ÉVOLUTION & ANALYSE DU MIX DE MOTORISATION DES VEHICULES LEGERS EN EUROPE DE 2020 A 2040

Note Technique du WAPO 2021 Juin 2022







SYNTHESE

Le WAPO - World Automotive Powertrain Outlook - est une étude prospective avec et pour la filière automobile française qui permet d'apprécier l'évolution du mix de motorisation des véhicules légers dans le monde d'ici à 2040. Basé sur un modèle mathématique centré sur un arbitrage du coût total de possession TCO compatible avec les usages, il projette l'évolution des parts de marché de 15 types de Groupes MotoPropulseurs GMP (essence, diesel, gaz, hybride, électrique, H_2 ...) équipant les Véhicules Légers VL (Particuliers VP et Utilitaires Légers VUL). Cet outil de projection tout-en-un, s'appuyant donc sur une granularité fine à tous les niveaux, fournit aussi des estimations d'impact du parc roulant de Véhicules Légers, et notamment les besoins inhérents au déploiement de l'électrification et les émissions CO_2 résultantes à l'usage.

Cette étude dédiée est mise à jour chaque année afin d'intégrer les derniers changements en termes de politiques publiques et de technologies, ainsi que les évolutions les plus plausibles sur l'horizon de temps étudié. Le modèle développé, en accord avec les membres de la PFA, s'articule autour de 4 scénarios caractérisés principalement par la variation des hypothèses macro-économiques et de l'intensité réglementaire environnementale.

En 2021, du fait des nouvelles annonces en Europe profondément structurantes pour l'avenir, les travaux se sont concentrés sur cette zone et notamment le package Fit For 55 proposé par la Commission Européenne avec l'interdiction du moteur thermique (ICE BAN) proposé pour 2035 comme point central, à laquelle une sensibilité ICE BAN 2040 la reportant de 5 ans a été imaginée pour analyse.

Ainsi côté mix des ventes, dans le cas du scénario vert Green Growth - le plus probable en cas de convergence technique et réglementaire vers la transition énergétique et écologique la plus volontariste - les Véhicules Zéro-Emissions ZEV atteindraient déjà près de 59% de part de marché en 2030, conséquence de l'interdiction annoncée des GMP à base thermique, et presque 15% de PHEV. Avec environ 55% de ZEV et 19% de véhicules hybrides rechargeables PHEV, l'alternative ICE BAN 2040 permet elle aussi d'atteindre les objectifs CAFE de 2030 pour le VP comme le VUL. En France, du fait d'un prix de l'électricité plus favorable que la moyenne, les Véhicules Electriques à Batterie BEV prennent de parts de marché plus importantes, de l'ordre de 66% en 2030.

Pour soutenir cette électrification accélérée des ventes, l'énergie cumulée de batteries de mobilité à fournir est estimée à environ 620 GWh pour l'année 2030. Avec un pic de besoins Green Growth à 1 048 GWh dès 2035, les contraintes sur la filière d'approvisionnement sont très fortes, à comparer au cas ICE BAN 2040 qui montrent une meilleure progressivité avec un pic à 1 029 GWh en 2040. En termes d'infrastructure de recharge, on estime selon les variantes un besoin en bornes publiques compris entre 6 et 10 millions en 2030, pour un parc roulant électrifié avec un maximum de 76 millions de véhicules BEV et PHEV.

L'électrification massive et accélérée des motorisations va donc permettre de respecter les objectifs réglementaires CAFE d'émission de CO_2 des véhicules neufs. Pour le parc roulant se verdissant, dans l'état actuel des avancées technologiques et des politiques publiques pressenties, et en considérant un périmètre d'émissions de CO_2 "du réservoir à la roue", les objectifs de neutralité carbone à plus long terme du Green Deal paraissent encore très ambitieux. Cependant, la dynamique imprimée aux usages de l'automobile montre la voie : une réduction attendue des émissions de 20% en 2030 par rapport à 1990 (519 Mt de référence) et de 80% en 2040.





Table des matières

SY	/NTHESE	= 	2
1.	CONT	EXTE & INTERETS	4
2.	L'EUR	ROPE, LE FOCUS 2021	6
3.	METH	ODOLOGIE - TECHNOLOGIES & SCENARIOS	7
4.	HYPO	THESES EUROPE - LES PRINCIPALES EVOLUTIONS	10
5.	RESU	LTATS EUROPE - VENTES & CAFE	16
	5.1.	Volumes de ventes totales de véhicules	16
	5.2.	Mix segments	17
	5.3.	Mix des ventes de Véhicules Légers par technologie	18
	5.3.1.	Les Véhicules Particuliers en détail	20
	5.3.2.	Les Véhicules Utilitaires Légers en détail	21
	5.3.3.	Les projections pour le véhicule "thermique"	22
	5.3.4.	Zoom sur les énergies alternatives (Electricité, Hybride, Fuel Cell) - Tir Central .	22
	5.4.	Du côté de la France	23
	5.4.1.	Les Véhicules Particuliers en détail	25
	5.4.2.	Les Véhicules Utilitaires Légers en détail	26
6.	RESU	LTATS EUROPE - L'ECOSYSTEME DU VE	27
	6.1.	Besoin en Batteries - ventes	27
	6.2.	Besoins en IRVE - parc : Méthodologie & projections	28
7.	CONT	RIBUTION CARBONE EUROPE	30
8.	SENSI	BILITE HYDROGENE EUROPE	34
	8.1.	Contexte et motivations	34
	8.2.	Précisions sur les hypothèses	34
	8.3.	Résultats pour les véhicules particuliers et utilitaires légers	35
9.	CONC	LUSIONS DE L'ANALYSE EUROPE 2021	38
10). ANNE	XES	39
	10.1.	Définition des segments et des powertrains	39
	10.2.	Les différentes typologies de Fuel Cell pour les VL	
	10.3.	Parts de marché des VL par PWT / Europe, selon le scénario	
	10.4.	Détails sur les hypothèses du modèle	43





1. CONTEXTE & INTERETS

Partout dans le monde et de façon encore plus notable ces dernières années, les états et organisations se mobilisent et se donnent des objectifs afin de limiter le réchauffement climatique.

En Europe, après une baisse des émissions de CO₂ du secteur des transports entre 2007 et 2013, celles-ci sont reparties à la hausse depuis 2015, conséquence directe de l'impact du *Dieselgate* et de l'engouement pour les véhicules SUV : le secteur du transport représentait 29% des émissions européennes de CO₂ en 2018 (dont près de 2/3 pour les véhicules légers) contre 17% en 1990. Par conséquent, des contraintes de plus en plus fortes s'appliquent déjà ou vont bientôt s'appliquer sur le secteur pour maîtriser puis nettement diminuer les émissions du transport

La filière automobile reste donc pleinement engagée dans la transition énergétique en ayant investi depuis plusieurs années des sommes considérables pour faire évoluer son offre et répondre aux objectifs de baisse des émissions de CO_2 par le développement d'innovations technologiques majeures, tant au niveau de la sobriété de ses moteurs thermiques que sur l'électrification croissante des architectures proposées (hybrides, véhicules électriques, à batterie et/ou à hydrogène). Elle entend maintenir ses efforts et s'inscrire sur une trajectoire dynamique dans la perspective de rendre la mobilité climatiquement neutre d'ici 2050, conformément aux objectifs de l'accord de Paris. Pour cela, la révision des objectifs à atteindre pour les horizons 2030, 2035 et 2040 doit permettre de fixer un cadre clair. Il est en effet essentiel de donner une visibilité suffisante aux acteurs de la filière afin que tous soient en mesure de construire une stratégie compétitive en matière technologique, industrielle et commerciale sachant que la proposition de la Commission Européenne s'inscrit d'ores et déjà dans un calendrier extrêmement ambitieux.

Les révisions de la réglementation sur les émissions de CO₂ des Véhicules Légers (VL) - Véhicules Particuliers (VP) et Véhicules Utilitaires Légers (VUL) - de la directive sur les énergies renouvelables et de la directive sur les infrastructures de recharge constituent d'ailleurs une brique du paquet Fit for 55¹ dans lequel l'ensemble des leviers d'action sont mobilisés pour la réduction des émissions de Gas à Effet de Serre (GES).

Plus globalement au niveau mondial, la multiplicité des approches selon les pays et leurs spécificités sectorielles entrainent des évolutions à venir complexes à appréhender.

De ce fait, une démarche prospective est indispensable aux différents acteurs pour mettre en place des stratégies pertinentes. La filière automobile française, représentée par la PFA et ses membres², a ainsi de nouveau mandaté Le BIPE - BDO Advisory, cabinet de conseil et de modélisation, afin de poursuivre la construction, commencée il y a plus de 10 ans, d'une prospective rationnelle et indépendante sur l'évolution des ventes automobiles, des parcs

² Plateforme Filière Automobile & Mobilités : Renault, Stellantis, Faurecia, Michelin, Plastic Omnium, Valeo





¹ COM(2021) 550 final - 'Fit for 55': delivering the EU's 2030 Climate Target on the way to climate neutrality

automobiles et leur vitesse de renouvellement, leur segmentation et leur répartition par type d'énergie-chaîne de traction.

Le modèle mathématique, basé sur une approche dite TCO (voir détails ci-après), est alimenté par des hypothèses construites collégialement avec les membres de la PFA via le Groupe de Travail dédié (GT WAPO). Le WAPO est donc un véritable outil de pilotage et de réflexion stratégique, par et pour la Filière.

Cette Note Technique sur les travaux réalisés en 2021 présente une introduction à la méthodologie, les résultats de projection des mix de motorisations des ventes en Europe et les résultats CAFE analysés, ainsi qu'une évaluation des besoins engendrés par les ventes et le parc automobile européens, le tout sur la période 2020 à 2040.





2. L'EUROPE, LE FOCUS 2021

L'année 2021 a marqué une nouvelle étape dans l'orientation pratique de la règlementation européenne encadrant les émissions de CO₂, avec le package Fit For 55 soutenu par la majorité des pays européens et proposé durant l'été par la Commission Européenne pour atteindre les objectifs du Green Deal. Parmi les mesures phares pour le secteur des transports, la plus impactante fait état d'une volonté d'interdire la vente de véhicules légers non ZEV (*Zero Emission Vehicles*) à partir de 2035. D'ici à cet horizon de temps, les exigences de diminution des émissions ont aussi été renforcées. En (re)définissant donc deux jalons contraignant le mix de motorisations à moyenne échéance, la voie apparaît tracée pour la filière automobile :

2030

La réglementation sur les émissions de CO₂ des Véhicules Neufs (VN) se sévériserait, avec des réductions cibles passant de -37,5% à -55% pour le Véhicule Particulier (VP) et de -31% à -50% pour le Véhicule Utilitaire Léger (VUL) sur les ventes de VN, la référence des émissions de CO₂ restant prise en 2021.

2035

La contrainte se durcirait avec une interdiction totale (réduction de 100% vs 2021) des ventes de Véhicules Légers (VL) à moteur thermique, ceci incluant donc leurs déclinaisons hybrides.

Pour les travaux du WAPO 2021, ces objectifs revus et corrigés "Fit For 55" ont donc été utilisés par anticipation comme cadre premier des calculs de projections, par la suite appelé Tir Central. L'intérêt de l'outil WAPO étant de pouvoir proposer différentes évolutions possibles, une variante principale - appelée sensibilité ICE BAN 2040 - imagine une alternative où l'interdiction du moteur thermique (ICE) serait reculée de 5 ans.

Ces deux visions ont été appliquées pour projeter la disponibilité des différentes motorisations par segment à 2040. Les résultats obtenus, mis en comparaison, permettent de donner un cadre de réflexion et de discussions sur les moyens et règles à mettre en œuvre pour que la filière automobile européenne puisse atteindre les objectifs de neutralité carbone à long terme, et ce dans les meilleures conditions.





