

PRIORITES TECHNOLOGIQUES DE LA FILIÈRE AUTOMOBILE pour la MOBILITE (VP, VUL, VI, BUS ET CARS) Mise à Jour 2023

La feuille de route technologique de la filière automobile s'appuie sur le contrat stratégique de filière pour 2023-2027, qui constitue une vision partagée de l'avenir de l'automobile, de son industrie et de ses services dans le cadre de la transition écologique et numérique.

L'automobile de demain sera électrifiée, connectée, automatisée et partagée

Mieux intégrée dans l'espace public, l'automobile sera un des maillons de la chaîne de mobilité offrant, avec d'autres modes de mobilité collectifs des solutions intermodales et trans-modales innovantes, alliant produits et services.

Cette profonde transformation implique des efforts considérables en matière de R&D, efforts déjà largement engagés depuis plusieurs années.

Ces efforts sont aussi conditionnés à la mise en œuvre de conditions favorables de compétitivité afin de permettre de localiser une part significative de ces investissements en France. Les compétences et le savoir-faire de nos entreprises et de nos laboratoires, sont autant d'atouts pour favoriser l'industrialisation des nouvelles chaînes de valeur sur notre territoire, et préserver ainsi nos emplois en France en les orientant vers les besoins des décennies à venir.

Des investissements concentrés pour réduire l'impact environnemental de la mobilité et en optimiser les services

Pour poursuivre les efforts de R&D, le CORAM (Comité Orientation Recherche pour l'Automobile et la Mobilité), établi depuis 2020 est reconduit et enrichi, avec le soutien de l'Etat dans le cadre du plan France 2030.

Les investissements du CORAM sont orientés sur huit axes structurants, articulés autour de deux grands axes stratégiques :

1. Réduire l'impact environnemental de l'automobile et de la mobilité en prenant en compte son impact « du berceau à la tombe » ;
2. Bénéficier des innovations numériques pour proposer de nouveaux services de mobilité intelligente.

La présente feuille de route porte sur les véhicules, les équipements et leur écosystème. Elle se veut complémentaire des efforts de recherche et d'innovation, d'expérimentations portant sur les interfaces véhicule et infrastructure, dans le domaine de la distribution des énergies alternatives, de la connectivité, et de l'infrastructure numérique pour une mobilité plus servicielle et multi modale.

REDUIRE L'IMPACT ENVIRONNEMENTAL DE LA MOBILITE SELON UNE ANALYSE CYCLE DE VIE MULTI-CRITERE

Axe A1 : Véhicule électrique et projets structurants de sa chaîne de valeur : Motorisation électrique, électronique de puissance, cellules et pack batterie

Les récents textes réglementaires Français et Européens, tels que Fit for 55, Règlement CO₂, la loi Climat & résilience, entraînent des conséquences importantes pour la filière automobile.

La Commission Européenne a adopté un règlement qui vise une révision substantielle des objectifs CO₂ afin de rehausser la contribution du secteur automobile à l'objectif global du Green Deal:

- Une baisse des émissions de GES de 55 % en 2030 et l'obtention de la neutralité carbone en 2050.

% de réduction de CO ₂ vs 2021	Voiture particulière*	Véhicule utilitaire léger*
2030	- 55 % (-37,5 %)	- 50 % (-31 %)
2035	-100 %	-100 %

* : Base 1990 (Base réglementation en vigueur)

L'atteinte des objectifs visés implique une accélération très significative de l'électrification, d'au moins 70% de véhicules à faibles émissions dès 2030, selon les analyses de mix énergétique réalisées par la PFA avec son partenaire BDO.

Plusieurs actions restent nécessaires pour y parvenir :

- Evolutions technologiques des batteries, des moteurs et de l'électronique de puissance

La maîtrise de l'ensemble de la chaîne de traction électrique est un enjeu crucial pour la compétitivité de la filière, et la création de valeur ajoutée autour du véhicule électrique.

Cette transition énergétique conduit à une très forte croissance des besoins en batteries pour les applications de mobilité, estimée en Europe à un besoin de 600 à 800 GWh par an en Europe en 2030 (modélisations réalisées par la PFA en partenariat avec le BDO). Trois projets de « Gigafactories » (usines de production de cellules et modules de batteries) ont été lancés en France (ACC, Envision et Verkor), avec implication des structures de recherche telles que le CEA et le CNRS.

Les investissements de R&D sont essentiels pour développer futures générations de batteries, notamment la 4ème génération (batteries à électrolytes solides) mais également d'autres chimies (soufre, sodium etc.). La France dispose de fortes compétences académiques (CEA, CNRS etc..) et industrielles pour accompagner l'émergence d'un complément d'offre industrielle française/européenne, pérenne et compétitive de cellule et de pack batterie. L'ensemble de la démarche R&D est décrite dans le PEPR (Programmes et Equipements Prioritaires de Recherche)

- L'introduction d'une technologie de cellule de rupture nécessite 6 à 8 années de recherche pour être disponible sur le marché. De plus, pour permettre la mise sur le marché de la génération 4 à haute performance en 2025, les nouveaux matériaux doivent être à maturité industrielle dès la fin 2022 (grâce à des actions R&D « matériaux » et « procédés »).
- Le développement d'une offre de pack batterie efficace est essentiel pour le secteur de l'automobile, mais il présente trois principales conditions : bénéficier d'une compétitivité technologique, d'une baisse des coûts et d'une sécurité intrinsèque. Les renforts au niveau système sont de plusieurs ordres : sur la cellule, sur les données d'entrée du pack batterie, sur la sécurité et la continuité de service grâce à une filière électronique de puissance et « systèmes intelligents », et enfin sur le design même du pack batterie.

