



Feuille de route sur le couple véhicules particuliers - carburants à l'horizon 2050





Plan

1.	Constat et motivation :.....	4
2.	Quels objectifs de long terme pour les politiques énergétiques ?.....	5
3.	Répondre par la demande ou l'offre d'énergie ?.....	5
4.	Les quatre visions à l'horizon 2050.....	6
	a) Les 2 visions : réponse par la demande :	6
	b) Les 2 visions : réponse par l'offre :.....	7
5.	Les incontournables	8
	a) La nécessaire flexibilité des véhicules à combustion interne :... 8	
	b) Une omniprésence de la séquestration du CO ₂ et des biocarburants de 2 ^{ème} génération :	8
	c) Les évolutions du secteur automobile :.....	9
	d) Une période de transition :.....	9
6.	Onze priorités de recherche :.....	11
7.	Les perspectives.....	13

Préambule

Les éléments présentés dans ce rapport **résultent du travail d'un groupe d'expert**. Ils n'engagent en aucun cas les organismes d'appartenance de ces différents experts.

Les participants s'accordent sur le fait que les visions du couple véhicules particuliers – carburants proposées dans cette feuille de route sont **proches de celles portées ou qui pourraient être portées par l'industrie automobile**.

Les visions proposées intègrent les **évolutions actuellement prévisibles** en matière d'avancées technologiques, organisationnelles, économiques et sociétales mais aussi les évolutions possibles à l'horizon 2050 au regard de la lutte contre le changement climatique et de la sécurité énergétique. C'est pourquoi, des **révisions régulières** de cette feuille de route seront faites afin d'intégrer les évolutions porteuses de ruptures, au regard des visions proposées dans cette feuille de route. Cet exercice vise plus particulièrement à hiérarchiser les priorités de recherche.

La réalisation de cette feuille de route s'est appuyée sur un groupe de 8 experts : **Pierre BEUZIT** (Renault puis ALPHEA), **Gérard BELOT** (MPSA), **Alexandre ROJEY** (IFP), **Daniel LE BRETON** (Total), **Patrick NOLLET** (EpE), **François MOISAN**, **Daniel CLEMENT** et **Alain MORCHEOINE** (ADEME).

Ils ont été accompagnés dans leur démarche par Revis JAMES (EPRI), Gabriel PLASSAT (ADEME) et Michel GIORIA (ADEME) qui ont assuré le secrétariat du groupe et appuyé le groupe d'experts, d'un point de vue méthodologique.

Feuille de route sur le couple véhicules particuliers - carburants à l'horizon 2050

> 1. Constat et motivation :

Aujourd'hui, les **partis prenantes** (ex : constructeurs automobiles, producteurs de carburants, producteurs de composants, pouvoirs publics) ayant un **impact** sur la nature du **couple véhicules particuliers - carburants** n'ont pas de **visions partagées** compatible avec une division, par 4 à l'échelle nationale (« facteur 4 ») et par 2 à l'échelle mondiale (« facteur 2 »), des émissions anthropiques de GES du couple véhicules particuliers - carburants.

Les experts participant à cet exercice se sont accordés sur le fait que les réponses aux enjeux énergétiques et environnementaux en matière de transport porteront sur des volets organisationnels (aménagement de l'espace, mobilité, transport modal...) mais que la

réflexion du groupe se concentrerait sur le couple véhicule particuliers - carburants qui sera confronté à des choix technologiques stratégiques.

La puissance publique et les acteurs privés aboutissent donc à de réelles difficultés lorsqu'il s'agit, entre autre¹, d'**activer des portefeuilles de recherche** maximisant les chances d'aboutir, dès 2020², à une **maîtrise des technologies** (ex : véhicule hybride rechargeable, véhicule hydrogène à pile à combustible, véhicule tout électrique), **des organisations** (ex : segmentation du parc de véhicules en fonction des usages) et de **leurs imbrications**, compatibles avec les objectifs « facteur 2 » et « facteur 4 ».

Pourquoi utiliser une feuille de route pour le couple véhicule particulier - carburant



Dans une telle situation, il est nécessaire d'avoir recours à des **outils flexibles et évolutifs d'aide à la décision**, permettant d'introduire pas à pas, les facteurs de complexification³ (ex : multitudes des choix technologiques possibles, fortes interactions entre les choix technologiques et économiques, actions des différents acteurs, évolution du système de contrainte / incitation) afin d'aboutir, in fine, à la construction de **visions partagées et cohérentes de l'avenir**.

1- Cette absence de vision partagée crée des difficultés tout aussi importante lorsqu'il s'agit de faire des choix en matière d'opération de démonstration, d'investissement dans des capacités de production, etc.

2- Le choix de l'horizon 2020 comme horizon de déploiement commercial des différentes technologies et organisations s'explique notamment, par l'inertie qui caractérise le renouvellement du parc automobile.

C'est pourquoi, EpE⁴ et l'ADEME⁵ se sont engagées avec l'aide d'EPRI⁶, dans un processus de construction d'une **feuille de route technologique** sur la **nature du couple véhicule particulier - carburant compatible avec les objectifs « facteur 4 » et « facteur 2 »** à l'horizon 2050.

L'établissement de cette feuille de route s'est appuyé sur un panel de **8 experts** appartenant à des entreprises (Renault, PSA, Total), des instituts de recherche (IFP), des agences gouvernementales (ADEME) et des associations d'entreprises (EpE).

3- Cf. graphique ci-dessus.

4- Entreprises Pour l'Environnement.

5- Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie.

6- Electricity Power Research Institut.

> 2. Quels objectifs de long terme pour les politiques énergétiques ?

Bien que le couple véhicule particulier – carburant puisse, à long terme, être influencé par une multitude de facteurs (ex : prix relatif des énergies, stratégie commerciale des entreprises, apparition de nouveaux acteurs, politique énergétique des pays émergents), les participants en ont privilégié deux :

- le niveau d'indépendance énergétique des Etats ;
- la valeur de la tonne de CO₂.

Le groupe d'experts s'est accordé sur le fait que ces deux facteurs étaient deux « proxy », dont les évolutions pouvaient rendre compte de la majorité des déterminants de long terme du couple véhicules particuliers – carburants. Toutes les visions du couple véhicules particuliers - carburants proposées par les participants supposeront donc un **prix élevé de la tonne de CO₂** et un **haut niveau d'indépendance énergétique**.

Ce consensus se justifie notamment par le fait que **la sécurité énergétique et la réduction des émissions de GES sont des objectifs explicites** des politiques énergétiques françaises et européennes. Au niveau mondial, la sécurité énergétique est l'un des objectifs de la politique énergétique de la quasi-totalité des pays développés et émergents. Du côté de la réduction des émissions de GES, les membres du groupe ont fait l'hypothèse que c'était un objectif en passe d'être **repris par la majorité des pays développés et émergents, au-delà de l'Union Européenne**.

En complément, les participants ont supposé que l'ensemble des décisions en matière de contraintes et d'incitations (ex : évolution du niveau des stocks obligatoires d'énergie, système de quotas) en lien avec la sécurité énergétique et la réduction des émissions de GES sont prises dans un contexte d'information la plus complète possible. Bien que cette hypothèse soit extrêmement forte⁷, elle est indispensable pour **clarifier les visions proposées** par les participants.

7- En fait, la réalisation de cette hypothèse impliquerait notamment que les décideurs aient accès à une information parfaite sur les performances des technologies, les impacts directs (ex : évolution des consommations et des émissions unitaires des véhicules) et indirects (ex : évolution des comportements de mobilité) des choix à leur disposition, ce qui dans la réalité est loin d'être le cas.

> 3. Répondre par la demande ou l'offre d'énergie ?

Compte tenu des deux principaux objectifs de long terme des politiques énergétiques, le groupe d'experts a estimé que le couple véhicules particuliers – carburants pouvait s'inscrire pleinement dans ces objectifs **en suivant deux voies radicalement différentes** :

- la première consiste à **réduire très fortement la demande énergétique des véhicules**. Schématiquement, cette voie pourrait être atteinte soit en **diminuant drastiquement le poids des véhicules particuliers multi-usages** (par opposition aux véhicules urbains), soit en **développant des véhicules urbains de petite taille** ;
- la seconde revient à **agir sur l'offre d'énergie** en développant de **nouveaux groupes moto propulseurs** (ex : véhicules électriques, véhicules hybrides rechargeables) et en utilisant de **nouveaux carburants** (ex : hydrogène) dont la production s'appuie sur des procédés émettant peu ou pas de GES.

Ces deux voies, constituent donc, pour les membres du groupe, les **deux stratégies de réponse** que les secteurs de la production automobile et de carburants ont pour répondre aux objectifs de sécurité énergétique et de réduction des émissions de GES poursuivis par les Etats. Ces deux options peuvent être complémentaires mais peuvent également s'avérer alternatives.

Bien que le choix entre ces deux voies se fera en fonction du **niveau relatif de performance atteint par chacune des voies** (Cf. tableau ci-dessous), le groupe d'experts s'accorde sur le fait que :

- la baisse de la **demande énergétique des véhicules jouera un rôle discriminant**. Ainsi, si les baisses de consommation et d'émission unitaires atteintes grâce à l'allègement des véhicules sont très importantes, l'intérêt pour les groupes moto propulseur alternatifs au moteur à combustion interne ne sera plus autant justifié, car les gains auront été atteints par la réduction de la demande énergétique des véhicules particuliers ;

- **Le développement et la mise en œuvre des ces différentes voies ne se fera pas de manière linéaire**. En effet, compte tenu des investissements nécessaires pour, par exemple, revoir les modèles de conception des véhicules ou développer de nouvelles infrastructures de distribution de carburants, le groupe d'experts considère

Feuille de route sur le couple véhicules particuliers - carburants à l'horizon 2050

qu'à partir du moment où la majorité des parties prenantes (ex : constructeurs automobiles, producteurs de carburants, producteurs de composants, pouvoirs publics) estimeront qu'une des options du côté offre ou demande aura atteint un niveau de performance suffisant au regard des objectifs « facteur 2 » et « facteur 4 », le basculement se fera rapidement⁸ ;

- Ces deux voies ne sont pas exclusives (cf. tableau p 8) : Par exemple, une forte réduction de la demande énergétique des véhicules, pourra faciliter l'émergence des véhicules électriques du fait des moindres contraintes pesant sur les systèmes de stockage.

> 4. Les quatre visions à l'horizon 2050

De manière cohérente avec les deux objectifs de long terme des politiques énergétiques (réduction des émissions de GES et sécurité énergétique) et les deux stratégies de réponses identifiées pour le secteur

automobile (réduction de la demande énergétique ou promotion d'une offre énergétique alternative), le groupe d'experts a produit 4 visions du couple véhicules particuliers – carburants, qui leur semblent compatibles avec les objectifs « facteur 2 » et « facteur 4 ».