3. METHODOLOGIE - TECHNOLOGIES & SCENARIOS

L'étude porte donc sur la période 2020-2040 pour l'ensemble des segments de Véhicules Légers étudiés, avec une projection long terme de la demande ; la mise à jour annuelle permet ainsi d'intégrer les derniers changements en termes de politiques publiques, technologies et évolutions les plus plausibles sur l'horizon de temps étudié.

Le périmètre du modèle prend en compte au niveau mondial 30 pays répartis sur toutes les plaques géographiques (8) et inclut 11 segments de véhicule (7 en VP, 4 en VUL). 17 modes de chaîne de traction sont analysés : les moteurs 100% thermiques essence et diesel, l'ensemble des combinaisons d'hybridation (mild faible voltage et 48V, hybride non-rechargeable HEV, hybride rechargeable PHEV, range-extender EREV retiré), les véhicules zéro-émissions ZEV (électrique et pile à combustible) et les véhicules au gaz (GNV, GPL).

Afin d'apprécier les impacts des incertitudes liées au contexte, 4 scénarios prospectifs sont utilisés pour ouvrir le champ de réflexion via différents leviers, chacun des scénarios renvoyant à des hypothèses différenciées et cohérentes sur les évolutions possibles de l'environnement global et des sous-jacents des marchés automobiles : les tendances macroéconomiques et réglementaires, la dynamique de la transition écologique et celle de renouvellement du parc VL notamment.

Intensité de la régulation environnementale

Green Constraint (Vert Contraint)

- Incitations fiscales qui poussent les technologies alternatives
- Fiscalité contraignante sur les véhicules les plus polluants (haut de gamme)
- Taxation carburant modérée pour redonner du pouvoir d'achat aux ménages
 Règlementations non conventionnelles poussent les modes
- de transport partagés et nouvelles mobilités
- Renouvellement du parc par des primes à la casse
 Normes d'émissions de polluants locaux restrictives
 - Ctannatia.

Stagnation

- Fiscalité peu contraignante sur les véhicules, même thermiques
- Gouvernements endettés et phase-out rapide des incitations pour les véhicules électrifiés
- Taxation carburant n'augmente pas pour donner du pouvoir d'achat aux ménages
- Age de MAC des véhicules augmente

Green Growth (Croissance Verte)

- Incitations fiscales élevées pour pousser les technologies alternatives
- Augmentation de la fiscalité sur les ICE et mild hybrides
- Taxation carburant: taxe carbone élevée et équivalence entre taxation essence et taxation diesel
- Règlementations non conventionnelles sont mises en place
 Renouvellement rapide du parc
- Normes d'émissions de polluants locaux restrictives

Liberal World (Monde Libéral)

- Fiscalité « intermédiaire » sur les véhicules augmentation progressive modérée de la fiscalité sur les modèles les plus polluants
- Phase-out rapide des incitations sur les véhicules électrifiés pour ne pas favoriser une technologie par rapport à une autre
- Taxation carburant indexée sur une taxe carbone faible

Intensité de la croissance économique

Figure 1. Scénarios de projection du modèle WAPO classés selon deux dimensions : intensité de la réglementation environnementale et intensité de la croissance économique





Les résultats de mix technologique ont été projetés dans chacun de ces 4 scénarios. Concernant l'Europe, pour la PFA et ses membres, le point de comparaison/référence est le scénario *Green Constraint*.

Cependant, vu le contexte récemment plus volontariste d'accélération des efforts - en cohérence notamment avec la publication des propositions du package Fit For 55 - et en cas de convergence technique et réglementaire vers la transition écologique, le scénario considéré le plus probable est *Green Growth*, à tendances plus fortes de croissance économique et de réglementation environnementale. En effet, après la crise sanitaire COVID de 2020-2021, la reprise économique devrait permettre de dynamiser la croissance économique, et les objectifs environnementaux sont porteurs dans les différents plans de relance aux niveaux régional, national ou européen par exemple.

NDLR : le conflit en Ukraine, qui impacte négativement cette dynamique de croissance, n'a pas été intégré dans cette étude.

Ci-dessous, le schéma synthétique et les étapes du modèle WAPO :

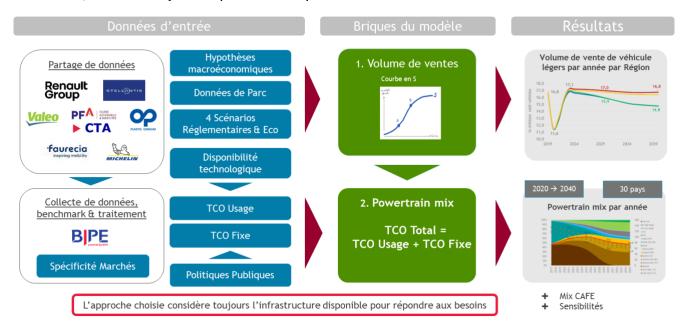


Figure 2. Synthèse de la méthodologie & approche "TCO" dans le modèle WAPO

C'est donc un modèle qui fonctionne sur la base du Coût Total de Possession (*Total Cost of Ownership* TCO), paramètre de décision/choix du powertrain pertinent pour un usager donné.

Les étapes clés et éléments essentiels pour le calcul du mix powertrain sont :

- 1. Calibration du modèle
 - Mise en commun des hypothèses technico-économiques des membres du GT WAPO
 - Mises à jour à l'état le plus récent du marché : Volume des Ventes et Parc
 - Projection des variables macroéconomiques à long terme basée sur les 4 scénarios
- 2. Calcul du volume total des ventes
 - Projection d'un parc calculé à partir des données d'entrées macroéconomiques
 - Volume de Ventes à travers le renouvellement du parc défini par une loi de casse
 - Segmentation des véhicules
- 3. TCO
 - Fixe: prix motorisation, prix véhicule, taxes/marge/subventions, valeur résiduelle





- Variable : coût de la consommation énergétique à l'usage lié au kilométrage annuel moyen, au prix des énergies, à la consommation moyenne des véhicules, à la fiscalité à l'usage
- Choix limités par les usages compatibles à une motorisation en fonction du besoin en km journalier et annuel des différents profils de clients
- 4. Contraintes sur la disponibilité des offres constructeurs des powertrain par segment
- 5. Contrainte sur l'interdiction de véhicules thermiques polluants à circuler en ZFE

Implications dans la mécanique du modèle et les résultats :

- Les écarts relatifs entre TCO de différentes motorisations sont les leviers de base d'arbitrage et de choix entre les motorisations, sauf conditions particulières où un consommateur et une motorisation sont incompatibles selon les règles du modèle
- Pour rappel, les travaux n'incluent pas de contraintes sur les infrastructures, qui sont considérées disponibles. Ainsi, le nombre de bornes nécessaires au parc de véhicules électriques circulants calculé au travers du WAPO en est donc déduit (cf chapitre 6.2)
- Par ailleurs, il n'est pas considéré de transfert de fiscalité de la TICPE sur les carburants alternatifs

Nouveautés méthodologiques :

- Le calcul du prix d'électricité payé pour la recharge d'un véhicule électrique prend en compte le tarif de charge privé et de charge publique selon une répartition charge publique/privé définie en hypothèse. Le prix de la recharge privée correspond au tarif de l'électricité d'un ménage et le prix de la recharge publique est issu d'une recherche documentaire des offres disponibles dans les différents pays.
- Le calcul du coût des architectures hydrogène prend désormais pour référence le segment D_Low pour le VP et le segment K1 pour le VUL. Le coût associé aux autres segments est proportionnel à l'écart en puissance avec le segment de référence.
- L'évolution des technologies batteries et l'amélioration de la densité énergétique des futures générations de batteries ont été prises en compte et se traduisent par l'augmentation de l'autonomie des véhicules à partir de 2030 grâce à une augmentation de la capacité de stockage de la batterie. Afin de refléter ces changements, les noms des motorisations BEV on été modifiés (Low, High et Very High) correspondant respectivement à des autonomies faibles, élevées et très élevées. Le coût de la batterie évolue aussi dans le temps en conséquence par deux effets opposés : une légère hausse d'autonomie au sein d'une architecture BEV et une forte baisse du coût du pack de batterie.
- L'interdiction d'une motorisation est traduite dans la matrice de disponibilité du modèle comme un passage de 1 (offre disponible) à 0. Afin d'éviter les changements abrupts dans la dynamique du mix final, l'interdiction est anticipée par une réduction de l'offre sur une période courte, peu contraignante jusqu'à 3 ans avant son entrée en vigueur, puis très contraignante sur la dernière année précédant son application.
- Le cadre final des politiques publiques limitant les émissions de gaz à effet de serre et de polluants n'étant pas publié sous sa forme définitive au moment des travaux, des hypothèses de politiques publiques ont été construites, notamment concernant la réglementation CO₂ et normes EURO. En particulier pour la norme EURO 7, les seules motorisations capables de respecter la contrainte imposée seraient des motorisations Diesel, Essence ou LPG avec un minimum d'hybridation à 48V.





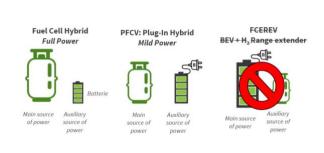
4. HYPOTHESES EUROPE - LES PRINCIPALES EVOLUTIONS

Les hypothèses d'entrées utilisées dans le modèle cherchent à construire des cas possibles de développement technologique, de réduction des coûts, de cas d'usage. Elles sont revues chaque année avec les membres participants du GT WAPO; certaines hypothèses clés ont donc été mises à jour dans le cadre des travaux du WAPO 2021.

Le durcissement réglementaire vers lequel l'Europe s'oriente se traduit en pratique par un choix de motorisations parfois réduit aux véhicules zéro émissions (*Zero Emissions Vehicle ZEV*), c'est-à-dire les véhicules électriques à batteries (*Battery Electric Vehicle BEV*) et les véhicules à pile à combustible hydrogène (*Fuel Cell Vehicle*). Dans ce cas :

- Pour les consommateurs ayant le choix uniquement entre BEV et Fuel Cell, la compatibilité de la motorisation avec les kilométrages journaliers moyens des consommateurs déterminent si une architecture BEV peut répondre aux besoins ; si ce n'est pas le cas l'offre hydrogène est choisie par défaut.
- Sur certains segments, le développement d'une offre diversifiée de motorisations ne sera alors plus possible à cet horizon : si dans ce cas seules les motorisations BEV restent disponibles, la contrainte de limitation d'autonomie est retirée afin d'assurer une couverture totale des usages pour les segments concernés.

Mise à jour des architectures Pile A Combustible PAC



PWT	Segment	Battery Size (kWh)	H2 Power (kW)	Weight H2 (kg)				
Full Power	К1	2,3	100,0	9,0				
PFCV	К1	46,7	33,3	4,5				
Full Power	D_Low	2,0	102,5	6,3				
PFCV	D_Low	27,5	37,5	4,0				
Offre actuelle Stellantis (K1) & Renault - Hyvia (K2)								
PFCV	K1	10,5	45	4,4				
PFCV	К2	33	30	3 - 6				

Figure 3. Détail des architectures Fuel Cell

Les architectures ont fait l'objet d'une attention particulière dans le WAPO 2021, principalement l'architecture Fuel Cell : la décision a été prise de retirer de l'offre la configuration *Range Extender*, non pertinente sur le marché.

Les dimensions de la PAC, de la batterie et du réservoir ont été revues pour les deux autres solutions Fuel Cell et PFCV, avec 2 référentiels de segment (D_Low pour VP, K1 pour VUL). Le dimensionnement de ces powertrains est complété en majorant la taille du moteur électrique (x1,5) à partir de la puissance de référence thermique du segment.