Le design du pack batterie pourra être étudié en analysant les étapes de sa fabrication et de son intégration au véhicule, avec l'objectif de minimiser les packagings successifs nécessaires à l'étanchéité, à la tenue mécanique, les besoins thermiques et électriques, pour en optimiser les consommations en énergie et les conditionnements en température. Ceci intègre bien entendu, le besoin pour les véhicules lourds avec des besoins de packaging spécifiques, à des volumes plus faibles intégrant en particulier le développement des bus bars, de connectique, de BMS, de systèmes de refroidissement et thermiques adaptés.

Les moteurs électriques existent depuis longtemps. Néanmoins, il existe de nombreuses pistes de progrès (en matière de puissance, durabilité, systèmes énergétiques, procédés, matériaux incluant la recyclabilité...), pour gagner en coût/fiabilité/performance dans un marché qui va très fortement progresser. Des projets de recherche et innovations sont indispensables pour y parvenir : en matière de mécatronique, structure de machines innovantes, avec des matériaux à faible teneur ou sans terres rares, compacité, refroidissement, nouveaux process de fabrication, etc...

De même, l'électronique de puissance reste un composant clé de la valeur du véhicule électrique et la pénurie des microprocesseurs questionne sur la capacité à sécuriser une production électronique européenne. Pour rappel, il est proposé dans le cadre du programme « Electronique de puissance » de la PFA, une feuille de route portée de manière conjointe par les CSF Automobile (PFA) et Industrie électronique depuis février 2020. L'objectif est d'accompagner les efforts de R&D à mener avec les acteurs de la filière électronique pour développer et produire en France des modules électroniques de générations actuelles sur base silicium et futures à grands gaps.

Le packaging, la gestion thermique (y compris le refroidissement) ainsi que la gestion de puissance des composants, la connectique, les câblages et la fiabilité ou la sécurité des systèmes seront également pris en compte par les acteurs.

- Approvisionnement des matériaux stratégiques

La transition énergétique engendre un basculement d'une économie reposant sur les hydrocarbures vers une économie de l'électromobilité reposant sur des matériaux dont l'approvisionnement sera critique et stratégique (nickel, cobalt, lithium, graphite, etc...),

Il est important de sécuriser l'approvisionnement de l'industrie française et européenne de ces matières premières minérales, en particulier pour les « Gigafactories » de batteries. Cela nécessite la mise en œuvre d'une stratégie cohérente de l'ensemble des acteurs publics et privés, de l'amont minier jusqu'au recyclage, en passant par la transformation des minerais et la production des batteries.

En collaboration avec le CSF Mines et Métallurgie, il est nécessaire d'envisager une implication dans l'amont de la chaîne de valeur de la mobilité électrique (mines, raffinage, première transformation, recyclage).

L'industrie automobile s'appuie et s'appuiera donc sur un écosystème élargi comprenant les entreprises minières mais aussi de nouveaux entrants proposant des technologies innovantes d'extraction et de transformation.

Elle participera à l'établissement de la meilleure connaissance, en collaboration avec les établissements de recherche Français en matière de données et d'analyse minière (BRGM). Elle permettra l'implantation d'un écosystème de fournisseurs à proximité de ces «Gigafactories », et une structuration des filières de recyclage des batteries et des aimants.

- Déploiement d'une Infrastructure de recharge accessible à tous

Les objectifs prospectifs de la PFA prévoient près de 30% du parc en circulation électrifiés après 2030 et l'ACEA table sur 7 millions de points de charge publics en 2030 et près de 70 millions privés.

Quatre enjeux prioritaires dans la mise en place des infrastructures de recharge :

- Accompagner le déploiement des infrastructures de recharge pour véhicule électrique (IRVE)
- Améliorer l'expérience du service de recharge pour l'utilisateur
- Standardiser les services pour faciliter l'homogénéité de la tarification
- Intégrer la recharge des véhicules électriques aux Smart Grids.

Le pilotage de la recharge doit permettre de répondre aux besoins de recharge de la mobilité du quotidien. Les besoins de flexibilité de la recharge vont donc se renforcer à mesure que l'intégration des véhicules électriques se poursuit et que la part d'énergies renouvelables dans le mix énergétique augmente. L'enjeu est de déplacer la charge en dehors des périodes de forte consommation électrique qui se situent souvent entre 19 heures et 21 heures.

Pour atteindre cette flexibilité de la recharge, une variété de services est possible selon deux types de pilotage de la recharge (mono et bidirectionnel) :

- Pilotage tarifaire simple et monodirectionnel, dont le principe consiste à déclencher la recharge la nuit sur signal tarifaire ;
- Pilotage tarifaire dynamique, qui fait varier la plage horaire de recharge en fonction de la journée choisie ;
- Pilotage bidirectionnel « Vehicle-to-grid » (V2G), qui consiste à décharger sur le réseau électrique l'énergie de la voiture avec participation au marché de l'énergie ou au réglage de fréquence.
- Pilotage bidirectionnel « Vehicle-to-home » (V2H), qui propose d'approvisionner le foyer en électricité grâce à l'électricité de la batterie d'un véhicule électrique sans injection sur le réseau électrique.

Les constructeurs et les énergéticiens doivent donc travailler ensemble sur le déploiement des technologies de recharge V2G. L'écosystème de la recharge est très complexe car il

engage beaucoup d'acteurs (opérateur cloud, distributeurs de services de mobilité, opérateurs du système de recharge...). Il est par ailleurs soumis à de nombreux standards réglementaires.

L'enjeu à l'avenir est donc de faciliter l'interopérabilité entre les acteurs des différentes interfaces de communication.

Le système Plug & Charge facilitera l'adoption du véhicule électrique en offrant trois avantages principaux :

- Il permet de se soustraire à la contrainte du contrôle d'accès par badge ou par application mobile en proposant une authentification directe au moment du branchement à la borne.
- Il sécurise le lien de communication entre la borne de recharge et le véhicule. De fait, un certificat installé à bord du véhicule est partagé via la borne de recharge à un fournisseur de confiance qui assure la charge de la voiture.
- Il améliore la gestion de l'énergie grâce à la planification pilotée par le véhicule électrique.

