



16 juin 2010

## Fiche d'information sur les voitures de tourisme à propulsion électrique

---

### 1 Situation initiale

Aujourd'hui, les véhicules à propulsion électrique sont de plus en plus souvent au cœur des discussions sur l'efficacité énergétique et sur les stratégies permettant de diminuer la consommation de carburant et les émissions de CO<sub>2</sub>. Quelque 500 véhicules à batterie (entièrement électriques), 11 000 automobiles hybrides et plus de 30 000 vélos électriques circulent sur les routes suisses. Durant la session d'automne 2009 du Parlement, deux interventions parlementaires ayant pour objet la mobilité électrique ont été déposées: le postulat Müller (09.3863), qui soulève les questions de l'approvisionnement électrique, de la sécurité et de l'infrastructure, ainsi que l'initiative parlementaire Nussbaumer (09.468), qui a pour but l'amélioration des conditions générales de l'électromobilité. Organisé par l'Académie de la mobilité du TCS, le premier Forum suisse de la mobilité électrique, qui a eu lieu les 26 et 27 janvier 2010, avait pour parrain le conseiller fédéral Moritz Leuenberger et bénéficiait d'un important soutien de l'Office fédéral des routes (OFROU). Dans le cadre de ce Forum, une charte a été signée par des organisations, dont l'OFEN, qui s'engagent ainsi à promouvoir la mobilité électrique dans leur domaine d'action.

Le présent document vise à présenter un état des lieux de la mobilité électrique, en général et en Suisse plus particulièrement, pour mettre en évidence quelles sont les chances mais aussi les risques d'une mobilité qui repose de plus en plus sur la propulsion électrique. Au moyen de différents scénarios, une évaluation approximative des taux de pénétration du marché, de la demande supplémentaire en électricité et de la réduction des émissions de CO<sub>2</sub> induits par le remplacement de moteurs à combustion conventionnels par une propulsion électrique.

Dans cet état des lieux, la mobilité électrique est à comprendre au sens restreint de mobilité électrique du trafic routier: voitures de tourisme, autobus, utilitaires légers, deux-roues et engins hybrides, l'accent étant mis sur les voitures de tourisme à propulsion électrique.

### 2 Activités de l'OFEN

L'OFEN apporte depuis plusieurs années son appui à la mobilité électrique et la promeut soit directement, en finançant des projets pilotes et des agences partenaires, soit indirectement, par des activités déployées dans la recherche énergétique.

De 1995 à 2001, un essai à grande échelle a été mené avec l'appui de l'OFEN à Mendrisio (TI). D'un coût total de 13 millions de francs, cet essai a été financé par l'OFEN à hauteur de 53 %, soit de 6,9 millions de francs. L'OFEN a en outre assumé les frais liés au suivi scientifique (2,4 millions de francs) et aux projets partenaires (1,4 million de francs). Cet essai a permis de réaliser des expériences importantes en ce qui concerne les possibilités d'utilisation courante des véhicules à propulsion électrique, l'essai et l'évaluation de mesures d'encouragement de ce type de véhicules et leur intégration dans des projets de mobilité d'avant-garde et respectueux de l'environnement.

SuisseEnergie soutient, à hauteur de 1,5 million de francs par an environ, l'Agence suisse pour les véhicules routiers efficaces (EcoCar), une agence qui œuvre en faveur du lancement sur le marché de véhicules automobiles à faible consommation et à faibles émissions.



La recherche énergétique de l'OFEN apporte un appui indirect à la mobilité électrique en finançant la recherche fondamentale dans les deux domaines de l'efficacité énergétique et des énergies renouvelables. Quelque 9 millions de francs annuels (chiffre de 2008) y sont affectés dans le cadre des programmes de recherche suivants: "Transports", "Accumulateurs / Supercondensateurs", "Technologies et utilisations de l'électricité", "Réseaux", "Piles à combustible", "Hydrogène" et "Fondements de l'économie énergétique". Toutefois, chaque année, seule une part par ailleurs variable de ce montant est consacré à des projets liés à la mobilité électrique.