Deux de ces visions (faible demande énergétique des véhicules et segmentation du parc) reposent sur des réponses dominées par la demande. Les deux autres visions (hydrogène / PAC et électricité / hybride rechargeable) reposent sur des réponses dominées par l'offre.

a) Les 2 visions : réponse par la demande :

Faible demande énergétique des véhicules :

La réduction de la demande énergétique des véhicules à travers l'allègement, bien au-delà des technologies incrémentales, permet aux parc français et mondial de véhicules particuliers d'atteindre les objectifs « facteurs 4 » et « facteur 2 ». Dans cette situation, la pression sur

Interactions entre réduction de la demande et diversification de l'offre

	Réduction de la demande énergétique du véhicule	Diversification de l'offre d'énergie
Evolutions	Réduction des résistances au roulement et aux frottements à travers la poursuite des évolutions tendanciennes en matière de pneumatique et de traînée aérodynamique.	<p>Les biocarburants de 1^{ère} et 2^{ème} génération sont produits avec de bons bilans environnementaux et GES</p> <p>Les batteries permettent d'atteindre des autonomies de l'ordre de 200 à 300 km et des véhicules hybrides sont développés.</p>
Evolutions en rupture	<p>Une demande significative de petit véhicule urbain apparaît. Leur condition d'utilisation (ex : vitesse limitée en zone urbaine), permet de réduire les contraintes pesant sur la conception du fait, notamment, des règles de sécurité. La réduction de la taille et la révision des normes de sécurité pour ce type de véhicules se combinent pour permettre des réductions importantes de la demande d'énergie de ces véhicules.</p> <p>Saut dans les méthodes de conception des véhicules. Ce saut permet d'aboutir à des réductions très fortes de la demande énergétique des véhicules (division par 2 ou 3) et limite l'intérêt des GMP alternatifs au moteur à combustion interne. Ce saut permet également de conserver des véhicules multi-usages (par opposition aux véhicules urbains)</p>	<p>Des progrès considérables sont fait en matière :</p> <ul style="list-style-type: none"> • de stockage embarqué de l'électricité ou de l'hydrogène, • de production de ces deux vecteurs énergétiques à partir de ressources renouvelables et / ou de procédés émettant peu ou pas de GES. <p>En terme d'ordre de grandeur, ces progrès permettent d'atteindre des niveaux d'autonomie compris entre 500 et 600 kilomètres pour les véhicules électriques et hydrogènes et entre 90 et 110 kilomètres pour les hybrides rechargeables.</p>

8- Cette hypothèse est atypique au regard des résultats traditionnels des modèles de prospective qui pour la totalité d'entre eux ne font pas de choix exclusifs entre les différentes options technologiques possibles.

l'évolution des usages est limitée dans la mesure où la quasi-totalité des gains est obtenu à travers **la baisse de la demande énergétique du véhicule**. Néanmoins, une pression très forte existe **sur la manière dont on extrait, produit, transforme et transporte les carburants utilisés**. En effet, leurs modes de production et de transformation doivent être étudiés pour **limiter au maximum les émissions de GES qu'ils induisent**.

Du côté des moteurs, ce sont les **moteurs à combustion interne**, éventuellement hybridés, qui continuent à dominer le marché, car les gains en matière de demande énergétique des véhicules n'incitent pas à développer de nouvelles motorisations (ex : hybrides rechargeables, véhicules hydrogènes).

La part relativement plus importante de biocarburants⁹ dans cette vision n'est pas liée à une production ou à des importations plus importantes **mais à une réduction plus importante que dans les autres scénari de la demande énergétique des véhicules particuliers**.

Segmentation du parc :

Des **actions fortes sur l'usage des véhicules sont engagées** (ex : toutes les villes de plus d'un certain nombre d'habitants interdisent les véhicules qui émettent plus de 20 gCO₂/km en 2050 et plus de 50 gCO₂/km en 2020). Ces actions conduisent à l'émergence d'une **demande significative en faveur de véhicules de petite taille et à autonomie limitée** (plus ou moins 300 km) qui émettent peu ou pas de GES. C'est la solution « **véhicule électrique avec batterie** » qui est privilégiée avec des **procédés de production d'électricité qui émettent peu ou pas de CO₂**.

Pour les usages qui ne peuvent pas être assouvis par les véhicules urbains (ex : trajet de plus de 300 km), des véhicules hybrides ou hybrides rechargeables, totalement flexibles, sont mis sur le marché. Ils consomment de manière équivalente des biocarburants, des carburants de synthèse (CTL, GTL) ainsi que des carburants traditionnels. Ici aussi, une attention particulière est accordée aux modes de production des carburants afin qu'il génère le moins de GES possible.

Du côté du rapport des usagers à leurs véhicules et de l'évolution du secteur de l'automobile, on voit

9- Cf. tableau p 8 qui propose, à titre indicatif, le bilan énergétique du parc dans les différentes visions ainsi que des ordres de grandeur du niveau de baisse que la demande énergétique des véhicules devra

apparaître à grande échelle **des sociétés de service de mobilité qui jouent un rôle moteur** dans la rapidité de diffusion des petits véhicules urbains ainsi que dans le développement d'offre de services pour les trajets non urbains.

b) Les 2 visions : réponse par l'offre :

Hydrogène et piles à combustible

Les véhicules à hydrogène et à pile à combustible représentent **60 à 70% du parc à l'horizon 2050**. Ce scénario nécessite un **fort recours à la séquestration** du fait de la production d'hydrogène en partie à partir d'énergies fossiles et du recours aux carburants de synthèse.