La norme ISO15118 facilite l'implémentation de la fonctionnalité « Plug & Charge » en simplifiant les remontées d'informations de la charge entre le véhicule et la borne.

Par ailleurs, Il sera nécessaire de garantir l'interopérabilité des services et de favoriser l'émergence des nouveaux services de recharge intelligente.

Axe A2 / Véhicules, équipements et stations H2 en cohérence avec les objectifs fixés par le plan national Hydrogène (segments Véhicules Utilitaires Légers, Bus et camions)

Les objectifs d'émissions actuels et les ambitions du « Green Deal Européen » ne pourront être atteints qu'en électrifiant fortement les véhicules.

La technologie hydrogène, sous réserve d'une production décarbonée, permettra de compléter les usages non couverts par les véhicules électriques à batterie et de s'adresser aux véhicules qui nécessitent un temps de remplissage courts, du transport de charge importante, de l'autonomie tout en restant zéro émissions : Véhicules Utilitaires Légers, Taxis, Bus et Véhicules Lourds à usages intensifs.

Cependant, la mobilité hydrogène peut-être adressée soit par un véhicule hydrogène à pile à combustible (FCEV), soit par un véhicule à combustion interne d'hydrogène (ICE H2).

- **Le FCEV est un véhicule électrique**, doté d'une génération autonome d'électricité par **Pile à Combustible**. Il en reprend de nombreux attributs : aucune émission de CO₂, de particules ou de polluants du réservoir à la roue, silence et agrément de fonctionnement. Son intérêt est de permettre un temps de recharge proche de celui d'un véhicule à carburant traditionnel (sous réserve d'existence d'un réseau de stations suffisant) et des autonomies accrues. Pour des besoins d'énergies embarquées supérieures à 100kWh, il offre un avantage masse significatif, avec une forte valeur client sur les véhicules utilitaires. Le FCEV offre la possibilité de décorrélérer en partie la production et l'usage en fonction des critères économiques et/ou environnementaux locaux. Cette technologie est bien complémentaire de la technologie de véhicule électrique à batterie (BEV).

Les objectifs définis par France Hydrogène et la PFA visent un déploiement de 5 000 véhicules utilitaires légers et 200 véhicules lourds roulant à l'horizon 2024 en France, puis de 300 000 véhicules utilitaires légers et de 800 à 2000 véhicules lourds à l'horizon 2030 dans le parc circulant.

L'étude menée par la PFA et le BDO prévoit **une part de marché pouvant aller jusqu'à 12% pour les véhicules utilitaires vendus en Europe** et dans le monde entre 2030 et 2035 utilisant la technologie de pile à combustible hydrogène (avec augmentation d'autonomie ou hybride rechargeable en grande majorité) **soit un marché mondial de près de 3 millions de véhicules.**

Près de 15% des véhicules industriels à usages intensifs pourront être à hydrogène, les $\frac{3}{4}$ en technologie fuel cells et $\frac{1}{4}$ en moteur à combustion. Afin de respecter l'objectif de neutralité carbone en 2050, et sous réserve d'un prix d'hydrogène compétitif (inférieur à 4€ à la pompe), d'une production décarbonée et des coûts de composants compétitifs, le marché de la mobilité hydrogène devrait correspondre à des valeurs entre 15% et 30% dans 25 ans.

La France est bien positionnée sur ce marché avec des grands groupes comme Michelin, Plastic Omnium, Forvia, des PME/ETI comme Safran ou Symbio. Les deux constructeurs mondiaux (Renault, au travers d'Hyvia et Stellantis) déjà en pointe sur l'efficacité énergétique de leurs motorisations proposent dès 2022 des véhicules utilitaires légers à base d'hydrogène et pile à combustible. La filière automobile française repose sur un réseau solide de sous-traitants, PME et laboratoires compétents dans ce domaine comme le CEA et le CNRS. Ils doivent cependant accélérer leur transformation pour répondre aux défis techniques, économiques et industriels liés au déploiement.

Il est important de soutenir les projets de R&D et d'innovation collaboratifs portés par les acteurs de la filière sur les équipements (piles, réservoirs, compresseurs d'air, électronique de puissance etc...) pour permettre de produire en masse et à un coût compatible avec les contraintes de l'industrie automobile. Des projets d'expérimentations territoriaux devront être développés.

La filière contribuera à promouvoir ces initiatives ainsi que les déploiements d'infrastructure qui vont suivre, entre autres pour s'assurer la sécurisation des installations et garantir aux premiers utilisateurs une offre de service correspondante.

- **Evolutions technologiques sur les piles à combustibles et leurs composants**

Les développements futurs des technologies devront permettre d'optimiser le système pile à combustible, notamment :

- L'architecture du système
- La performance globale y compris la fiabilité liée à l'optimisation du fonctionnement du système (gestion thermique notamment en full power, les lois de commandes, ...)

Mais aussi de développer :

Des modules de qualité automobile (coût, fiabilité, packaging, poids) notamment pour Les réservoirs, les compresseurs, les AME (Assemblage Membrane Electrode), les convertisseurs DC/DC, ...

- Des composants de même qualité comme par exemple les membranes et les plaques bi-polaires des piles à combustible.

Afin d'accompagner les développements futurs de la technologie des compétences clés sont à développer et à renforcer au niveau Français et Européen, en particulier les compétences

qui permettront de supporter les technologies mentionnées ci-dessus ainsi que répondre aux objectifs d'économie circulaire.

