait valoir le vice-président de la Commission européenne chargé de l'Energie, Maros Sefcovic. Le commissaire slovaque porte depuis près d'un an un projet de filière capable de construire au sein de l'UE une nouvelle génération de batteries électriques "vertes", recyclables et réutilisables. Première étape : réduire la dépendance en composants. Or l'Europe importe 86 % du lithium qu'elle consomme, produit pour l'essentiel au Chili et en Australie.

Plus cher qu'au Chili

Le Portugal est déjà le principal producteur européen, avec une part de marché de 11 %, mais sa production sert entièrement à la céramique et à la verrerie. "Nous savons que le Portugal possède les plus importants gisements en Europe. La question est de savoir si c'est économiquement viable de l'extraire, car il s'agit d'un marché mondial très compétitif", souligne Lucas Bednarski.

D'après ses estimations, la production de lithium extrait de la roche granitique portugaise coûte environ 2,5 fois plus cher que celui produit à partir des gisements de saumure chiliens.

Le nucléaire est-il bon pour l'environnement?
Source: Valérie Faudon - Total Foundation - 16 janvier 2019

Le nucléaire, une énergie bas carbone face à l'urgence climatique

Le débat en France sur la transition écologique a remis au premier plan la question de la réduction des énergies qui émettent du dioxyde carbone (CO₂), à savoir les énergies fossiles. S'il n'est pas une énergie « renouvelable » en l'état actuel de son développement, le nucléaire est néanmoins une énergie décarbonée qui contribue à la baisse des émissions. Valérie Faudon, déléguée générale de la Société Française d'Énergie Nucléaire (SFEN) livre son analyse.

L'urgence climatique, c'est-à-dire la nécessité impérieuse de lutter contre le réchauffement de la planète, est de plus en plus clairement perçue par les opinions publiques comme le défi environnemental le plus important, en France et dans le monde. Cette lutte passe par la réduction des émissions de gaz à effet de serre, en particulier du CO₂, et donc par ce qu'on appelle une « décarbonation » des différentes énergies que nous utilisons.

Le nucléaire est une énergie « décarbonée », c'est-à-dire qu'elle n'émet pas de CO₂ dans la production d'électricité proprement dite. Pour une comparaison complète des énergies entre elles, les experts ont mis en place des analyses du cycle de vie. Il s'agit dans le cas du nucléaire de calculer les émissions induites par la construction d'un réacteur, son fonctionnement pendant plusieurs décennies, son démantèlement, mais aussi la production de l'uranium enrichi, le retraitement du combustible et la gestion des déchets. Sur ces bases, la production d'un kilowatt-heure (kWh) d'électricité nucléaire dans le monde dégage en moyenne 12 grammes de CO₂ (et même moins en France), selon les études du GIEC (1), admises par tous. C'est un chiffre à peu près équivalent à celui du kWh éolien et inférieur à celui du kWh photovoltaïque (autour de 50 g). Et bien sûr sans comparaison avec ceux du gaz (autour de 500 g) ou du charbon (autour de 1 000 g).

La complémentarité nucléaire-renouvelables

Regardons d'abord la situation à l'échelle de la planète. Un premier défi est de décarboner le secteur électrique, qui représente à lui seul 40 % des émissions mondiales. La production est encore assurée à plus de 65 % par les énergies fossiles, dont 40 % par le seul charbon. Un second défi est de faire face à une demande croissante. La plupart des études estiment que la consommation va doubler d'ici 2050, en raison de la progression de la population mondiale, de l'essor des pays émergents et de l'électrification de besoins, comme ceux de la voiture électrique. Et n'oublions pas qu'il y a encore 1 milliard d'habitants qui n'ont pas accès à l'électricité !

Ce double défi – décarboner et répondre aux besoins - est immense : trois ans après l'accord de Paris, les émissions de CO₂, au lieu de diminuer, continuent à augmenter. Le nucléaire sera indispensable, aux côtés des énergies renouvelables, pour atteindre les objectifs de décarbonation. Cela ne signifie pas que la part du nucléaire dans le mix électrique va s'envoler. Selon les scénarios, elle restera au même niveau, juste au-dessus de 10 %.

Examinons maintenant quelques cas en Europe. Les pays qui ont combiné énergie nucléaire et hydroélectricité, comme la Suède et la Suisse, ont rapidement réduit leurs émissions. En revanche, l'Allemagne n'atteindra pas ses objectifs climatiques. Malgré des investissements massifs dans les énergies renouvelables, notre voisin outre-Rhin n'a pas été en mesure, du fait de la fermeture prématurée de ses centrales nucléaires, de réduire la part du charbon qui reste stable (à près de 40 %). Une sortie du charbon, tellement nécessaire dans la lutte pour le climat et contre la pollution de l'air, sera très longue.

En France, la part importante du nucléaire (près de 75 %), combinée aux renouvelables (l'hydroélectricité notamment), a fait de notre pays le moins émetteur par habitant des sept puissances les plus développées. Substituer des énergies renouvelables bas-carbone à du nucléaire bas-carbone dans le secteur électrique ne permettra pas de réduire davantage les émissions. Au pire, cela pourrait conduire à une augmentation des émissions, car le caractère variable des énergies éoliennes et solaires rend nécessaire de maintenir des moyens suffisants de production disponibles 24h/24. Ainsi, le scénario prévisionnel pour descendre à 50 % de nucléaire en 2025 (date initialement prévue) aurait nécessité de garder 4 centrales à charbon et de construire 20 nouvelles centrales à gaz, toutes fortement émettrices de CO₂. C'est pour éviter ce risque que le délai a été repoussé à 2035.

Certes, l'énergie nucléaire suscite des inquiétudes. Les accidents majeurs ont marqué l'opinion qui s'interroge aussi sur la gestion des déchets. Pourtant, du stockage géologique au contrôle par une autorité de sûreté indépendante, des solutions existent.

L'énergie nucléaire a le potentiel pour décarboner plus et plus rapidement. Sa flexibilité, c'est-à-dire sa capacité à augmenter ou diminuer sa production, rend possible le développement du solaire et de l'éolien tout en assurant la sécurité d'approvisionnement. C'est l'ensemble des technologies bas carbone (renouvelables, nucléaire ainsi que le captage et le stockage du carbone) qu'il faut mobiliser pour répondre à l'urgence climatique.

Valérie Faudon. Déléguée Générale de la Société Française d'Énergie Nucléaire (SFEN) et Vice-Présidente de l'European Nuclear Society (ENS)

Sources :

[1] Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat.

La batterie Lithium-ion: comment ça marche?
Source: anonyme - Total Foundation -15 avril 2019

Conçues il y a plus de 30 ans, les batteries dites « lithium-ion » sont devenues omniprésentes dans notre vie quotidienne. Elles peuvent être de très petite taille dans un téléphone portable ou assemblées par dizaines dans une voiture électrique. Elles sont l'objet d'intenses recherches dans le monde compte tenu de l'enjeu que constitue le stockage de l'électricité.

Le fonctionnement d'une batterie

Les batteries et les piles sont des équipements qui transforment l'énergie chimique en énergie électrique. Une batterie (ou accumulateur) peut stocker et accumuler l'énergie électrique pour la restituer. Elle peut donc se charger et se décharger, selon des opérations réversibles. Une pile électrique fournit l'électricité à un circuit extérieur jusqu'à l'épuisement de son potentiel.

Une batterie est formée de deux électrodes, plongées dans un électrolyte, une substance conductrice liquide ou solide, et reliées à l'extérieur par un fil conducteur. Quand la batterie se décharge, l'électrode négative (anode) émet des électrons qui passent par le fil et sont absorbées par l'électrode positive (cathode). Ce mouvement d'électrons constitue un courant électrique qui peut être ensuite transformé pour faire tourner un moteur ou faire fonctionner un appareil électronique. Pour équilibrer cet échange d'électrons, un échange d'ions positifs s'effectue entre les deux électrodes via l'électrolyte. Quand la batterie est en phase de recharge, avec un apport extérieur d'électricité, les mouvements sont inversés.

