

# Mobilité Hydrogène

## Table des matières

1	Synthèse et recommandations .....	2
2	Contexte et motivations .....	4
3	Une technologie complémentaire à la batterie .....	5
4	Réglementation véhicule et Directives Energétiques .....	8
4.1	Réglementation Européenne : Fit-for-55 et Directive sur les énergies renouvelables .....	9
4.2	Réglementation véhicule : .....	11
4.2.1	Prescriptions de sécurité : adoption d'une nouvelle réglementation pour l'homologation des véhicules fonctionnant à l'hydrogène et de leurs composants .....	11
4.2.2	Réglementation relative aux « masses et dimensions » favorisant l'utilisation des véhicules à carburant de substitution ou à zéro émission .....	12
4.2.3	Prescriptions pour la protection de l'environnement : réglementation émissions .....	13
5	Impact environnemental de la filière hydrogène .....	13
5.1	Impact environnemental sur l'ensemble du cycle de vie .....	14
5.2	Economie circulaire et recyclage .....	15
5.3	Matériaux critiques – Substances chimiques à risque .....	16
6	Enjeux marchés .....	17
7	Challenges à relever .....	20
7.1	Challenges techniques .....	20
7.2	Challenge économique : vers la grande série .....	22
7.3	Un hydrogène propre et compétitif .....	22
7.4	Un tissu fournisseur à développer .....	24
7.5	Un accompagnement politique .....	25

## 1 Synthèse et recommandations

Face à l'enjeu climatique et la contribution de la mobilité, le développement des véhicules électriques reste, plus que jamais, une réponse pertinente (et nécessaire, la commission Européenne ayant proposé le Ban des véhicules thermiques en 2035 dans le but de converger vers la neutralité carbone en 2050).

La mobilité hydrogène, par sa complémentarité avec les technologies de stockage de l'énergie par batterie, répond à des besoins du marché spécifiques, en termes de rayon d'action et/ou de taux d'usage du véhicule élevé. Le véhicule électrique à pile à combustible hydrogène, est une solution « zéro émission » du réservoir à la roue, comme le véhicule électrique à batterie. Ce dernier est déjà déployé depuis plusieurs années alors que le véhicule électrique hydrogène a démarré son déploiement plus récemment.

Pour des usages très intensifs et ne nécessitant pas une solution zéro émission, l'hydrogène décarboné pourrait être appliqué directement dans les moteurs thermiques de certains poids lourds.

Même si son rendement énergétique global est moins bon que celui de la mobilité électrique à batterie, la mobilité hydrogène répond aux enjeux de protection de l'environnement (diminution des émissions de CO<sub>2</sub>) en complément des enjeux de développement des énergies renouvelables et de leurs besoins de stockage, et des enjeux d'indépendance énergétique.

La mobilité hydrogène est par ailleurs une opportunité pour l'industrie française dans un contexte de transition énergétique, par un renforcement du positionnement technologique d'acteurs français sur la scène européenne et internationale.

La PFA Filière Automobile et mobilités a identifié des actions de soutien nécessaires au déploiement de cette technologie de mobilité, ainsi que des points de vigilance importants.

### Recommandations

#### 1. Construire un écosystème hydrogène cohérent et un tissu industriel Européen sur l'ensemble de la chaîne de valeur

L'émergence d'un marché de véhicules à hydrogène est conditionnée par l'existence d'un « écosystème hydrogène » bien plus large que la mobilité, comprenant également la production, stockage et distribution accompagnant les autres applications pour l'industrie et l'habitat. Son déploiement dépend essentiellement des stratégies énergétiques des Etats. Dans ce cadre, la mobilité hydrogène a sa place, mais ne peut être à elle seule le facteur déclenchant d'un déploiement large de l'hydrogène. C'est pourquoi le plan National Hydrogène prévoit la production d'hydrogène bas carbone, le déploiement d'électrolyseurs forte puissance, le stockage et la distribution, pour la décarbonation de l'industrie et de la mobilité intensive.

La mobilité hydrogène est aussi une opportunité pour asseoir des champions industriels français – constructeurs et équipementiers automobiles, équipementiers pour les infrastructures de distribution, énergéticiens - dans cet écosystème.

#### 2. Déployer une infrastructure de stations de remplissage hydrogène

Pour réussir la transition énergétique notamment en matière de décarbonation des transports il est impératif de disposer d'un maillage géographique de stations de remplissage hydrogène adapté aux usages. Nous avons la profonde conviction que seul un réseau de stations de remplissage hydrogène offrant un large maillage pourra accélérer et permettre une décarbonation rapide du transport en Europe, en permettant aux usagers et aux sociétés européennes de pouvoir adopter des solutions zéro-émission qui correspondent à leurs besoins. Le règlement européen AFIR (Alternative Fuel Infrastructure Regulations) doit permettre un déploiement rapide des véhicules zéro émission en mettant en place une série de règles et d'objectifs ambitieux, intégrant la mobilité hydrogène des véhicules légers, VUL et poids lourds. Il permettrait de réduire le risque d'usage au niveau des stations. En effet, un besoin d'environ 1 700 stations d'hydrogène en Europe est identifié à l'horizon 2030 pour une flotte totale de véhicules électriques à pile à combustible hydrogène de plus de 2 millions de véhicules.

#### 3. Contrôler l'impact environnemental de la mobilité hydrogène sur l'ensemble du cycle de vie

L'impact environnemental de la mobilité hydrogène devra être évalué sur l'ensemble de son cycle de vie, et comparé aux autres solutions de mobilité. L'utilisation de l'électricité décarbonée permet aux solutions hydrogène d'être compétitives avec les solutions électriques à batterie.

Le recyclage ou la revalorisation des composants constitutifs d'un système hydrogène (pile à combustible et réservoir notamment) requiert l'adaptation de la filière existante et nécessite le développement à plus grande échelle des technologies et process associés.

**4. Confirmer un marché centré sur les véhicules utilitaires / industriels**

Le marché visé pour un premier déploiement est bien celui des véhicules utilitaires et des véhicules industriels (par exemple : bus et camions régionaux), pour rationaliser le déploiement des premières infrastructures ; puis dans un 2<sup>ème</sup> temps celui des véhicules particuliers nécessitant à la fois un taux d'usage optimisé et un fort rayon d'action.

**5. Disposer d'une roadmap technologique et économique pour un hydrogène « décarboné et renouvelable » compétitif**

La filière de production d'hydrogène doit établir la roadmap technologique et économique, et ses conditions de réussite, pour assurer la transition progressive entre hydrogène carboné (actuellement produit à partir d'énergie fossile) vers un hydrogène décarboné (produit à partir d'électrolyse de l'eau et d'électricité renouvelable ou d'origine nucléaire) à horizon 20 ans.

Dans cette phase transitoire, l'hydrogène pourra être également « décarboné » indirectement par des procédés de capture et de valorisation du CO<sub>2</sub> généré par les process industriels actuels de production de l'hydrogène. L'enjeu est de fournir aux clients de l'hydrogène décarboné et renouvelable à un prix permettant un TCO compétitif. Un premier seuil de prix client autour de 7 €/kg (TVA incluse, dès 2030) – atteignable selon l'étude PFA / BIPE-BDO « mix énergétique 2021 » avec des coûts de matière première 2021 est un prérequis pour le déploiement des ventes Européennes annuelles de Véhicules Utilitaires Légers, et de Véhicules Lourds à horizon 2030. Une première cible de 6% des Véhicules Utilitaires Légers et de 15% de Véhicules Lourds vendus à cet horizon est envisageable. La roadmap qui permettrait l'atteinte de part de marché tout segment au-delà de 15% inclus une cible à 4€/kg envisagée à l'horizon 2040.

**6. Disposer d'une roadmap technologique et industrielle pour abaisser le coût de la technologie, sans compromis avec les cibles de performances**

Les équipementiers et OEM doivent passer de la petite à la grande série, afin de positionner également la technologie à un TCO compétitif. En particulier, des cibles de coût à horizon 2030 pour la pile à combustible à 46€/kW et pour les réservoirs d'hydrogène à 460€/kgH<sub>2</sub> embarqué sont des points de passage obligés.

**7. Construire une politique publique de soutien stable**

Un soutien public est nécessaire : soutien à la R&D et au déploiement industriel, ainsi qu'à l'achat des véhicules et à l'hydrogène vendu en station pour permettre d'atteindre ce TCO compétitif, tant que les volumes ne sont pas suffisants. Il doit s'inscrire dans la dynamique de soutien Européenne.

Dès 2022, les constructeurs français comme Renault et Stellantis commercialisent plusieurs modèles de véhicules utilitaires à hydrogène. De plus, engagés dans la transition écologique, les collectivités territoriales et les transporteurs routiers font cependant face à des coûts élevés pour l'acquisition de bus, camions, autocars, camionnettes, ou encore bennes à ordures ménagères fonctionnant à l'hydrogène, tant que les volumes se limitent à quelques centaines d'exemplaires produits. En cohérence avec les aides d'Etat, le soutien financier à ces véhicules doit permettre le dé plafonnement des aides publiques pour les porter jusqu'à 80 % du surcoût par rapport à des véhicules diesel dans la phase d'amorçage du marché.