### **3 La mobilité électrique dans le contexte international**

Au niveau mondial, seule une petite minorité de la population a pour l'heure accès au transport individuel motorisé. Cette situation se transformera au cours des prochaines années, en raison notamment du développement de pays seuils tels que la Chine, l'Inde et le Brésil. Le plus souvent, la demande accrue de mobilité qui en découlera sera satisfaite au moyen des moteurs à combustion, comparativement bon marché. Quant aux véhicules à propulsion électrique utilisés dans ces pays, même s'ils deviennent proportionnellement plus nombreux, si l'électricité qui les alimente provient de centrales dégageant beaucoup de CO<sub>2</sub>, ils ne peuvent guère contribuer à atténuer la problématique du climat.

Dans le sillage de la crise économique et de la stabilisation conjoncturelle qui s'en est suivie, plusieurs grandes nations industrielles ont annoncé des programmes de promotion de la mobilité électrique. Il apparaît nettement que les grands programmes de promotion sont le fait de nations qui ont une importante industrie automobile (Allemagne: 500 millions d'euros, USA: 2,4 milliards de dollars, Royaume-Uni: 250 millions de livres, France: 400 millions d'euros, Japon: 200 millions de dollars, Chine: 1 milliard d'euros).

Etant donné l'absence d'industrie automobile, un programme comparable n'est pas envisageable en Suisse: à la différence d'autres Etats, il ne permettrait en effet pas de maintenir des places de travail ni des industries. En ce qui concerne la recherche et le lancement commercial en revanche, les activités pouvant s'avérer profitables pour la Suisse existent. Grâce à son pouvoir d'achat relativement élevé, la Suisse peut en effet tester puis diffuser de nouvelles technologies relativement tôt, ce qui lui donne un atout non seulement pour réduire les émissions de CO<sub>2</sub>, mais aussi pour améliorer sa compétitivité par la création de nouveaux domaines dans un secteur innovant (le développement de techniques de pilotages de véhicules à propulsion électrique ou d'infrastructures de recharge par ex.).

### **4 Facteurs de mobilité électrique**

La présence de plus en plus marquée de la mobilité électrique repose sur les éléments suivants:

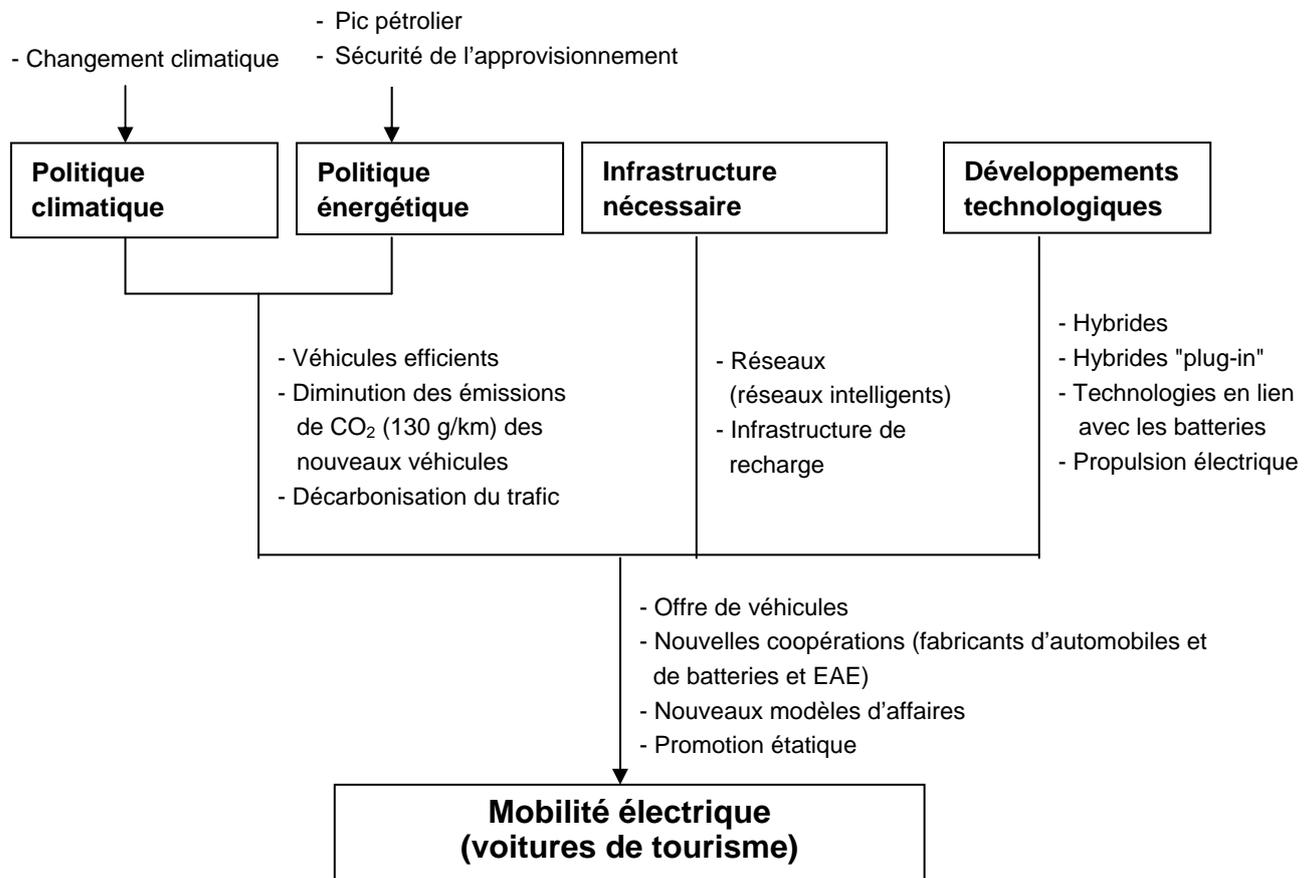
- Pour limiter le changement climatique mondial, il faut décarboniser tous les domaines sociaux et économiques, mobilité comprise. La disponibilité limitée des agents énergétiques fossiles (en raison du pic pétrolier) suscite de nouvelles innovations dans le domaine des transports, dans lequel la technologie du moteur à combustion est pour l'heure dominante.
- Le moteur électrique présente une efficacité supérieure au moteur à combustion, il permet donc une diminution de la consommation de l'énergie primaire induite par les transports, et donc un potentiel d'abaissement des coûts.
- La technologie actuellement disponible, celle liée aux batteries plus particulièrement, a été développée et améliorée au cours des dernières années: aujourd'hui, les batteries ont gagné en performance et sont plus avantageuses, la propulsion électrique est prête pour la production en série et les technologies de transition, comme les hybrides et les hybrides "plug-in"



(rechargeables) sont d'ores et déjà commercialisées ou alors sur le point de l'être (les hybrides "plug-in" fonctionnent au moyen aussi bien des carburants fossiles que de l'électricité fournie par le réseau).

- De nouveaux modèles commerciaux (batteries en leasing, exploitation des infrastructures de recharge), tout comme des coopérations – entre fabricants d'automobiles et de batteries d'une part ou entre fabricants d'automobiles et entreprises d'approvisionnement en électricité (EAE) d'autre part – ouvrent de nouvelles possibilités d'expansion et de diversification.
- De nombreux acteurs majeurs de la branche automobile ont annoncé des modèles de véhicules à propulsion électrique à l'horizon 2010 à 2012, dont des modèles produits en série. Ces véhicules ne sont donc plus associés à une image de prototypes ou de bricolages.
- Les acteurs étatiques disposent aujourd'hui d'un grand nombre d'instruments pour promouvoir et accélérer la percée commerciale des véhicules à propulsion électrique: la promotion de la recherche-développement pour les technologies des batteries, les programmes de préparation du marché, les prescriptions applicables aux émissions, les incitations financières au moyen de la fiscalité ou au moment de l'achat de véhicules, ainsi que divers outils d'information et de promotion. Dans le cadre de programmes de soutien conjoncturel, de nombreux pays, les pays producteurs d'automobiles plus particulièrement, ont déjà accordé de généreux moyens à la promotion de la mobilité électrique.