Les différents types de batteries

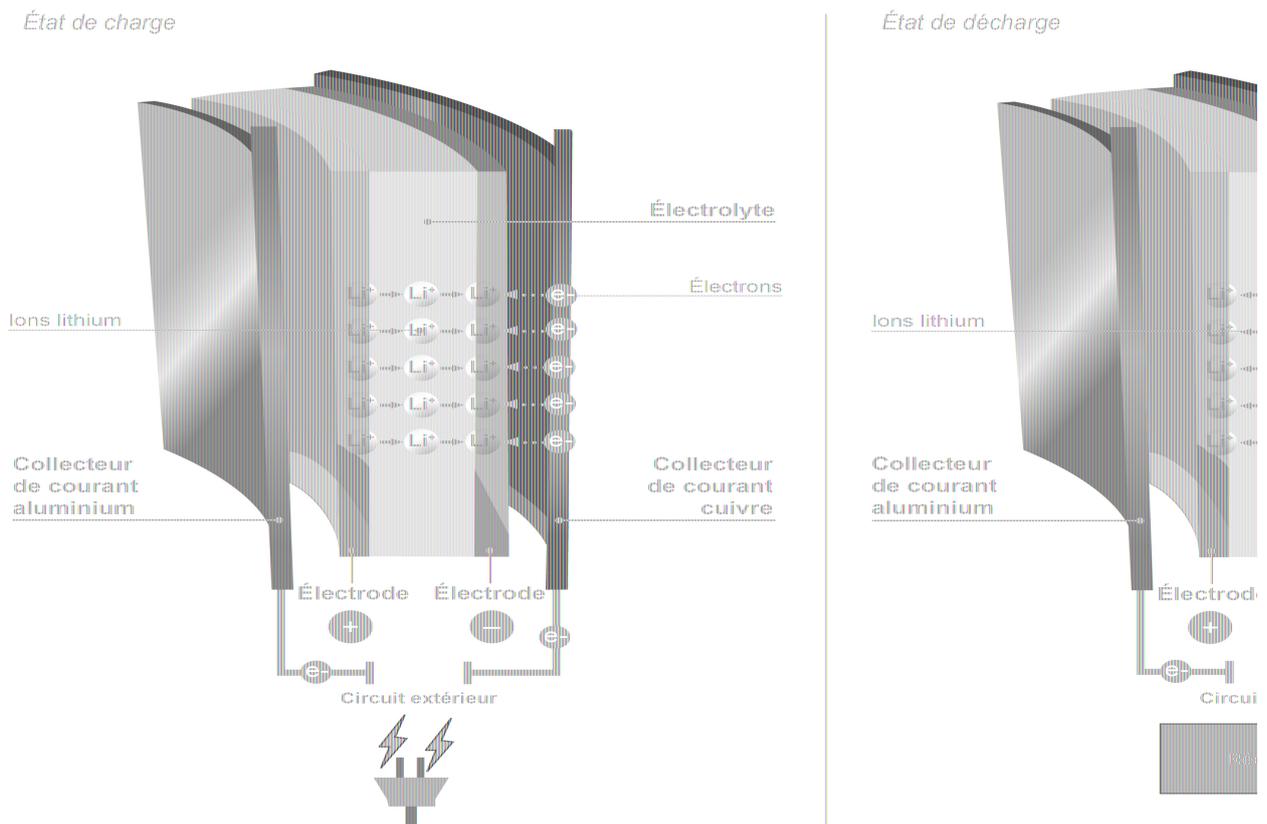
Les batteries utilisent des couples de matériaux capables d'échanger facilement et longtemps des électrons et des ions positifs. La batterie la plus courante dans les véhicules à moteur thermique est dite « au plomb », avec une électrode négative en plomb, une électrode positive en oxyde de plomb, et un électrolyte constitué d'acide sulfurique et d'eau. D'autres types de batteries utilisent le nickel, le cadmium, le sodium, le soufre, etc.

Le lithium a suscité l'intérêt car c'est un métal très léger, le troisième dans la classification des éléments après l'hydrogène et l'hélium. L'atome de lithium a une forte capacité à libérer un de ses trois électrons, constituant ainsi un ion chargé positivement, Li^+ . Les constructeurs ont d'abord utilisé le lithium métal pour constituer l'électrode négative, émettrice d'électrons. Mais il est apparu que la répétition de cycles charges-décharges l'altérait. Pour y remédier, la cathode est souvent formée d'oxyde de cobalt, avec un peu de lithium, tandis que l'anode est faite de graphite. L'électrolyte est constitué de sels de lithium dans un solvant et contient donc des ions lithium en grande quantité. D'où l'appellation batterie lithium-ion.

La cellule de base lithium-ion

L'élément de base est une cellule qui se présente un peu comme un feuilleté : une plaque d'aluminium servant à collecter le courant, puis la cathode, l'électrolyte, puis l'anode, enfin une plaque de cuivre (voir le schéma).

PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT D'UNE CELLULE LITHIUM



Quand la batterie se charge, les ions de lithium Li^+ quittent l'électrode positive (la cathode) et sont stockés dans l'électrode négative (l'anode). Quand elle se décharge, c'est-à-dire quand elle produit le courant électrique, les ions Li^+ font le mouvement inverse.

Ces cellules, de quelques volts chacune, sont regroupées en plus ou moins grand nombre selon la puissance recherchée pour alimenter un téléphone portable ou une batterie de voiture.

Avantages et inconvénients

La batterie lithium-ion a une haute densité d'énergie, c'est à dire qu'elle peut stocker 3 à 4 fois plus d'énergie par unité de masse que les autres technologies de batteries. Elle se recharge très vite et supporte de nombreux cycles (au moins 500 charges-décharges à 100 %).

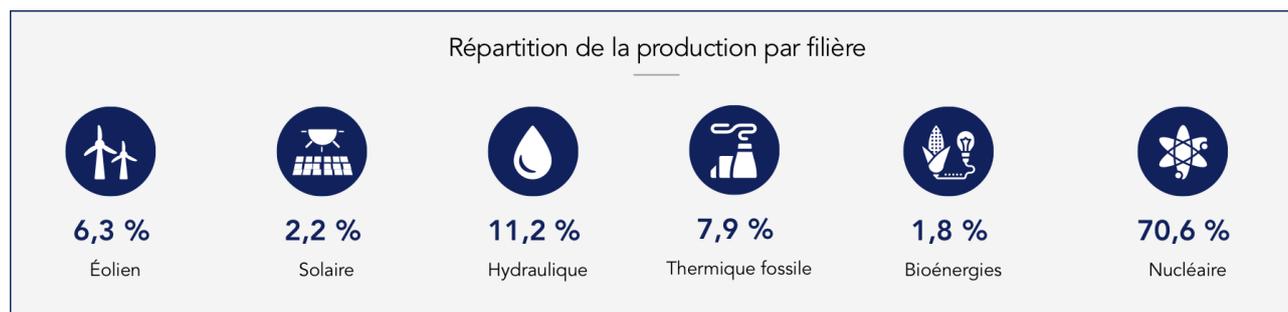
En revanche, elle présente un risque d'embranchement soudain de la batterie, avec dégagement de gaz toxiques, dû à l'« emballement thermique » de l'électrolyte au-delà de 100 °C. Des milliers de téléphones et de tablettes portables ont dans les dernières années dû être rappelés par les constructeurs. En 2013, une batterie d'un Boeing 787 s'était embrasée après l'atterrissage.

Selon les enquêtes, l'échauffement vient le plus souvent d'un court-circuit provoqué par des problèmes d'assemblage ou à des chocs. Cela a contraint les producteurs à mettre en place des processus de fabrication rigoureux et à intégrer dans la batterie un système électronique (le BMS, Battery Management System) qui coupe le courant dès qu'une anomalie est constatée. Pour réduire ces phénomènes, les constructeurs étudient aussi des évolutions de la technologie visant par exemple à utiliser un électrolyte solide constitué de films ultra-minces en polymère.

Le marché des batteries est dominé par les compagnies asiatiques, ce qui peut constituer un risque géopolitique compte tenu du caractère stratégique de ces équipements pour l'économie mondiale. Un autre problème est que les ressources mondiales de lithium sont très inégalement réparties à la surface du globe et peuvent poser des problèmes environnementaux lors de leur extraction ».

Bilan électrique 2019 (synthèse)

Source: Rapport collectif - Réseau de Transport de l'Électricité (RTE) - édition 2020

**Une production d'électricité en baisse, particulièrement décarbonée grâce au recul du charbon**

La production totale d'électricité en France s'établit à 537,7 TWh sur l'année 2019, soit une baisse de 2% (11 TWh) par rapport à 2018. Les énergies renouvelables fournissent plus de 21% de l'énergie électrique totale malgré une baisse de la production hydraulique de plus de 12% par rapport à 2018. La production éolienne augmente en effet fortement par rapport à 2018 (+21,2%), de même que la production solaire, en hausse significative de +7,8%.

La baisse de la production hydraulique ainsi qu'une diminution de la production nucléaire entraînent une hausse de la production thermique à combustible fossile (+9,8%) malgré un très fort recul de la production des centrales à charbon.

L'augmentation de la production des centrales au fioul, importante cette année sur le réseau de distribution, est essentiellement liée à un fort déficit de production hydraulique en Corse. En effet, la production des centrales au fioul en Corse double par rapport à l'an dernier (1 TWh contre 0,5 TWh en 2018).