Disponibilité des technologies

Les disponibilités et compatibilités des technologies de motorisations varient selon le segment et la temporalité. La matrice de disponibilité des motorisations par segment permet de prendre en compte les changements de développement de technologie et de marché par pas de 5 ans et a fait l'objet de sa revue annuelle dans les travaux 2021.

▶ Tir Central, orienté Fit For 55 / ICE BAN 2035

Les premières propositions du Fit For 55 pour le secteur des transports font donc état d'une volonté d'interdire la vente de Véhicules Légers non ZEV (*Zero Emission Vehicles*) à partir de 2035 : le Tir Central du WAPO2021 a donc pris en compte cette interdiction. De plus, la norme antipollution EURO 7, prévue pour entrer en vigueur en 2026, pénalisera fortement tous les véhicules à moins de 48V d'hybridation et le gaz naturel.

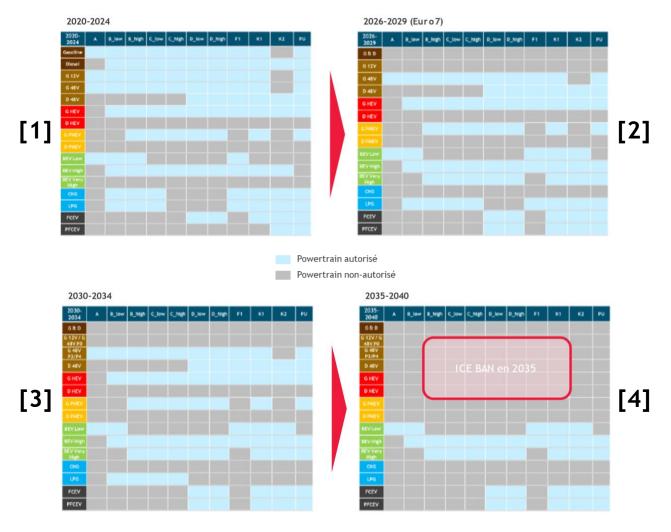


Figure 4. Evolution de la matrice de disponibilité des motorisations par segment en Europe

Les motorisations Diesel sont abandonnées après 2025 dans les segments de VP, sauf pour la version Mild Hybrid 48V sur le haut de la gamme ainsi que sur les VUL afin de respecter les usages routiers. L'intégration de l'hypothèse EURO 7 retire les motorisations CNG du marché car elles sont considérées comme polluantes. L'offre de véhicules électriques et hydrogène s'élargit jusqu'en 2040, notamment pour les grandes autonomies de batterie. L'hydrogène se développe uniquement sur les grands segments de VP et les VUL, pour des raisons d'usage et d'architecture.





L'écart actuel de TCO entre les nouvelles motorisations alternatives et les motorisations thermiques classiques se réduit dans le temps.

Sensibilité ICE BAN 2040

Les nouvelles exigences du Fit For 55 contraignent très fortement l'offre de motorisations et ce à moyen terme, alors même que les ZEV ne permettent pas encore nécessairement tous les usages à cet horizon, notamment en ce qui concerne les VUL. Une alternative au ban des ventes thermiques en 2035 a donc été envisagée dans le cadre de cette étude via un report à 2040 de cette interdiction, permettant ainsi à certaines autres motorisations de continuer à être vendues sur la période 2035-2040 avec des carburants fortement décarbonés.

A partir du scénario *Green Growth* du Tir Central décrit précédemment, cette sensibilité propose donc une interdiction du moteur thermique décalée à 2040 et plus précisément :

- VP: les seules motorisations thermiques encore envisageables après 2035 sont les PHEV
- VUL: pour permettre les usages dédiés, l'hybridation 48V est aussi prolongée jusqu'à 2040

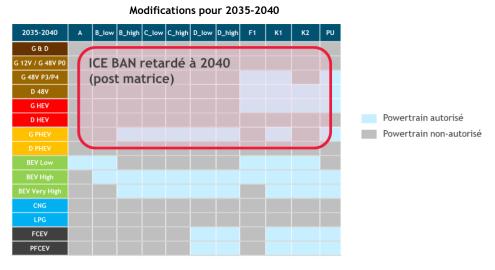


Figure 5. Matrice de disponibilité des motorisations spécifique à la sensibilité ICE BAN 2040





Hypothèses techniques sur les véhicules

Des dimensionnements spécifiques sont nécessaires afin de calculer finement le TCO de chaque powertrain selon le segment d'application.

A titre d'exemple, ci-dessous les hypothèses clés pour la France pour les scénarios verts, segment de référence C_Low (ou D_Low pour les composants Fuel Cell) :

Donnée modifiée WAPO2021 (vs donnée WAPO2020)

Hypothèses Europe		Green Constraint	Green Growth	Evolution
Prix du pack des batteries	2020		(182 €/kWh)	> Prix des batteries décroissant de manière importante entre 2020 et
	2030	<mark>79 €/kWh</mark> (87 €/kWh)	69 €/kWh (78 €/kWh)	2030 grâce aux améliorations technologiques et aux économies d'échelles
	2040	69 €/KWh (81 €/kWh)	54 €/kWh (61 €/kWh)	> Prix seuil appliqué à partir de 2035
Capacité de stockage	2020		: 55,1 (43,3) kWh	> Taille de batteries définie par
batteries / autonomie*	2030		850 : 64,1 kWh	usage, selon le segment et du
	2040	J	350 : 64,0 kWh	powertrain > Baisse proportionnelle au gain de consommation élec. dans le temps
Prix des fuel cell Stack	2020		€/kW	> Technologie en préproduction en
Segment D_Low	2030	75 €/kW	46 €/kW	2020 avec des coûts très élevés ;
		(57 €/kW)	(40 €/kW)	économies d'échelle en 2040
	2040	51 €/kW	34 €/kW	> 2 hypothèses appliquées aux coûts
		(48 €/kW)	(36 €/kW)	: low cost (Green Growth) et high cost (Green Constraint)
Prix des fuel cell Tank	2020	2115 €/kg (2000 €/kg)		Cost (Green Constraint)
Segment D_Low	2030	520 €/kg (460 €/kg)	460 €/kg	
	2040	423 €/kg (380 €/kg)	318 €/kg (300 €/kg)	
Consommation Essence	2020		/100km	> Consommation moyenne pour 100
	2030		/100km	km estimée en fonction du segment
	2040) l/100km	et du powertrain
Consommation BEV	2020		/h/100km	> Seuil de consommation des véhicules thermiques atteint en 2035
	2030		/h/100km	venicules thermiques atteint en 2035
Duran antina dan	2040		/h/100km	A
Proportion des transmissions	2020	5	52%	Augmentation généralisée de l'usage des transmissions automatiques en
automatiques	2030		74%	lien avec l'électrification des powertrains
	2040		17%	•
Gain de consommation lié à l'hybridation		Essence 48V P3 : 14 % Essence HEV : 21% (19 %)		> PHEV : usage prioritaire du moteur électrique complété par le moteur thermique pour satisfaire le besoin de mobilité > Autres powertrains : gain constant
Coût de dépollution EURO 7 Essence		806 €/véhicule (598 €/véhicule)		Premiers rapports sur la norme EURO 7 indiquant des contraintes accrues sur les émissions de particules et gaz polluants qui pénaliseront toutes les motorisations thermiques
Bonus/Malus		Taxes	s + B/M	Scénarios fiscaux à 2040 dans la continuité des déclarations gouvernementales européennes

Figure 6. Hypothèses techniques véhicules - Europe (& France)

*Dans le référentiel du WAPO 2020, 3 niveaux d'autonomie existaient - 150km, 300km et 450km - figés dans le temps, à comparer désormais aux 3 offres BEV Low, BEV High et BEV Very High avec des niveaux d'autonomies qui dépendent du segment et varient/augmentent dans le temps.





Dans le cadre des travaux du WAPO 2021, la proposition d'autonomie en 2020 est basée sur un benchmark des modèles de BEV disponibles en France. En 2030, les autonomies ont été révisées pour les 3 architectures en fonction du retour des membres du GT WAPO sur les tailles de batterie.

Dans le cas du calcul de la taille des batteries, nous avons pris un facteur de correction sur la consommation réelle vs homologuée, pour pouvoir assurer une autonomie réelle telle qu'elle est définie dans le tableau suivant :

Autonomie Réelle des Véhicules Electriques en km							
		2020		2030			
Segment	BEV Low	BEV High	BEV Very High	BEV Low	BEV High	BEV Very High	
Α	150	Х	Х	200	Х	Х	
B_Low	150	300	X	200	350	X	
B_High	200	300	X	X	350	450	
C_Low	X	300	X	Х	350	500	
C_High	Х	300	X	Х	350	500	
D_Low	Х	350	х	Х	400	550	
D_High	X	350	X	Х	400	550	
F1	200	300	Х	200	350	X	
K1	Х	300	X	200	350	450	
K2	X	300	х	200	350	450	
PU	Х	X	Х	Х	350	450	

Figure 7. Autonomie réelle des BEV - 2020 et 2030

Hypothèses sur les prix des énergies

Les prix ont été établis pour les travaux du WAPO 2021 selon la situation en cours en 2021, en particulier la crise sanitaire.

NDLR : la guerre en Ukraine déclenchée en 2022 n'a pas pu être prise en compte dans le cadre des travaux du WAPO 2021

Hypothèses Fran	ce	Green Constraint	Green Growth	Evolution		
Prix du pétrole	2020 2030	37 €/baril 58 €/baril 1,43 €/l 2,08 €/l 2,38 €/l		> Benchmark annuel / prix mondial > Ajustement aux circonstances liées à		
Prix de l'essence	2020			la Covid19 en 2020 Prix à la pompe variable par scénario		
Prix du diesel	2020	1,37 €/l		,		Prix à la pompe variable par scénario
Prix du CNG	2020	0,94 €/kg 1,31 €/kg 10,03 €/kg		Augmentation du prix lié à l'incorpora- tion de bioCNG dans le mix énergétique		
Prix de l'hydrogène	2030			gazier (100% à partir de 2035) > Hydrogène vert (électrolyse avec électricité verte)		
	2030	6,93 €/kg		> Baisse des prix en Europe : prise en compte de la maturité de la technologie		
Prix calculé de	2020	-, -) €/kWh	Prix calculé avec inclusion des habitudes		
recharge	2030	0,22 €/kWh		de recharge, avec une charge lente au tarif « ménages » et une charge rapide plus chère		

Figure 8. Prix des énergies - France





Fiscalité considérée

En termes de politiques publiques, au niveau de l'Europe, les deux sous-jacents principaux ont été conservés : la mise à jour des interdictions en Zone à Faible Emission (ZFE) et la révision de la fiscalité CO_2 en Europe.

Au sein du modèle, le déploiement des ZFE impacte de façon importante le marché à partir de 2025. Dans les zones urbaines appliquant une ZFE, nous avons considéré comme interdites toutes les motorisations Diesel puis les motorisations Essence non rechargeables. Seules les motorisations à faibles émissions sont considérées comme autorisées dans cette phase de déploiement.

Conséquence des enjeux environnementaux et des évolutions réglementaires à l'étude dans le cadre européen, la fiscalité CO_2 considérée pour les deux scénarios verts (celui plus volontariste Green Growth et le scénario de référence Green Constraint) devient plus contraignante pour les véhicules émetteurs de CO_2 et plus incitative pour les véhicules à faibles émissions au fil du temps. Ce contexte se traduit par un Bonus/Malus renforcé en France et des taxes à l'achat pénalisant les véhicules les plus émetteurs partout en Europe, tout en gardant les spécificités des pays avec des niveaux de taxes différents.

Le scénario de fiscalité européennes est le même que pour le WAPO 2020, avec une mise à jour des années 2021-2025 pour le G5 - Allemagne, Espagne, France, Italie, Royaume-Uni - selon les nouvelles publications des autorités publiques compétentes. Les pays hors G5 ont été classés selon l'état actuel de leur fiscalité incitative et de leurs annonces en trois groupes Haut, Moyen, et Bas : "Haut" à fiscalité incitative évoluant de manière beaucoup plus dynamique que "Bas". Ces schémas de fiscalité sont détaillés en Annexe 10.4.2.