Pour les chaînes de traction pile à combustible hydrogène, le challenge économique réside, d'une part, dans la conception de produits plus performants, mais aussi en grande partie dans la capacité de la filière à passer de la petite série à la grande série (passage de l'échelle du laboratoire à l'échelle de la production de masse en usine). L'effet volume est sera significatif dès lors que l'on sera en mesure de dépasser des volumes supérieurs à 10 000 unités par an pour les applications automobiles.

- **H2 ICE (Moteur thermique à Hydrogène)**

Les émissions de l'ICE H2 n'en font pas une technologie 0 émission (à l'échappement) au sens stricte de la réglementation, mais une **technologie « proche du zéro émission »**, et notamment potentiellement « zéro émission » au sens des normes applicables actuellement aux poids lourds (<1g/CO2/kWh).

L'industrie automobile envisage pour le moteur à combustion hydrogène l'injection directe à plus ou moins haute pression. Évaluée à une TRL de l'ordre de 6, cette technologie nécessite encore un effort de R&D conséquent. Les délais de mise sur le marché sont encore de l'ordre de quelques années, pour une disponibilité sur la seconde partie de la décennie.

Les écosystèmes hydrogène sont en pleine création voire en déploiement, et l'un des facteurs de réussite des projets tient au déploiement synchrone de l'infrastructure de recharge et des usages de mobilité routière dans une fenêtre temporelle limitée.

Les facteurs les plus déterminants qui portent sur la nature des véhicules à hydrogène sont les suivants :

- La performance économique de la solution de mobilité
- TCO (Total Cost of Ownership)
- La fiabilité et le niveau de disponibilité
 - Le coût financier associé au déploiement de l'écosystème
 - La capacité industrielle à soutenir une cadence de déploiement compatible à la forte accélération de la mobilité zéro émission

En termes de TCO, le véhicule à ICE H2 se placerait à mi-chemin entre la thermique fossile et le FCEV (Fuel Cell Electrical Vehicle) à court terme (en tenant compte du coût de la plateforme, des coûts de maintenance, et de la consommation d'énergie)

, La technologie électrique à batterie est clairement la solution privilégiée par tous les constructeurs automobiles pour décarboner le véhicule particulier. Quant au véhicule utilitaire léger (VUL), a solution électrique FCEV est largement privilégiée.

Pour les véhicules routiers lourds longue distance, les biocarburants continueront de contribuer à une réduction partielle des émissions de CO2. La solution ICE H2 zéro émissions pour les véhicules lourds peut être considérée comme une alternative aux vraies solution zéro CO2 (du réservoir à la roue), véhicules électriques à batterie et les véhicules à pile à hydrogène, car quelques incertitudes techniques et économiques subsistent à court terme concernant les véhicules électriques et à pile à combustible longue distance, comme la durabilité de la membrane pour la durée de vie du camion, le besoin en métaux stratégiques, et le packaging (Intégration du stockage d'énergie et du refroidissement). En raison de ces incertitudes, les constructeurs de camions et de véhicules tout-terrain, les fournisseurs et les sociétés d'ingénierie ont maintenant ajouté le moteur à combustion à hydrogène à leurs réflexions (au même titre que la pile à combustible et les véhicules électriques).

Cette solution peut permettre un meilleur usage de l'infrastructure des stations de remplissage hydrogène.

Axe A3 / **Matériaux innovants et leur assemblage**

La masse est un contributeur majeur à la puissance dissipée par le véhicule puisqu'elle intervient proportionnellement à la résistance au roulement, à l'accélération et à la déclivité des routes.

Sur le cycle WLTP, il est communément admis qu'une réduction de masse de 100 kg engendre un gain d'émission de CO₂ d'environ 4g/km (valable à partir de 2021) pour un véhicule à moteur thermique. Cependant, si la réduction de masse est incontournable elle ne pourra se faire sans une maîtrise économique globale, l'utilisateur n'étant pas prêt à en supporter directement tous les coûts.

Les voitures électriques compteront également sur la légèreté des matériaux composites pour compenser l'excès de masse des batteries embarquées. Alléger tout en maîtrisant des architectures multi-matériaux complexes de plateformes véhicules multi-énergies est crucial dans un pays comme la France.

Un gain moyen de 100 kg par véhicule est attendu pour la prochaine décennie. La production et l'assemblage de ces plateformes intégrant largement l'aluminium et le composite sont un des vecteurs cruciaux pour la compétitivité de la filière.

Les verrous à lever pour permettre l'intégration de ces nouveaux matériaux / technologies seront de maîtriser les assemblages multi-matériaux dans les process des constructeurs ou des équipementiers à moindre coût, et avec une flexibilité maximale à la diversité des lignes de production actuelles.

Plusieurs projets de filière ont déjà été lancés sur des assemblages multi matériaux, l'aluminium ou le projet Force (fibre optimisée de carbone économique) qui feront l'objet d'applications spécifiques sur des composants ou systèmes des véhicules du futur. La filière numérique de modélisation et de simulation de ces procédés, des caractéristiques obtenues sur pièces et du comportement en service se doit d'être construite en même temps que le matériau et ses procédés de mise en forme et d'assemblage.

Concernant la filière numérique des matériaux métalliques, de ses procédés et assemblages à iso famille, elle est relativement mature et a atteint une prédictivité suffisante au niveau académique pour être utilisée comme outil de conception. Il est maintenant prioritaire de développer les interactions avec les autres filières matériaux si l'on veut répondre efficacement aux enjeux d'allègement (notamment d'assemblage multi-matériaux). Plus récemment développée, la filière numérique des composites, qui présentent des comportements visco-élasto-plastiques plus complexes que ceux des métaux, est beaucoup moins bien maîtrisée. Le développement de protocoles spécifiques et complexes, nécessitant des investissements importants est nécessaire afin de mieux appréhender le comportement de ces matériaux hybrides, souvent utilisés en multicouches, ce qui complexifie d'autant plus le problème.