Une production nucléaire en légère baisse

Avec 63,1 GW la capacité de production nucléaire reste stable. Elle représente près de 47% de la capacité totale française (135,3 GW). La production nucléaire sur l'année est en baisse de 3,5% (13,7 TWh). Elle représente 70,6% de la production totale d'électricité en France; ce qui correspond au taux le plus faible depuis 1989. La baisse de la production d'origine nucléaire s'explique essentiellement par une moins bonne disponibilité des centrales.

Parc installé : le développement des énergies renouvelables se poursuit

En France métropolitaine, la puissance installée du parc de production d'électricité s'élève à 135,3 GW. Elle progresse de 2,3 GW (+1,7%) par rapport à décembre 2018. Ce sont les filières éolienne et solaire qui comptent pour l'essentiel de cette augmentation, conformément aux objectifs de la PPE (programmation pluriannuelle de l'énergie).

Une consommation en légère baisse

Une tendance de long terme à la stabilisation de la consommation totale d'électricité s'observe depuis 2010 et traduit une meilleure maîtrise de la consommation malgré une utilisation croissante d'appareils électriques, mais également un ralentissement de la croissance économique et de la croissance démographique. .

En 2019, on note une consommation en légère baisse par rapport à 2018 et à son plus bas niveau depuis 10 ans.

Tableau sur l'origine de l'énergie électrique produite en France en 2019

Energie produite	TWh	Variation 2019/2018	Part de la production
Production nette	537,7	-2%	100%
Nucléaire	379,5	-3,5%	70,6%
Thermique à combustible fossile	42,6	9,8%	7,9%
<i>dont charbon</i>	1,6	-71,9%	0,3%
<i>dont fioul</i>	2,3	26,5%	0,4%
<i>dont gaz</i>	38,6	23,8%	7,2%
Hydraulique	60,0	-12,1%	11,2%
<i>dont renouvelable*</i>	55,5	-12%	10,3%
Eolien	34,1	21,2%	6,3%
Solaire	11,6	7,8%	2,2%
Bioénergies	9,9	3,6%	1,8%
<i>dont biogaz</i>	2,6	8,5%	0,5%
<i>dont biomasse</i>	2,7	-0,8%	0,5%
<i>dont déchets de papeteries</i>	0,2	-9,3%	0,0%
<i>dont déchets ménagers non renouvelables</i>	2,2	4,8%	0,4%
<i>dont déchets ménagers renouvelables</i>	2,2	4,8%	0,4%

* l'hydraulique renouvelable correspond à l'ensemble des moyens hydrauliques excepté les moyens de production STEP (Stations de transfert d'énergie par pompage)

L'électricité d'origine nucléaire dans le monde en 2018
Source: Anonyme - Total Foundation - 7 mars 2020

La production d'électricité d'origine nucléaire

Même si la production d'électricité nucléaire mondiale n'a augmenté que de 2 % par rapport à 2017, l'année 2018 a marqué une progression de la filière avec un solde de 2 réacteurs supplémentaires (9 mis en service, dont 7 en Chine, et 7 arrêtés). Il y a 450 réacteurs en service dans 31 pays, pour une capacité totale de 396 GW (contre 392 GW en 2017). 2018 a également été marqué par le démarrage des premiers réacteurs de génération III.

Au Japon, frappé par l'accident de Fukushima, le gouvernement a fixé un objectif portant à 22 % la part de l'électricité nucléaire en 2030 (contre 30 % avant l'accident). En France, la fermeture des deux réacteurs de la centrale de Fessenheim, la plus vieille du pays, a été confirmée pour 2020.

La mise en route éventuelle d'autres réacteurs EPR (génération III) sera prise après 2022. L'Association mondiale pour l'énergie nucléaire (World Nuclear Association, WNA) estime que l'énergie nucléaire se développera pour trois raisons : l'augmentation des besoins en énergie, la lutte contre les émissions de CO₂, le renforcement de l'indépendance énergétique.

Génération d'électricité d'origine nucléaire (en TWh – térawatt-heure)

Pays	2017	2018	Part du nucléaire dans la production d'électricité domestique
Etats-Unis	805,6	808	19%
France	381,8	395,9	71,7%
Chine	232,8	277,1	4,2%
Russie	190,1	191,3	17,9%
Corée du Sud	141,3	127,1	23,7%
Canada	95,1	94,5	14,9%
Ukraine	80,4	79,5	53%
Allemagne	72,2	71,9	11,7%
Suède	63,1	65,9	40,3%
Royaume-Uni	63,9	59,1	17,7%
Espagne	55,6	53,4	20,4%
Japon	29,3	49,3	6,2%
Inde	34,9	35,4	3,1%
Total Monde	2503	2563	10,2%

Source : World Nuclear Association

La face honteuse du «métal bleu»

Source: Akram Belkaïd - Le Monde Diplomatique - juillet 2020

Des enfants employés dans les mines de cobalt en République démocratique du Congo

Indispensable pour la fabrication des batteries électriques, le cobalt fait partie des matières premières les plus convoitées. Sa rareté alimente les inquiétudes quant à d'éventuelles pénuries. En République démocratique du Congo (RDC), principal producteur mondial, des enfants travaillent dans les mines pour fournir les grandes entreprises des secteurs de l'automobile, de l'informatique et de la téléphonie.

-

Un jour, l'industrie mondiale risque-t-elle de manquer de cobalt ? Ces dernières années, son petit marché — 136 000 tonnes produites en 2019 (1) — est au centre de toutes les attentions en raison d'un emballement des cours motivé par des craintes de pénuries. Utilisé depuis longtemps par l'imagerie médicale et la radiothérapie, le « métal bleu » est devenu un composant indispensable pour les batteries de type lithium-ion qui équipent la grande majorité des téléphones portables et des véhicules électriques. Une note de recherche du cabinet McKinsey prévoit que ces derniers devraient représenter 22 à 30 % du parc mondial en 2030 (2). Comme il n'existe pas de minerai de substitution et que le recyclage de batteries demeure marginal, la production de ce métal devra alors atteindre 220 000 tonnes. Il s'agit même d'une hypothèse basse, puisque ces projections ne prennent pas en compte l'actuel engouement pour les vélos électriques.

Or le cobalt n'est pas des plus répandus sur la planète : les deux tiers des réserves se trouvent en République démocratique du Congo (RDC). Même s'il est le premier producteur mondial (100 000 tonnes en 2019), ce pays peine à développer et à moderniser son infrastructure minière. De nombreux projets d'exploitation sont annoncés en Russie (6 100 tonnes produites en 2019), en Australie (5 100 tonnes), ou même à Cuba (3 500 tonnes) et au Maroc (2 100 tonnes), mais les risques sont grands que la « révolution du véhicule électrique », pour reprendre les termes des économistes de McKinsey, soit enrayerée par l'insuffisance des capacités de production. Poussant le raisonnement à l'extrême, les analystes de la banque UBS ont relevé qu'un monde où le parc automobile serait à 100 % électrique exigerait une hausse de... 1 928 % de la production mondiale de métal bleu (+ 2 898 % pour le lithium et + 655 % pour les terres rares) (3). Une mission impossible à moins de transformer des régions entières en complexes miniers avec un coût environnemental très élevé (4).

Les marchés ne s'y sont d'ailleurs pas trompés. Le 21 mars 2018, le prix du cobalt atteignait le record historique de 95 000 dollars la tonne sur le London Metal Exchange (LME), la principale place de transactions sur les métaux. En progressant de près de 300 % par rapport à ses niveaux du début de la décennie, l'« or bleu » justifiait ainsi ce surnom. Par la suite, les cours ont reflué à des niveaux moins impressionnants, mais qui restent importants : durant le premier semestre 2020, et malgré le ralentissement de l'activité dû à la pandémie de Covid-19, le prix moyen de la tonne oscille entre 28 000 et 35 000 dollars.

Le Pentagone inquiet

Comme nombre de matières premières, le cobalt n'échappe pas aux stratégies spéculatives de fonds qui ne savent que faire de leurs liquidités obtenues à très bon marché grâce aux politiques de taux bas pratiquées par les grandes banques centrales. Mais c'est bien la crainte d'une pénurie à moyen terme qui explique l'évolution haussière des cours.