5. RESULTATS EUROPE - VENTES & CAFE

5.1. VOLUMES DE VENTES TOTALES DE VEHICULES

A court terme, le contexte global de la pandémie COVID-19 entraîne une forte baisse des volumes jusqu'en 2021. Dans le modèle, la reprise est initiée à partir de 2022 pour retrouver en 2025 des niveaux comparables à ceux de 2019 (la crise géopolitique ukrainienne n'étant pas prise en compte et pouvant décaler d'au moins un an les perspectives de récupération des volumes de marché).

Le modèle WAPO étant construit pour simuler le temps long, le panorama à 2040 en volume est peu impacté par la crise COVID. Sur les marchés automobiles matures, le volume des ventes de véhicules dépend des spécificités de chaque pays (i.e. organisation urbaine, transports en commun, géographie) et non plus de la croissance démographique et économique. De plus, les demandes de mobilité (personnes et marchandises) font l'objet d'une optimisation drastique dans un contexte de forte volatilité des prix des énergies.

En Europe, le principal levier de l'augmentation du taux de motorisation de ces dernières années a été les pays de l'Europe de l'Est en raison de leur croissance économique et du développement des infrastructures.

Dans les scénarios Green Growth et Green Constraint privilégiés pour l'Europe, le volume des ventes diminue d'environ un million d'unités d'ici 2040, à la suite d'un ralentissement de la demande, voire une contraction du parc de véhicules.

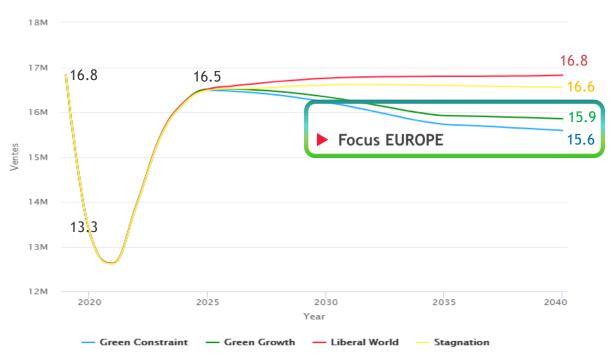


Figure 9. Volume de Ventes de Véhicules Légers (VP + VUL) en Europe de 2019 à 2040





5.2. MIX SEGMENTS

A horizon 2040, on peut noter la différentiation du scénario Green Growth légèrement par le haut via les SUVs - segments B_High (Peugeot 2008, Renault Captur) et C_High (Peugeot 3008) - car porté par une croissance plus favorable que Green Constraint, où les familles A et B constitueront près de 43% du marché. La part des VUL évolue peu dans le temps, représentant environ 11% des ventes totales de VL pour tous les scénarios.

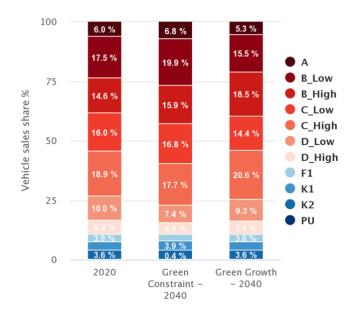


Figure 10. Segmentation du marché européen par type en 2040 selon les Scénarios WAPO





5.3. MIX DES VENTES DE VEHICULES LEGERS PAR TECHNOLOGIE

Les résultats présentés dans ce paragraphe sont ceux du Tir Central - Green Growth ICE BAN 2035 - et de la sensibilité ICE BAN 2040 (base scénario Green Growth) pour comparaison ; pour les résultats équivalents Green Constraint (et autres scénarios) du Tir Central : voir en Annexe 10.3.

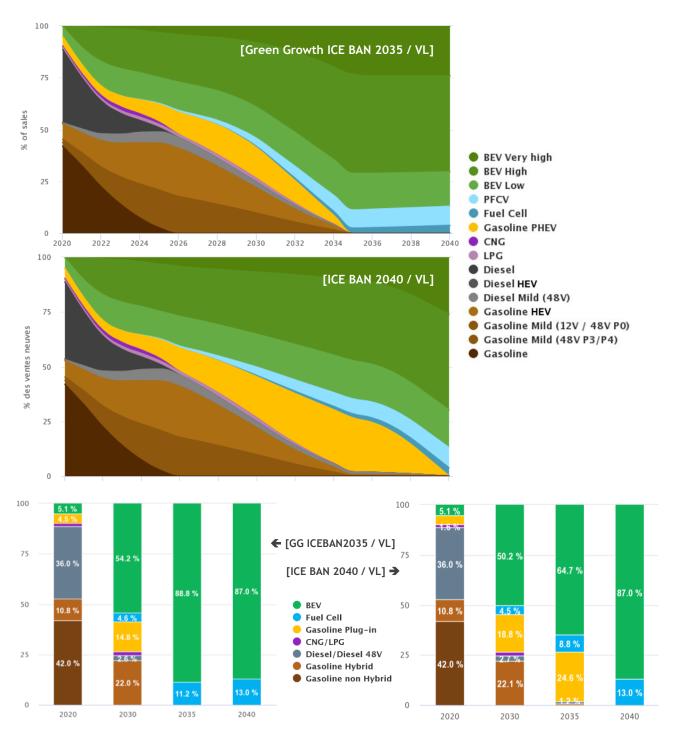


Figure 11. Résultats de mix de motorisations des Véhicules Légers (VP + VUL) pour le scénario Green Growth en Europe





Tir Central

Le résultat du mix powertrain pour les Véhicules Légers montre une diversification des motorisations jusqu'en 2030 puis une domination du marché par les véhicules électriques à batterie (BEV) entre 2030 et 2040. Le marché est aujourd'hui essentiellement composé de véhicules thermiques Essence et Diesel, avec environ 10% de BEV et PHEV. L'impact du Fit For 55 est visible avec une accélération de l'électrification, même à court-terme. En 2040, plus de 85% des véhicules légers sont de type BEV, le reste roulant grâce à une motorisation à pile à combustible hydrogène alimentant le moteur électrique. Parmi ces véhicules zéro-émissions, l'architecture BEV High (350 km d'autonomie) est dominante sur le marché et représente 52,6% du marché des BEV. Grâce à des coûts de composants powertrains fortement réduits et à leur autonomie supérieure, les Fuel Cell (principalement leur version hybride rechargeable) atteignent 13% du marché. On observe en 2029 un pic de vente des PHEV à 15% de part de marché, avant leur interdiction en 2035.

Les modifications importantes opérées par rapport à l'exercice précédent - matrices de disponibilité plus fortement contraintes, surcoûts de dépollution augmentés - mènent à un verdissement des mix encore plus forts, avec des projections CAFE à -67% pour le VP et -72% pour le VUL à horizon 2030 (voir détails ci-après). La prédominance des besoins en termes d'autonomie permet cependant au diesel 48V de conserver des parts de marché importante jusqu'à son interdiction.

Sensibilité ICE BAN 2040

Dans le cadre de cette variante, la part des PHEV dans le mix des ventes continue à augmenter jusqu'en 2036 pour atteindre 22,7%, logiquement au détriment des motorisations ZEV : en effet, le PHEV bénéficie des baisses de coûts de composants des powertrains électriques comme le BEV et le Fuel Cell plug-in, peut rouler en ZFE sous régime batterie et permet de couvrir des usages diversifiés du véhicule. Côte VUL subsiste une très faible part de motorisations Essence/Diesel 48V entre 2035 et 2040, du fait de l'exigence de certains usages spécifiques auxquels les autres architectures ne répondent pas vraiment, ou pour un TCO moins avantageux.

Pour les deux catégories de véhicules (voir détails ci-après), les objectifs CAFE de 2030 sont toujours assez nettement atteints, à respectivement -66% pour le VP et -71% pour le VUL. Pour le VP, on peut noter qu'entre les drivers que sont le TCO et les usages, l'offre PHEV se déploie jusqu'à son interdiction en 2040 (*NDLR* : dans ce cadre de réflexion, la possible sévérisation à venir de l'utility factor du PHEV en Europe n'est pas prise en compte). Du côté VUL, la prédominance des besoins en termes d'autonomie permet toujours au diesel 48V de conserver des parts de marché importante jusqu'à son interdiction actée en 2040.





5.3.1. LES VEHICULES PARTICULIERS EN DETAIL

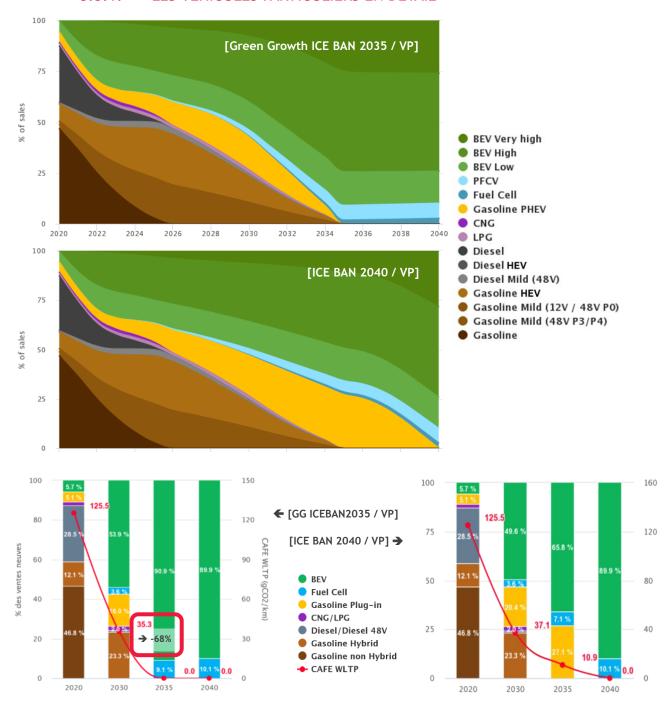


Figure 12. Résultats de mix de motorisations des VP pour le scénario Green Growth en Europe





100 [Green Growth ICE BAN 2035 / VUL] 75 % of sales 50 BEV Very high **BEV High BEV Low** 25 PFCV Fuel Cell **Gasoline PHEV** CNG 0 0 LPG 2022 2026 2028 2030 2020 2024 2032 2034 2036 2038 Diesel 100 Diesel HEV Diesel Mild (48V) [ICE BAN 2040 / VUL] Gasoline HEV Gasoline Mild (12V / 48V PO) 75 Gasoline Mild (48V P3/P4) Gasoline % of sales 50 25 0 100 200 100 200 80 160 ← [GG ICEBAN2035 / VUL] 75 150 CAFE WLTP (gCO2/km) CAFE WLTP (gCO2/km) % des ventes neuves [ICE BAN 2040 / VUL] -> 60 98.1 BEV 100 50 Fuel Cell 40 Gasoline Plug-in CNG/LPG 48.7 50 **→** -72% Diesel/Diesel 48V 20 29.4 36.9 Gasoline Hybrid Gasoline non Hybrid

5.3.2. LES VEHICULES UTILITAIRES LEGERS EN DETAIL

Figure 13. Résultats de mix de motorisations des VUL pour le scénario Green Growth en Europe

CAFE WLTP

0

2020

2030

2035



0

2020

2035



0

2040

5.3.3. LES PROJECTIONS POUR LE VEHICULE "THERMIQUE"

La différence de disponibilité de motorisations entre le Tir Central et la sensibilité ICE BAN 2040 engendre logiquement des mix vraiment distincts en anticipation de 2035. Dans la projection ICE BAN 2040, on compte près de 25% de ventes de PHEV en 2035 représentant 4 millions de véhicules (27% des ventes VP et 3,4% des ventes VUL) ; en termes de motorisations thermiques (hors PHEV), les parts de marché VUL essence sont encore de 7% et celles diesel de 11%, soit un volume de vente d'environ 300 000 unités.