Du côté des 30 % à 40% du parc de véhicules ne fonctionnant pas à l'hydrogène, on suppose qu'il s'agit de **véhicules multi usages et totalement flexibles** pouvant être alimentés de manière équivalente par des biocarburants (1^{ère} et 2^{ème} génération) ou des carburants de synthèse (CTL et GTL). La flexibilité permet de répondre aux préoccupations de sécurité énergétique des Etats et de réduire les risques pesant sur les industriels.

Le parc de véhicules non hydrogène est composé de véhicules ayant engrangé, en 2050, des baisses de demande énergétique proche de 30% par rapport à la situation actuelle.

Electricité et hybride rechargeable :

Les véhicules électriques et hybrides rechargeables représentent **80 à 100% du parc français et mondial à l'horizon 2050**. Les 0 à 20% restant sont composés de véhicules à combustion interne (éventuellement hybridés) totalement flexible capable de rouler aux biocarburants, aux carburants de synthèse et au pétrole.

Comme dans le cas de la vision « hydrogène et PAC » on suppose que **la majorité de l'électricité utilisée par les véhicules particuliers est produite sans émissions de GES**.

De manière identique à la vision précédente, le parc de véhicules non électrique ou non hybride rechargeable est composé de véhicules ayant engrangé, en 2050, des baisses de demande énergétique proche de **30% par rapport à la situation actuelle**.

Feuille de route sur le couple véhicules particuliers - carburants à l'horizon 2050

↳ Bilans énergétiques du parc mondial de véhicules dans les différentes visions à l'horizon 2050¹⁰

	Faible demande énergétique	Segmentation du parc	Hydrogène et PAC	Electricité et hybride rechargeable
Hydrogène sans CO ₂	0%	0%	60 à 70%	0%
Electricité sans CO ₂	0%	50%	0%	80%
Biocarburants (BTL inclus)	40%	20%	20%	0 à 20%
Carburants de synthèse (CTL, GTL) sans CO ₂ et sans CH ₄ lors de l'étape de production	30%	15%	0 à 25%	0 à 20%
Pétrole conventionnel et non conventionnel	30 %	15%	0%	0%

Niveaux de baisse de demande énergétique à atteindre dans les différentes visions par rapport à la situation actuelle pour atteindre le facteur 4¹¹

	Faible demande énergétique	Segmentation du parc	Hydrogène et PAC	Electricité et hybride rechargeable
Demande énergétique des véhicules	- 65%	- 33%	- 8%	0%

> 5. Les incontournables

Au-delà de la cohérence avec les objectifs de long terme des politiques énergétiques ainsi qu'avec les stratégies de réponse offertes au secteur automobile, les 4 visions du couple véhicules particuliers – carburants proposées par le groupe d'experts, s'appuient sur 4 éléments incontournables qu'il est utile d'explicitier car ils impactent la nature des thèmes de recherche jugés prioritaires par les participants.

a) La nécessaire flexibilité des véhicules à combustion interne :

Pour les membres du groupe d'experts, la flexibilité répond aux préoccupations grandissantes de sécurité énergétique que la majorité des pays auront au cours des 40 prochaines années. Les choix technologiques

en matière de flexibilité seront guidés par deux paramètres : le choix des grands pays ou ensemble de pays **d'utiliser en mélange ou non les biocarburants** et le choix ou non des grands pays émergents (Chine, Inde, Brésil et Afrique du Sud) de s'engager de manière importante dans la production de CTL et de BTL.

b) Une omniprésence de la séquestration du CO₂ et des biocarburants de 2^{ème} génération :

La séquestration géologique du CO₂ et la production de biocarburants de 2^{ème} génération sont systématiquement identifiés soit comme des composantes du mix énergétique (cas des biocarburants) soit comme un procédé qui permet de produire des vecteurs énergétiques (électricité et hydrogène) et / ou des carburants de synthèse (CTL et GTL) avec « peu » d'émission de CO₂ :

10 - Les informations données dans ce tableau sont uniquement des ordres de grandeurs proposées par les participants.

11- Ces informations sont uniquement des ordres de grandeur qui permettent de voir de combien il faudrait réduire la demande énergétique des véhicules pour que le bilan énergétique de chaque vision soit compatible avec les objectifs « facteur 2 » et « facteur 4 ».

- **les biocarburants de 2^{ème} génération** : doivent être massivement disponibles dès 2020 afin de compléter la production de biocarburant de 1^{ère} génération et ainsi relâcher les contraintes (concurrence avec les usages alimentaires, impacts environnementaux) qu'une production au-delà des gisements identifiés (terres en jachère et surplus agricoles) pourraient créer.
- **la séquestration du CO₂**, elle est utilisée soit pour produire de l'hydrogène avec des énergies fossiles en émettant peu de CO₂, soit pour élargir le champ des possibles en matière de production d'électricité à faible contenu en CO₂, soit pour limiter les émissions de CO₂ liées à la production des carburants de synthèse, dans laquelle certains états pourraient être tentés de se lancer pour des raisons de sécurité énergétique. Elle doit également être disponible, à **un coût compétitif et à des conditions environnementales et sociales acceptables, dès 2020.**

c) Les évolutions du secteur automobile :

Les différentes visions proposées reflètent en filigrane **les incertitudes des participants sur l'évolution du secteur de l'industrie automobile**. Schématiquement aujourd'hui, le modèle industriel du secteur automobile se caractérise par la **production et l'utilisation d'un modèle unique de véhicules particuliers** dans la quasi-totalité des pays du monde. Ce véhicule fonctionne avec un **moteur à combustion interne** et est **conçu pour satisfaire de nombreux usages** (ex : déplacements en zone urbaine, interurbaine et sur longue distance).