**Points de vigilance**

- Les technologies de **stockage longue durée** (en particulier stockage dans des cavités géologiques) font l'objet de nombreuses études de faisabilité pour instruire les modèles d'affaires, la limitation des pertes par diffusion à travers les roches ou encore des impacts géochimiques et biologiques.
- La motorisation à combustion interne d'hydrogène pourrait être une alternative au véhicule à pile à combustible. Leur déploiement sur le véhicule léger dépendra du prix de l'hydrogène, des normes (post Euro 6) et des autorisations de circulations.
- Les fuites d'hydrogène sur l'ensemble de la chaîne de valeur sont également à prendre en considération au regard de leurs impacts environnementaux.

## 2 Contexte et motivations

Garantir une souveraineté énergétique et matière, améliorer la qualité de l'air, réduire les émissions de CO2 et favoriser la transition énergétique sont des axes prioritaires de la Filière Automobile et Mobilités. Les transports sont aujourd'hui au cœur de ces quatre défis majeurs, que la France, comme d'autres pays a décidé de relever. Face à l'enjeu climatique, le développement des véhicules électriques à batterie et/ou à hydrogène, reste, plus que jamais, une réponse pertinente.

La production d'hydrogène décarboné et le développement de son premier marché, la mobilité, répondent concomitamment à plusieurs enjeux majeurs :

- La lutte contre le réchauffement climatique
- L'amélioration de la qualité de l'air
- Le développement des énergies renouvelables
- La dynamisation des territoires grâce à la création d'écosystèmes hydrogène locaux créateurs de valeur et d'emplois
- L'indépendance énergétique et matière

Le développement de la filière, qui va au-delà de la seule problématique du transport et de la mobilité, va créer ce type de cercle vertueux.

Au cours des derniers mois le contexte hydrogène / piles à combustible a fortement évolué :

- En Europe, l'hydrogène est désormais reconnu comme indispensable à la feuille de route énergétique et est un des piliers du « green deal » mis en place par la Commission Européenne. Plusieurs états membres ont annoncé des plans nationaux hydrogène comme la France pour 9,1 Md€, l'Allemagne pour 9 Md€ ou l'Espagne pour 8,9 Md€, par exemple. La Commission Européenne a mis en place une structure de gouvernance, l'European Clean Hydrogen Alliance (ECHA), pour favoriser l'investissement des États dans leurs industries hydrogène nationales et un IPCEI - Important Projects of Common European Interest – a été lancé pour la notification de projets dès 2022.
- En Asie, le Japon, la Chine et la Corée ont dévoilé des roadmaps de déploiement ambitieuses (par exemple : 1 million de véhicules en 2030 en Chine), associées à des plans financiers de grande envergure pour développer l'hydrogène dans la mobilité. Les plans de soutiens nationaux sont doublés dans ces 3 pays par des aides régionales au développement de l'industrie automobile hydrogène.
- Les sphères publiques tant européennes (Clean Vehicle Directive, Renewable Energy Directive, Alternative Fuels Infrastructure Directive - AFID) que françaises (CSF – Contrat Stratégique de Filière, plan national hydrogène, loi transition énergétique, ECV - Engagements pour la Croissance Verte, LOM - Loi d'Orientation des Mobilités) considèrent que le véhicule hydrogène est une des solutions au côté du véhicule électrique à batterie pour atteindre les objectifs de décarbonation du transport.
- La souveraineté de la production et de la mobilité hydrogène est devenue favorable compte tenu de la difficulté d'approvisionnement (et des coûts associés) des matériaux critiques pour la fabrication des batteries (lithium, nickel, cobalt...).

En France, le Contrat Stratégique de la Filière Automobile et Mobilités (CSF) signé en mai 2018 et son avenant d'avril 2021, l'Engagement pour la Croissance Verte (ECV) en mai 2019, ainsi que la création du Conseil National de l'Hydrogène (CNH) intègrent l'amorçage de la mobilité hydrogène dans leur feuille de route, considérant que le véhicule hydrogène est une solution qui trouve sa place au côté du véhicule électrique à batterie pour atteindre les objectifs de décarbonation du transport.

La France a précisé sa stratégie autour de 3 priorités d'intervention :

- 1) Décarboner l'industrie en faisant émerger une filière française de l'électrolyse,
- 2) Développer une mobilité lourde à hydrogène décarboné,
- 3) Soutenir la recherche, l'innovation et le développement de compétences afin de favoriser les usages de demain.

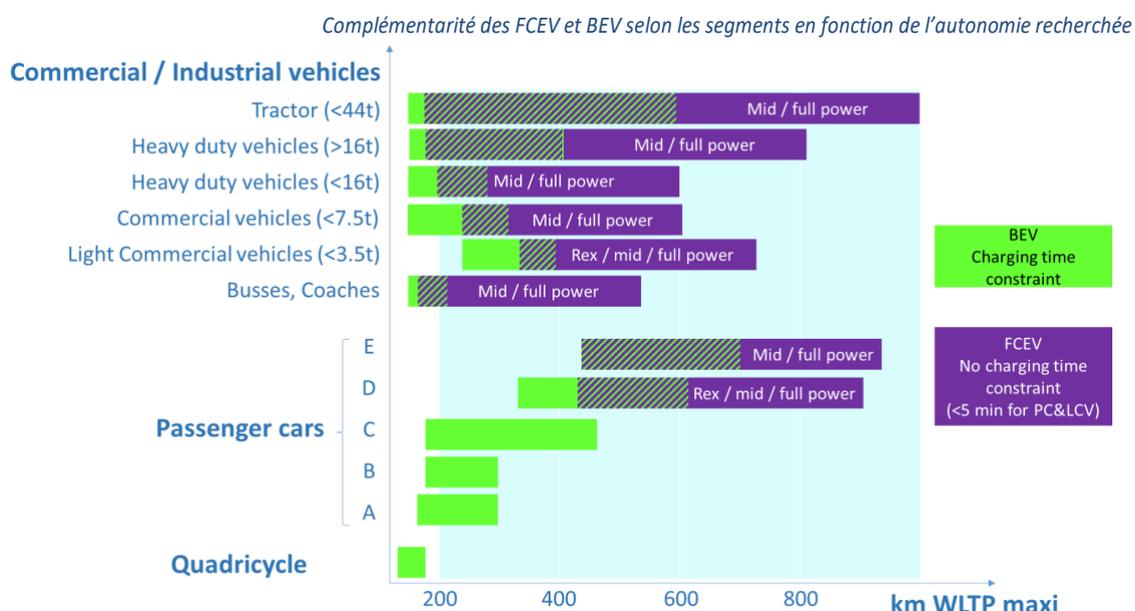
- La filière hydrogène française, présente sur l'ensemble de la chaîne de valeur avec des leaders reconnus, a déjà initié le déploiement sur le territoire de stations et de véhicules essentiellement professionnels (véhicules utilitaires, flottes captives, bus, camions). La structuration de la filière hydrogène est en cours avec ces derniers mois des investissements majeurs dans les secteurs de l'énergie et de l'automobile, tant chez les énergéticiens, les constructeurs que les fournisseurs de systèmes.
- La filière a engagé des roadmaps (plans R&D et investissements) claires en faveur de l'industrialisation.
- Le marché (aujourd'hui essentiellement professionnel) – opérateurs de mobilité, collectivités, régions (plus de la moitié des régions françaises ont engagé des feuilles de route de déploiement) – se fait de plus en plus prescripteur d'un besoin de mobilité zéro émission auquel l'hydrogène répond en complémentarité de la technologie batterie.

### 3 Une technologie complémentaire à la batterie

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 complémentaire de la technologie de véhicule électrique à batterie (BEV).