Fabricants de téléphones portables et constructeurs automobiles se livrent, depuis 2018, une discrète concurrence pour sécuriser leurs approvisionnements en métal bleu. Craignant que la voiture électrique n'absorbe toute la production, des entreprises comme Apple et Samsung ont entamé des négociations directes avec les grands groupes miniers afin de disposer de livraisons garanties sur une durée de plusieurs années. Pour autant, l'idée de constituer des stocks stratégiques destinés à compenser toute pénurie sur le marché et dont la gestion serait confiée à une sorte de coopérative pour utilisateurs de batteries électriques a fait long feu. « Les groupes miniers n'y sont pas favorables, car cela influencerait négativement sur les prix, nous confie un courtier en matières premières établi en Suisse. Quant aux fabricants de téléphones ou de voitures électriques, il leur faudrait consentir des frais élevés pour protéger les installations de stockage. »

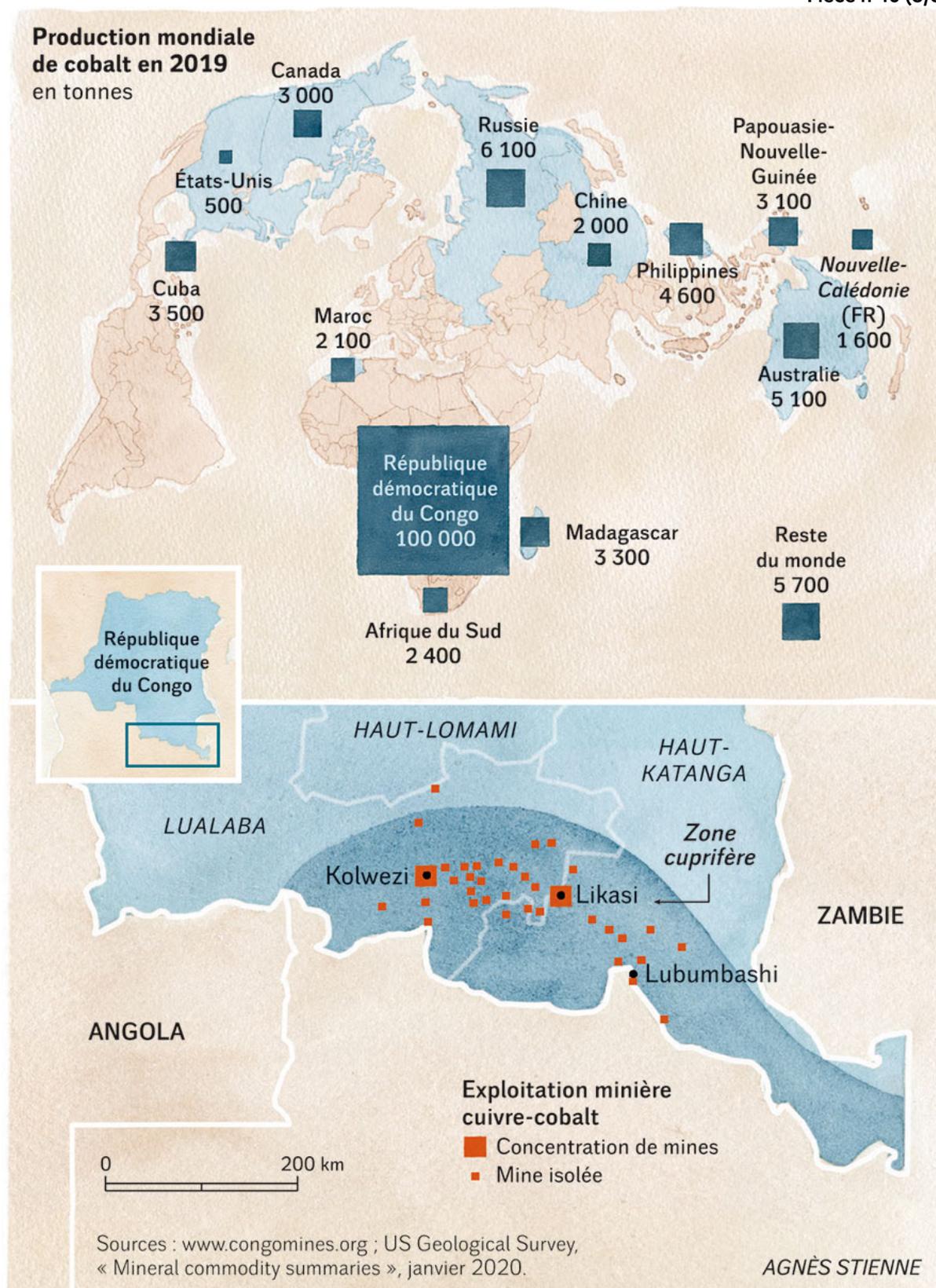
Depuis le début des années 2000, qu'il s'agisse du coton, du pétrole ou des terres rares, l'évolution de la majorité des matières premières fluctue selon l'activité économique chinoise (demande, production locale, implantations à l'étranger). Dans le cas du cobalt, c'est le quasi-monopole de la Chine en matière de raffinage qui prime. En 2019, ce pays n'a produit que 2 000 tonnes de métal bleu issu de ses propres mines, mais il a assuré

80 % du raffinage de l'ensemble de la production mondiale. Une situation qui inquiète le Pentagone, lequel définit le cobalt comme « stratégique » pour les États-Unis. Depuis 2016, le ministère de la défense tente donc de convaincre des entreprises nord américaines d'investir dans des infrastructures de raffinage afin de réduire leur dépendance.

Le Congo concentre le cobalt

Le 6 mai, l'annonce par le groupe canadien First Cobalt de l'ouverture, en 2021, de la plus grande raffinerie de cobalt en Amérique du Nord a bénéficié d'une grande médiatisation. Situé en Ontario, au nord de la ville de Toronto, le projet, d'un montant de 56 millions de dollars, consiste en la réhabilitation d'une installation industrielle fermée en 2015, dont la capacité de traitement sera de 25 000 tonnes. Pour ses promoteurs, le site sera aussi compétitif que les usines chinoises. Mais c'est certainement le fait d'avoir obtenu le soutien des autorités canadiennes et l'assurance de débouchés en Amérique du Nord qui a favorisé le lancement de ce projet (5). Selon les dirigeants de First Cobalt, le minerai destiné à être raffiné sera fourni par Glencore, le géant minier anglo-suisse.

Or la grande question est de savoir si ce minerai proviendra ou non des gisements de la RDC. Car, avec le risque de pénurie, la situation controversée des mines congolaises est l'autre sujet concernant le cobalt. À la fin du XIXe siècle, le géologue belge Jules Cornet, prospectant pour le compte de compagnies minières, eut recours à la célèbre formule de « scandale géologique » pour qualifier l'importance des richesses minérales du Congo et de sa province du Katanga. Plus d'un siècle plus tard, ces gisements existent toujours et constituent le principal revenu de la RDC, avec près de 15 milliards de dollars de recettes d'exportation par an en incluant les hydrocarbures. Cependant, le scandale, le vrai, concerne la situation des travailleurs dans les mines de cobalt et l'incapacité de la RDC à sortir du classement peu enviable des dix pays aux populations les plus pauvres de la planète (6).



Si les grands groupes comme Glencore, Umicore ou BHP assurent 80 % du total de la production congolaise, le reste provient d'exploitations artisanales plus ou moins légales, où 200 000 « creuseurs », selon le terme consacré, risquent leur vie en travaillant avec des outils rudimentaires et sans le moindre équipement de protection. Nombre d'entre eux souffrent de problèmes pulmonaires et de dermatites. Plus grave encore, plusieurs milliers de jeunes enfants privés de scolarité travaillent sur ces sites (7). Les uns sont assignés au transport de gravats, d'autres au tri et au lavage du minerai. Certains sont même obligés de se faufiler à l'intérieur de galeries étroites pour extraire à mains nues les blocs de pierres bleuâtres. Les accidents dans

ces « tunnels de la mort », comme on les appelle sur place, sont fréquents. Le 27 juin 2019, l'effondrement de deux galeries dans un site à proximité de la ville de Kolwezi — la « capitale » du cobalt congolais — provoquait la mort de trente-six mineurs selon un bilan officiel (d'autres sources estimant le nombre de victimes à plus de quarante) et plusieurs dizaines de blessés.

Régulièrement, les organisations de défense des droits humains dénoncent cette situation. Le 15 décembre 2019, l'association International Rights Advocates (IRA) annonçait le dépôt d'une plainte à Washington contre plusieurs entreprises transnationales accusées de complicité dans la mort de quatorze enfants dans les mines de cobalt congolais. Cette procédure met directement en cause Apple, Alphabet (maison mère de Google), Dell, Microsoft et Tesla. Selon IRA, le cobalt est « exploité en République démocratique du Congo selon des conditions dignes de l'âge de pierre, extrêmement dangereuses, par des enfants qui sont payés 1 ou 2 dollars par jour (...) pour fournir le cobalt servant aux onéreux gadgets fabriqués par certaines des plus riches entreprises au monde (8) ».