Au regard de cette situation initiale, deux évolutions majeures semblent aujourd'hui se profiler, sans qu'il soit possible avec précision d'en évaluer totalement les conséquences :

la première est que, dans les pays industrialisés, **le marché automobile est en train de passer d'un marché d'offre à un marché de demande**. Ce type de marché induit des comportements des consommateurs, très différents de ceux auxquels est habitué le secteur automobile : **schématiquement, dans la relation client - fournisseur, le client prend l'initiative**. Pratiquement ceci va se traduire par **une diversification importante de l'offre proposée par les constructeurs**. Cela ouvre des possibilités dans le domaine de l'énergie, dans la mesure où **la demande va insister sur les qualités environnementales et durables de ces produits**. Ceci va donc permettre d'introduire, beaucoup plus vite

que d'habitude des nouvelles technologies propices à renforcer ces qualités. La seconde conséquence, qui va renforcer la première, est que **le cycle de renouvellement des produits va se raccourcir significativement** et donc offrir de nouvelles possibilités pour introduire des technologies nouvelles ;

La seconde vient d'une mutation, qu'on sent en germe depuis un certain temps, qui ferait passer les constructeurs, **de fournisseurs de produits - des automobiles - à fournisseurs de services de mobilité**. Dans ce cadre, le produit devient secondaire puisque l'offre commerciale est de la mobilité. Cette offre ne se limitera pas à la seule automobile mais s'ouvrira à **toutes les formes de mobilité**, et en particulier à celles qui **répondront le mieux aux souhaits des usagers**, en termes de **coûts**, de praticité et de **qualités environnementales**. Cela permettra de traiter de la question des alternatives à l'automobile et de l'émergence de moyens de transport mieux adaptés à certains usages spécifiques comme les déplacements en zones urbaines. Ici encore, le produit automobile n'étant plus un objet en soi, mais un moyen de mobilité, il devra s'adapter aux exigences de l'utilisateur, et donc évoluer suffisamment rapidement.

Les visions du couple véhicules particuliers – carburants proposés par les participants intègre imparfaitement ces évolutions du fait de la grande incertitude qui les entoure. Néanmoins, les révisions régulières de la feuille de route accorderont une attention particulière à cette question.

d) Une période de transition :

Elle a été positionnée dans le temps en 2020 afin de prendre simultanément en compte le **rythme de renouvellement du parc de véhicules particuliers, les objectifs de la politique européenne de l'énergie à cet horizon**, ainsi que le **rythme de vie des programmes de R&D public et privé** en matière d'énergie et de transport. Cette étape transitoire indique que, pour les membres du groupe, **la logique de programmation de la recherche qui devra être suivie de 2010 à 2020, n'est pas la même que celle qui devra être suivie de 2020 à 2050**. En effet, de 2010 à 2020, les participants ont considéré que les technologies (ex : hybride rechargeable, véhicules à faible demande énergétique) et les choix organisationnels alternatifs (ex : services de mobilité, organisation industrielle compatible avec la production de petits véhicules urbains) **ne seraient pas à un stade de développement assez mature** pour permettre aux

Feuille de route sur le couple véhicules particuliers - carburants à l'horizon 2050

différents opérateurs de faire des choix exclusifs. La logique de cette première phase de programmation est donc avant tout **exploratoire**. Au cours de cette période, les acteurs de la R&D doivent donc être incité à mener **des actions de démonstration dans l'ensemble des thèmes en lien avec les 4 visions proposées**.

Au-delà de 2020, les opérateurs, les consommateurs et les régulateurs auront validé le potentiel (ex : coût, performance, rentabilité industrielle) de chacune des technologies ou des organisations qui auront été testées et **devront faire des choix stratégiques claires** en matière d'industrialisation et d'organisation.

↙ Bilan énergétique du parc mondial de véhicules dans l'étape transitoire¹²

Type d'énergies ou de vecteurs énergétiques	Etape transitoire en 2020
Hydrogène sans CO ₂	0 à 10%
Electricité sans CO ₂	0 à 10%
Biocarburants (BTL inclus)	20%
Carburants de synthèse (CTL, GTL) sans CO ₂ et sans CH ₄ lors de l'étape de production	15%
Pétrole conventionnel et non conventionnel	55%