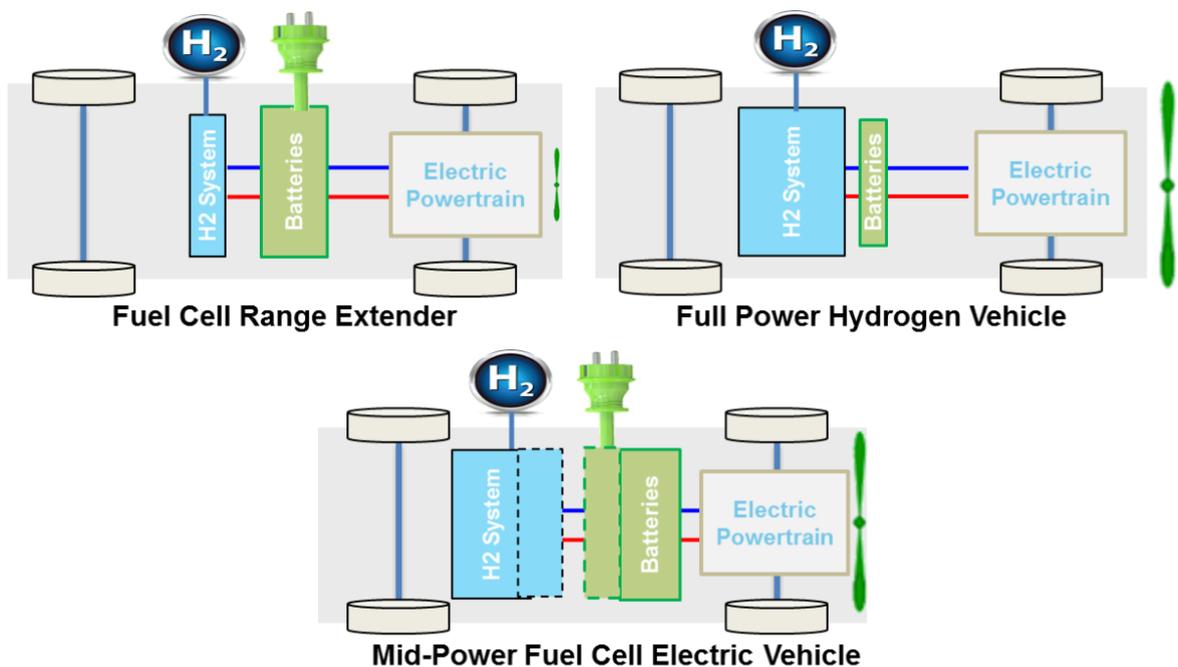


Pour une description plus fine des usages par segment (PL ou VL), l'étude WAPO2021 - Evolution et analyse du mix powertrain des véhicules légers en Europe de 2020 à 2040 et l'étude Vision'Air (disponibles sur le site de la PFA) - donnent des éléments complémentaires à ce schéma haut niveau.

Plusieurs périmètres d'usages peuvent être adressés, moyennant des variations de l'architecture et des dimensionnements du système pile à combustible :

- Full power (FFCEV) : permet un usage polyvalent, alimenté exclusivement par un réseau de distribution d'H2
- Range extender (FCREEV) : alimenté aussi bien en hydrogène qu'en électricité, permet un usage urbain et périurbain intensif, pour des flottes de type VU (par exemple activité de messageries ou taxi)
- Mid-power : permet un usage polyvalent, alimenté à la fois par un réseau de distribution d'H2 et rechargeable sur le réseau électrique <sup>1</sup>, avec un dimensionnement du système fuel cell intermédiaire entre le « range extender » et le « full power ».

*Les différents typologies de FCEV (pour véhicules légers particuliers et utilitaires)*



*Exemples de dimensionnement pour le dimensionnement mid-power.*

<sup>1</sup> Les FCEV utilisant une batterie de capacité significative et présentant la possibilité de recharger sur le réseau électrique sont aussi qualifiés de OVC – FCV (Off Vehicle charging Fuel Cell Vehicle).

Van	Energie batterie (kWh)	Puissance pile (kW)	H2 embarqué (kg)	HSS	Ex véhicule	Available Available in a short-term Prototypes
	10 33	45 30	5 6	3 tanks 700 bar 4 tanks 700 bar	VAN 1 : Expert / Jumpy / Vivaro VAN 2 : Master	
Bus	Energie batterie (kWh)	Puissance pile (kW)	H2 embarqué (kg)	HSS	Ex véhicule	
	132	30	30	4 tanks 350 bars	SAFRA Businova (Versailles, Artois Gohelle, Auxerre)	
	235 30 24 / 36	2*114 70 85	24 37,5 38	10 tanks 700 bar 5 tanks 350 bar 5 tanks 350 bar	CATEANOBUS H2 CITY Gold (La Roche s/Yon) SCANIA Urbino 12 VAN HOOL A330FC (Pau, Versailles)	
Trucks	Energie batterie (kWh)	Puissance pile (kW)	H2 embarqué (kg)	HSS	Ex véhicule	
	73,2 140 ?	2*95 45 140 / 200	32 30 30 / 45	350 bars 350 bars 700 bars	Hyundai Xcient – Switzerland HYZON IVECO	
	110 ? 70	120 120 2*150	50 / 70 40 / 80 ? / 2*40	350 bars 700 bars 700 bars/Liquid	HYZON (FCET8) IVECO / Nikola Motors Daimler	

Exemples de FCV commercialisés en 2022 : Renault Kangoo ZE H2, Daimler GLC, Hyundai Nexo, Toyota Mirai,

Range  
Extender



Full Power

Mid Power



Full Power

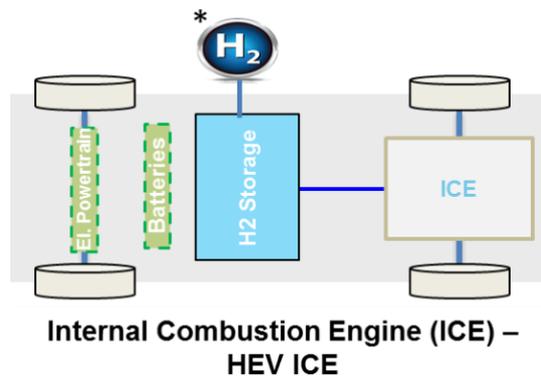


Exemple de véhicules lourds : Toyota Sora, Solaris Urbino 12, Safra Businova, Nikola Tre, Hyundai Xcient



Le ICE H2 repose quant à lui sur un moteur thermique et sur l'utilisation de composants communs avec le FCEV comme par exemple son stockage d'hydrogène. Pour ce véhicule il est également possible d'envisager des architectures hybridées avec une batterie. En terme d'usage il pourrait adresser des usages en particuliers de mobilités lourdes et intensives (véhicules utilitaires et camions notamment), à noter également des explorations également coté véhicules sportifs.

Schéma de principe d'un véhicule à moteur à combustion d'hydrogène



Exemple de véhicules équipés d'un moteur à combustion d'hydrogène : Toyota Corolla, DAF XF Hydrogen



La mobilité hydrogène à pile à combustible ou à moteur à combustion d'hydrogène repose nécessairement sur un système de stockage de l'hydrogène mettant en jeu 2 technologies :

- Le comprimé à l'aide de réservoirs hyperbares 350 ou 700 bars (technologie la plus mature)
- Le cryogénique (liquide ou cryo-compressé)

#### 4 Réglementation véhicule et Directives Energétiques

#### 4.1 Réglementation Européenne : Fit-for-55 et Directive sur les énergies renouvelables

Pour atteindre les objectifs du Green Deal (55% de réduction des émissions des gaz à effet de serre entre 2030 et 1990), la Commission Européenne a sorti en juillet 2021 la proposition d'un paquet législatif « Fit-for-55 ».

Au-delà de la directive sur les émissions (CAFE), 3 autres textes sont importants pour l'hydrogène : La Directive sur la Taxation des Energies (ETD), le règlement sur les infrastructures pour les carburants alternatifs (AFIR/RAFI) et la Directive sur les Energies Renouvelables (RED).

**ETD** : la directive veut imposer une taxation minimum de tous les carburants, y compris renouvelables. Celle-ci resterait néanmoins faible pour l'hydrogène (0,15€/GJ contre 10,75€/GJ pour les carburants fossiles).

**AFIR** : Le règlement vise à contraindre les états membres à déployer un réseau minimum d'infrastructure pour garantir l'approvisionnement du parc à venir. Pour l'hydrogène, il s'agirait d'une station délivrant au minimum 2 tonnes par jour à 700 bar, souhaité à minima tous les 150/200km sur les corridors du réseau TEN-T et dans chaque nœud urbain important, soit respectivement 700 et 88 stations. Cet objectif est bien décevant au regard des 130 000 stations de carburants existantes, mais ne met pas non plus la même contrainte sur le réseau principal et sur le réseau complet, ne garantissant pas une couverture même minimale pour des usages de véhicules utilitaires moins concentrés.

**RED** : La révision de la directive sur les énergies renouvelables vise à traduire les nouveaux objectifs (55% de réduction des émissions des gaz à effet de serre) en part d'énergie d'origine renouvelables (40%) déclinée par secteur, le transport devant contribuer à hauteur de 13% de cette réduction. Pour y parvenir, elle fait notamment rentrer l'Hydrogène renouvelable d'origine non biologique dans la législation pour donner un cadre favorable à son développement (facilité de déploiement et financements).

De plus, de façon à atteindre rapidement les objectifs de développement de l'hydrogène pour la mobilité, la Commission a également proposé un « **paquet législatif gaz et hydrogène** » permettant de définir et encadrer un hydrogène bas-carbone qui, sans être renouvelable, permettrait néanmoins une décarbonation équivalente en regard des énergies fossiles.