**Graphique 1: Facteurs de pénétration du marché des voitures de tourisme à propulsion électrique**





## 5 Obstacles à la mobilité électrique

En dépit de l'engouement qu'elle suscite actuellement, la mobilité électrique se voit confrontée à des obstacles qui méritent d'être passés en revue. Elle est pour l'heure une technologie d'avenir.

- A l'heure actuelle, ni les hybrides "plug-in" (rechargeables) ni les automobiles à batterie (entièrement électriques) produites en série ne sont commercialisées en Suisse. Même s'ils seront disponibles d'ici un à deux ans, les premiers modèles seront encore relativement coûteux, car les produits destinés à la mobilité électrique se trouvent encore à un stade précoce de leur cycle de vie. En ce qui concerne les automobiles entièrement hybrides en revanche, telle la Toyota Prius, leur phase de lancement est terminée et elles vont gagner des parts de marchés en étant proposées par d'autres marques.
- Les obstacles les plus importants auxquels la mobilité électrique doit faire face résident dans la technologie des réservoirs d'énergie (batteries). Du fait du prix leur capacité de stockage, de l'ordre de 500-1000 €/kWh, les batteries sont chères, alors que leur densité d'énergie, de quelque 100 Wh/kg, est encore trop faible. La combinaison de ces deux éléments a pour effet d'une part qu'un véhicule à propulsion électrique reste trop cher par rapport à un véhicule à propulsion conventionnelle, d'autre part que son autonomie est comparativement trop faible. De plus, la durée nécessaire à la recharge est relativement longue et la durée de vie d'une batterie est trop brève. Il apparaît aussi que les questions de sécurité ne sont pas entièrement résolues, en ce qui concerne par exemple la manipulation des batteries après un accident. Globalement toutefois, il est prévisible que les technologies liées aux batteries, soutenues par les moyens financiers fournis dans le cadre des programmes de soutien conjoncturel des grands pays producteurs d'automobiles, enregistreront rapidement des progrès majeurs. Dans le cas contraire, il faudrait envisager d'importants retards de pénétration du marché pour la mobilité électrique, d'autres technologies (moteur à combustion efficace, gaz naturel, biocarburants, hydrogène) étant alors privilégiées.
- Un autre obstacle est constitué par le nombre encore insuffisant des infrastructures permettant de recharger rapidement un véhicule et de celles situées dans le domaine public (disposer de son propre système de recharge à domicile présente une utilité limitée en Suisse étant donné la structure du logement). Même si la construction d'une installation de recharge d'électricité est relativement bon marché par rapport à d'autres agents énergétiques (tels que le gaz naturel, le gaz liquéfié, l'hydrogène), un réseau plus dense s'impose étant donné l'autonomie plus faible des véhicules fonctionnant avec des batteries. Les questions de sécurité, de normes et d'accès aux infrastructures d'un fournisseur d'électricité sont encore ouvertes.
- Selon le scénario le plus optimiste (le scénario 2, se reporter au point 7), en 2020, les 210 000 hybrides "plug-in" (hybrides rechargeables) et les 85 000 véhicules à batterie (entièrement électriques) entraîneront un accroissement de la demande en électricité de l'ordre de 0,5 TWh, un volume équivalant à 5 % environ de la production annuelle d'une nouvelle centrale nucléaire de 1200 MW, ou encore à 13 % de la production d'une centrale TAG-TAV de 500 MW. Si l'on veut que la mobilité électrique puisse jouer tous ses atouts face aux moteurs conventionnels, il convient que le supplément de consommation électrique qu'elle induit soit couvert par des agents énergétiques renouvelables. Par exemple, pour couvrir intégralement cette demande supplémentaire par l'énergie éolienne, une puissance installée de 260 MW fournie par des turbines éoliennes serait nécessaire, soit l'équivalent de 130 nouvelles turbines de 2 MW.
- Le passage à l'électricité d'une partie importante des véhicules en circulation accroît les exigences posées à l'infrastructure de réseau: des recharges simultanées durant les heures de pointe notamment pousseraient les réseaux aux limites de leurs capacités, un phénomène encore plus marqué l'hiver, et dont des analyses montrent qu'il affecterait le plus le niveau de tension



basse dans les agglomérations (la ville de Zurich par exemple). Mais ce problème pourrait être atténué au moyen de mesures relativement simples, comme la programmation horaire du rechargement pour les connexions à domicile, une différenciation tarifaire plus marquée en fonction de l'heure (pricing dynamique) ou encore un renforcement du réseau local.