5.3.4. ZOOM SUR LES ENERGIES ALTERNATIVES (ELECTRICITE, HYBRIDE, FUEL CELL) - TIR CENTRAL

- Les véhicules à énergies alternatives sont tous favorisés par les réglementations et incitations fiscales. Leurs parts de marché augmentent rapidement dès 2021, notamment celles des véhicules électriques BEV grâce à un TCO plus avantageux
- Les powertrains BEV deviennent dominants en 2030, avec le BEV High largement en tête (28-32% de parts de marché)
- Les powertrains Fuel Cell (voir détails d'architecture en annexe) commencent à émerger, en particulier les Fuel Cell Plug-In qui représentent plus de 70% du marché Fuel Cell

Rappel: l'approche considère toujours l'infrastructure disponible pour répondre aux besoins

Véhicules Particuliers :

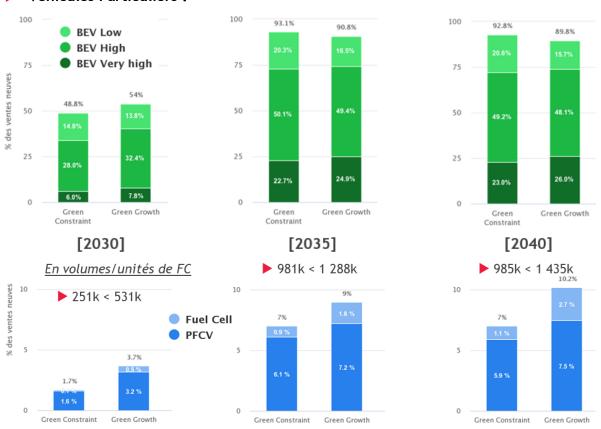


Figure 14. Détails du mix VP de BEV et Fuel Cell en Europe à horizon 2040 pour les 2 scénarios verts

Les fortes limitations de l'offre dès 2035 font mécaniquement converger les 2 scénarios verts. Dans le scénario Green Growth, les effets d'échelle sur les prix et les hypothèses de coûts plus favorables des composants électriques et Fuel Cell sont cependant assez visibles dans le mix.





100 100 **BEV Low BEV High** 75.1% **BEV Very high** 75 70.9% 70.9% 75 75 63.2% % des ventes neuves 56.2% 50.6% 50 50 50 25 25 25 10.4% 9.5% 7.6% 0 0 Green Green Growth Green Green Growth Green Green Growth Constraint Constraint 40 40 [2040] [2030] [2035] 29% 30 En volumes/unités de FC % des ventes neuves 24.9% 20 20 101k < 215k</p> Fuel Cell **PFCV** 23.8 % 10 10 19.0 % 5.7% 5.0 %

Véhicules Utilitaires Légers :

Figure 15. Détails du mix VUL de BEV et Fuel Cell en Europe à horizon 2040 pour les 2 scénarios verts

Green Constraint

Green Growth

Green Constraint

Green Growth

À la différence du VP, les plus forts besoins en autonomie restent un levier majeur de sélection de la motorisation, d'où des parts de marché Fuel Cell notables.

5.4. DU COTE DE LA FRANCE

Green Growth

Tir Central

Le mix VL français passe plus rapidement au tout électrique, conséquence des prix de l'électricité légèrement plus bas que la moyenne européenne. En 2030, 66% des ventes VL sont BEV, soit 12 points de plus que dans le mix européen, avec en contrepartie des parts de marché légèrement inférieures pour les PHEV et Fuel Cell.

Sensibilité ICE Ban 2040

Retarder le ban complet des motorisations thermiques permet aux PHEV de continuer à occuper une forte part de marché en 2035 en France. Cependant, celle-ci est inférieure de près de 10 points à celle de l'Europe, principalement du fait du prix de l'électricité plus bas, de la fiscalité des carburants et des taxes à l'achat (Bonus/Malus) déterminées en fonction des émissions de CO₂.





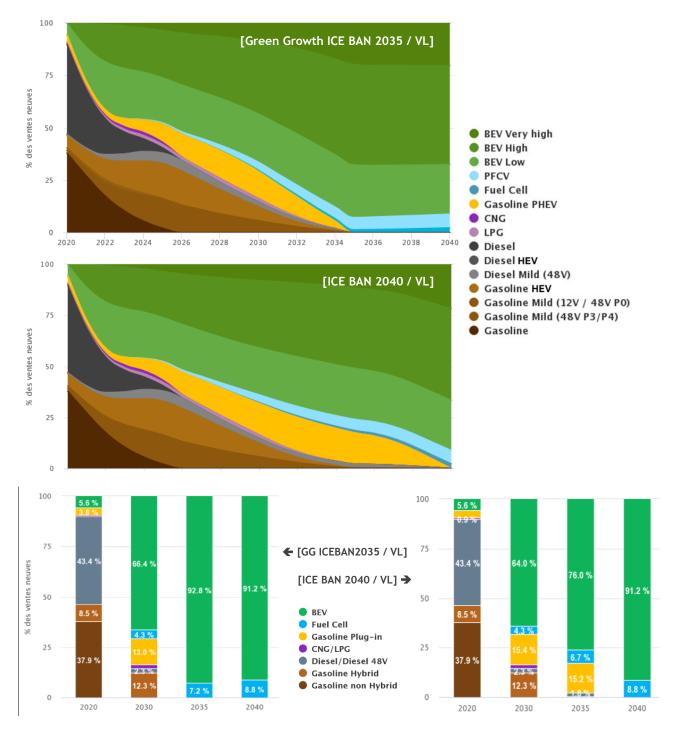


Figure 16. Résultats de mix de motorisations des VL (VP + VUL) pour le scénario Green Growth en France





100 [Green Growth ICE BAN 2035 / VP] 75 % des ventes neuves 50 BEV Very high **BEV High BEV Low** 25 **PFCV** Fuel Cell Gasoline PHEV 2020 2022 2024 2026 0 LPG Diesel 100 Diesel HEV [ICE BAN 2040 / VP] Diesel Mild (48V) Gasoline HEV 75 Gasoline Mild (12V / 48V P0) Gasoline Mild (48V P3/P4) % des ventes neuves Gasoline 50 25 0 100 100 **←** [GG ICEBAN2035 / VP] 31.9 % 64.6 % [ICE BAN 2040 / VP] -> 79.3 % 97.2 % 96.6 % 50 10.3 % % des ventes neuves BEV Fuel Cell Gasoline Plug-in 25 CNG/LPG 45.5 % Diesel/Diesel 48V Gasoline Hybrid 13.7 % 13.7 % Gasoline non Hybrid

5.4.1. LES VEHICULES PARTICULIERS EN DETAIL

Figure 17. Résultats de mix de motorisations des VP pour le scénario Green Growth en France

2020

2030

2035

2040

2035





5.4.2. LES VEHICULES UTILITAIRES LEGERS EN DETAIL

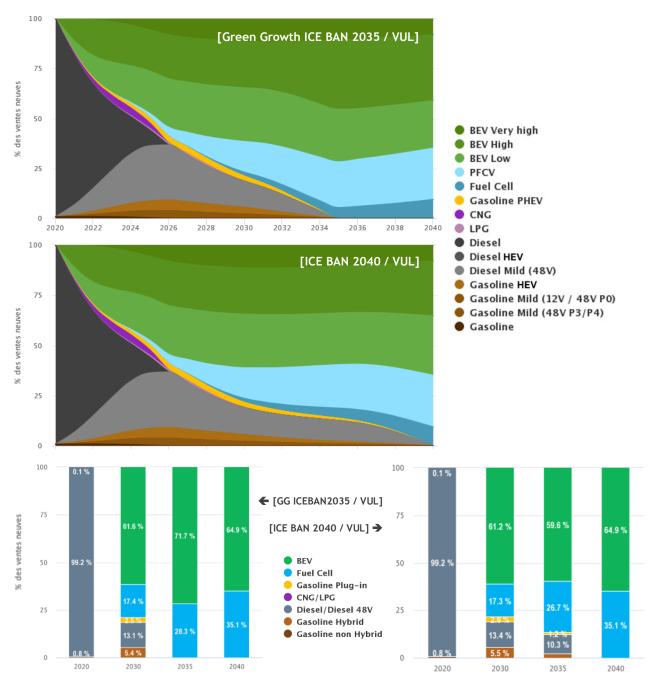


Figure 18. Résultats de mix de motorisations des VUL pour le scénario Green Growth en France





6. RESULTATS EUROPE - L'ECOSYSTEME DU VE

Le déploiement accéléré des Véhicules Zéro Emissions et notamment du BEV a des effets importants à tous les niveaux, l'automobile étant intégrée dans un écosystème complet et connecté, du point de vue industriel comme du côté utilisateur : il est donc indispensable de décliner les résultats des projections de mix des ventes en termes d'impacts majeurs.

6.1. BESOIN EN BATTERIES - VENTES

Une révision des différentes tailles de batterie par architecture a été faite dans le cadre du WAPO2021. A partir des résultats de mix de motorisations et de la quantité de batteries embarquées correspondante pour les différents segments, il est donc possible de prévoir l'accroissement du besoin en batteries de mobilité (voir figure ci-après) et donc l'impact amont.

Les incitations financières très favorables pour les 3 prochaines années au moins, combinées aux restrictions de plus en plus fortes sur les véhicules thermiques à partir de 2026 puis leur interdiction totale, mènent à deux phases de forte croissance du besoin en batterie : 2020-2023 et 2029-2035. La première peut être rapprochée des effets positifs des bonus ; mais avec l'arrêt de ces incitations, l'intérêt des BEV s'amenuise en terme du TCO, ce qui favorise les motorisations hybrides. Cependant, grâce aux développements technologiques, le prix des BEV continuera de baisser, redevenant ainsi plus favorable pour engendrer une seconde phase de croissance du besoin en batterie dès 2029.

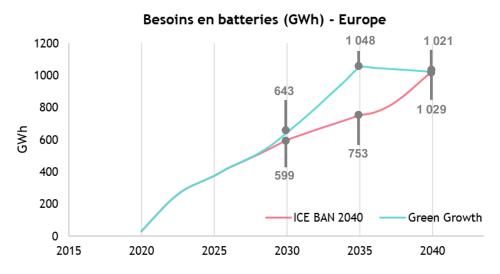


Figure 19. Besoin en batteries pour les VL en Europe - Scénario Green Growth & ICE BAN 2040

Pour l'ensemble des Véhicules Légers (VP + VUL) en Europe pour le scenario Green Growth, le besoin atteindra 643 GWh en 2030, puis 1 021 GWh en 2035. Avec une dynamique de demande plus continue, la variante ICE BAN 2040 apporte des enseignements précieux sur le sujet critique de l'approvisionnement en batteries de la filière automobile : la capacité à répondre à la demande et à accompagner son accélération est aussi à prendre en compte dans l'approche globale de la dynamique de réduction des émissions de CO₂.





6.2. BESOINS EN IRVE - PARC : METHODOLOGIE & PROJECTIONS

Parmi les hypothèses fortes de ce modèle, les infrastructures n'ont pas été considérées comme un facteur limitant le développement des nouvelles motorisations. Or dans les faits, si l'infrastructure adaptée - borne de charge pour les véhicules électriques, station de gaz pour les véhicules CNG, Station de recharge hydrogène - n'est pas déployée à un niveau minimum, la part de marché de ces véhicules restera faible, voire inexistante.