Voici les mesures proposées pour l'hydrogène :

	<b>Hydrogène Renouvelable</b> (révision directive RED)	<b>Hydrogène Bas-Carbone</b> (Paquet législatif Gaz et hydrogène)
Eligibilité	<b>Réduction de 70% des effets de serre</b> (par rapport à la référence prise par la commission qui est de 94g CO2eq/MJ) soit <b>3,38kg CO2eq</b> par kg d'hydrogène ou encore moins de 28,4g CO2eq par mégajoule. <i>A noter qu'en ce qui concerne les investissements, la taxonomie européenne est plus stricte en limitant à 3kg CO2eq par kgH2 les investissements éligibles au label renouvelable.</i>	Le même seuil de réduction est retenu pour l'hydrogène bas-carbone jusque fin 2029. La Commission se réserve le droit d'avoir ensuite un seuil d'émission plus contraignant de façon à encourager l'hydrogène renouvelable.
Certification	Le <b>système de certification devient obligatoire pour l'hydrogène</b> , et les garanties d'origine ne seront plus suffisantes, remplacées ou complétées par un système de traçabilité en bilan matière tel qu'il existe déjà pour les carburants liquides. Il s'agit d'une comptabilité mettant en face de l'hydrogène son producteur et son consommateur, en incluant les émissions intervenant dans l'ensemble de la supply-chain (y compris le transport et la distribution).	Le même système s'appliquera pour l'hydrogène bas-carbone.

Comptabilité carbone nationale	La contribution de l'hydrogène sera désormais calculée à son point de consommation (et non plus lors de la production). De plus, l'électricité renouvelable consommée par la production d'hydrogène sera déduite dans le calcul de la part de renouvelables dans le mix pays.	L'hydrogène bas-carbone sera également comptabilisé à son point de consommation. Il sera comptabilisé pour atteindre les objectifs de décarbonation de l'énergie, mais pas ceux de la part de renouvelables dans l'énergie.
Objectifs nationaux de part d'énergie renouvelable	50% de l'hydrogène renouvelable dans l'industrie en 2030 2,6% d'hydrogène dans la part d'énergie consommée par les transports.	Non comptabilisé dans les énergies renouvelables.
Taxation	Via l'ETD, une taxation minimale obligatoire serait introduite de 0,15€/GJ.	L'hydrogène bas-carbone subirait la même taxation jusqu'à fin décembre 2031, avec une augmentation à compter du 1 <sup>er</sup> janvier 2032 pouvant porter ce minimum jusqu'à 5,38€/GJ.

En synthèse, ces réglementations permettent de donner un cadre pour le développement de l'hydrogène, en précisant ce que sont l'hydrogène renouvelable et bas carbone, en alignant les règles de marché sur ce qui est fait pour le gaz et l'électricité, et en facilitant l'intégration et la reconversion pour des infrastructures aujourd'hui exclusivement dédiées au gaz naturel.

Néanmoins, les contraintes liées à la production d'hydrogène renouvelable restent fortes, avec par exemple :

- La notion d'additionnalité demandant pour la production une source électricité renouvelable dédiée et additionnelle à l'existant préalable pour ne pas réduire les capacités disponibles d'électricité renouvelable
- La nécessité d'une comptabilité en bilan-matière (cf. plus haut).

Et donc, si les volumes minimums imposés aux états laissent envisager une disponibilité suffisante d'hydrogène pour la mobilité des véhicules utilitaires, il pourrait dans un premier temps s'agir d'hydrogène bas-carbone ou d'hydrogène renouvelable importé.

**Cette proposition de la Commission est néanmoins l'objet d'amendements au niveau du parlement européen qui vont potentiellement amener à revoir certaines de ces modalités au cours des échanges préalables au vote final prévu fin 2022.**

Fig. Perspectives réglementation entre hydrogène renouvelable (en vert) et hydrogène bas-carbone (en bleu)

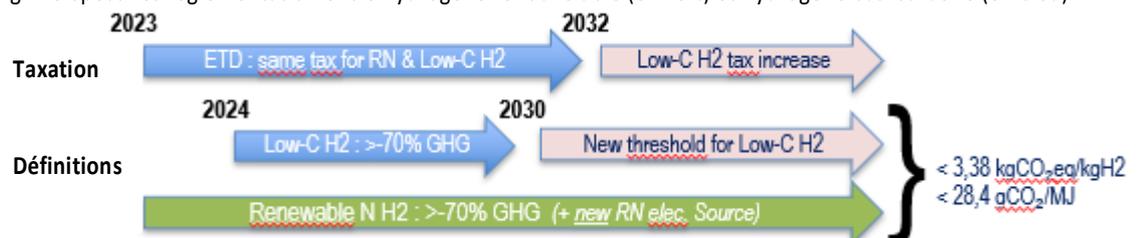
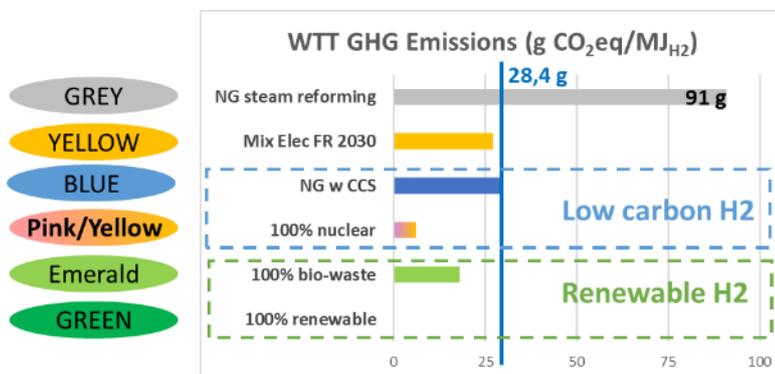


Fig. Différentes filières de production de l'hydrogène et leur classification selon les émissions en équivalent carbone



#### 4.2 Réglementation véhicule :

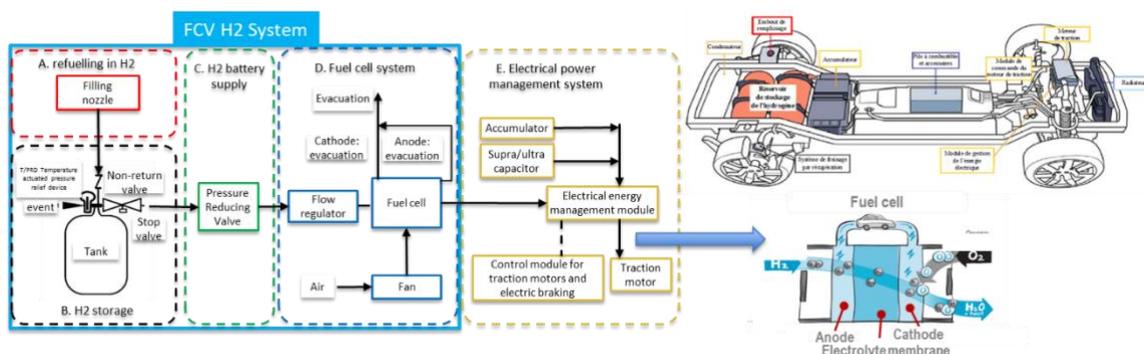
Les prescriptions techniques et procédures d'essai applicables aux véhicules fonctionnant à l'hydrogène et des systèmes et composants hydrogène sont bien établis dans le cadre de la nouvelle réglementation Européenne (EU) 2019/2144. Elles assurent un niveau élevé de performance en matière de sécurité et de protection de l'environnement.

##### 4.2.1 Prescriptions de sécurité : adoption d'une nouvelle réglementation pour l'homologation des véhicules fonctionnant à l'hydrogène et de leurs composants

Concernant les prescriptions de sécurité des véhicules fonctionnant à l'hydrogène et des systèmes et composants hydrogène, le règlement EC 79/2009 est abrogé et remplacé par le règlement (EU) 2019/2144. Ce dernier adopte, à partir de juillet 2022, les prescriptions du règlement UN-R134 développé au sein des Nations Unies et du règlement (EU) 2021/535 (annexe XIV).

Les exigences établies dans le règlement UN-R134 adresse la sécurité du système de stockage hydrogène comprimé (hydrogène gazeux sous haute pression jusqu'à 700 bars), des composants principaux de sécurité et de l'installation du système et composants hydrogène sur le véhicule (incluant l'embout de remplissage, les canalisations/raccords et la pile à hydrogène).