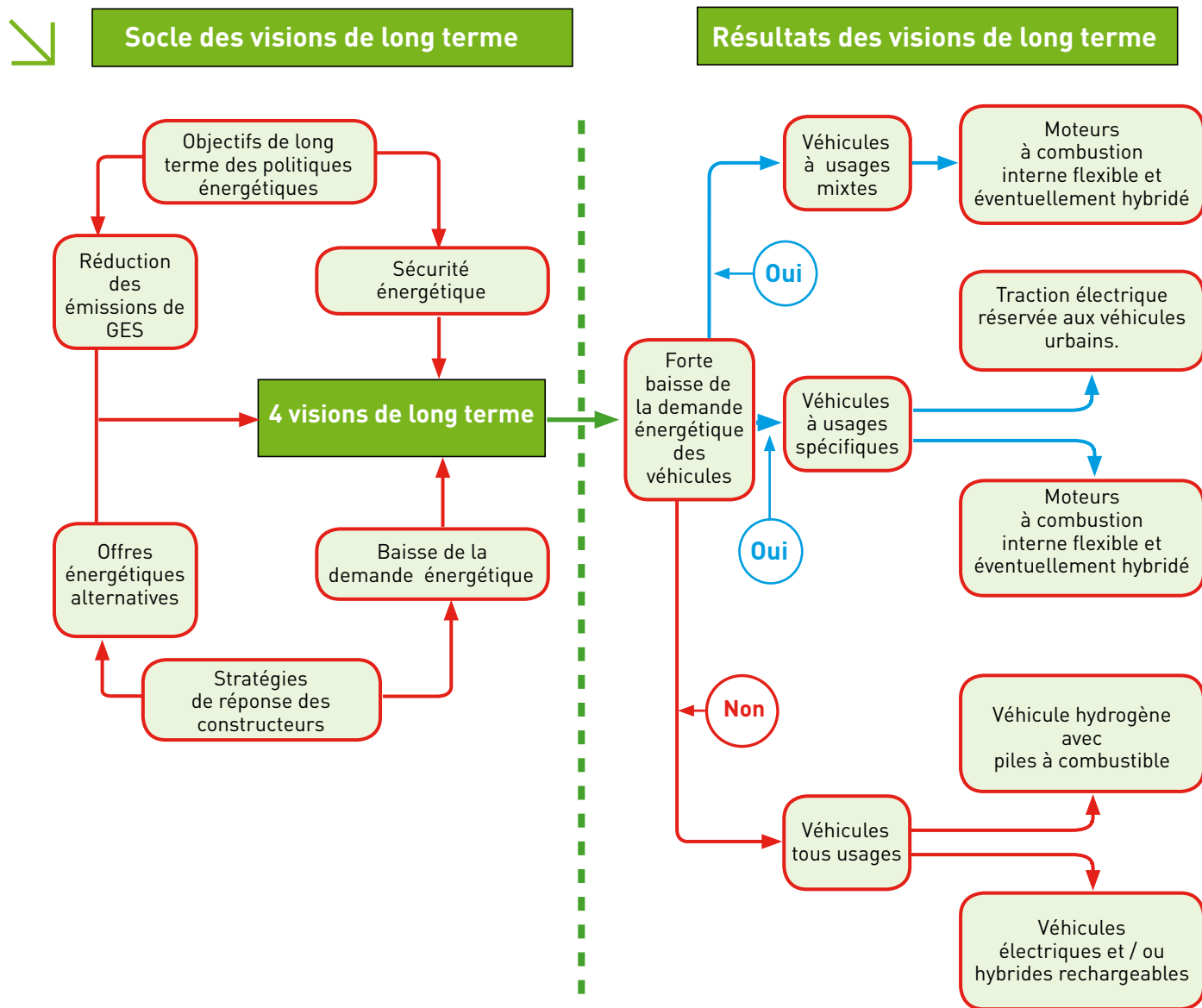
Niveau de baisse de la demande énergétique à atteindre dans l'étape transitoire

	Niveau de baisse atteint en 2020	Stratégie de réponse des constructeurs
Demande énergétique des véhicules	< 20 %	Orientation vers une réponse de type « offre énergétique alternative »
	> 20 %	Orientation vers une réponse de type « baisse de la demande énergétique »



¹² Les informations contenues dans ces deux tableaux ne sont que des ordres de grandeur proposés par les participants. Ils n'ont à ce stade fait l'objet d'aucune estimation basée sur des modèles validés par des communautés élargies d'experts.

Schéma récapitulatif des raisonnements structurants la feuille de route véhicules carburants



> 6. Onze priorités de recherche :

A partir de ces quatre scénarii, les participants ont identifié 3 familles de thématiques qui ont fait l'objet d'un travail de « priorisation » :

- La famille « groupe moto – propulseur » qui rassemble les thèmes de recherche visant à améliorer les rendements du GMP (combustion homogène en diesel et stratifiée en essence pour les convertisseurs traditionnels, technologies pour le downsizing, l'hybride et le GMP dédié), à développer de nouveaux carburants

(ex : biocarburants de 2^{ème} génération, carburants de synthèse à base de charbon et de gaz naturel) et à concevoir des véhicules qualifiés d'alternatifs (ex : véhicules à hydrogène, véhicules hybrides rechargeables) ;

- La famille « baisse de la demande énergétique des véhicules » qui regroupe les champs de recherche relatifs à l'amélioration de l'efficacité énergétique ou de l'efficacité carbone des auxiliaires (ex : climatisation au CO₂), à la réduction des frottements (ex : aérodynamique active), à l'allègement des

Feuille de route sur le couple véhicules particuliers - carburants à l'horizon 2050

véhicules (ex : pièces mécaniques en aluminium et en magnésium, assemblage de pièces allégées pour les matériaux de structure des véhicules) et à la récupération d'énergie (ex : récupération de l'énergie cinétique des véhicules et thermique des GMP).

- La famille « **segmentation des marchés et du parc de véhicules achetés et produits** » qui contient des thèmes de recherche relatifs à l'amélioration de la compréhension des usages, à l'étude des modèles industriels compatibles avec l'émergence de véhicules urbains ainsi qu'une partie technologique consacrée aux développements de GMP dédiés aux véhicules urbains.