- Pour terminer, mentionnons encore qu'en cas d'adoption massive de la mobilité électrique, il conviendrait de trouver une solution pour remplacer les rentrées fiscales sur les huiles minérales.



## 6 Analyse SWOT des voitures de tourisme à propulsion électrique

<b>Produit</b>	<b>Forces</b> <ul style="list-style-type: none"><li>- Très grande efficacité de la propulsion électrique du réservoir à la roue ("tank to wheel"):</li><li>- Efficacité supérieure de près de 50 % au diesel au niveau de la chaîne énergétique globale – de la source à la roue ("well to wheel") – et donc consommation d'énergie primaire plus faible</li><li>- Faibles émissions de CO<sub>2</sub> (variable, selon la production électrique)</li><li>- Absence de rejets d'émissions de substances nocives localement (ozone, suie, particules fines, bruit)</li><li>- Economies de frais de carburant</li><li>- Diversification des sources d'énergie primaires pour le trafic individuel motorisé</li><li>- Infrastructure du réseau électrique préexistante</li><li>- Possibilité pour les batteries de contribuer à la stabilisation du réseau</li></ul>	<b>Faiblesses</b> <ul style="list-style-type: none"><li>- Phase précoce du cycle de vie du produit (offre de véhicules insuffisante, prix élevés)</li><li>- Coût élevé des batteries</li><li>- Faible densité d'énergie des réservoirs d'énergie</li><li>- Durée de vie et sécurité des réservoirs d'énergie</li><li>- Faible autonomie</li><li>- Temps de recharge long</li><li>- Pertes d'efficacité en cas de recharge rapide</li><li>- Accroissement de la demande en électricité</li><li>- Poids des batteries</li></ul>
<b>Contexte</b>	<b>Chances</b> <ul style="list-style-type: none"><li>- Débats autour du climat</li><li>- Pic pétrolier</li><li>- Renchérissement des agents énergétiques fossiles</li><li>- Conscience écologique marquée de la population suisse</li><li>- Pouvoir d'achat de la population suisse</li><li>- Bénéfices pour l'économie nationale, par la substitution du pétrole par des agents énergétiques suisses</li><li>- Réduction de la dépendance au pétrole par la diversification des sources d'énergie primaire</li><li>- Développement d'innovations</li><li>- Croissance des exigences posées à l'exploitation de réseau en raison de l'intégration croissante de sources énergétiques fluctuantes (solaire, éolien)</li><li>- Amélioration de la qualité de vie dans les agglomérations</li><li>- Excellence de la recherche et de la technologie en Suisse</li><li>- Indépendance du pays, en l'absence d'industrie automobile</li><li>- Promotion de la compétitivité de la place économique suisse</li><li>- Nouvelles coopérations industrielles et nouveaux modèles d'affaires</li></ul>	<b>Risques</b> <ul style="list-style-type: none"><li>- Progrès insuffisants dans le développement de la technologie des batteries</li><li>- Progrès fulgurants dans l'efficacité de la propulsion conventionnelle (essence/diesel par exemple)</li><li>- Dépendance accrue vis-à-vis du marché international de l'électricité en raison de l'augmentation des besoins en électricité</li><li>- Augmentation générale des prix de l'électricité</li><li>- Manque de spécialistes</li><li>- Manque de normes internationales</li><li>- Manque de définition permettant de relier l'automobile au réseau</li><li>- Investissements nécessaires</li><li>- Disponibilité des matières premières nécessaires pour les batteries (lithium notamment)</li><li>- Calendrier de la participation des grands fabricants automobiles</li><li>- Effets de rebond</li><li>- Passage des transports publics au transport individuel motorisé</li><li>- Perturbation de la stabilité du réseau en raison de sa charge additionnelle</li><li>- Diminution des recettes fiscales perçues sur les huiles minérales</li></ul>