Fig. Schéma de principe des principaux systèmes d'un véhicule pile à hydrogène



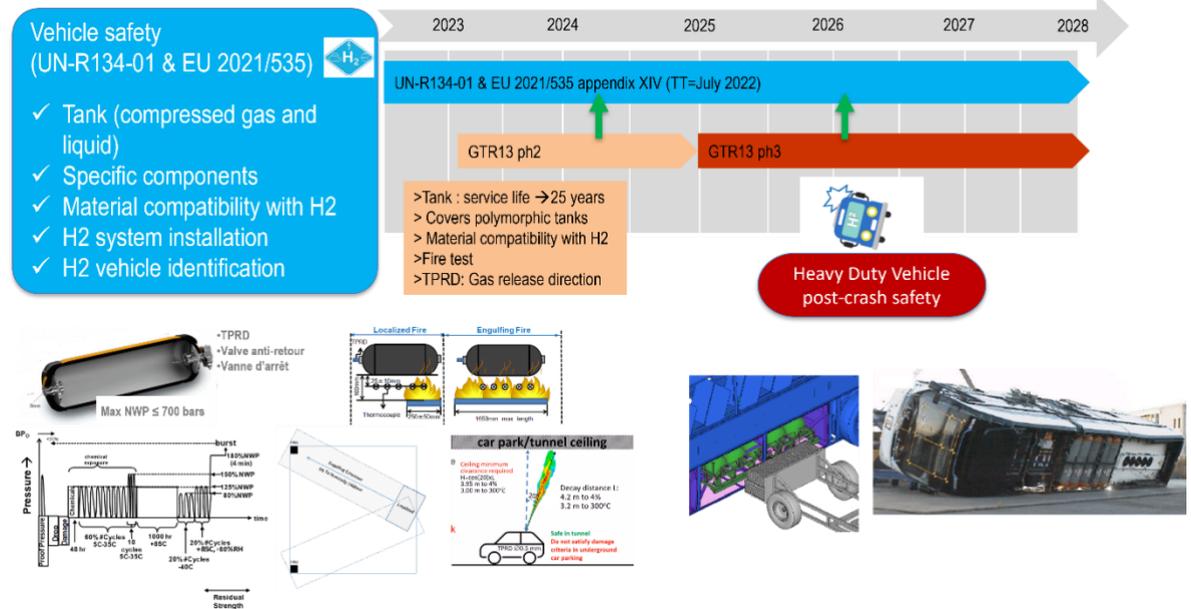
Les prescriptions adressant la sécurité des systèmes de stockage d'hydrogène liquide et les critères qualité matériaux (compatibilité des matériaux avec l'hydrogène) sont établis quant à elles dans le règlement (EU) 2021/535 (annexe XIV).

Le développement de la mobilité hydrogène, à des coûts raisonnables et en garantissant un niveau de sécurité optimale, serait favorisé par des évolutions réglementaires basées sur des critères de performance et non pas par des limitations/restrictions sur la conception des véhicules, systèmes et composants hydrogène.

En partant de ce point de vue, les évolutions attendues de la réglementation en vigueur offriront la possibilité d'homologuer des systèmes de stockage hydrogène avec une durée de vie en service allant jusqu'à 25 ans (usage véhicules transport de marchandise) et aussi de déployer des nouvelles technologies de réservoir (exemple des réservoirs polymorphes) permettant ainsi l'optimisation de la capacité de stockage à bord (masse d'hydrogène) par rapport au volume occupé (afin d'augmenter l'autonomie du véhicule).

Par ailleurs, des discussions dans le cadre du groupe de travail des Nations Unies GTR13 sont en cours et vise à harmoniser au niveau mondial les spécifications de sécurité pour les véhicules lourds. Le groupe souhaite donc introduire de nouvelles prescriptions d'essais de choc pour les véhicules poids lourd.

Fig. Evolution des prescriptions de sécurité véhicule fonctionnant à l'hydrogène, système et composants hydrogène



#### 4.2.2 Règlementation relative aux « masses et dimensions » favorisant l'utilisation des véhicules à carburant de substitution<sup>2</sup> ou à zéro émission<sup>3</sup>

##### 4.2.2.1 *Dérogation relative aux restrictions de « masses et dimensions » pour les véhicules routiers fonctionnant avec un carburant de substitution ou à zéro émission*

Depuis septembre 2020, et selon la directive européenne 96/53/CE telle que modifiée par le règlement (UE) 2019/1242, un véhicule utilitaire lourd peut disposer d'une dérogation aux restrictions de poids maximal autorisé de manière à permettre son immatriculation et son utilisation en trafic international et ce sous les conditions suivantes :

- ✓ Pour un véhicule à carburant de substitution<sup>2</sup>: le poids maximal autorisé est augmenté du poids supplémentaire imputable à la technologie permettant l'utilisation du carburant de substitution<sup>2</sup> dans la limite de 1 tonne.
- ✓ Pour un véhicule à zéro émission<sup>3</sup>: le poids maximal autorisé est augmenté du poids supplémentaire imputable à la technologie permettant l'absence d'émission<sup>3</sup> dans la limite de 2 tonnes.

Par ailleurs, le véhicule doit rester conforme aux prescriptions pour la réception par type relatives aux masses et dimensions du règlement (EU) 1230/2012.

##### 4.2.2.2 *Equivalences entre catégories du permis de conduire et autorisation spécifique pour les véhicules à carburant de substitution<sup>2</sup>*

La directive permis de conduire 2006/126/CE telle que modifiée par la directive (UE) 2018/645 permet d'autoriser les titulaires d'un permis de conduire de catégorie B, délivré depuis deux ans au moins, à conduire des véhicules à carburant de substitution<sup>2</sup> dont la masse maximale autorisée est supérieure à 3.5t mais n'excède pas 4.25t. Pour autant que l'excès de masse au-delà de 3.5t soit dû exclusivement à l'excès de masse du système de propulsion par rapport au système de

<sup>2</sup> carburant ou source d'énergie qui servent au moins partiellement, de substitut aux sources d'énergie fossile pour les transports et peuvent contribuer à la décarbonisation de ces derniers ainsi qu'à l'amélioration de la performance environnementale du secteur des transports ; ils comprennent : L'électricité, l'hydrogène, le gaz naturel (GNC, GNL), le gaz de pétrole liquéfié (GPL).

<sup>3</sup> un véhicule utilitaire lourd sans moteur à combustion interne ou équipé d'un moteur à combustion interne dont les émissions de CO2 sont inférieures à 1g/kWh telle que déterminées conformément au règlement (CE) n° 595/2009, ou inférieurs à 1g/km, telles que déterminées conformément au règlement (CE) n° 715/2007

propulsion d'un véhicule de même dimension équipé d'un moteur à combustion interne (source d'énergie fossile) et à condition que la capacité de charge ne soit pas augmentée par rapport à ce véhicule.

#### 4.2.3 Prescriptions pour la protection de l'environnement : réglementation émissions

Accompagnant les textes sur les énergies et les infrastructures, la révision des standards CO<sub>2</sub> est un enjeu fondamental dans la réalisation des objectifs « fit for 55 ».

Dans le même temps, les futures normes euro7 et Euro VII en préparation exigent de fortes réductions d'émissions polluantes. Le développement de solutions innovantes dans le domaine des moteurs à combustion interne, en utilisant l'hydrogène par exemple, pourront répondre à ces nouvelles normes d'émissions polluantes tout en contribuant significativement à la réduction du CO<sub>2</sub> bien que ne pouvant atteindre la valeur zéro à l'échappement. En complément des technologies batteries et pile à combustible, cette solution est pertinente dans un contexte d'utilisation de véhicules commerciaux avec de fortes charges et de longs parcours.

A ce jour, le règlement (UE) 2019/1242 définit un véhicule à zéro émission CO<sub>2</sub> comme « un véhicule utilitaire lourd sans moteur à combustion interne, ou avec un moteur à combustion interne qui émet moins de 1 g de CO<sub>2</sub>/kWh, tel que déterminé conformément au règlement (CE) n° 595/2009 et ses mesures d'exécution, ou qui émet moins de 1 g de CO<sub>2</sub>/km, tel que déterminé conformément au règlement (CE) n° 715/2007 du Parlement Européen et du Conseil ».

D'autre part, le règlement (UE) 2019/631 du Parlement Européen et du Conseil établissant des normes de performance en matière d'émissions de CO<sub>2</sub> pour les voitures particulières neuves et pour les véhicules utilitaires légers neufs, définit un « véhicule à émission nulle et à faibles émissions, par une voiture particulière ou un véhicule utilitaire léger ayant des valeurs d'émissions au tuyau d'échappement allant de zéro à 50 g de CO<sub>2</sub>/km, déterminées conformément au règlement (UE) 2017/1151 ». L'évolution envisagée de cette définition vers celle d'un véhicule à zéro émission comme ayant des valeurs d'émissions au tuyau d'échappement à 0 g de CO<sub>2</sub>/km provoquerait une distorsion entre les catégories de véhicules réduisant aussitôt l'intérêt du développement de cette solution pour les constructeurs et privant certains utilisateurs d'une technologie mieux adaptée à leur besoin.