Afin d'estimer le besoin en Infrastructures de Recharge pour Véhicules Electriques IRVE publiques (en voirie, dans des parkings ouverts au public...) à déployer au regard des volumes projetés WAPO de BEV et PHEV, la méthodologie suivante a été appliquée :

- Calcul du nombre de charges journalières et de charges exceptionnelles par véhicule pour chaque zone, basée sur la demande en énergie, à partir des résultats du modèle WAPO. Pour cela, sont utilisées les informations suivantes :
 - Le volume du parc de véhicules électriques et hybrides rechargeables
 - Le kilométrage journalier moyen
 - Le kilométrage exceptionnel (pour partir en vacances...)
 - L'autonomie moyenne du véhicule (révision faite cette année)
 - La consommation moyenne du véhicule
- 2. Distinction du nombre de charges selon le lieu de recharge : il s'agit de la répartition du nombre de charge en fonction du lieu (à domicile, au bureau, en voirie...). Cette répartition est estimée à partir de recherches bibliographiques³.
- 3. Distinction du nombre de charges publiques selon la puissance de l'IRVE (charge lente : 7kVA/22kVA, charge rapide : 50kVA/150kVA), dépendante du lieu de son installation.

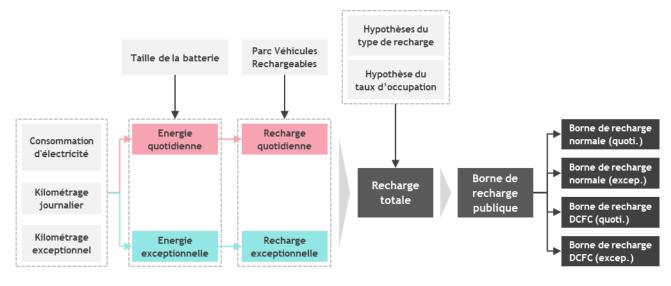


Figure 20. Méthodologie pour estimer le besoin en infrastructure de borne de charge publique (IRVE)

AVERE - 2018

Ministère de la Transition Ecologique et Solidaire, Ministère de l'Economie et des Finances et ADEME - Rapport sur les infrastructures de recharge pour véhicules électriques : état des lieux et pistes pour accélérer leur déploiement - 2019





³ CERE - Accelerating Investment in Electric Vehicle Charging Infrastructure - 2017 IEA - Global EV Outlook 2017

Concernant le taux de disponibilité d'une borne de charge publique, il a été implémenté 3 variantes, en lien avec une recherche documentaire dédiée :

- Une forte disponibilité, soit plus de véhicules desservis par borne
- Une disponibilité moyenne
- Une disponibilité faible, soit moins de véhicules desservis par borne

Ceci permet au modèle de couvrir une fourchette du ratio véhicule/borne de 6,8 à 13,1 en cohérence avec l'analyse des études de référence.

Dans ce cadre et pour les estimations WAPO d'un maximum de 76 millions de véhicules BEV/PHEV roulants en 2030, le besoin en bornes de charge est estimé entre 5,8 à 11,2 millions à l'échelle européenne pour cet horizon de temps.

Évolution du nombre de borne de charge publique - Europe 24M 10 9.0 9.3 Nombre de borne publique 7.8 18M 7.5 Charge lente 5.4 Charge rapide 12M 5 13.4 6M 2.5 8.9 1.7 0.8 0 0 2020 2030 2035 2040

Figure 21. Nombre de bornes de recharge de type normal et rapide en Europe pour les Véhicules Légers - Scénario Green Growth + Scénario Central pour le taux d'occupation

Les principales conclusions sont :

- Le nombre d'IRVE croît très rapidement entre 2020 et 2030 pour rassurer les nouveaux adoptants, et cette croissance continue entre 2030 et 2040 selon une dynamique plus lente. Ce phénomène de ralentissement s'explique par la maturité du marché : un nombre important d'IRVE est nécessaire au début pour convaincre les acheteurs potentiels mais cette surcapacité coûte cher et ne se justifie plus au fil du temps. En effet, une bonne couverture territoriale des bornes de recharge sera atteinte en anticipation de la demande réelle.
- Le nombre de BEV/PHEV par IRVE augmente entre 2020 et 2040 : le besoin d'IRVE public est important pour accompagner le développement des ventes en rassurant les automobilistes sur la disponibilité d'une infrastructure, le temps que les déploiements privés s'organisent. Par la suite, le taux d'occupation diminue par borne, permettant à plus de véhicules de se servir d'une borne publique et donc de diminuer le besoin en borne tout en maintenant une dynamique de croissance de véhicules rechargeables.





7. CONTRIBUTION CARBONE EUROPE

La méthodologie appliquée pour calculer la contribution carbone du parc de Véhicules Légers se base sur un calcul du volume total d'émissions du réservoir à la roue (Tank-to-Wheel TtW) émises sur un an. Ces émissions TtW sont calculées en fonction des émissions par type de carburant utilisé dans le parc. Elles sont obtenues par la conversion des consommations de carburants associées via des facteurs d'émissions directes. La modélisation des usages, des consommations spécifiques d'un véhicule et de la décomposition du parc par segment, motorisation et âge du véhicule permet d'obtenir un volume global de consommation par type de carburant. La figure cidessous montre la façon dont chaque variable du calcul des émissions est traitée dans le modèle.

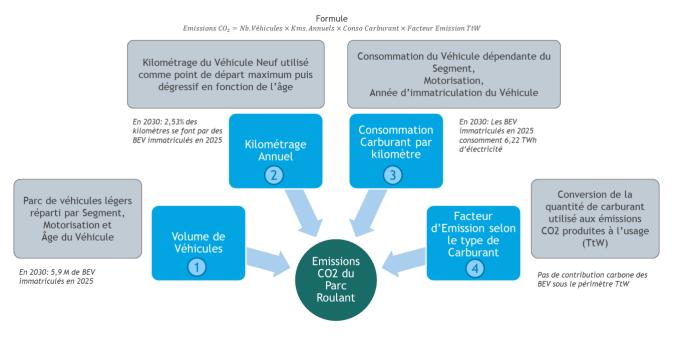


Figure 22. Méthodologie du calcul de la contribution carbone

Afin de comprendre l'impact de l'injection de nouveaux véhicules à faibles et zéro-émissions sur les émissions du parc, nous décrivons par la suite les étapes de calcul à partir des volumes de parc VL pour arriver à la contribution finale en émissions. Le point de départ du calcul correspond à la composition du parc par motorisation, comme le montrent les deux figures suivantes.

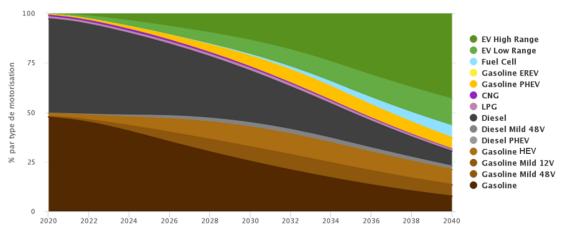


Figure 23. Mix de motorisations du Parc Europe des Véhicules Légers pour le scénario Green Growth





On peut voir ainsi qu'en 2030, 21% des motorisations sont zéro-émissions. Le mix de motorisation du parc a bien sûr une évolution plus lente de diffusion des véhicules bas et zéro-émissions que les ventes à cause de l'inertie de renouvellement, les ZEV représentant 59% du marché en 2030.

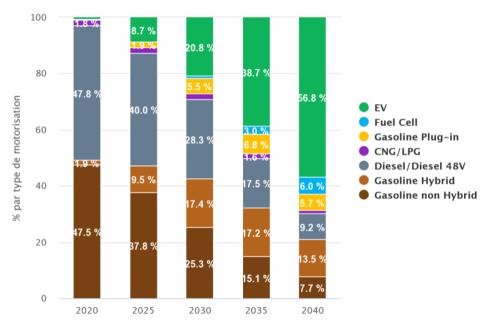


Figure 24. Regroupement par grande famille de technologies du mix de motorisations du Parc Europe des Véhicules Légers pour le scénario Green Growth

Le mix présenté est la somme de tous les véhicules sur toutes les années d'immatriculations, le modèle répartissant les véhicules en fonction de la date d'immatriculation ; ci-dessous est détaillé la composition du parc de 2020 et 2030 par ancienneté. On observe que le flux d'immatriculations de véhicules à faibles et zéro émission est très important entre 2025 et 2030, ce qui va permettre de réduire les émissions en 2030 et d'assurer une réduction durable des émissions dans le futur.

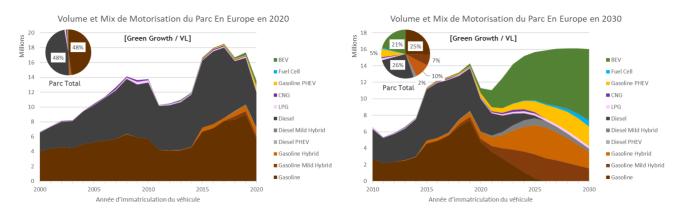


Figure 25. Volumes et Mix de Motorisation du Parc Europe en 2020 et 2030 des Véhicules Légers par année d'immatriculation pour le scénario Green Growth

L'étape suivante du calcul intègre l'usage kilométrique des différents segments de véhicules selon l'âge de véhicule. La donnée d'entrée pour un véhicule neuf est le kilométrage annuel moyen répertorié dans les hypothèses construites en commun dans le modèle côté ventes. A partir de cette donnée, le kilométrage annuel moyen pour un véhicule ancien décroît en fonction de l'âge du véhicule en appliquant l'hypothèse que pour les premières années de possession du véhicule, le kilométrage diminue peu mais quand l'ancienneté se rapproche de l'âge de mise à la casse, le kilométrage diminue rapidement. Ce mécanisme de modélisation de l'usage se traduit par un poids





plus important donné à l'usage kilométrique des véhicules neufs vis-à-vis des véhicules anciens comme le montre la figure ci-dessous. Sur le périmètre des véhicules zéro émissions, on observe que la part des kilomètres effectués par ceux-ci est de 26% en 2030.

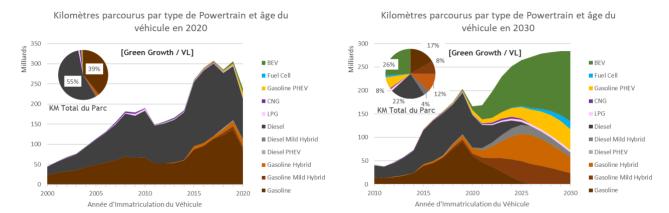


Figure 26. Kilomètres parcourus par an par le Parc Europe de VL en 2020 et 2030, fonction de la motorisation et de l'âge du véhicule pour le scénario Green Growth

L'étape suivante va calculer la consommation totale en carburant : pour cela, on applique une consommation spécifique pour chaque segment et type de motorisation pour obtenir un besoin en carburant. Pour mieux comprendre le besoin en énergie toutes sources d'énergie confondues, on affiche alors la demande totale équivalente en kWh. Entre 2020 et 2030, la réduction totale de consommation énergétique est de 34% et plus particulièrement en regardant la consommation des carburants fossiles, la réduction est de 44% sur la même période. Cette réduction s'explique principalement par la baisse de volumes des véhicules à carburants fossiles, un renouvellement des véhicules thermiques classiques par des hybrides moins consommateurs et une baisse générale de la consommation énergétique dans le temps liée au progrès réalisés sur l'ensemble des technologies.