D'autre part, nous devons prendre en compte systématiquement les contraintes et enjeux environnementaux et sociétaux associés aux politiques françaises, européennes et mondiales, sur le climat, et garder dans chacune des voies de développement citées un regard sur la recyclabilité de nos matériaux et de l'utilisation de matières plus « vertes » (naturelles et/ou recyclées).

D'un point de vue recyclabilité, à ce jour, 85% à 90 % des produits en acier sont recyclés en fin de vie pour produire de nouveaux aciers (industrie auto ou autre en fonction des propriétés attendues). Les propriétés de séparation magnétiques rendent cette opération particulièrement efficace. Chaque développement de nouveau matériaux ou de technologies

pour les solutions d'allègement cités devra rechercher et démontrer par une analyse de cycle de vie l'amélioration des indicateurs d'impacts environnementaux (Global Warming, Photochemical Oxydation, Eutrophication, Abiotic Depletion, Acidification)

Chemical Strategy for Sustainability (CSS)

La réglementation du CSS (Chemical Strategy for Sustainability) a été publiée le 14 octobre 2020. Les objectifs annoncés par l'UE sont de mieux protéger les citoyens et l'environnement et de stimuler l'innovation pour des produits chimiques sûrs et durables. Cette réglementation entraînera la suppression progressive de l'utilisation des substances per- et polyfluoroalkylées (PFAS) au sein de l'UE, et la nécessité de développer des solutions innovantes pour remplacer les substances identifiées comme dangereuses.

Le CSS comporte plusieurs initiatives :

Sustainable Product Initiative (SPI) : La directive Ecodesign devient un règlement. Un cadre pour la fixation d'exigences d'écoconception, la création d'un passeport produit numérique, et l'interdiction de destruction des produits de consommation invendus.

Digital Product Passport (DPP) : Le passeport produit (DPP) recueillera des données sur un produit tout au long de sa chaîne de valeur

Safe and Sustainable by Design (SSbD) : Un outil pour stimuler l'innovation avec des critères et méthodologies d'aide à la conception, Basé sur une analyse cycle de vie.

Essential Use : Définition de critères pour « les utilisations essentielles ». Les produits chimiques les plus nocifs ne seront autorisés que si nécessaires : pour la santé, pour la sécurité ou critiques pour les objectifs sociétaux, sans alternative.

Axe A4 / Trajectoire vers le zéro impact

L'objectif pour la filière automobile et mobilité est de minimiser l'impact environnementale du véhicule sur l'ensemble de son cycle de vie.

L'Analyse Cycle de Vie (ACV), une démarche d'amélioration continue

Depuis plusieurs années, les autorités nationales et internationales ainsi que les entreprises ont entamé une démarche pour réduire drastiquement l'impact sur l'environnement de leurs activités.

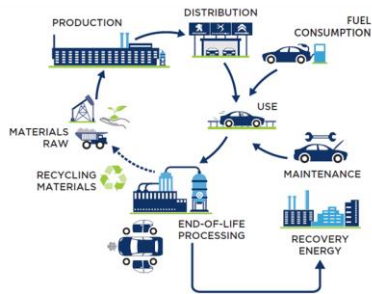
La méthodologie qui permet de quantifier cette réduction et de guider dans le choix des meilleures stratégies est l'« Analyse Cycle de Vie » ou « Life-Cycle Assessment » (LCA). Cette méthodologie permet d'évaluer l'impact environnementale d'un produit selon différents axes : non seulement le réchauffement planétaire (dont l'empreinte carbone) mais aussi la création photochimique de l'ozone, l'eutrophication, l'acidification et la déplétion des ressources. Cette évaluation est faite « du berceau à la tombe » : elle couvre toutes les activités liées à la fabrication d'un produit (y-compris l'extraction des matériaux utilisés dans sa fabrication), à son utilisation et à son traitement en fin de vie.

Les résultats de l'ACV peuvent être utilisés pour des besoins d'éco-conception, d'affichage environnemental, ou encore d'orientation des politiques publiques. Du fait des spécificités du secteur automobile (e.g. complexité dans la modélisation de la fin de vie ou disponibilité de

base de données matériaux, définition des hypothèses d'usage...), le déploiement systématique de cette méthodologie n'est pas seulement complexe mais aussi évolutif.

Il est donc très important d'avoir une démarche d'amélioration continue afin de rendre cet outil adapté aux spécificités du secteur automobile, transparente, précis et fiable.

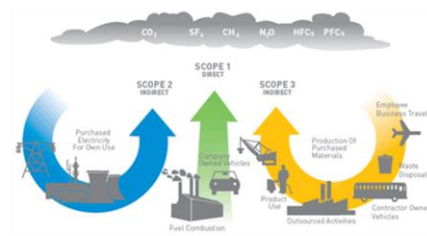
Life Cycle Assessment (LCA) methodology



Multicriteria approach

- Global Warming
- Photochemical Ozone Creation
- Eutrophication
- Acidification
- Ressource Depletion

Carbon Footprint



L'Economie circulaire, pour une consommation réduite des matériaux et des produits

Nos ressources disponibles se raréfient dans un contexte d'accroissement des tensions sociales et des inégalités. Le mode de production conventionnel et « linéaire » qui conduit à l'élimination et donc finalement à la « dévalorisation » des produits, de leurs composants et des matériaux doit être revu. Une approche « circulaire » implique **la réduction de la consommation de ressources avec des boucles de réutilisation des matériaux et des produits** ainsi que **l'utilisation de nos produits pendant une plus longue durée**.

Cela doit être pris en compte dès le début par éco-conception et implique aussi de revoir les modalités d'usage de la mobilité (partage, prolongation de la vie utile du véhicule) ainsi que la gestion de la fin de vie. Il s'agit donc d'une approche holistique que nécessite l'implication des différents acteurs de l'écosystème.