## 5 Impact environnemental de la filière hydrogène

Les impacts environnementaux peuvent s'apprécier au travers de 4 grands aspects :

- L'analyse du cycle de vie (LCA)
- Economie circulaire et recyclage
- Risques liés à l'utilisation de substances chimiques
- Dépendance aux matières critiques

## 5.1 Impact environnemental sur l'ensemble du cycle de vie

L'analyse du cycle de vie est un élément essentiel pour jauger l'impact environnemental d'un véhicule en étudiant différents indicateurs d'impacts sur l'air, sur l'eau et sur les ressources.

Un véhicule hydrogène à pile combustible n'émet à l'échappement ni particules, ni polluants, ni CO<sub>2</sub> à l'usage du réservoir à la roue, le véhicule à moteur à combustion d'hydrogène présente également des émissions très faible (moins de 1g CO<sub>2</sub>/kWh et certains polluants - NO<sub>x</sub>). Par contre, dans un bilan puits à la roue, les émissions de CO<sub>2</sub> sont variables selon le mode de production et d'acheminement de l'hydrogène.

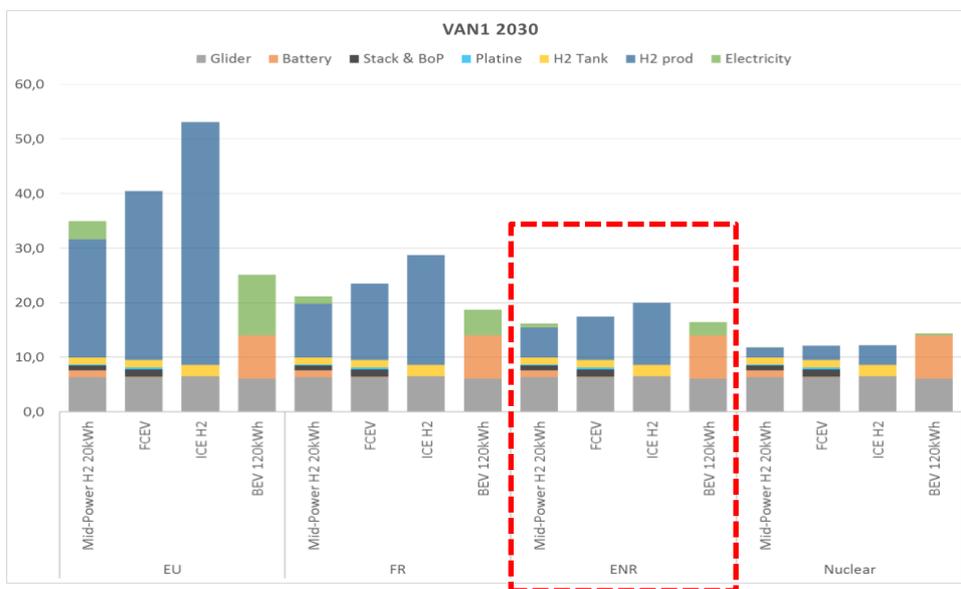
Les émissions pour le BEV sont également dépendantes du mix de production d'électricité.

*Emissions CO<sub>2</sub> du puits à la roue calculées pour la France et l'Europe pour différentes chaines de traction pour un véhicule utilitaire segment K1 en tCO<sub>2</sub>eq/vehicule en 2030.*



Au regard de cet exemple (véhicule utilitaire du segment K1) les différentes chaines de tractions (moteur thermique diesel, pile à combustible hydrogène – architecture mid-power et full power – électrique à batterie, et moteur thermique hydrogène) ont été évaluées. Les scénarios de "référence" diesel et vaporeformage de méthane pour la production d'hydrogène présente clairement les plus mauvais résultats en terme d'impact sur le réchauffement climatique.

Pour la mobilité hydrogène, il est indispensable de s'orienter vers un hydrogène décarboné, en particulier produit par électrolyse utilisant un mix électrique lui-même décarboné s'appuyant sur des énergies renouvelables mais également sur les nouvelles générations de réacteur nucléaire (SMR).



L'architecture type mid-power permet de disposer d'un impact CO2 sensiblement identique à la chaîne de traction électrique à batterie pure et apparaît plus favorable qu'une architecture full power.

La disponibilité d'un hydrogène décarboné est indispensable pour garantir un impact environnemental des véhicules à hydrogène limité.

## 5.2 Economie circulaire et recyclage

En fin de vie du véhicule, plusieurs options de recyclage des réservoirs d'Hydrogène en fibre composites sont en cours d'évaluation.

Les systèmes de stockage de l'hydrogène utilisant des réservoir haute pression – type 4 – qui sont conçus pour la durée du véhicule, dans l'état actuel des connaissances ne présentent pas de dégradation des fonctionnalités au cours du temps. Il est donc légitime d'envisager de réutiliser ces réservoirs pour un nouvel usage (de mobilité ou pour des usages stationnaires). Des contrôles, dont les modalités sont encore à définir, devront probablement être effectués pour en garantir ce nouvel usage.

L'objectif ultime de la fin de vie des réservoirs est le recyclage et la revalorisation de la fibre de carbone. Des techniques de recyclage à fort potentiel sont à l'étude telles que le broyage et la réutilisation en tant que charge dans une matrice similaire ou la calcination pour récupération de la fibre longue. La fibre de carbone recyclée, dont les propriétés mécaniques sont inférieures à la fibre neuve pourra être aussi réutilisée dans des applications moins contraignantes (pièces mécaniques simples). La filière de recyclage des réservoirs haute pression se mettra en place progressivement en parallèle du déploiement massif des véhicules hydrogène.

Concernant le système pile à combustible et plus particulièrement le stack, le développement d'une filière de recyclage est à mettre en œuvre.

Cependant les matériaux constitutifs (métal) devraient faciliter le recyclage. La collecte est classique (ce n'est pas un déchet dangereux) et sur l'assemblage membrane électrode (AME) le recyclage des catalyseurs (Pt) pourrait se faire au travers de la filière existante de recyclage des pots catalytiques (filière très efficace), le platine pouvant être récupéré et réutilisé à plus de 95%<sup>4</sup>.

<sup>4</sup> Source : Umicore

### 5.3 Matériaux critiques – Substances chimiques à risque

Le platine (Pt) est le seul matériau critique<sup>5</sup> intervenant dans la conception des systèmes fuel cell. Une vigilance est à avoir sur la concentration de la production (Afrique du Sud et Russie) et les critères de responsabilité sociale et environnementale. Cf. position technique PFA spécifique « Les matériaux stratégiques : Situation et propositions de l'industrie automobile française ».

La quantité de Pt actuellement utilisé pour les piles à combustible (supérieur à 0,1gPt/kW) reste encore élevé au regard des quantités de Pt utilisés dans les systèmes de dépollution des motorisations thermiques, un effort significatif sur la réduction de la quantité de Pt est à réaliser. L'aspect ressource en Pt n'est du coup pas nécessairement une problématique majeure du véhicule pile à combustible.

La problématique de matériaux critiques sur les autres constituants de la chaîne de traction (batteries en particulier) est identique à celle des véhicules électriques à batteries ; néanmoins le dimensionnement énergétique de la batterie pour les solutions pile à combustible améliore la situation.

Un point d'attention est à porter sur certaines substances chimiques en particulier les substances perfluoroalkylées et polyfluoroalkylées (PFAS) qui forment un groupe de plus de 4700 composés utilisés dans de nombreux procédés industriels et produits de consommation. Les membranes de piles à combustible reposent en particulier sur des membranes acides perfluorosulfonique (PFSA). Cette substance est essentielle actuellement à la fabrication des piles à combustibles et des électrolyseurs. Il n'existe pas à ce stade d'alternative crédible pour atteindre des niveaux de performances similaires. Les risques d'exposition directe à ces substances sont limités (que ce soit au regard de l'environnement ou de l'exposition à l'humain). La quantité de PFSA est de l'ordre de 0,2 à 0,4kg de PFSA pour une pile à combustible de 100kW.

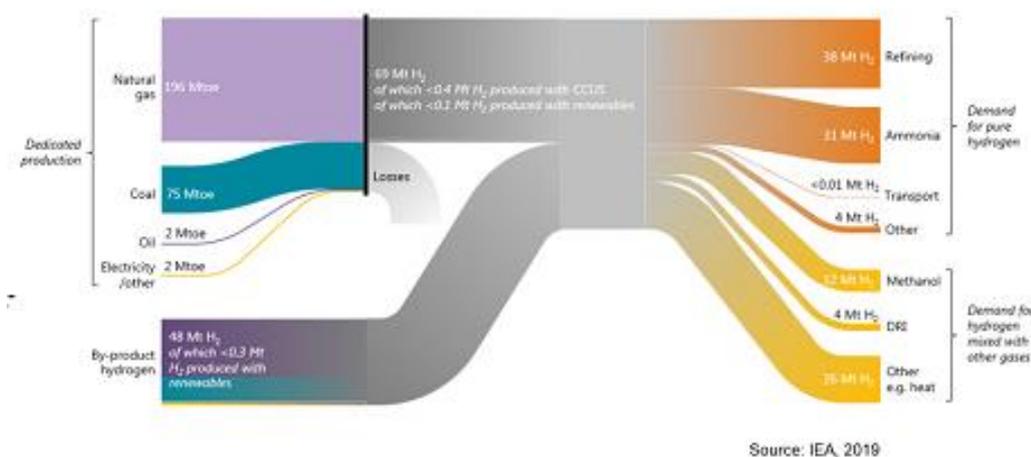
---

<sup>5</sup> Matériau sensible = définition à mettre

## 6 Enjeux marchés

Dans le domaine du transport, la demande H2 est encore très limitée et représente aujourd'hui moins de 1% de la consommation mondiale de l'hydrogène qui est essentiellement liée à la consommation dans le domaine industriel.