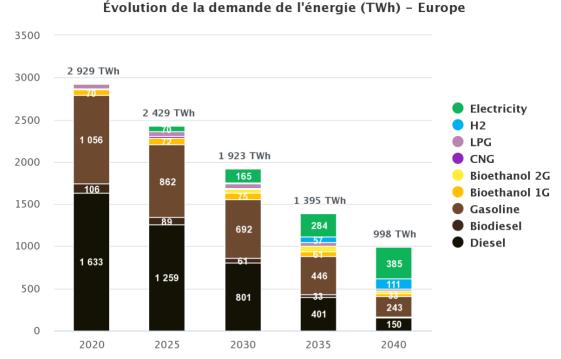


Figure 27. Demande en énergie du Parc des Véhicules Légers en Europe pour le scénario Green Growth

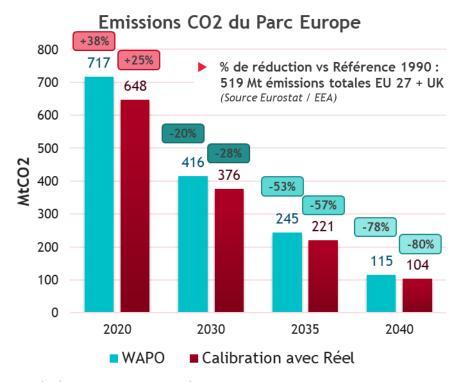




La dernière étape du calcul des émissions est l'application du facteur d'émissions par carburant, qui permet de convertir l'énergie consommée en émissions de CO₂ sur le périmètre réservoir à la roue TtW. Les ZEV ne contribuent pas aux émissions sur ce périmètre, donc la baisse des émissions devient plus rapide quand le poids des kilomètres réalisés en zéro émission devient plus important.

En cumulant tous les gains liés aux effets du renouvellement du parc, d'un usage différencié par âge, d'un flux de ventes de véhicules à faibles et zéro-émissions, on arrive à une baisse de 36% des émissions entre 2020 et 2030.

Par rapport à la référence historique de 1990 de 519 MtCO₂, les émissions du parc des Véhicules Légers de 2030 représenteront 416 MtCO₂, soit une économie de 20%. L'accélération de la baisse des émissions est la plus notable au-delà de 2030, lorsque la part de ZEV dans le parc s'accroit s'sensiblement. Par rapport à la référence de 1990, les émissions du parc roulant VL se seront contractées de près de 80% en 2040, ce qui permet d'envisager le respect des objectifs du Green Deal à 2050.



En bleu : émissions calculées à partir de la demande en énergie WAPO

En rouge : réduction estimée à partir du point de départ réel, en appliquant la même dynamique baissière

Figure 28. Emissions de CO2 totales (en Mégatonnes) du Parc de Véhicules Légers en Europe / % de réduction vs 1990





8. SENSIBILITE HYDROGENE EUROPE

8.1. CONTEXTE ET MOTIVATIONS

L'hydrogène est le carburant qui connaitra la plus grande variation de son prix dans les vingt prochaines années. Le développement d'une filière hydrogène est un axe essentiel de la stratégie industrielle européenne et française. L'hydrogène a une place privilégiée dans le plan d'investissement France 2030 (1,9 milliards € promis pour la filière) et au sein du Green Deal européen, l'hydrogène à production décarbonée - "hydrogène vert" - bénéficie de partenariats de recherche dont les investissements sont supérieurs au milliard €.

Une analyse de sensibilité aux prix de l'hydrogène du mix powertrain du Tir Central a été réalisée selon 2 variations - Low Cost et High Cost - autour de l'hypothèse centrale. Ces 3 variantes de prix à la pompe, prenant en compte l'objectif d'obtenir à moyen-terme un hydrogène 100% vert produit par électrolyse, ont été élaborés avec le soutien d'acteurs de la filière, en prenant en compte différentes échelles de centralisation de la production.

8.2. PRECISIONS SUR LES HYPOTHESES

Hypothèses structurantes :

- Les subventions gouvernementales compensent la faiblesse de la marge des opérateurs
- Le prix de l'électricité sous-jacent est fixé à 60 €/MWh
- Pas de taxe sur le carburant, mise à part la TVA à 20%

La construction du prix à la pompe se fait en évaluant 3 postes : **Production**, **Transport** et **Distribution**, puis en y additionnant la TVA.

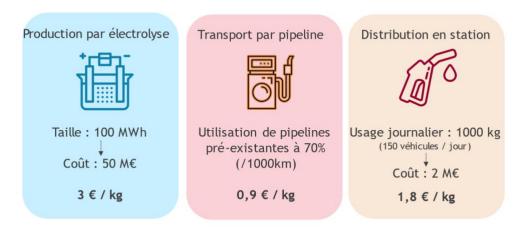


Figure 29. Hypothèse Centrale du coût de l'hydrogène en 2030 - division par poste, hors TVA

Ainsi, le prix de l'hydrogène à la pompe du scénario Green Growth est construit selon les hypothèses les plus probables issues du GT WAPO et des recherches du BIPE. Ensuite, les 2 sensibilités sont établies selon d'autres scénarios viables de Production, Transport et Distribution.





	SensibilitéLow Cost	Hypothèse centrale	SensibilitéHigh Cost
2020	10,03	10,03	10,03
2025	8,5	8,5	9,7
2030	6	6,93	8,4
2035	5	5,7	7,3
2040	4	4,91	6,8

Figure 30. Prix de l'hydrogène (€/kg) par pas de 5 ans - Hypothèse Centrale et sensibilités Low & High Costs

8.3. RESULTATS POUR LES VEHICULES PARTICULIERS ET UTILITAIRES LEGERS

Véhicules particuliers :

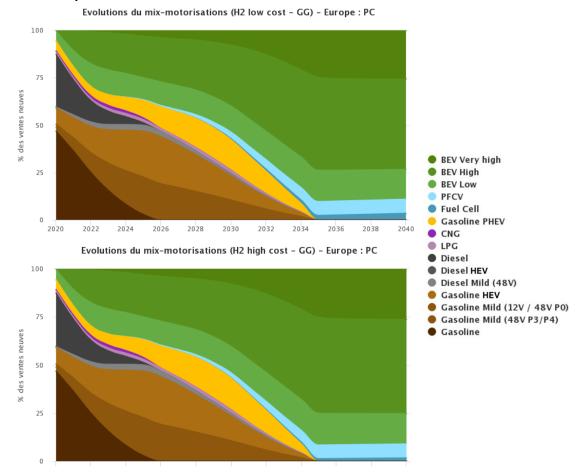


Figure 31. Mix de motorisations calculés pour le VP par sensibilité sur le prix de l'hydrogène





En volumes (ku = milliers d'unités):

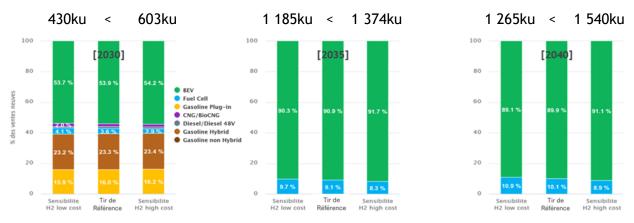


Figure 32. Mix de motorisations détaillés pour le VP par sensibilité hydrogène en 2030, 2035 et 2040

La variation du prix a un impact contenu sur le mix de ventes VP, beaucoup d'usages dans cette catégorie de véhicules pouvant être couverts par les différentes autonomies de BEV présentes sur le marché. Cependant, au regard du grand nombre de VP vendus par an en Europe - un peu plus de 14,5 millions en 2030 selon nos projections - un écart de 2,4€ du prix au kg de l'hydrogène peut signifier une différence de 200 000 unités sur les ventes annuelles.

Véhicules utilitaires légers :

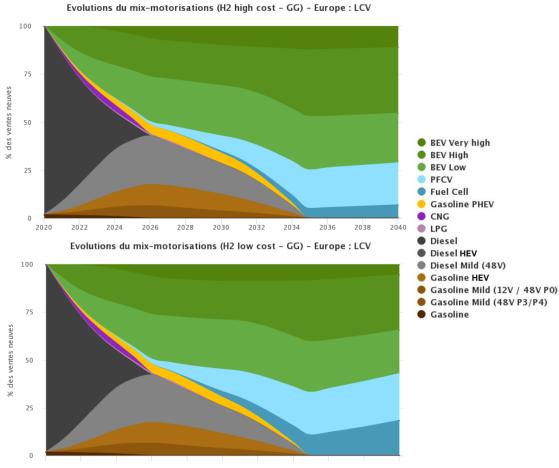


Figure 33. Mix de motorisations calculés pour le VUL par sensibilité sur le prix de l'hydrogène





<u>En volumes (ku = milliers d'unités)</u>:

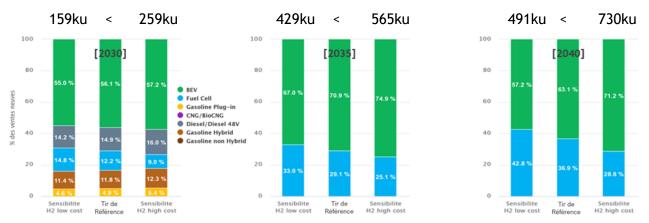


Figure 34. Mix de motorisations détaillés pour le VUL par sensibilité hydrogène en 2030, 2035 et 2040

L'élasticité du marché des véhicules à hydrogène en fonction du prix du carburant est plus forte pour les VUL du fait des usages associés : leur kilométrage moyen plus élevé signifie en effet une plus grande part du prix de l'énergie dans le calcul du TCO du véhicule. En 2040, un prix de l'hydrogène à la pompe de 4€ génère un volume de ventes de VUL motorisés par pile à combustible presque 1,5 fois plus élevé qu'avec un prix à 6,8€.





9. CONCLUSIONS DE L'ANALYSE EUROPE 2021

La vue globale mix de ventes <u>La prépondérance de la contrainte Fit For 55</u>

- Les écarts entre les 2 scénarios verts s'amenuisent, du fait d'un cadre réglementaire avec de moins en moins de latitude
- Dans le cadre réglementaire plus progressif du ICE BAN 2040, entre les drivers que sont le TCO et les usages, l'offre PHEV se déploie jusqu'à son interdiction en 2040
- Dans ces 3 cas, les objectifs CAFE de 2030 sont atteints pour le VP et pour le VUL

Élément clé

La dynamique BEV du scénario Green Growth ne peut être rendue possible que grâce aux réductions importantes de coûts annoncées → Exigence d'efforts, dans le cadre favorable prévu.

Si cette réduction drastique des coûts n'est pas atteinte - notamment concernant les batteries - les ventes de BEV et de véhicules hydrogène seront nettement plus faibles, le scénario Green Constraint devenant alors le scénario central de projection.

L'écosystème du VE

Une électrification accélérée à soutenir

- L'impact de la demande en batteries de mobilité sur la filière amont d'approvisionnement est un sujet critique indissociable de la réussite du déploiement du véhicule électrifié, point sur lequel les projections chiffrées du WAPO permettent de se positionner
- En 2030, l'infrastructure de recharge nécessaire pour supporter les usages électrifiés voulus devra atteindre presque 10 millions de bornes publiques

La contribution carbone

Des émissions CO₂ sur la bonne voie

 Bien que l'inertie de renouvellement du parc soit importante, les effets bénéfiques combinés d'une utilisation véhicule décroissant avec son ancienneté, des améliorations technologiques globales et du fort déploiement des véhicules à faibles et zéro émissions permettent d'envisager une dynamique baissière très intéressante en vue des objectifs européens du Green Deal à 2050

Le WAPO, outil adaptatif permettant de moduler les contraintes et leurs effets

- L'approche granulaire sur laquelle est construite le modèle WAPO en fait un outil parfaitement adapté pour convertir de façon explicite les projections de mix de motorisations en émissions carbone du parc roulant et évaluer l'impact des variations d'éléments de coûts sur le mix énergétique
- Les travaux du GT, consacrés en 2021 à la situation en Europe, seront déclinés en 2022 au niveau international afin d'évaluer l'impact des ambitions gouvernementales des principaux pays contributeurs sur les mix de motorisations et leurs émissions de CO₂ à 2040





10. ANNEXES

10.1. DEFINITION DES SEGMENTS ET DES POWERTRAINS

La segmentation des Véhicules Légers a été défini en accord avec les membres du WAPO :

Véhicules Particuliers :

- Segment A: Smart, Renault Twingo...
- Segment B_Low: Peugeot 208, Renault Clio...
- <u>Segment B_High</u>: Peugeot 2008, Renault Captur...
- Segment C_Low: Peugeot 308, Renault Mégane...
- Segment C_High: Peugeot 3008, Renault Scenic...
- <u>Segment D_Low</u>: Peugeot 607, Renault Laguna...
- Segment D_High: Peugeot 807, Renault Koleos...

