



Pour une mobilité sans carbone

Quelle stratégie?

**Une réflexion collective des comités IESF
Energie et Transports**

Présentation du 26 avril 2018 au siège d'IESF

PRÉSENTATION D'IESF

INGÉNIEURS ET SCIENTIFIQUES DE FRANCE

- 4 mars 1848, création de la Société Centrale des Ingénieurs Civils
- IESF représente le corps social des ingénieurs et des scientifiques
- > 1 million d'ingénieurs, 200.000 chercheurs en sciences, 4% de la population active
- Des actions variées: enquête, journée nationale de l'ingénieur, promotion des métiers de l'ingénieur et du scientifique...
- 16 comités sectoriels
- **Livre blanc de propositions des IESF :**
l'éducation clé du progrès, l'implication dans la vie publique, la compétitivité de l'économie par l'approche collective, la formation des ingénieurs aux enjeux du monde de demain.



PUBLICATIONS DES COMITÉS SECTORIELS (DEPUIS AVRIL 2017)

- **Un livre en accès ouvert** « Changement climatique: un défi pour les ingénieurs ».
- **Cinq cahiers:**
 - Des ingénieurs pour bâtir la Défense de l'avenir.
 - Brevet européen et Brexit.
 - Gestion des risques: facteurs humains et organisationnels.
 - Besoins et outils de formation: une première étape d'analyse.
 - Pour une mobilité sans carbone: quelle stratégie?
- **Des documents plus brefs**, préparatoires ou spécifiques:
 - Notes de veille d'actualité ou commentaires d'événements particuliers.
 - Fiches sur les réalisations des ingénieurs français dans le monde.
 - Manifestes: pour une mobilité sans carbone; sur la Programmation Pluriannuelle de l'Énergie.

De quelles énergies sans carbone peut-on disposer pour les véhicules de transport ?

Au départ :

Nous avons supposé que l'on disposerait à long terme de sources d'énergies sans carbone adaptables aux différents véhicules de transport...

Mais cela conduit au constat suivant :

Hormis la biomasse, toutes les sources d'énergie primaire sans carbone conduisent à une production d'électricité !

L'électricité est-il le vecteur unique du transport décarboné ?

Le moteur à combustion interne est-il condamné à terme ?

Trois filières énergétiques sans carbone

FILIERES ENERGETIQUES	CARBURANTS EX BIOMASSE	MOTEUR ELECTRIQUE BATTERIES	HYDROGENE PILE ou THERMIQUE
Caractéristiques physico-chimiques	- éthanol, bio-essence / diesel - méthanisation déchets - biogaz liquéfié	Liées au mix électrique plus ou moins carboné	Produit par électrolyse ou gazéification de la biomasse
Conditions d'utilisation	Moteur à combustion interne	Moteur électrique Batterie rechargeable	Moteur à allumage Moteur électrique avec pile à combustible
Adaptation aux véhicules	Additif ou substitut aux carburants fossiles	batterie embarquée (énergie, durée recharge)	Stockage embarqué (poids, sécurité)
Coût de production	Surcoût de 30% à 80% carburants fossiles	Lié au coût/durée de vie de la batterie embarquée	Coût élevé d'électrolyse
Bilan du puits à la roue	<i>Indispensable, mais Ressource insuffisante</i>	<i>Très variable selon le mix électrique et les batteries</i>	<i>Dépend du mix électrique Coût final élevé</i>

Avantages et limites du véhicule électrique ?

Avantages pour les déplacements quotidiens à courte distance:

- Simplicité et souplesse d'usage, absence de pollution locale, autonomie suffisante, bon rendement moteur et couple important.
- Facilité de recharge (à domicile, la nuit, dans les lieux d'activité...)

Mais pour les déplacements à longue distance, il faut recharger la batterie ! *D'où une série de questions non traitées à ce jour :*

- Autonomie de la batterie 400 à 500 km (quand et à quel coût) ?
- Quelle disponibilité de bornes à recharge rapide ?
- Comment délivrer la puissance électrique nécessaire aux bornes ?