Le développement de l'économie circulaire nécessite une nouvelle approche de conception des produits avec utilisation de moins de composants et de matériaux. Aussi l'utilisation de matériaux à faible impact environnementale, plus écologiques et durables est un axe important de cette démarche. Il faut, donc, prendre en considération l'utilisation matériaux biosourcés et de matières premières secondaires (plastique, métaux rares notamment dans les moteurs et les batteries, etc.).

Dans ce contexte, les véhicules doivent être conçus pour la longévité et la durabilité, tout en permettant des fonctionnalités de prolongation de la durée de vie du produit telles que la réparation et l'entretien.

L'électrification des véhicules, associée à une amélioration continue en durabilité entamée depuis des années, prolongera la vie de nos véhicules.

Il a été démontré que les véhicules électriques à batterie ont une durabilité plus longue, et que même si l'autonomie de la batterie est dégradée, cette batterie pourrait garder une valeur résiduelle pour une utilisation stationnaire. Le véhicule peut bénéficier d'une nouvelle batterie et repartir pour une « deuxième vie ».

L'impact de cette durabilité accrue est que le véhicule va rester en circulation plus longtemps – peut-être jusqu'à 20 ans. Cette prolongation de la vie du véhicule va nécessiter des progrès techniques sur les points suivants notamment :

- La durabilité des organes de châssis et carrosserie
- Le remplacement des pièces d'usure (ex. sièges, habillage)
- Les mise à jour des logiciels embarqués
- La facilité de réparation des véhicules

Pour permettre une approche circulaire et minimiser les déchets des véhicules en fin de vie les composants doivent être conçus et assemblés de manière à permettre leur réutilisation et/ou leur recyclabilité à la fin de vie du véhicule.

Dans ce contexte, l'économie circulaire va permettre le développement d'une filière de reconditionnement des produits, de récupération des composants et de recyclage des matériaux utilisés. Le refactory de Flins inauguré par Renault est un premier exemple – la taille du marché de la France va imposer la création de plusieurs sites similaires partout dans

L'Eco-conception, un levier efficace pour améliorer l'empreinte environnementale

Les exigences de l'éco-conception nécessitent que différents facteurs soient pris en compte de façon holistique :

- La teneur en matériaux à bas impact (e.g. recyclés, issues de matières premières renouvelables) et la présence de substances entravant la circularité (e.g. toxiques)
- L'efficacité dans l'utilisation de l'énergie et des ressources en phase de production
- La durabilité, le réemploi, la mise à niveau et la réparabilité des produits
- La recyclabilité des composants en fin de vie
- Les exigences en matière d'information, y compris un passeport numérique des produits

Les exigences réglementaires en termes d'éco-conception sont appelées à augmenter dans les prochaines années. Pour cette raison, il est important de développer des outils et des méthodologies pour généraliser cette approche.

Axe A5 / Véhicules à base de carburants décarbonés, non couverts par la mobilité purement électrique (Méthanisation, carburant bio ou synthétique)

Le CSF automobile s'engage dans la transition énergétique et écologique, avec en particulier le développement de nouvelles solutions technologiques globales permettant la diminution du CO₂ et des émissions, ainsi que le développement de solutions techniques intégrant des innovations sur l'articulation véhicule/service/infrastructure :

- Leur électrification avec batterie ou hybridation à Fuel Cell ;
- L'amélioration du rendement du groupe motopropulseur et les potentialités des carburants renouvelables (biocarburants et carburants synthétiques) et des systèmes de dépollution ;
- La réduction des traînées aérodynamiques, des pertes mécaniques et de roulement, et l'amélioration du rendement des consommateurs.
- Le développement de dispositifs de charge pour véhicule électriques communicants avec le réseau électrique et pilotables à distance.

Il est indispensable d'avoir une approche systémique pour proposer la meilleure synthèse qui permettra d'atteindre les objectifs environnementaux définis. Les choix techniques seront différents selon les usages et la disponibilité énergétique. Les actions du programme seront

évaluées avec une approche globale sur l'ensemble du cycle de vie, des produits et des usages, en gardant la neutralité technologique comme un principe de la transition énergétique.

Pour le VUL, la solution électrique batterie ou à hydrogène peut être plus intéressante d'un point de vue environnemental, mais l'hybride rechargeable avec une motorisation hydrogène à la place du diesel pour accroître le rayon d'action peut être une solution plus rapide à mettre en place.

Le Véhicule Industriel (VI) a, quant à lui, des caractéristiques spécifiques dont il faut tenir compte en fonction des usages: du mix énergétique (distribution urbaine, lourd routier, chantier, ligne régulière régionale...), de la durée de détention (de 3 à 15 ans), de l'importance de la valeur de revente.

L'hybridation à venir et les évolutions fortes des systèmes de transmissions de puissance amènent à des GMP optimisés permettant de concentrer l'utilisation du moteur thermique sur ses zones de fonctionnement peu émissives (polluants et CO₂) et de bénéficier de l'avantage de la récupération de l'énergie au freinage. Un autre axe de gain en émissions polluantes et CO₂ est la récupération des pertes thermiques. Les technologies de récupération d'énergie thermique seront développées sous contraintes de coût et packaging. Une voie complémentaire dans la réduction des émissions de CO₂ sera l'utilisation du gaz naturel, l'exploitation du potentiel des bio-carburants et, en prospectifs, des carburants alternatifs (e-fuels). Ces derniers permettant, même intégrés de façon minime, de réduire les émissions de gaz à effet de serre du parc dans une approche puits à la roue. L'adaptation à la variabilité carburant dans le monde est et restera une contrainte. L'opportunité d'utiliser des additifs (boosters de combustion) pour améliorer le rendement des moteurs ou leurs émissions est une piste à explorer.