La démarche d'IRA fait écho à celle d'Amnesty International, qui, images à l'appui, documente depuis plusieurs années la situation dans les mines de la RDC. En 2016, l'organisation publiait avec l'association African Resources Watch (Afresource) un rapport accusant seize grands noms de l'informatique et de l'automobile (dont Apple, Daimler, Lenovo, Microsoft, Sony et Samsung) de ne pas chercher à savoir si le cobalt de leurs batteries provenait de mines employant des enfants. « Les vitrines des boutiques chics et le marketing des technologies de pointe contrastent vivement avec les enfants ployant sous les sacs de roches et les mineurs s'affairant dans les étroits tunnels qu'ils ont creusés, exposés au risque de contracter des affections pulmonaires permanentes », déclarait alors M. Mark Dummett, spécialiste de la responsabilité des entreprises en matière de droits humains à Amnesty International (9).

Qu'il s'agisse de la plainte d'IRA ou des mises en cause par Amnesty International, les réponses des industriels relèvent toutes de la réfutation catégorique. Dans un premier temps, les groupes informatiques ou automobiles ont assuré qu'aucun cobalt extrait par des enfants n'était présent dans leurs composants. Puis, face à la persistance des critiques, le discours a évolué pour désigner la « complexité » de la chaîne d'approvisionnement et la nécessité de prendre le temps pour mettre en place un système efficace de « transparence » et de « traçabilité », deux mots qui rappellent les éléments de langage employés au début des années 2000 par les joailliers mis en cause pour leur complicité passive dans le trafic de « diamants de sang » (10).

Le constructeur BMW a décidé en 2019 de ne plus s'approvisionner en cobalt congolais pour la fabrication de ses voitures électriques. De son côté, Tesla affirme que ses futurs véhicules se passeront de cobalt, une annonce accueillie avec scepticisme tant ce métal demeure indispensable pour la fabrication de batteries électriques. Quant à Apple, l'entreprise affirme avoir mis en place des « audits indépendants menés par des tiers », qui lui permettent de vérifier si les raffineurs s'approvisionnent ou non auprès des « creuseurs ». Elle annonce ainsi avoir exclu, en 2019, six fournisseurs de ses circuits d'approvisionnement.

La logique de cette communication de crise vise à faire porter la responsabilité aux groupes miniers et aux raffineurs. Très présent en RDC, où il assure 60 % de la production de cobalt, Glencore jure que ses mines n'emploient aucun enfant et met en cause les « creuseurs » qui investissent ses sites de manière illégale, au péril de leurs vies. De son côté, le groupe chinois Huayou, premier raffineur de cobalt en RDC, a annoncé le 28 mai qu'il stoppait les achats auprès des mines artisanales. Jusque-là, les « creuseurs » écoulaient leur production auprès de négociants — chinois pour la plupart. Installés en majorité dans la province du Lualaba, ce sont ces intermédiaires qui approvisionnent Huayou et d'autres raffineurs. « Le rôle de ces négociants demeure très opaque, relève le courtier suisse. Ils achètent du cobalt à raffiner d'où qu'il vienne et le revendent à qui veut l'acheter. Il n'existe pas d'organisme capable d'encadrer totalement leur activité. » Et de relever que la suspension par Huayou de ses achats de cobalt auprès des « creuseurs » n'est que provisoire. Le temps, peut-être, que l'agitation médiatique causée par la plainte d'IRA se tasse.

Quant au gouvernement congolais, il semble bien peu capable de peser sur le cours des événements. Le 24 novembre 2019, pour montrer qu'il entendait protéger le pays d'une exploitation intensive, il a déclaré le cobalt minéral stratégique, au même titre que le coltan et le germanium. Et il a engagé un bras de fer avec les compagnies minières en édictant un nouveau code minier, qui prévoit que le taux de redevance sur l'extraction de ces minéraux passe de 3,5 % à 10 %. Cependant, s'agissant des conditions de travail sur les sites miniers, Kinshasa a d'abord mis en garde contre un complot visant les intérêts congolais et soutenu la campagne « Touche pas à mon cobalt » lancée par des journalistes et des associations (11). Face à l'ampleur des révélations, les autorités ont ensuite fait profil bas en rappelant que le travail des enfants est interdit en RDC. Un argument bien faible, qui ne fait pas oublier que le pays — où 90 % des travailleurs sont non qualifiés — ne dispose toujours pas d'un vrai projet de développement industriel qui profiterait directement à la population. Malgré toutes ses richesses minières.

- (1) « Les principaux pays producteurs de cobalt dans le monde de 2013 à 2019 », Statista. Sauf indication contraire, les productions en tonnes citées dans le texte concernent une estimation pour l'année 2019.
- (2) Marcelo Azevedo, Nicolò Campagnol, Toralf Hagenbruch, Ken Hoffman, Ajay Lala et Oliver Ramsbottom, « Lithium and cobalt : A tale of two commodities », McKinsey22 juin 2018.
- (3) Henry Sanderson, « UBS takes apart Chevy Bolt, says electric vehicles will disrupt commodity markets », Financial Times, Londres, 19 mai 2017.
- (4) Bianca Nogrady, « Cobalt : le coût humain et environnemental de l'or bleu de nos transitions énergétiques », Up'Magazine, 18 mai 2020.
- (5) « First Cobalt seeks government backing to restart Canadian refinery », Reuters, 13 novembre 2019.
- (6) Lire Colette Braeckman, « Le Congo transformé en libre-service minier », Le Monde diplomatique, juillet 2006.
- (7) Cf. Inside the Congo Cobalt Mines That Exploits Children, documentaire de Sky News, 27 février 2017.
- (8) International Rights Advocates (IRA), 15 décembre 2019.
- (9) « "Voilà pourquoi on meurt". Les atteintes aux droits humains en République démocratique du Congo alimentent le commerce mondial du cobalt », Amnesty International, 19 janvier 2016.
- (10) Cf. Greg Campbell, Diamants de sang. Trafic et guerre civile en Sierra Leone, Les Belles Lettres, Paris, 2013.
- (11) « Don't touch my cobalt, to dirty it, to blacklist it », appel disponible sur <http://congominer.org>, mars 2018.

La guerre des terres rares aura-t-elle lieu?
Source: Camille Bortolini - Le Monde Diplomatique - Juillet 2020

Ces extractions stratégiques au cœur du conflit commercial sino-américain

Alors qu'elle semblait avoir le monopole des terres rares, indispensables à la fabrication des produits de haute technologie, la Chine en a importé en 2018 et 2019 plus qu'elle n'en a exporté. Mais peut-on vraiment parler de retournement alors que ses clients restent très dépendants de sa production ? Du reste, Pékin n'a pas renoncé à menacer les États-Unis de stopper les livraisons.

Dans la province du Jiangxi (sud-est de la Chine), la scène se déroule le 20 mai 2019 à Ganzhou, ville d'une dizaine de millions d'habitants. M. Xi Jinping, le président chinois, déambule dans les allées d'une usine d'aimants de terres rares. Pour cette « visite d'inspection » largement couverte par la presse officielle, il est accompagné de M. Liu He, son principal conseiller économique, négociateur en chef avec les États-Unis, chargé de désamorcer le conflit commercial entre les deux puissances.

La date du séjour du duo n'a rien d'anodin : dix jours auparavant, l'administration du président américain Donald Trump franchissait une nouvelle étape dans la guerre commerciale en remontant le niveau des droits de douane américains sur 200 milliards de dollars de biens chinois. Washington plaçait dans la foulée le géant des télécommunications Huawei sur liste noire, l'empêchant ainsi de se fournir en composants américains, dont certains lui sont indispensables (semi-conducteurs, système d'exploitation Android). Deux coups durs pour Pékin, pris par surprise.

En mettant en scène, quelques jours plus tard, sa visite dans une usine de terres rares, M. Xi souhaite envoyer un message qui ne souffre aucune équivoque : la Chine possède un instrument possible de rétorsion aux coups de boutoir américains. La presse et certains chercheurs chinois se chargent des sous-titres : la Chine pourrait cesser du jour au lendemain de fournir les entreprises américaines en terres rares. Dans un commentaire en anglais publié par le quotidien chinois *Global Times*, le professeur Jin Canrong, qui enseigne les relations internationales à l'université Renmin de Pékin, juge que la Chine « *possède trois atouts maîtres pour remporter la guerre commerciale contre les États-Unis* », dont l'interdiction des exportations de terres rares (1). Peu de temps après, l'organisation représentant les industriels chinois du secteur se déclare officiellement favorable à l'instauration de telles mesures de rétorsion (2).

La menace semble avoir de quoi alarmer, car elle a déjà été mise à exécution par le passé : à la suite de l'arrestation d'un chalutier chinois par la marine japonaise au large de l'archipel disputé des îles Senkaku/Diaoyu, en septembre 2010, Pékin a stoppé brusquement — mais sans jamais le reconnaître publiquement — ses exportations de terres rares à destination du Japon, causant un vent de panique sur les marchés mondiaux.