La recharge électrique : une question ciblée

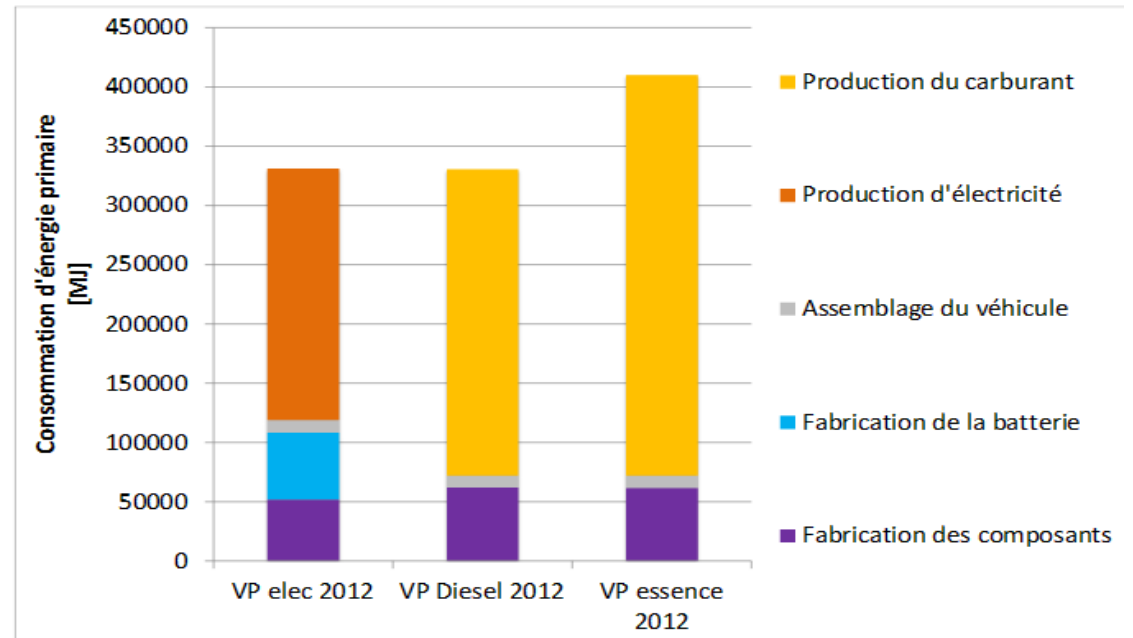
Types de trajets <i>Pour 38 millions de véhicules</i>	Besoins de recharge	Infrastructures de recharge
Véhicules légers courtes distances <i>15 M.véh</i>	Une fois par jour maximum, recharge lente (de nuit)	Prises individuelles dans les immeubles (copropriétés ?)
Professionnels et VUL Moyennes distances <i>12 M.véh</i>	Besoin d'un complément de recharge dans la journée	Prises individuelles et bornes de recharge dans les lieux d'activité
Véhicules légers longues distances <i>10 M.véh</i>	Recharge rapide 1 à 2 fois par voyage, sur axes routiers	Stations-services à grande puissance et gros débit
Véhicules lourds longues distances <i>0,6 M.véh</i>	Une à deux fois par jour alimentation sur axes routiers	Autoroutes électriques (sections de recharge avec caténaires ?)

Faut-il investir dès à présent dans un réseau de stations services à recharge rapide alors que d'autres solutions (hydrogène, carburants ex-biomasse...) peuvent être envisagées pour les trajets à longue distance ?

Les limites d'une électromobilité massive

La production électrique est le plus souvent carbonée...

La fabrication et le recyclage de la batterie (composants rares), sont très polluants ...



Le bilan environnemental du véhicule électrique, sur le cycle de vie, est en moyenne proche d'un véhicule diesel ADEME (2012)
Sauf le cas français, avec le parc nucléaire...!

Production, distribution et stockage d'électricité

Un système complexe à concevoir et à gérer

- des besoins limités de consommation électrique : *l'électrification totale du parc représenterait environ 20% de la consommation électrique actuelle.*
- des appels à puissance localisés à gérer (*pour les recharges rapides massives*)
- un potentiel de stockage dans les véhicules, les bâtiments, les stations de recharge

Le stockage d'électricité, un obstacle pour l'énergie sans carbone

Lorsque le développement des énergies sans carbone intermittentes approche les 30% de la production totale, une bonne partie du surplus non utilisé de production électrique doit être stocké pour des durées de quelques heures à plusieurs mois !

Il n'existe aujourd'hui aucun cas de production électrique décarbonée reposant de manière importante sur les ENR intermittentes, faute de solution de stockage à un coût acceptable.

Quelles solutions alternatives à l'électromobilité massive ?