Sur les 39 thématiques de recherche soumises à « priorisation », **11 ont été jugées hautement prioritaires par les participants.**

A cela, s'ajoute trois autres thématiques jugées moyennement prioritaires à savoir : **l'analyse des modes d'utilisation et de propriété des véhicules particuliers, les systèmes de régulation à développer pour faire évoluer les usages et l'analyse des systèmes de production et d'organisation industrielle compatibles avec la production massive de véhicules urbains de petite taille.**

Contrairement à la majorité des autres thèmes de recherche jugés prioritaires, ces trois derniers thèmes ne sont pas à caractère technologique. Néanmoins, les questions qu'ils posent à la recherche sont capitales surtout au **regard des interrogations relatives à l'évolution du modèle industriel du secteur automobile**, qui a été l'une des principales incertitudes soulevées par les participants.



Les thématiques prioritaires par famille

Famille de thématiques	Thématiques jugées hautement prioritaires
Groupe moto – propulseur	<ul style="list-style-type: none"> • La combustion homogène en diesel et stratifiée en essence pour les convertisseurs actuels • Les technologies pour le "downsizing" : distribution variable, suralimentation, ... • Les hybrides et les GMP dédié • Le développement des biocarburants de 2^{ème} génération à travers l'usage de procédés thermo-chimiques ou biologiques • L'électronique de puissance pour l'optimisation du couplage batteries – moteur • Le développement de véhicules électriques fonctionnant avec des batteries lithium-ion ou nickel-metal. • Les recherches sur les piles à combustibles
Baisse de la demande énergétique des véhicules	<ul style="list-style-type: none"> • La redéfinition des modèles de conception de la structure des véhicules ; • L'aérodynamique active ; • La récupération de l'énergie cinétique et thermique ; • Le développement de matériaux allégés pour les pièces de structure des véhicules ; • Le développement de matériaux allégés pour les pièces de liaison au sol ; • Le développement des pièces moteur en aluminium et en magnésium ; • Le développement de nouvelles techniques d'assemblage pour ces nouveaux matériaux.
Segmentation du parc et des usages	<ul style="list-style-type: none"> • La réduction du poids des véhicules particuliers et utilitaires urbains (thématique en lien étroit avec le groupe « efficacité énergétique ») • Le développement de nouvelles motorisations pour les véhicules particuliers et utilitaires urbains (thématique en lien étroit avec le groupe « GMP »).

Tableau récapitulatif des disponibilités technologiques compatibles avec la réalisation des différents scénarii

Briques technologiques et organisationnelles	Scénarii	R&D	Démonstration	Déploiement	Maturité
Biocarburants de 1 ^{ère} génération	V1				
	V2				
	V3			2007-2020	2020-2040
	V4				
Biocarburants de 2 ^{ème} génération	V1				
	V2	2007-2013	2013-2020	2020-2030	2040 et au delà
	V3				
	V4				
Carburants de synthèse à base d'énergies fossiles (CTL, GTL)	V1				
	V2		2007-2013	2015-2030	2040 et au delà
	V3				
	V4				
Véhicules allégés ayant une faible demande énergétique	V1	2010-2020	2015-2020	2020-2040	2040-2050
	V2				
Petits véhicules urbains électriques	V2	2010-2020	2015-2020	2020-2040	2030 et au delà
	V3				
Véhicules hydrogène	V3	2007-2020	2015-2020	2025-2045	2045 et au delà
	V4				
Véhicules hybrides rechargeables	V4	2010-2020	2018-2025	2025-2045	2045 et au delà
	V1				

> 7. Les perspectives de travail

L'état actuel de cette feuille de route constitue une première étape qui a permis de concevoir une vision cohérente et partagée, par l'ensemble des participants, du couple véhicules particuliers – carburants à l'horizon 2050.

Cette vision a également permis d'identifier 11 thématiques de recherche jugées hautement prioritaires par les participants. L'identification de ces 11 thématiques s'est accompagnée de propositions de jalons temporels précisant les périodes auxquelles les différentes technologies et organisations jugées hautement prioritaires devront être prêtes pour une industrialisation massive.

A ce stade, il semblerait aux participants que 4 axes de travail devraient être poursuivis pour continuer à alimenter cette feuille de route et corriger ces points faibles :

- Groupe de travail avec la Société des Ingénieurs de l'Automobile (SIA)

Proposition au prochain conseil d'administration de la SIA de créer un groupe de travail sur le véhicule à faible consommation d'énergie. Ce groupe de travail pourrait rassembler les constructeurs, les fournisseurs, l'INRETS et les membres du groupe d'experts « road map » désirant y participer.

Feuille de route sur le couple véhicules particuliers - carburants à l'horizon 2050

Ce groupe de travail aurait pour objectif d'étudier la faisabilité et le contenu du cahier des charges d'un petit véhicule urbain à faible demande énergétique, produit en France à un coût compétitif et permettant aux constructeurs de dégager des marges d'exploitation. Dans ce cadre, une attention particulière sera accordée aux procédés de production, à l'organisation industrielle compatible avec un tel véhicule et aux règles et outils de conception des véhicules.

Ce groupe de travail aurait également vocation à travailler sur la nature du service que les constructeurs pourraient proposer à leur client pour accélérer la pénétration de ces véhicules sur le marché. Dans ce cadre, PSA a indiqué qu'il diffuserait aux membres du groupe un dossier sur les « keicar » japonais. Cette expérience doit être analysée notamment sous les angles des motivations et des systèmes incitatifs que les villes japonaises ont mis en place pour inciter à la diffusion de ces véhicules.