## 7 Scénarios de pénétration du marché

Pour évaluer quelle pénétration du marché prévoir selon les diverses hypothèses, une brève analyse a été effectuée au moyen de scénarios, pour dégager les principaux facteurs d'influence et pour montrer à l'intérieur de quelles marges se situent diverses évolutions envisageables. Pour ce faire, les quatre scénarios ci-après ont été envisagés:

- Scénario 1, "Les affaires continuent": selon ce scénario de référence, la politique actuelle se poursuit.
- Scénario 2, "Percée technologique": dans ce scénario, grâce aux fonds des programmes de soutien conjoncturel, les coûts des batteries baissent massivement à partir de 2015.
- Scénario 3, "Programme national de promotion": s'appuyant sur le modèle de bonus actuellement en discussion, ce scénario prévoit que les acheteurs de voitures de tourisme à propulsion électrique reçoivent une aide de 2000 francs au moment de l'achat.
- Scénario 4, "Ralentissement économique durable": ce scénario envisage qu'en raison de la stagnation économique persistante, les budgets alloués à la recherche diminuent, ce qui ralentit le développement des technologies de la batterie et diminue la propension du consommateur à dépenser pour des technologies innovantes.

Pour ces quatre scénarios, des calculs de rentabilité ont été effectués pour les trois technologies suivantes: entièrement hybride (Hybrid Electric Vehicle, HEV), hybride "plug-in" (Plug In Hybrid Electric Vehicle, PHEV), c'est-à-dire hybride rechargeable, et véhicule électrique à batterie (Battery Electric Vehicle, BEV), c'est-à-dire entièrement électrique. Le calcul de la valeur nette actuelle a permis d'établir une comparaison avec un véhicule conventionnel, en posant une durée de vie moyenne du véhicule de 10 ans. L'utilisation du véhicule exerce une influence importante sur la rentabilité: plus le véhicule est utilisé, plus les économies de frais de carburant sont importantes avec les véhicules électriques. Pour tenir compte de cette influence, les catégories "première voiture", "deuxième voiture" et "troisième voiture ou plus" ont été créées. Une utilisation annuelle type du véhicule, comprise entre 0 et 30 000 km, a été attribuée à chacune de ces catégories. Il est ainsi possible de déterminer à quel moment, compris entre 2009 et 2030, une technologie donnée devient plus rentable que des véhicules alimentés en énergie fossile. Toutefois, une partie des consommateurs opte pour une nouvelle technologie même si celle-ci n'est pas encore rentable. Inversement, de nombreux consommateurs ne la choisissent pas alors même qu'elle est devenue rentable. Ce paramètre est intégré au modèle par des facteurs compris entre 0 et 1, déterminés manuellement, en fonction de chaque technologie, et qui croissent au fil du temps. En outre, ces facteurs sont légèrement augmentés pour les ménages en possession de plusieurs véhicules: pour les ménages comptant plus d'un véhicule, l'autonomie plus faible d'un véhicule n'importe pas. Finalement, les facteurs de pénétration du marché ont été multipliés par le nombre de véhicules rentables, ce qui a permis de modéliser, pour chaque technologie et pour chaque année, le nombre de véhicules nouvellement immatriculés, et, ainsi, la pondération au fil du temps d'une technologie donnée par rapport au parc de voitures de tourisme.

La fixation "manuelle" de facteurs constitue une faiblesse du modèle. Cette solution a toutefois été retenue comme la moins mauvaise étant donné l'absence, pour le moment, de données relatives d'une part à la propension du consommateur à acheter ces technologies et d'autre part à la perception du problème de l'autonomie.