Mais que sont au juste les terres rares ? Un ensemble de dix-sept minerais aux propriétés chimiques proches — dont le cérium, le dysprosium, l'erbium, etc. —, indispensables — bien qu'utilisés en quantités parfois infimes — à la fabrication de technologies-phares de la transition énergétique (certaines éoliennes, des véhicules à énergie nouvelle) et d'appareils électroniques. Les terres rares sont également utilisées dans l'industrie de la défense. Et, depuis la fin des années 1990, la Chine en a assuré en moyenne 90 % de la production mondiale.

Montée en gamme industrielle

Cependant, seul un tiers des réserves mondiales prouvées se situe sur son territoire. L'Institut d'études géologiques des États-Unis (USGS) indique en effet que l'on peut en trouver dans les sous-sols du Brésil, de la Russie, de l'Inde, de l'Australie, mais aussi de plusieurs pays d'Asie du Sud-Est (3). Depuis le début des années 2010, des projets d'exploration ont été lancés au Canada, en Afrique australe, au Kazakhstan ou encore au Groenland. Même la Corée du Nord revendique de gigantesques réserves.

Pendant longtemps, la Chine n'en a pas moins occupé une position quasi monopolistique. C'est sous Deng Xiaoping, à la fin des années 1980, que le Parti communiste chinois (PCC) a adopté une politique volontariste de développement des terres rares. Cette industrie est alors dominée par les États-Unis, qui contrôlent, outre la mine de Mountain Pass en Californie, l'intégralité du cycle de la transformation autour de l'entreprise Magnaquest, filiale de General Motors et fleuron de l'Indiana, dont les activités sont florissantes (4). Toutefois, Deng est conscient de l'intérêt géopolitique de l'exploitation des réserves chinoises. Lors de sa célèbre tournée dans le sud de la Chine en 1992 pour relancer les réformes, le vieux dirigeant dévoile sa vision : « *Le Proche-Orient a le pétrole, la Chine les terres rares.* »

Dès lors, tous les moyens sont bons pour développer cette industrie : les autorités chinoises octroient des terrains, fournissent de l'énergie à bas prix, subventionnent l'ouverture de nouvelles mines. Elles se soucient peu des conditions de travail des mineurs, extrêmement précaires. Pas plus qu'elles ne s'embarrassent de préoccupations environnementales. En parallèle, le marché intérieur est protégé de la concurrence étrangère, réservant les activités d'extraction aux seuls industriels chinois. À mesure que les États-Unis se détournent des activités minières — la mine de Mountain Pass n'ayant pas été exempte de scandales environnementaux (5) —, la production officielle chinoise (qui n'inclut pas l'exploitation clandestine, estimée historiquement à un niveau compris entre 20 % et 40 % de l'extraction totale) progresse irrémédiablement : soixante mille tonnes en 1998, quatre-vingt mille tonnes en 2002, cent mille tonnes en 2004, cent vingt mille tonnes en 2006. La production américaine cesse à partir de 2003, quand celle des autres pays producteurs atteint au maximum mille tonnes par an.

Tout en sécurisant sa domination sur l'amont de la filière, la Chine s'emploie à attirer les entreprises étrangères disposant d'un savoir-faire technologique en matière de transformation, dans le but de remonter la chaîne de valeur. Cette captation prend des formes directes : dès 1995, le chinois Zhong Ke San Huan rachète l'américain Magnequench. Cinq ans plus tard, son usine de l'Indiana est délocalisée vers la ville de Tianjin, au sud-est de Pékin.

Le gouvernement chinois recourt également à des techniques plus indirectes. Il adopte progressivement une série de restrictions à l'exportation (taxes, permis, quotas) à la fois pour répondre aux besoins croissants de son marché intérieur et pour renchérir l'approvisionnement de ses clients. En 2010, alors qu'elle jouit d'un quasi-monopole en matière d'extraction, la Chine diminue drastiquement ses quotas d'exportation à trente mille tonnes annuelles. L'Organisation mondiale du commerce (OMC) la condamnera quatre ans plus tard (6), mais le mal est fait. Pour faire face au risque de pénurie ou pour éviter d'avoir à payer un surcoût, des entreprises américaines et japonaises du secteur de la transformation installent leurs activités en Chine. Tout au long de la chaîne, y compris dans des domaines à forte valeur ajoutée comme la production d'aimants, des partenariats se nouent, conduisant à des transferts de technologie au profit des entreprises chinoises. Ces dernières s'imposent aujourd'hui comme les championnes mondiales du secteur.

Cette politique de développement constitue une réussite industrielle pour la Chine. Celle-ci est désormais capable — sur son propre sol et avec ses propres entreprises, à l'instar de Shenghe — d'extraire, de séparer, de raffiner et de transformer les terres rares. Son objectif de fabriquer des produits à plus haute valeur ajoutée, de la mine jusqu'à la production de composants sophistiqués, est plus qu'atteint : elle assure aujourd'hui 80 % de la production mondiale de l'un des aimants les plus utilisés, à base de néodyme (pour les téléphones mobiles, les moteurs électriques, les appareils d'imagerie à résonance magnétique [IRM], certaines turbines d'éoliennes, etc.).

Sur le plan écologique, le bilan apparaît beaucoup moins positif... Le développement tous azimuts des activités d'extraction a été synonyme de désastre dans les provinces concernées : la Mongolie-Intérieure a vu se multiplier les lacs toxiques, les cas d'empoisonnement à l'acide sulfurique et ce que l'on a appelé les « villages du cancer ». Une partie de la population, préoccupée par les risques sanitaires et environnementaux, se mobilise localement, par exemple dans le Guangxi, pour manifester son opposition à l'extraction polluante. Bref, le coût environnemental de cette exploitation minière est devenu de plus en plus difficile à justifier pour un régime qui se sait attendu en matière de lutte contre la pollution, érigée sous M. Xi en « bataille fondamentale » du PCC.

De plus, les réserves chinoises, estimées à quarante-quatre millions de tonnes, ne sont pas illimitées. Or la demande mondiale devrait continuer à augmenter. La consommation de certaines terres rares pourrait être multipliée par vingt d'ici à 2035. Pékin se trouve ainsi dans une situation paradoxale où son contrôle de la chaîne de valeur, notamment du cycle de transformation, l'oblige à envisager de limiter ses opérations d'extraction.

Les autorités s'efforcent donc depuis le début des années 2010 de maintenir la production officielle entre 100 000 et 120 000 tonnes par an. Elles tentent parallèlement de consolider l'industrie, historiquement très éclatée, autour de grandes entreprises, afin de réduire l'extraction clandestine. Surtout, au milieu de la décennie, elles se tournent vers de nouveaux partenaires pour assurer l'approvisionnement en minerais : à la surprise générale, la Chine est devenue, en 2018, importatrice nette de terres rares brutes. En 2019, elle a importé, selon les douanes chinoises, 47 000 tonnes de minerais de terres rares et 36 000 tonnes d'oxydes de terres rares, deux postes pour lesquels les importations dépassent désormais les exportations. Ces terres rares brutes ou peu transformées proviennent d'Australie — via la Malaisie, où l'entreprise australienne Lynas Corporation, par exemple, a implanté une partie de ses opérations de raffinage —, de Birmanie, du Vietnam ou encore d'Afrique.

Le défi de Pékin devient alors de sécuriser ces nouvelles importations. En 2015, le géant Shenghe a conclu un contrat avec une entreprise allemande exploitant une mine à Madagascar. L'année suivante, le même est éga

lement devenu le premier actionnaire de Greenland Minerals Ltd, compagnie minière australienne avec laquelle il a conclu un accord lui réservant la totalité de la production de terres rares lourdes de la mine de Kvanefjeld, au Groenland, soit 32 000 tonnes annuelles de ces précieux minerais garantis, une fois que la production sera lancée.

Menace d'embargo

Plus étonnant, une partie significative des récentes importations provient... des États-Unis. L'administration américaine, ayant pris conscience de sa vulnérabilité face à son « *compétiteur stratégique* (7) » chinois, a soutenu la réouverture du site historique de Mountain Pass, de nouveau en service depuis le début 2018. Mais la mine n'est pas encore dotée d'une unité de raffinage. Alors, pour l'instant, les Américains exportent des terres rares brutes vers la Chine. Celle-ci les raffine, les transforme, avant de réexporter le produit fini (comme des aimants) vers le marché américain, mais aussi l'Europe, l'Inde ou le Japon.

Dans ce contexte, la menace d'un nouvel embargo chinois est-elle crédible ? Imposer de nouvelles mesures de restriction à l'exportation pourrait certes, à court terme, favoriser les entreprises chinoises en leur fournissant un accès privilégié à des produits finis pour lesquels les solutions de rechange sont difficiles à trouver dans plusieurs secteurs. Mais cela inciterait également ses partenaires à diversifier leurs circuits commerciaux — ce qui pourrait compromettre la centralité de la Chine dans la chaîne de valeur. Paradoxalement, ces restrictions à l'exportation favoriseraient ses concurrents. En effet, elles créeraient probablement un « choc d'offre » et donc une augmentation des cours mondiaux, qui rendrait l'exploitation de nouvelles mines plus rentables.