- **Traduction des visions de la feuille de route en des éléments économiques et technologiques**

L'objectif de ce travail est d'utiliser le cadre de modélisation proposé par le modèle POLES pour :

- 1°) quantifier les émissions de gaz à effet de serre et les consommations d'énergie induites par les 4 visions du couple véhicules particuliers - carburants,

- 2°) mettre en évidence, pour chacune des visions, la trajectoire qui permet de l'atteindre au moindre coût,

- 3°) travailler sur les basculements technologiques ou de demande compatible avec l'atteinte des visions, notamment en précisant les échéances technologiques et/ ou de demande.

- **Construction d'un groupe de réflexion prospective sur la mobilité**

Ce groupe de réflexion prospective d'une dizaine de personnes sera animé par l'ADEME et aura vocation à faire un état des lieux de la mobilité urbaine des personnes et des marchandises et à proposer des images prospectives de ces évolutions. L'établissement des visions prospectives de la mobilité urbaine des personnes et des marchandises devra notamment intégrer :

- 1°) les impacts de l'intelligence des infrastructures et des personnes,

- 2°) les impacts des offres de service en matière de mobilité. A contrario, ce groupe de travail ne traitera pas des questions d'urbanisme (l'analyse des enquêtes origines - destinations ne sera donc pas dans le champs de travail de ce groupe).

- **Réalisation d'un séminaire Franco - allemand sur le couple véhicules particuliers - carburants**

L'objectif de ce séminaire est de confronter et d'échanger autour des visions françaises et allemandes du couple véhicule particulier carburant compatible avec une division par 4 des émissions de gaz à effet de serre à l'horizon 2050. Du côté français, la SIA devra prendre contact avec son homologue allemand : la VDI et l'ADEME prendra contact avec l'UBA. Sachant que le champs d'activité de l'UBA est à dominante environnementale, il faudra peut être également contacter le Ministère allemand de la recherche.



CONTACTS

Gabriel Plassat

Prospective transport et mobilité ;

Stéphane Barbusse

Coordination des activités de recherche sur le transport et la mobilité

François Moisan

Directeur Scientifique

Régis Le Bars

Chef du projet Fonds démonstrateur de recherche

Michel Gioria

Feuille de route stratégique

BIBLIOGRAPHIE

ADEME – DIREM – ECOBILAN 2002 : Bilans énergétiques et gaz à effet de serre des filières de production de biocarburants en France.

ACEEE 2006 : Plug-In Hybrids : an environmental and economic performance outlook.

AIE 2006 : Energy technology perspectives. Scenarios and strategies to 2050.

AIE 2003 : Transport technology and policies for energy security and CO₂ reductions.

Bauquis P.R. : Quelles énergies pour les transports aux 21^{ème} siècle.

Criqui P. 2007 : Profils d'émission Facteur 4 dans une perspective mondiale. 2^{ème} rendez-vous Climat – Paris – 11 janvier 2007.

CCFA 2006 : Dossier mondial 2006.

ECRIN 2004 : Prospective sur les transports. Rapport du groupe de travail présidé par Maurice Bernadet.

EPRI 2006 : Environmental benefits of plug-in hybrid electric vehicles.

EPRI 2003 : Electricity Technology Roadmap. Meeting the critical challenges of the 21st century.

Flynn P. 2002 : Commercializing an alternate vehicle fuel : lessons learned from natural gas for vehicles.

Grusson J.F. et His S. : Le potentiel des biocarburants de 1^{ère} et 2^{ème} génération – IFP. 2^{ème} rendez-vous Climat – Paris – 11 janvier 2007.

IFP 2006 : Le prix du pétrole et des autres énergies fossiles dans le futur. Eléments de réflexion.

INRETS 2006 : Directives et facteurs agrégés d'émissions des véhicules routiers en France de 1970 à 2025.

INRETS 2003 : Modéliser le rythme de renouvellement du parc automobile. Etude commandée par l'ADEME.

Ramesohl S. et Merten F. 2006 : Energy system aspects of hydrogen as an alternative fuel in transport. Energy Policy 34 (2006) 1251 – 1259.

Romm J. 2005 : The car and fuel of the future. Energy Policy 34 (2006) 2069 – 2614.

They's B. 2006 : Les batteries pour le stockage de l'électricité dans les véhicules tout électriques ou hybrides. Etats des lieux. Secrétariat permanent du PREDIT.

Varet J. : Le stockage géologique du CO₂ en France - BRGM. 2^{ème} rendez-vous Climat – Paris – 11 janvier 2007

WBCSD 2004 : Mobilité 2030 : les enjeux de la mobilité durable.

L'ADEME en bref

L'Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie (ADEME) est un établissement public sous la tutelle conjointe du ministère de l'Ecologie, de l'Energie, du Développement durable et de la Mer et du ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche. Elle participe à la mise en oeuvre des politiques publiques dans les domaines de l'environnement, de l'énergie et du développement durable.

Afin de leur permettre de progresser dans leur démarche environnementale, l'agence met à disposition des entreprises, des collectivités locales, des pouvoirs publics et du grand public, ses capacités d'expertise et de conseil. Elle aide en outre au financement de projets, de la recherche à la mise en œuvre et ce, dans les domaines suivants : la gestion des déchets, la préservation des sols, l'efficacité énergétique et les énergies renouvelables, la qualité de l'air et la lutte contre le bruit.

ADEME



Agence de l'Environnement
et de la Maîtrise de l'Energie

www.ademe.fr



9 782358 380980