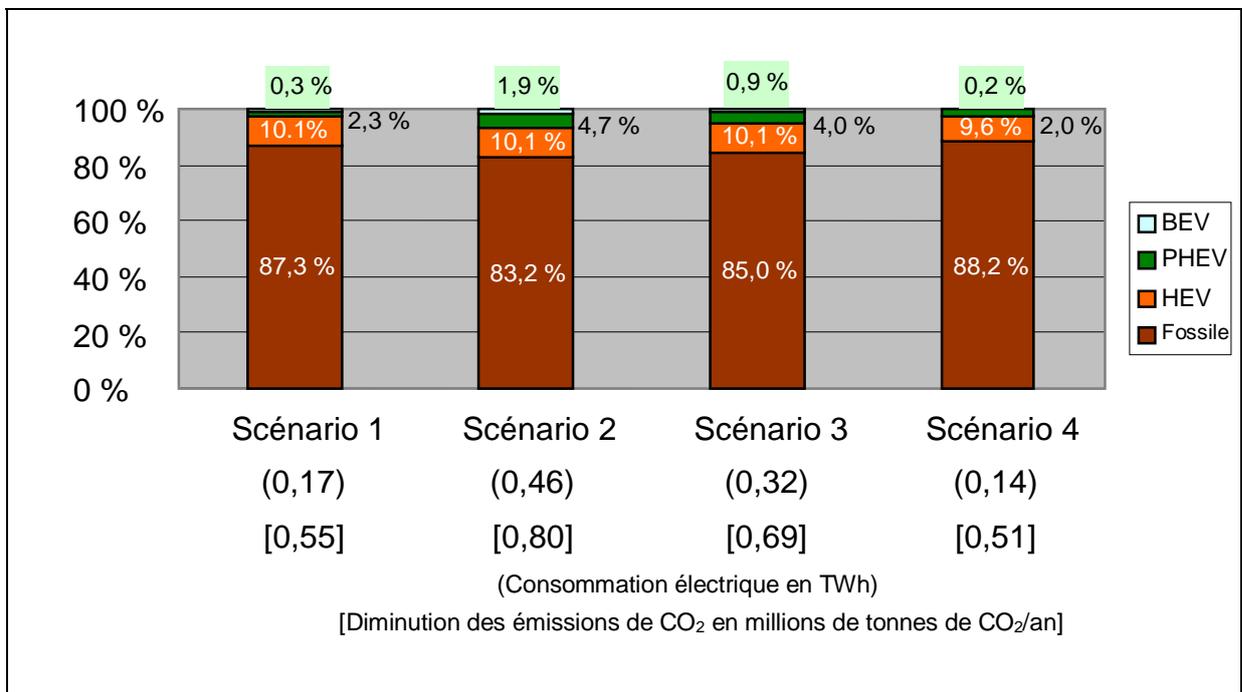
Les simulations montrent que la rentabilité de la propulsion électrique dépend fortement du prix de l'essence, de la consommation d'essence des moteurs conventionnels et du prix de l'électricité. La courbure de la pénétration du marché varie fortement en fonction des hypothèses: ainsi, dans le scénario de référence, une augmentation de 10 % durant toute la période d'analyse du prix de



l'essence entraîne une augmentation du pourcentage de véhicules PHEV et BEV par rapport au parc de voitures de tourisme, qui passe de 2,6 % à 3,9 % en 2020. Si l'on admet, pour le même scénario et aux mêmes conditions, que le prix de l'électricité augmente de 10 %, ce pourcentage diminuerait, passant de 2,6 % à 2,2 %.

Le graphique 2 illustre le pourcentage des diverses technologies par rapport au parc de voitures de tourisme en 2020 selon les différents scénarios. La consommation électrique supplémentaire induite par les véhicules à propulsion électrique est indiquée entre parenthèses, et la réduction des émissions de CO<sub>2</sub> qui en résulterait est donnée entre parenthèses carrées. Le pourcentage des véhicules à carburants uniquement fossiles dans le parc automobile en 2020 varie entre 83 % et 88 %. Une grande partie des autres véhicules sont des hybrides intégraux (HEV). La pondération la plus élevée des hybrides "plug-in" se trouve dans le scénario 2, tout comme les véhicules à batterie (entièrement électriques), dont la part est de 1,9 % dans le scénario 2. Comprise entre 0,14 et 0,46 TWh, la consommation électrique supplémentaire est faible dans tous les scénarios. Compte tenu de l'intensité en CO<sub>2</sub> du mix suisse de consommation électrique de 154,8 g CO<sub>2</sub>/kWh, la diminution des émissions de CO<sub>2</sub>, évaluée entre 0,51 et 0,80 million de tonnes de CO<sub>2</sub>, représente entre 1,26 et 2,00 % de toutes les émissions suisses en 2008. Si l'on prend comme base de calcul le mix de production de 23,8 g CO<sub>2</sub>/kWh, il en résulte des économies d'émissions comprises entre 0,53 et 0,87 million de tonnes de CO<sub>2</sub>, soit 1,31 à 2,17 % du total des émissions.