<i>La demande de Transport en France en 2015</i>				Les options énergétiques
<i>Voyageurs: Mds. Voy. x km</i>		<i>Mds V-km</i>	<i>CO2 Mt</i>	Quelles filières énergétiques sans carbone
Longue distance	Autocar 50	1,5	1,2	Filières biogaz et carburants ex-biomasse
	V.P. 250	140	19,5	Hybrides avec carburants ex biomasse
Proximité : Grandes agglomérations	Bus/ tram 12			Electriques (batteries ou caténares)
	V.P. 170	120	21,0	Electriques (batteries)
Proximité Périurbain et rural	Autocar 11			Mix autocar gaz et navettes électriques
	V.P. 318	230	32,0	Electriques (batteries)
<i>Marchandises : Mds. Tonnes x km</i>				
Longue distance	Péniche 7,5		1,2	Biogaz, hydrogène ?
	Camion 281,4	26,4	28,0	Carburants ex- biomasse ou hydrogène ?
<i>VUL moy.distance</i>	Total VUL	100	25,5	Majoritairement électriques (batteries)

Transition vers un parc électrifié conditions industrielles

Le secteur automobile affronte simultanément trois révolutions :

- **La transition énergétique,**
- **La connectivité (organisation des mobilités)**
- **L'automatisation (les véhicules sans conducteurs)**

Un temps d'adaptation est donc nécessaire

- **Pour transformer l'appareil de production**
- **Pour arriver à des coûts compétitifs**
- **Pour développer des services attractifs**

Transition vers un parc électrifié

A quel rythme ?

Un scénario d'évolution du parc électrifié <i>(en milliers de véhicules)</i>		
Horizon	Commercialisation m.VE neufs / an	Volume du parc électrifié
2017	42,6 (dont 6 VUL)	Environ 120 VP et 20 VUL
2022 / 2025	240 (dt 40 VUL) = 10% marché	800 à 1 000 VP et 160 à 200 VUL (= 3 % du parc)
2035 / 2040	2 200 (dt 400 VUL) = 90% marché	Environ 10 000 VP et 2 400 VUL (= 33 % du parc)
Après 2040	100 % des ventes VE et VHR	Extinction du parc thermique sur 10 à 15 ans

Les trois inerties de la transition :

- La disponibilité réelle de l'offre électrique (modèles et coûts comparables)
- La montée en régime de la production / commercialisation des VE neufs
- Le faible taux de renouvellement du parc (de l'ordre de 6% par an)

Quels enseignements peut-on tirer ?

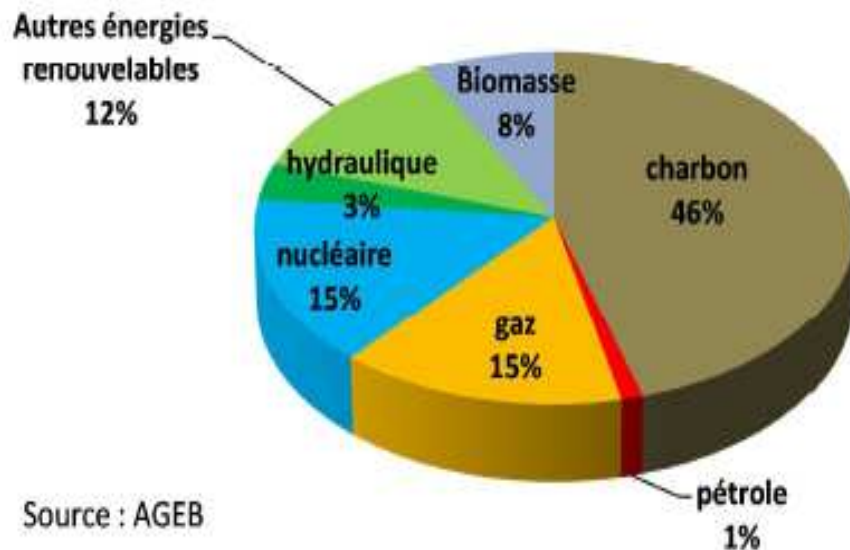
Une électromobilité inéluctable, au moins pour les trajets à courte et moyenne distance (60% des km parcourus) qui ne posent pas de réels problèmes de recharge

Des solutions alternatives nécessaires, pour « décarboner » la motorisation des véhicules lourds et des trajets longs, combinant le gaz, les carburants ex-biomasse, les hybrides rechargeables, l'hydrogène...