Cette dernière approche fait apparaître l'importance d'une norme émissions CO₂ prenant en compte le bilan du puits à la roue et une analyse de cycle de vie complète afin de comparer les différentes solutions de mobilité, par rapport à leur impact global sur l'environnement.

EXPLOITER LA REVOLUTION NUMERIQUE POUR UNE MOBILITE INTELLIGENTE, CONNECTEE, AUTOMATISEE,

Axe B1 / Des Véhicules connectés, automatisés et partagés pour développer des services répondant aux besoins des usagers et des territoires

Pour répondre à la progression des besoins de mobilité abordable des citoyens, tout en visant des transports à faible empreinte environnementale et toujours plus sûrs, il est nécessaire de développer une nouvelle offre de mobilité basée sur le véhicule connecté, automatisé et partagé.

- Des Véhicules automatisés et autonomes pour renforcer la sécurité routière, fluidifier le trafic et proposer de nouveaux services.

Un programme ambitieux d'expérimentation SAM a déjà été engagé en 2019 pour une fin d'expérimentation en 2022. Le but est de (i) développer en commun un cadre réglementaire et normatif pour répondre notamment aux enjeux de sécurité et de cybersécurité, et (ii) évaluer les usages, les modèles économiques et l'acceptabilité sur différents territoires et pour différents types d'usage (individuel, collectif, logistique, industriel, urbain et rural), étape indispensable au déploiement de nouveaux services de mobilité.

Les technologies, en s'appuyant, sur les niveaux SAE L2 et L3 devront rapidement évoluer vers des systèmes permettant le niveau 4, dans lesquels le conducteur ne constitue plus systématiquement le recours lorsque le système rencontre ses limites. Les premiers progrès à attendre pour la réduction des accidents se situent au niveau des ADAS. Plusieurs actions ont été retenues pour répondre à cet enjeu majeur pour la filière et créer l'écosystème favorable au développement du véhicule autonome et des systèmes de transport public automatisés.

Équipés de capteurs et de systèmes de commande innovants, les véhicules automatisés sont susceptibles de renforcer la sécurité routière, de fluidifier le trafic et de développer de nouveaux services de transport public ou partagé, souples et adaptables en fonction des flux, pour les personnes comme pour les marchandises, visant aussi à des usages étendus de tels véhicules (performances maintenues pour utilisation de nuit, ou dans des conditions météorologiques difficiles). Concernant les capteurs, il est prévu également la mise en œuvre de solutions d'éclairage intelligent pour plus de sécurité (V2V et information des VRU).

L'objectif de notre action est de :

1. Stimuler l'innovation pour développer une offre compétitive de composants, de capteurs, de logiciels, ou encore de systèmes de commande afin de proposer, pour la prochaine décennie, des véhicules potentiellement autonomes à prix abordable avec des services en capacité d'accompagner le déploiement d'un parc connecté,
2. Développer des briques de cyber sécurité,
3. Développer en France les outils de simulation pour la conception, la vérification et la validation des véhicules automatisés
4. Mobiliser les capacités de la filière pour se doter avant 2025 de moyens de certification en France de l'intelligence artificielle utilisée dans les véhicules
5. Aider à créer un cadre réglementaire et normatif adapté pour assurer le futur déploiement du véhicule autonome.

- Véhicules connectés et les services associés

Il est nécessaire de compléter ce programme par une poursuite de l'expérimentation de la connectivité (ITS, 5G) et des services associés, pour préparer le développement d'infrastructures appropriées, le tout dans un environnement juridique adapté.

Prenant exemple sur le projet SCOOP qui s'est achevé fin 2019, l'objectif est donc de mener des expérimentations grande échelle de service connectés sur différents territoires ciblés et complémentaires, en associant les gestionnaires d'infrastructures. Pour cela il faut définir les technologies et les standards de communication des véhicules connectés.

Le programme 5GOpenRoad a été lancé dans cet objectif en 2021 ; il associe des représentants des infrastructures numériques, des équipements de bord de route et de la PFA ainsi que des exploitants de services et des collectivités ; le projet d'une durée de 3 ans doit démontrer à travers 4 cas d'usage (carrefour intelligent, navettes autonomes, hub et logistique autonome) l'apport de l'infrastructure 5G dans la réalisation de ces services et la validité des business modèles associés

En outre, la filière s'engage collectivement dans la standardisation et la normalisation du véhicule connecté et du véhicule étendu pour peser dans les instances de normalisation européenne et internationale sur les différents sujets qui feront des technologies françaises un succès commercial à l'international.

Cet engagement conjoint des acteurs de la filière permettra surtout de :

1. Garantir la sécurité du véhicule connecté et autonome (cyber sécurité et la sécurité fonctionnelle des systèmes),
2. Définir les modalités de la Communication Véhicule/Véhicule (V2V) et Véhicule/Infrastructure (V2I/I2V),
3. Exprimer les besoins de la filière vis-à-vis de l'infrastructure routière,
4. Définir les architectures et modèles d'échanges de données garantissant le respect des prérogatives des autorités publiques et des principes de concurrence loyale sur les marchés de services aval.

La perspective prochaine du véhicule électrique connecté, automatisé et partagé ouvre de nouveaux horizons en termes de mobilité, où la frontière entre transport public et privé s'estompe. La poursuite de l'augmentation du besoin de mobilité (personnes et marchandises), avec un impact environnemental le plus faible possible, va nécessiter dans les grandes agglomérations, ainsi que dans les territoires péri-urbains et ruraux, de nouveaux schémas de mobilité et de stationnement qui pourront s'appuyer sur les évolutions technologiques en cours.

Axe B2 / Architecture Electronique

Les architectures électroniques utilisées actuellement dans les véhicules ne sont pas capables de faire face aux défis de l'avenir car trop complexes (ce qui entraîne des temps de développement élevés) et impossibles à faire évoluer.