**Graphique 2: Parc des voitures de tourisme en 2020 ventilé par mode de propulsion et par scénario**

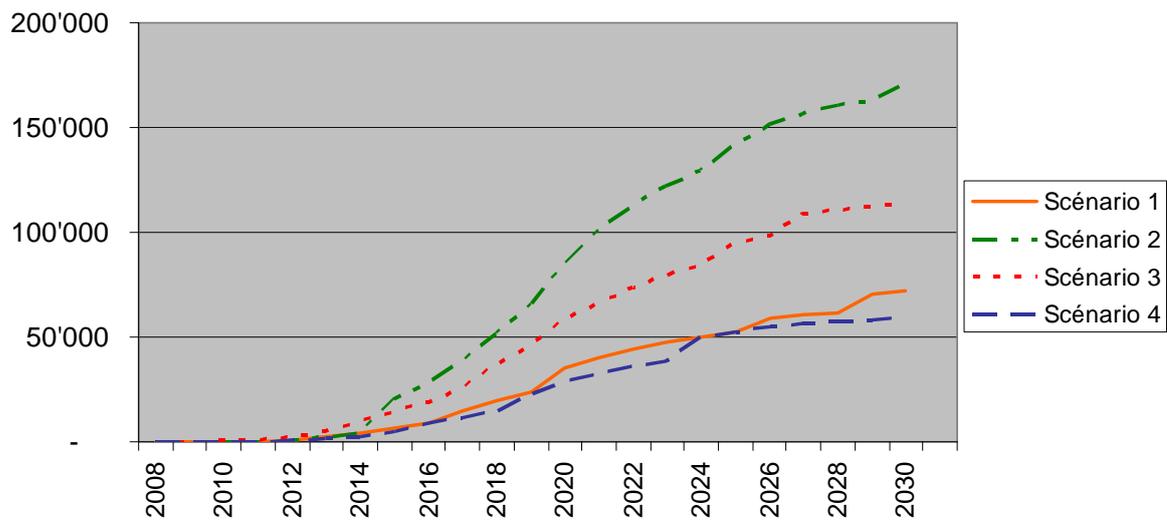


Le graphique 3 présente l'évolution des nouvelles immatriculations de PHEV, c'est-à-dire d'hybrides "plug-in", et de BEV, c'est-à-dire de véhicules à batterie (entièrement électriques). En raison du développement de la technologie relative aux batteries et des incitations financières du programme de promotion, le nombre des nouvelles immatriculations s'accroît relativement tôt dans les scénarios 2 et 3: on y voit les véhicules à propulsion électrique rouler en nombre sur les routes suisses à partir de 2013 – 2014. Dans le scénario 4, ce développement technologique est retardé par la crise financière, d'où un déplacement vers la droite de la courbe des nouvelles immatriculations. La durée de vie



moyenne des véhicules, fixée à 10 ans, a pour effet qu'un certain temps s'écoule jusqu'à ce que les nouvelles immatriculations se traduisent par une augmentation significative du pourcentage par rapport au parc de voitures de tourisme.

**Graphique 3: Evolution des nouvelles immatriculations de véhicules à propulsion électrique (PHEV et BEV)**



## 8 Suite de la démarche

Le présent état des lieux de la mobilité électrique donne un aperçu des nombreuses facettes de ce mode de déplacement, des questions qui se posent dans les domaines de l'énergie, de l'infrastructure et de l'environnement. Les actions et la coordination nécessaires sont identifiées. Il convient que des mesures soient prises, le cas échéant, sur la base des problématiques centrales et que les compétences soient fixées.