Répartition production / consommation d'H2 par secteur, IEA 2019



Le marché mondial actuel est essentiellement un marché d'amorçage basé sur des Véhicules Utilitaires, des flottes professionnelles de type taxis, des bus, des camions, et sur des marchés de niche pour des véhicules particuliers « full power », des segments haut de gamme (D et plus) dont le prix de vente facial (primes déduites) est supérieur à 50 000€. Il circule à l'heure actuelle dans le monde plusieurs dizaines de milliers de véhicules particuliers répartis entre le Japon, la Californie, la Corée et l'Europe, un millier de VUL et quelques centaines de bus.

En France, le marché démarre par les Véhicules Utilitaires Légers, proposés par nos constructeurs et les flottes de taxis basés sur des offres Japonaise ou Coréenne.

Ce marché est actuellement entre autres limité par le nombre de stations délivrant de l'H2 (49 stations en France à fin 2021).

Le plan français de déploiement de l'hydrogène pour la transition énergétique, présenté en juin 2018 et révisé en 2021, prévoit le déploiement d'écosystèmes territoriaux de mobilité hydrogène sur la base notamment de flottes de véhicules professionnels soutenues par une infrastructure adaptée :

- 5 000 véhicules utilitaires légers vendus et 200 véhicules lourds (bus, camions, TER, bateaux) avant fin 2024 ainsi que la construction de 100 stations, alimentées en hydrogène produit localement à cet horizon ;
- De 20 000 à 50 000 véhicules utilitaires légers vendus, 800 à 1000 véhicules lourds à l'horizon 2028, avec de 400 à 1000 stations
- Près de 300 000 véhicules roulants sont imaginés en France en 2030

La filière automobile dans son contrat stratégique de filière 2018-2022 intègre explicitement l'objectif de création d'une filière hydrogène française compétitive pour développer les usages de mobilité.

En complément, ont été signés en juin 2019 :

- Le premier contrat du Comité Stratégique de Filière concernant les nouveaux systèmes énergétiques (l'hydrogène se retrouvant au cœur de ces systèmes)
- Un Engagement pour la Croissance Verte (ECV) relatif à la production d'hydrogène décarboné pour l'industrie
- Un ECV relatif à la mobilité routière dans lequel les industriels s'engagent à développer de nouveaux véhicules et composants hydrogène, des nouvelles stations de distribution d'hydrogène, mais aussi à déployer la mobilité hydrogène au travers d'écosystèmes territoriaux avec des objectifs quantifiés d'introduction de véhicules et de stations de recharge. De son côté, l'Etat prendra des dispositions législatives et réglementaires pour faciliter le déploiement des infrastructures et des véhicules hydrogène.

En avril 2021, un avenant au Contrat Stratégique de Filière a été signé reprenant ces objectifs, en lien avec la trajectoire de neutralité carbone en 2050.

Différents inducteurs peuvent faire évoluer le marché vers une pénétration plus importante de la technologie pile à combustible :

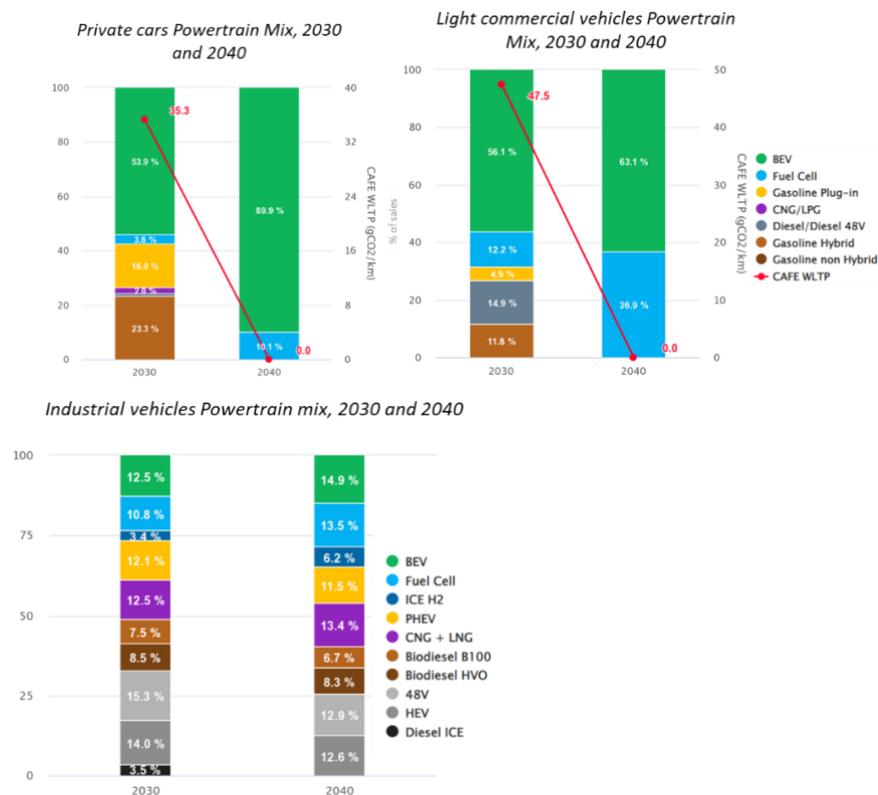
- Des stratégies Etatiques favorisant le vecteur hydrogène pour la mobilité, dans un écosystème global
- Les évolutions de réglementation réservant l'accès à certaines zones aux véhicules zéro émission
- Une acceptation sociétale favorisant le vecteur hydrogène.

La pénétration du marché est majoritairement impactée par le coût total de possession (TCO – Total Cost of Ownership), en particulier

- Le prix de la technologie (à l'achat ou sous forme de loyers)
- Le prix de l'H2
- Le coût d'entretien
- La valeur résiduelle du véhicule

A l'amorçage, un potentiel de marché important peut trouver sa place au travers de solutions mid-power offrant la synthèse la plus intéressante notamment d'un point de vue performance technique, environnementale et économique.

Le scénario de référence PFA (sur un modèle tiré par le TCO et développé en collaboration avec le BDO-BIPE) conduit à des parts de marché en Europe en 2030 en fonction des scénarios entre 2 et 3,6 % pour les VP, 6 et 12,2 % pour les VUL essentiellement des Véhicules Electriques à pile à combustible, et près de 15 % pour les camions dont un quart sera des véhicules hydrogène à combustion interne.



Ces résultats sont conditionnés à des coûts de l'hydrogène décarboné à la pompe, (de 6,93 € au kg en 2030 à 4,91€ au kg en 2040 – coûts taxés et margés) et au coût de revient des véhicules.

Et sont cohérents des scénarios nationaux exprimés en tant que cible de volumes en France.



Une des conditions de réussite majeure des différents plans – français ou internationaux - repose sur leur stabilité et leur capacité à accompagner les filières industrielles dans la durée ainsi que du déploiement de leurs écosystèmes.

## 7 Challenges à relever

### 7.1 Challenges techniques

Quelle que soit la cible de véhicules envisagés (VP, VUL, Bus, Camions...) il reste des verrous à lever sur les systèmes hydrogènes en terme de maturité, d'intégration et de coût.