En tout état de cause, la volonté américaine de ne plus dépendre de la Chine est clairement affichée. Aux États-Unis, les opérations de transformation des minerais de terres rares issus de Mountain Pass doivent reprendre d'ici à la fin de cette année, et le Pentagone a indiqué son intention de financer la construction d'unités de raffinage sur le sol américain. Le rapprochement de l'administration Trump avec plusieurs partenaires (Canada et Australie en premier lieu) est scruté par les autorités chinoises. À l'été 2019, *Global Times* raillait la volonté affichée du locataire de la Maison Blanche de « racheter » le Groenland — preuve, selon lui, de l'« *anxiété* » américaine vis-à-vis de la domination chinoise dans le secteur des terres rares (8).

Un an après la visite de M. Xi dans l'usine d'aimants du Jiangxi, la Chine n'a toujours pas mis sa menace d'embargo à exécution. Dans la bruyante querelle qui oppose les deux puissances, une évolution a échappé à l'attention de la plupart des observateurs. Pour 2020, la Chine n'a pas diminué ses quotas de production de terres rares, mais les a augmentés de 10 %. Une façon pour Pékin, peut-être, de rendre l'offre plus abondante afin de faire baisser les prix mondiaux et de tuer dans l'œuf les nouveaux projets miniers que lorgnent les États-Unis.

La pandémie de Covid-19, qui a mis les mines chinoises et, plus largement, l'économie mondiale à l'arrêt, remet en cause ce calcul. Mais, à l'heure où le monde entier s'interroge sur ses dépendances vis-à-vis de la Chine, nul doute que les terres rares reviendront sur le devant de la scène.

Camille Bortolini

Analyste économique à la direction générale du Trésor, en poste à Pékin de 2017 à décembre 2019. Les points de vue exprimés par l'auteur dans ces lignes sont personnels.

(1) Jin Canrong, « China has three trump cards to win trade war with US », *Global Times*, Pékin, 15 mai 2019.

(2) « China rare earths group support counter-measures against US "bullying" », Reuters, 7 août 2019.

(3) « Minerals commodity summaries 2020 », US Geological Survey, Reston, janvier 2020.

(4) Lire Olivier Zajec, « Comment la Chine a gagné la bataille des métaux stratégiques », *Le Monde diplomatique*, novembre 2010.

(5) Cf. Guillaume Pitron, *La Guerre des métaux rares*, Les liens qui libèrent, Paris, 2018.

(6) Organisation mondiale du commerce, « Différend DS432. Chine. Mesures relatives à l'exportation de terres rares, de tungstène et de molybdène », Genève, mai 2015.

(7) Cf. la nouvelle stratégie de sécurité nationale américaine présentée par M. Trump en décembre 2017.

(8) Wang Jiamei, « Greenland interest exposes US rare-earth deficit », *Global Times*, 21 août 2019.

Le recyclage des batteries lithium-ion : un enjeu stratégique pour l'Alliance européenne des batteries

Source: Raphaël Damino-Perraud - Études de l'IFRI- 11 mars 2020

Le marché des véhicules électriques, s'il reste marginal, est en forte croissance. Selon l'Institut Français du pétrole et des énergies renouvelables (IFPEN), ces derniers représenteraient un peu plus de 2 % du marché des véhicules légers en 2019, en augmentation de 54 % par rapport à 2018 et environ 0,8 % du parc automobile mondial. L'Agence internationale de l'énergie (AIE) estime de son côté que le marché de la mobilité électrique pourrait représenter entre 15 et 30 % des ventes de véhicules en 2030.

Or, si les industriels européens ont développé des véhicules tels que la Zoé (Renault) ou la i3 (BMW), ils sont fortement dépendants des entreprises asiatiques pour ce qui est de la fabrication des précurseurs des batteries électriques. L'Asie concentre plus de 90 % de la production mondiale, dont la moitié pour la Chine. La dépendance européenne n'est pas seulement liée à la fabrication des batteries, mais s'observe sur une grande partie de leur chaîne de valeur, de l'extraction et du traitement des matières premières à l'élaboration des procédés de traitement nécessaires à leur recyclage. Le marché du recyclage des batteries issues des petits objets électroniques (smartphones, ordinateurs, tablettes...) a en outre été drainé par les pays asiatiques.

Ces déséquilibres ont été identifiés par la Commission européenne qui a lancé en 2017 l'Alliance européenne des batteries, dont le but est de rattraper une partie du retard accumulé sur les différents segments de la chaîne de valeur des batteries et notamment sur l'aspect du recyclage. Le potentiel de recyclage des batteries dans l'Union européenne (UE) est significatif et représente un triple enjeu : environnemental, car le recyclage permet une économie d'énergie en comparaison de l'extraction minière ; économique, car le développement d'une infrastructure de recyclage et d'un écosystème industriel lié au stockage électrique permettra la création d'emplois et de valeur ; stratégique, car elle permettra la récupération de ressources minières que l'UE n'exploite pas sur son sol et qu'elle pourra réinjecter directement dans son industrie.

Cependant, les obstacles sont nombreux car le marché est encore incertain et peu mature. Le nombre de véhicules électriques est marginal et la plupart n'ont pas encore atteint leur fin de vie, ce qui laisse de nombreuses questions ouvertes. Quid de leur durée de vie, de leur collecte, de leur état et de leur adaptabilité aux processus de recyclage ? Le manque de connaissances à propos de la fabrication et de la composition des batteries est un frein à l'efficacité des procédés de recyclage, voire même un danger pour les infrastructures.

Malgré une croissance importante, le marché de la batterie est caractérisé par des évolutions technologiques rapides, qui ont une influence directe sur les matières premières utilisées. Elles-mêmes sont soumises à une certaine volatilité financière ce qui rend les investissements dans le recyclage incertain. Ainsi, le cobalt, considéré comme le métal le plus rentable à recycler, a vu son prix tripler entre 2017 et 2019, lequel a ensuite été divisé par quatre en quelques mois avant de remonter, sans pour autant retrouver des niveaux similaires. Par ailleurs, l'utilisation croissante du nickel, qui remplacera partiellement le cobalt à l'horizon 2021, oblige les entreprises à faire évoluer leur modèle économique, du second au premier nommé. Quid également d'une possible « seconde vie » pour ces batteries qui seraient alors utilisées pour des usages stationnaires ? Ces interrogations demeurent en suspens et ne pourront trouver leurs réponses qu'à travers une « pratique » de la filière recyclage par l'industrie européenne. Cette dernière souffre encore trop de l'absence d'acteurs d'envergure internationale (à l'exception d'Umicore) et d'un morcellement, voire même d'une absence de certains segments de la chaîne de valeur.

Il faudra donc lui donner les moyens réglementaires et financiers pour mettre en œuvre cette « pratique ». Ainsi, suivant les différentes étapes du cycle de vie de la batterie, la législation devra imposer des normes précises pour encourager la soutenabilité du modèle productif et l'intégration de l'industrie européenne. Pour cela, l'extraction responsable tant d'un point de vue environnemental qu'éthique, doit être privilégiée, tout comme la production de matières premières secondaires à travers le recyclage. Le traitement de ces dernières devra être facilité par des normes d'éco-design et d'éco-fabrication pour les batteries qui permettront la standardisation de leur fabrication et ainsi, la récupération des matériaux à moindres coûts. Cela supposera de repenser la cible du recyclage et sa comptabilisation, de réorganiser le système de collecte, de mettre en œuvre la certification des filières de collecte et de recyclage et, plus important, d'accélérer la révision de la directive batterie afin de l'adapter le plus rapidement possible aux nouveaux enjeux rencontrés par l'industrie. À l'heure actuelle, l'obligation de recyclage d'une batterie lithium-ion n'est que de 50 % alors qu'elle est de 90 % pour une batterie au plomb.

Il faudra également adopter une approche en termes d'analyse de cycle de vie pour mesurer l'impact carbone d'une batterie lors de sa fabrication, de son utilisation ou encore lors de la gestion de sa fin de vie. Cela permettra de mieux contrôler les importations ayant une empreinte carbone trop élevée ou les exportations de batteries en fin de vie dans des pays ne respectant pas les standards environnementaux minimaux. Plus globalement, une vision systémique est nécessaire pour penser le cadre d'un écosystème industriel européen intégré, permettant la coopération horizontale d'entreprises, soutenues financièrement, législativement et stratégiquement par les États membres et la Commission européenne.

Les autonomies de voitures électriques peuvent-elle encore progresser?