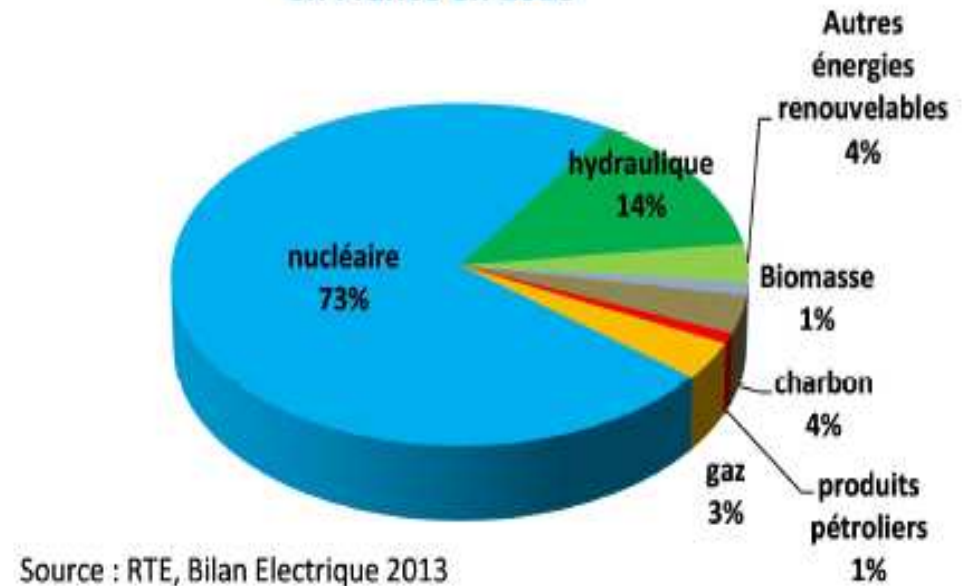
Une transition longue d'électrification du parc automobile, qui commencera par les « deuxièmes voitures » d'usage local, en attendant les futurs développements technologiques et surtout les systèmes de pilotage de l'énergie électrique (stockage et recharge)

Le mix électrique est-il sans carbone ?

Décomposition de la production d'électricité en Allemagne en 2013



Décomposition de la production d'électricité en France en 2013



Selon l'AIE, 1kwh électrique produit en France émet 52 g de CO2 contre 485 g CO2 en Allemagne, soit près de 10 fois moins !

Economies d'énergie : Quelles alternatives à la voiture individuelle ?

<i>Demandes de déplacements de personnes Dynamiques 2002 – 2015 VP/TC</i>				<i>Projections 2015 2030 (pib = 1,5% / an) Prolongement des dynamiques observées</i>		
<i>Mds. de voy - km</i>		<i>2002</i>	<i>2015</i>	<i>var %</i>	<i>2030</i>	<i>Facteurs d'évolution 2015 - 2030</i>
Voyageurs longue distance	TC	111	134	+ 21%	158	Croissance autocars, tassement fer et aérien
	VP	225	250	+ 11 %	284	Dont passagers covoiturage (6 Mds)
	Total	336	384	+ 15%	442	Croissance de 0,95% par an (e/pib = 0,63)
Grandes agglos proximité	TC	24,5	34	+ 39%	48	Forte croissance 2,5% liée à l'offre TCSP
	VP	178,5	170	-5%	162	Restrictions circulation et stationnement
	Total :	203	204	0%	210	Stagnation (des budgets temps)
Périurbain et rural proximité	TC	17	22	+ 29%	30	Forte croissance TER (accès aux emplois)
	VP	324	318	-2%	350	km professionnels (+ 0%) ; km personnels (+20%)
	Total :	341	340	0%	380	Effet démographique (+ 12%)
Total Voyageurs intérieurs	T.C.	152,5	190	+ 24,6%	237,5	Forte progression (+25%)
	V.P.	729,5	738	+ 1,2%	796	Faible progression (+3%)
	Total :	882	928	+ 5,2%	1032	Progression nettement inférieure au PIB

Des marges supplémentaires de réductions des déplacements ? Il faudra du temps !

La biomasse : alternative aux carburants fossiles ?

Les technologies de transformation de la biomasse en carburant

(au-delà des filières actuelles : éthanol et bio-diésel)

- Par fermentation : éthanol ligno-cellulosique, isobutène
- Par gazéification à l'oxygène, suivie de la méthanisation (biogaz), par synthèse Fischer-Tropsch (kérozène, gazole), ou synthèse du méthanol (supercarburant)
- Par pyro-gazéification, suivie de méthanisation (amélioré par apport d'hydrogène)
- Par hydrogénation du CO² en méthane (hydrogène obtenu par électrolyse)

Utiliser la biomasse comme énergie complémentaire à l'électricité

- En motorisation préférentielle pour les véhicules lourds (autocars, camions)
- En motorisation alternative pour différentes catégories de véhicules hybrides

Ce qui implique un effort important et ciblé de recherche - développement