Ces architectures évoluent donc dans le sens de la concentration de la puissance de calcul dans un nombre de calculateurs réduit sur lesquels l'ensemble des fonctionnalités seront gérées par logiciel. Pour ce faire, il est nécessaire de découpler le matériel et le logiciel en offrant des interfaces génériques, tant sur le matériel (concentration de la connectivité au sein de modules zonaux) que sur le logiciel (interfaces de programmation, appelées API).

Ces architectures offriront une généricité matérielle bien plus forte qu'actuellement et permettront de réduire le nombre de plateformes électroniques actuellement déployées chez les constructeurs. Les fonctionnalités pourront être ajoutées ou activées par logiciel, ce dernier étant mis à jour à distance directement dans les véhicules (Over The Air). Néanmoins, le succès de ces nouvelles architectures va reposer grandement sur le logiciel qui devra orchestrer toutes les fonctions. Les ressources humaines nécessaires à la création puis à la maintenance de tout ce code imposent une mise en commun des éléments non-compétitifs de cette architecture comme par exemple les interfaces de programmation permettant d'interagir avec le matériel. Cette interaction se situe au niveau de la couche logicielle intermédiaire, appelée « Middleware ». Ainsi, une fonctionnalité logicielle pourra se déployer sur de nombreux véhicules différents, à l'instar de ce qui se passe dans le monde du smartphone (Service Oriented Architecture).

Les éléments susceptibles de différencier les implémentations matérielles de ces architectures chez les constructeurs sont relativement peu nombreux, principalement :

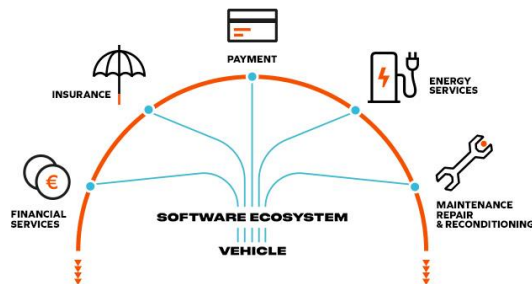
- Les SoC (« System On Chip ») qui vont délivrer l'essentiel de la puissance de calcul et qui vont donc concentrer une part essentielle de la valeur des calculateurs. Leur maîtrise, tant du point de vue technique que sur leur disponibilité est essentielle
- Le cœur de communication entre le ou les calculateurs centraux et les modules zonaux se fera via la technologie Ethernet (dont les vitesses envisagées aujourd'hui varient déjà entre 1 et 10Gb/s).
- Les impératifs SOTIF que l'on voit apparaître pour des fonctionnalités de conduite automatisé de niveau 3 et plus nécessitent l'adoption de modules de contrôle d'alimentation intelligents (« SmartMOS ») qui vont permettre la mise en place de stratégies de contrôle et d'action sur l'alimentation des différents éléments de l'architecture électronique.

Ces évolutions auront un impact sur les organisations : les activités vont être déplacées des calculateurs (ECU) vers des composants dont les matériels et logiciels seront séparés. Les organisations vont devenir plus fonctionnelles et transversales plutôt que centrées sur les composants. Les projets véhicules ne se termineront pas au démarrage série, mais vont suivre la vie du véhicule.

Axe B3 / Nouvelles mobilités

Loin du modèle traditionnel centré sur la possession du véhicule arrive le modèle de « Vehicle-as-a-Service » (VaaS) : une offre intégrée autour du véhicule, de la technologie et des services. Des organismes sont en train de mettre à disposition des solutions de mobilité qui ne nécessitent pas l'achat d'un véhicule, mais plutôt un système flexible de mise à disposition.

Achat, leasing ou location. Ces trois modèles ont traditionnellement été les options « standard » pour « détenir » une voiture, que ce soit temporairement, à long terme ou de façon permanente. Cependant, avec l'émergence du modèle d'abonnement, l'industrie automobile doit s'adapter : elle connaît une évolution majeure, à l'instar d'autres domaines comme la musique, les médias, l'hôtellerie, etc. Tous ces secteurs ont connu une disruption numérique, alimentée par les innovations technologiques et l'évolution des comportements des clients. Grâce au succès de ces innovations, ces derniers attendent désormais un service personnalisé, à la demande, d'un simple clic. Le VaaS, en tant que « quatrième voie d'accès » à la voiture. Les nouveaux opérateurs proposent des modèles VaaS offrant la souplesse attendue par les usagers : durée de souscription, choix de véhicules et de prestations.



Cette approche à la mobilité va permettre d'assurer un meilleur taux d'utilisation de chaque véhicule, ce qui va permettre à un meilleur bilan environnemental global. Depuis les dernières années, les offres de nouvelle mobilité se développent, y-compris des offres proposées par Free2move (Stellantis), Freenow et Mobilize (Renault Group).

La mobilité multi-modale

Avec le déploiement des Zones à Faibles Emissions, les métropoles sont en train de limiter le nombre de véhicules particuliers dans l'intérieur des villes, qui rejoint les objectifs d'améliorer la qualité de l'air dans la ville et les conditions de sécurité pour les autres utilisateurs de la ville. Ceci nécessite le développement de solutions multi-modales, où des solutions de mobilité individuelles qui vont se combiner avec des solutions de transport partagées.

Quelle forme aura le voyage 2.0 de demain ? Du métro au train, du train au vélo, du vélo à l'autopartage – tous ces moyens de transports (et bien d'autres) vont être combinés pour arriver à une mobilité plus verte, plus fluide, plus efficace.

Ces orientations vont vers la diminution des déplacements individuels (autosolisme) pour privilégier l'utilisation des transports publics ou d'autres modes de déplacement moins contraignants du point de vue environnemental. Ceci va nécessiter des investissements dans des infrastructures, des moyens spécifiques de transport, et des services pour permettre à tous ces moyens de mobilités d'être utilisés de manière transparente.