Source: Christophe Congrega - L'Automobile Magazine - 27 novembre 2020

Le Docteur Hintennach, responsable de la recherche et développement des batteries chez Mercedes, nous éclaire, de son avis pertinent, sur les performances futures des batteries. S'il ne voit pas de révolution à court terme, quelques progrès sont tout de même en vue. Mais pas avant quelques années contrairement à ce que beaucoup nous promettent.

L'autonomie et le temps de recharge sont les deux nerfs de la guerre pour que la voiture électrique se démocratise. Sur ces deux points, les effets d'annonce sont nombreux et à en croire les rumeurs, la voiture "zéro émission" ne posera très bientôt plus aucun problème car les accumulateurs évolueraient très vite pour proposer à la fois des autonomies record et des temps de "remplissage" éclair. Plutôt que de conjecturer, nous avons rencontré le Docteur Hintennach, patron de la recherche et développement des batteries chez Mercedes. Interview détaillée sur ce qui nous attend dans le futur.

Monsieur Hintennach, vous êtes responsable de la recherche et développement des batteries chez Mercedes. Quels sont vos défis aujourd'hui ?

Ils sont multiples. La technologie des batteries est un élément clé de la mobilité électrique, et représente une grande partie du prix de nos véhicules. Pour nos clients, elles doivent être sûres à 100 %, offrir assez d'autonomie, se recharger de plus en plus vite. Et en même temps, nous devons en assurer la fabrication de la façon la plus propre possible, en respectant l'environnement et les droits humains – ce qui n'est pas partout le cas pour extraire les métaux rares –, faire en sorte que ce soit vertueux y compris pour l'énergie utilisée pendant la fabrication, tout en prévoyant leur recyclage en fin de vie. Nous travaillons donc sur toutes les étapes, de l'optimisation continue de la génération actuelle de batteries lithium-ion, à la recherche fondamentale sur les batteries de prochaine génération.

Ces dernières années, les batteries lithium-ion ont progressé de façon sensible. Vous les connaissez mieux ? Vous les exploitez mieux ?

Bien sûr, leur capacité de stockage a progressé, et leur prix a suivi le chemin contraire. Mais nous avons aussi avancé – et nous continuerons à le faire encore - sur ce que nous appelons le BMS (Battery Management System, ou calculateur de contrôle de la batterie, NDLR). Il s'agit d'un ordinateur complexe qui surveille et contrôle de très près chaque cellule, chaque module, tant pour la charge électrique que pour la température. Cet ordinateur très puissant (4 à 5 fois la puissance de calcul d'un bon PC portable, et deux fois plus de lignes de code que son système d'exploitation) est un sujet d'optimisation crucial, car il est responsable de la durée de vie et aussi de la performance de la batterie. Il faut vraiment bien comprendre tout ce qui se passe dans la batterie pour pouvoir prendre les bonnes décisions.

Malgré des progrès, les batteries lithium-ion souffrent toujours d'une autonomie trop juste, et ne se chargent pas assez vite. Voyez-vous d'autres technologies plus performantes pour le futur ?

Le lithium-ion est aujourd'hui la chimie la plus utilisée dans l'électronique et les véhicules électriques. Ce que je peux vous dire, c'est que dans les prochaines années elle le restera, mais il y en aura d'autres à venir plus tard, sur lesquelles nous travaillons constamment afin d'améliorer la densité énergétique et le temps de charge, mais aussi la durabilité et la sécurité, qui est un aspect crucial pour nous. Car si des solutions pourraient rapidement permettre d'obtenir une plus grande capacité, cela se ferait avec des compromis en matière de sécurité. Et pour nous, c'est hors de question. L'autre axe de recherche est de trouver des technologies où les matériaux précieux peuvent être substitués, minimisés ou utilisés plus efficacement.

Comme réduire le taux de Cobalt par exemple, qui est un matériau dont l'exploitation n'est pas toujours propre et respectueuse des droits humains, principalement quand il vient de la République démocratique du Congo ?

Exactement. Chez Mercedes, nous avons pour cela mandaté une société d'audit pour clarifier et surveiller chaque étape de la chaîne d'approvisionnement en cobalt conformément aux normes de l'OCDE. Mais oui, nous avons déjà réussi à réduire d'environ un tiers à moins de 20% la présence du cobalt dans la cathode, le pôle + qui est une des parties les plus coûteuses, composé de nickel, manganèse, cobalt, et lithium. Dans nos laboratoires, nous travaillons actuellement avec moins de dix pour cent, et la part devrait diminuer encore plus à l'avenir.

On entend beaucoup parler de batteries lithium-ion intégrant du silicium. Est-ce prometteur ?

L'anode (le pôle moins, NDLR) est faite de poudre de graphite, de lithium, d'électrolytes et d'un séparateur. Le silicium remplacera en grande partie la poudre de graphite à l'avenir. Cela nous permettra d'augmenter la densité d'énergie des batteries – soit l'autonomie à masse égale - d'environ 20 à 25 %, ainsi que d'améliorer la vitesse de charge. Elles ne devraient pas arriver sur le marché avant cinq ans. Idem pour des batteries où le

Manganèse (un métal moins cher utilisé dans les piles alcalines, et facile à exploiter et recycler) remplacerait complètement ou presque le cobalt et le lithium. Avec cette technologie, le gain pourrait être de 30%.

Et les batteries à électrolytes solides qu'on dit plus stables et sûres ?

C'est très prometteur en effet. A tel point que nous allons l'utiliser dans la deuxième moitié de la décennie pour notre eCitaro, un bus urbain. Cette technologie a une durée de vie très longue et se passe de cobalt, de nickel ou de manganèse dans la cathode, composée uniquement de lithium et d'acier. Cependant, ce n'est pas forcément la solution pour l'automobile, car sa densité énergétique est assez faible, ce qui rend ces batteries relativement encombrantes (un problème pour une voiture, mais pas pour un bus) et elles sont lentes à charger. Heureusement, si ces batteries sont grosses par rapport à leur capacité en kWh, elles ne sont pas si lourdes car cette technologie très sûre se passe de refroidissement, ce qui épargne pas mal de poids. Mais leur coût demeure aujourd'hui plus élevé qu'avec du lithium-ion...

D'autres technologies prometteuses selon vous ?

Oui, une autre solution est la batterie au lithium-soufre, qui permettrait de gagner environ 30% de densité énergétique. Le soufre est un déchet industriel très peu coûteux et facile à recycler, ce qui permettrait d'abaisser sensiblement le coût de ces batteries. Toutefois, la durée de vie de cette technologie est aujourd'hui bien insuffisante, et il faudra des avancées décisives pour qu'elle puisse être commercialisée dans l'automobile. Je dirais pas avant dix ans. Pareil pour le lithium-air dont on entend beaucoup parler dans les laboratoires. Dans ce cas, il n'y a vraiment que du lithium. Le reste – l'oxygène – vient tout simplement de l'air. C'est un concept semblable à celui d'une pile à combustible, où nous utilisons de l'hydrogène. Sa densité énergétique serait exceptionnelle, mais sa durée de vie très nettement insuffisante. Il faudra attendre au moins 15 ans...

Et les batteries au graphène ?

C'est un sujet sur lequel nous travaillons beaucoup, et que nous appelons batteries organiques chez Mercedes. Cette technologie de batterie révolutionnaire consiste en une chimie organique basée sur le graphène (des nanotubes de carbone). Elle n'utilise aucun matériau rare, toxique ou coûteux comme les métaux. Ses atouts sont une recyclabilité à 100%, une densité d'énergie très élevée, et également une capacité de charge rapide exceptionnelle. Mais ces batteries organiques font actuellement partie de notre recherche fondamentale, et nous ne les voyons pas arriver avant au mieux 15 à 20 ans. Mais le potentiel est là...

Regardez-vous également les super-condensateurs ?

Nous regardons tout, bien sûr, mais cette technologie est surtout efficace pour obtenir un effet boost, pour de fortes accélérations instantanées. Mais elle n'aide pas pour l'autonomie, ni pour la recharge rapide, qui sont nos priorités actuelles. Mais qui sait, à l'avenir peut-être ?

Nous allons donc continuer encore avec le lithium-ion, sans révolution ?

Oui, pour le moment. Mais la bonne nouvelle, c'est qu'il y a de multiples technologies qui réduisent le risque d'une voie sans issue dans le développement. Il n'y a pas une seule technologie post-lithium-ion. Toutes diffèrent par leurs exigences spécifiques en matière de matériaux, leurs applications et leur degré de maturité. Chaque technologie a ses propres avantages et inconvénients. Aucune n'est encore au coin de la rue, mais elles ne sont pas très loin non plus, avec des arguments en matière de densité d'énergie et de recharge rapide. Soyez sûrs que nous continuons de travailler dur et d'explorer les différentes voies avant de pouvoir dire "voici la technologie que nous devrions mettre sur la route maintenant" en ce qui concerne nos voitures de tourisme.