Véhicules Utilitaires Légers :

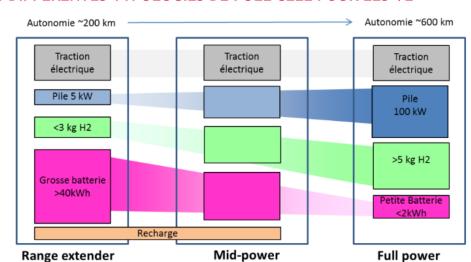
- F1: Peugeot Bipper, Renault Kangoo...
- K1: Peugeot Expert, Renault Trafic...
- <u>K2</u>: Peugeot Boxer, Renault Master...
- <u>PU</u>: Peugeot Hoggar...

Ainsi que la définition des différents powertrains :

- Gasoline: Essence 100%
- Gasoline Mild (12V): Essence avec hybridation légère (12V)
- Gasoline Mild (48V): Essence avec hybridation légère (48V) sous deux architectures P0 et P3/P4
- Gasoline HEV: Essence Hybride Non Rechargeable (No Plug-In)
- Gasoline PHEV: Essence Hybride Rechargeable
- Gasoline EREV: Essence Hybride avec prolongateur d'autonomie
- Diesel: Diesel 100%
- Diesel Mild (48V): Diesel avec hybridation légère (48V)
- Diesel PHEV: Diesel Hybride Rechargeable
- BEV 150: Electrique avec 150km WLTP d'autonomie
- BEV 300: Electrique avec 300km WLTP d'autonomie
- BEV 450: Electrique avec 450 km WLTP d'autonomie
- CNG 48V: BioGaz
- LPG: Gaz de Pétrole Liquéfié
- Fuel Cell Full Power: Hydrogène avec batterie auxiliaire
- Fuel Cell Mid Power: Hydrogène avec batterie rechargeable
- Fuel Cell Range Extender: Electrique avec prolongateur d'autonomie hydrogène







10.2. LES DIFFERENTES TYPOLOGIES DE FUEL CELL POUR LES VL

- Full Power : permet un usage polyvalent, alimenté exclusivement par un réseau de distribution d'H2
- Range Extender : alimenté aussi bien en hydrogène qu'en électricité, permet un usage urbain et périurbain intensif

H₂+ (7)

 H_2

NDLR : retiré de l'offre pour le WAPO 2021

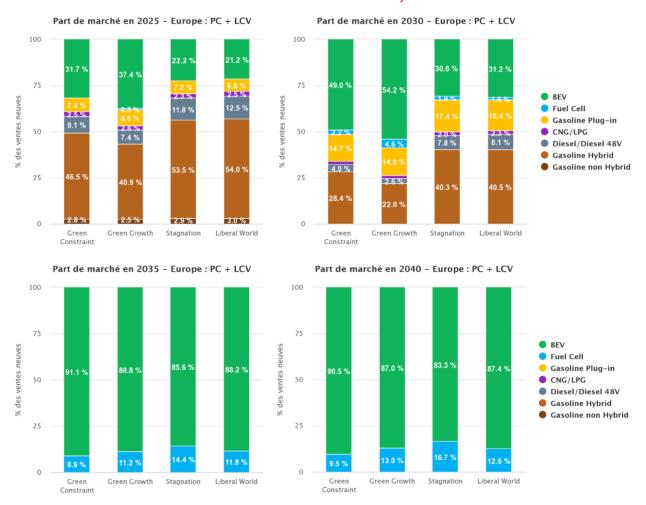
H₂+ (7)

 Mild-Power: permet un usage polyvalent, alimenté à la fois par un réseau de distribution d'H2 et rechargeable sur le réseau électrique, avec un dimensionnement du système Fuel Cell intermédiaire entre le "Range Extender" et le "Full Power"

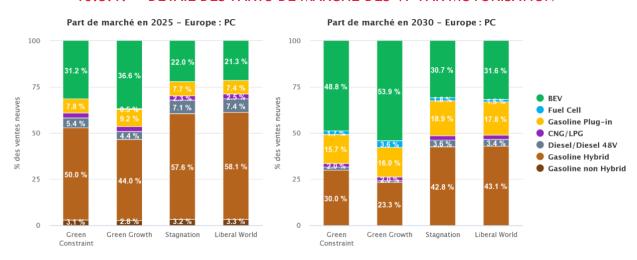




10.3. PARTS DE MARCHE DES VL PAR PWT / EUROPE, SELON LE SCENARIO

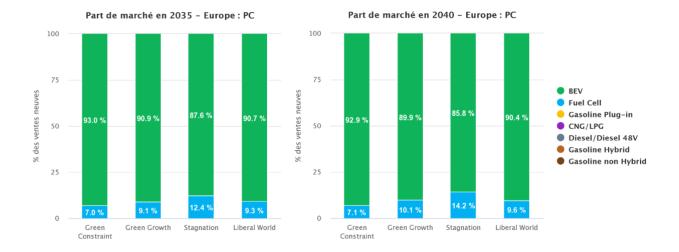


10.3.1. DETAIL DES PARTS DE MARCHE DES VP PAR MOTORISATION

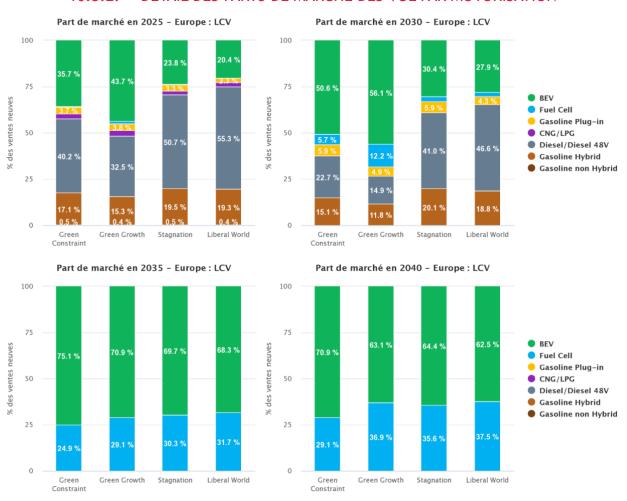








10.3.2. DETAIL DES PARTS DE MARCHE DES VUL PAR MOTORISATION







10.4. DETAILS SUR LES HYPOTHESES DU MODELE

Les hypothèses sont sourcées auprès des membres du GT WAPO de la PFA par Le BIPE.

10.4.1. VOLET TECHNIQUE

Prix des batteries (€/kWh)

Year	Green Constraint	Green Growth
2020	174	174
2025	107	94
2030	79	69
2035	73	60
2040	69	54

Prix des énergies scénario Green Growth en Europe (€/baril ou €/L ou €/kg ou €/kWh)

Year	<u>OIL</u>	Gasoline	Diesel	CNG	LPG	Electricity	Hydrogen
2020	<i>37</i>	1,12	1,00	0,94	0,75	0,23	10,03
2025	63	1,6	1,46	1,1	0,82	0,24	8,51
2030	58	1,92	1,71	1,25	0,88	0,25	6,93
2035	58	2,11	1,87	1,41	0,94	0,25	5,92
2040	58	2,31	2,03	1,41	0,99	0,24	4,91

Consommation véhicules en 2020 - Europe (L ou kg ou kWh /100km, eq WLTP)

Segment	Gasoline	Diesel	CNG	LPG	Electricity	Hydrogen
A	5,0	4,3	3,7	6,5	12,3	0,9
B_Low	5,3	4,3	3,7	6,7	12,9	0,9
B_High	6,0	4,7	4,2	7,6	14,6	1,0
C_Low	5,9	5,0	4,6	7,5	14,5	1,0
C_High	7,0	5,8	5,0	8,8	16,8	1,2
D_Low	6,8	6,2	5,6	8,8	16,7	1,2
D_High	7,8	6,5	5,4	9,9	19,5	1,3
F1	6,9	5,6	4,8	8,8	17,1	1,2
K1	8,4	7,2	6,0	10,3	21,3	1,5
K2	9,2	8,6	7,2	11,3	25,2	1,8
PU	10,5	7,9	6,7	13,0	25,1	1,7

Consommation véhicules en 2040 - Europe (L ou kg ou kWh /100km, eq WLTP)

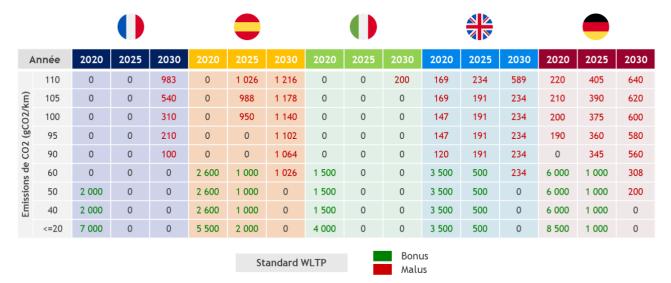
Segment	Gasoline	Diesel	CNG	LPG	Electricity	Hydrogen
Α	4,4	4,1	2,6	5,4	12,1	0,7
B_Low	4,5	3,9	2,7	5,6	12,7	0,7
B_High	5,0	4,2	3,0	6,3	14,5	0,8
C_Low	4,9	4,7	3,0	6,2	14,4	0,8
C_High	6,0	5,3	3,5	7,4	16,0	0,9
D_Low	5,8	5,8	3,4	7,1	16,1	0,9
D_High	6,5	5,7	3,8	8,1	18,7	1,0
F1	5,7	4,9	4,3	7,1	17,1	1,0
K1	7,3	6,3	5,3	8,8	21,0	1,2
K2	8,0	7,3	6,2	9,6	25,6	1,4
PU	9,2	7,2	4,7	11,1	24,2	1,3





10.4.2. VOLET FISCAL

Evolution des Bonus/Malus à l'achat en Europe dans les pays du G5



Sources 2021 : sites gouvernementaux, ACEA, presse spécialisée

Groupes Bonus/Malus dans les pays d'Europe hors G5 (standard WLTP) :

Groupe	Haut	Moyen	Bas
Pays inclus	Suède, Norvège, Finlande,	Autriche, Roumanie,	Lituanie, République
	Danemark, Croatie, Pays-	Chypre, Irlande, Slovénie,	Tchèque, Estonie, Lettonie,
	Bas, Belgique, Portugal	Hongrie, Grèce, Pologne	Turquie, Bulgarie,
			Luxembourg, Slovaquie
Proportion des pays	50% du marché	38% du marché	12% du marché
européens non G5	30% du marche	30% du marche	12% du marche





L'information présentée émane de sources considérées comme fiables. Toutes opinions ou prévisions ont un caractère provisoire. Les estimations et opinions contenues dans ce document reflètent le jugement de BIPE - BDO Advisory à la date de publication des présentes.

Ce document a notamment été établi sur la base des besoins et informations communiqués par les parties prenantes, par référence à leur contexte et en fonction de l'environnement juridique et économique actuel. Dans ce cadre, le contenu constitue notre réponse originale élaborée à partir de nos méthodes, processus, techniques et savoir-faire. De ce fait, le contenu, ainsi que le support sont notre propriété et leur utilisation est régie par les conditions générales d'exécution des services de BDO en vigueur à la date de leur émission.

© Juin 2022 BIPE - BDO Advisory, Tous droits réservés

https://www.bdo.fr/fr-fr/bipe/accueil