*Challenges techniques sur les composants et process de fabrication d'un système pile à combustible hydrogène.*

	Maturité		Intégration		Coût		Remarques	
	VL	PL	VL	PL	VL	PL	VL	PL
<b>Pile à Combustible</b>								
Assemblage membrane électrode	↗	↗			↗	↗	Quantité de Pt, température de fonctionnement	
Plaque bipolaire	↗		↗					
Process assemblage	↗		↗		↗			
Durabilité	↗		n.a.	n.a.			>7000h	> 20000h
<b>Système Pile à Combustible</b>								
Compresseur	↗				↗	↗	Coût, intégration électronique	
Humidificateur	→		→		→		durabilité	
Tuyauterie H2								
recirculation H2							Recirculation passive, active	
Management thermique			→				Intégration pour système forte puissance	
Pompe de refroidissement								
Filtration d'air					↗	↗	Pic de pollution / qualité de l'air	
Contrôleur	↗		↗		↗	↗		
Capteurs / Actuateurs	↗		↗		↗	↗		
DCDC								
<b>Système de Stockage de l'Hydrogène</b>								
Réservoir	↗	↗	→		↗	↗	Intégration, coût + liquide	
Composants HP	→	→	→		↗	↗	Coût, nombre limité de fournisseurs	

↗ → ↘ = évolution par rapport à 2017

Les développements futurs de la technologie devront en priorité porter sur :

- Une forte réduction des coûts en particulier sur les briques technologiques suivantes : AME<sup>6</sup>, réservoir, DCDC, et management thermique.
- L'intégration du système de stockage de l'hydrogène (réservoir comprimé ou liquide) dans les véhicules, sans concession sur la sécurité et l'habitabilité.
- La gestion thermique, en particulier pour les architectures « full power », sans concession sur la durabilité du système, l'aérodynamique ou l'attractivité du style extérieur (un axe d'amélioration fort étant l'augmentation de la température de fonctionnement des piles à combustible).
- L'amélioration du rendement et de la durabilité des systèmes

---

<sup>6</sup> AME : Assemblage Membrane / Electrode

## 7.2 Challenge économique : vers la grande série

Pour les chaînes de tractions pile à combustible hydrogène le challenge économique réside essentiellement 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 très significatif dès lors que l'on sera en mesure de dépasser pour les systèmes automobiles des volumes supérieurs à 10 000 unités par an. Au regard des projections faites en 2019 et la présente vision faite pour l'horizon 2030, des ajustements ont été réalisés en terme de coût des éléments constitutifs d'une chaîne de traction hydrogène.

La filière estime, sur la base des travaux WAPO 2021, un coût de la pile à combustible de l'ordre de 745€/kW en 2022 avec une cible 2030 de l'ordre de 46€/kW, un coût du système de stockage de l'hydrogène de 2125€/kg d'hydrogène stocké en 2022 et une cible à 460€/kg en 2030.

*Evolution du coût des constituants de la chaîne de traction pile à combustible (WAPO 2021)*

	Hypothèses	WAPO 2021
Price of the battery pack	Starting point	174 €/kWh
	2030	69 €/kWh
Stack fuel cell prices	Starting point	745 €/kW
	2030	46 €/kW
Tank fuel cell prices	Starting point	2125 €/kg
	2030	460 €/kg
H2 price at the pump	Starting point	10 €/kg
	2030	6,93 €/kg
Balance of plant	Starting point	153 €/kW
	2030	12 €/kW
Other components	Starting point	24 €/kW
	2030	17 €/kW

## 7.3 Un hydrogène propre et compétitif

La question du coût de l'hydrogène et de son intensité carbone est essentielle dans l'écosystème hydrogène.

Le prix de vente de l'hydrogène doit être compatible d'un coût à l'usage compétitif pour les clients et d'un business model équilibré pour la chaîne industrielle amont.

Les principaux inducteurs de coût de l'hydrogène sont :

- La méthode et les volumes de production
- Le coût de l'énergie primaire en particulier de l'électricité
- L'amortissement des investissements
- Le type de transport : sous forme gazeuse / liquide, par camion, par pipe-line, faiblement ou fortement comprimé
- Le type de stockage associé (en surface, en cavités)
- Coûts de distribution (entre autres dépendant du dimensionnement et du taux de charge des stations)
- Les scénarios de taxation et de marge

Les prix actuels se situent entre 10 et 14 €/kg.

L'étude PFA / BIPE-BDO « mix énergétique 2021 » montre qu'un coût de l'hydrogène décarboné possible délivré au client pourrait se situer en scénario central autour de 6.93 €/kg H2 (taxé, margé) à horizon 2030 et de 4,91€/kg H2 à horizon 2040.

Le caractère décarboné et renouvelable de l'hydrogène devra être conforme aux directives européennes en la matière.

La Stratégie nationale française hydrogène poursuit le déploiement de 6,5 GW de capacités d'électrolyse et la fourniture de 20 à 40 % d'hydrogène décarboné dans la consommation d'hydrogène nationale à horizon 2030. Ces cibles représentent jusqu'à plus de 600 000 tonnes d'hydrogène décarboné à produire chaque année, contribuant à réduire de 6 millions de tonnes les émissions de CO<sub>2</sub> de la France par an dans deux secteurs privilégiés : l'industrie et la mobilité.

En juillet 2020, l'Union européenne a adopté sa propre Stratégie hydrogène pour une Europe climatiquement neutre, et a fixé des objectifs de 6 GW de capacités d'électrolyse et 1 million de tonnes d'hydrogène décarboné en 2024, puis de 2 x 40 GW d'électrolyse et de 10 millions de tonnes pour 2030.

*Stratégie nationale française pour le développement de l'hydrogène décarboné*

### 2030 - OBJECTIFS de la Stratégie nationale

pour le développement de l'hydrogène décarboné en France



\* 5 MW d'électrolyse déployés en 2020



\* soit les émissions de la Ville de Paris sur une année

### Développement de la production d'hydrogène pour l'industrie et les nouveaux usages



\* hydrogène issu de sources fossiles.

Une roadmap de production / stockage / distribution d'hydrogène vert et compétitif est à soutenir.

Un focus particulier doit être mis sur la problématique de stockage longue durée, à la fois sur les solutions, la faisabilité technologique et sur les conditions économiques.

#### 7.4 Un tissu fournisseur à développer

Capacité des acteurs (connus de la PFA) actifs et potentiels sur les technologies piles à combustible à hydrogène

		France	Europe
Stack	Assemblage membrane électrode		
	Plaque bipolaire		
	Assemblage / packaging du stack		
Système PàC	Compresseur		
	Tuyauterie Hydrogène (injection, purge)		
	Gestion thermique (échangeur / ventilateur)		
	Recirculation H2 (active / passive)		
	Filtration d'air		
	Contrôle / commande		
	Capteurs		
Stockage H2	DCDC		
	Réservoir		
	Tête de bouteille		
	Ligne de remplissage - Safety		
Intégration système	Constructeurs, intégrateurs		
Economie circulaire	Economie circulaire, recyclage		

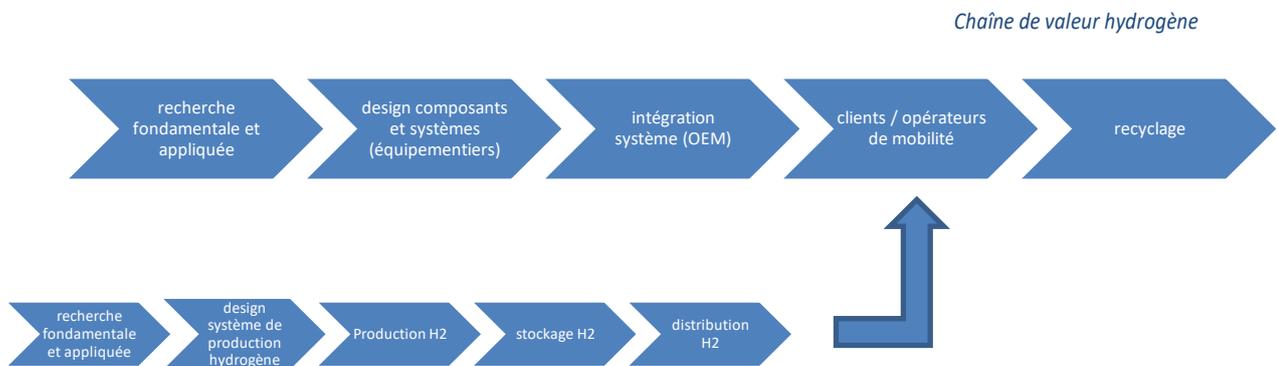
	acteurs positionnés		acteurs potentiels		Peu ou pas d'acteurs identifiés
--	---------------------	--	--------------------	--	---------------------------------

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

- Le développement d'AME au meilleur niveau de performance (élévation de la température de fonctionnement et coût amélioré)
- Le développement de technologies de compresseur à un coût compatible d'une production de masse
- Le développement de composants pour la ligne de remplissage HP sans compromis sur la sécurité
- Le développement de l'économie circulaire qui reste à construire et à évaluer
- Le développement de convertisseur de tension DCDC à un coût compétitif

## 7.5 Un accompagnement politique

Des financements en accompagnement à la R&D, au déploiement des infrastructures et des véhicules sur la totalité de la chaîne de valeur sont proposés pour permettre de passer à l'échelle industrielle.



Un soutien public est nécessaire :

- Soutien à la R&D et au déploiement industriel, sur l'ensemble des chaînes de valeur (amont et aval)
- Soutien à l'achat des véhicules et à l'hydrogène vendu en station pour permettre d'atteindre un TCO compétitif, tant que les volumes ne sont pas suffisants.

Ces soutiens doivent s'inscrire dans la dynamique de soutien Européenne.

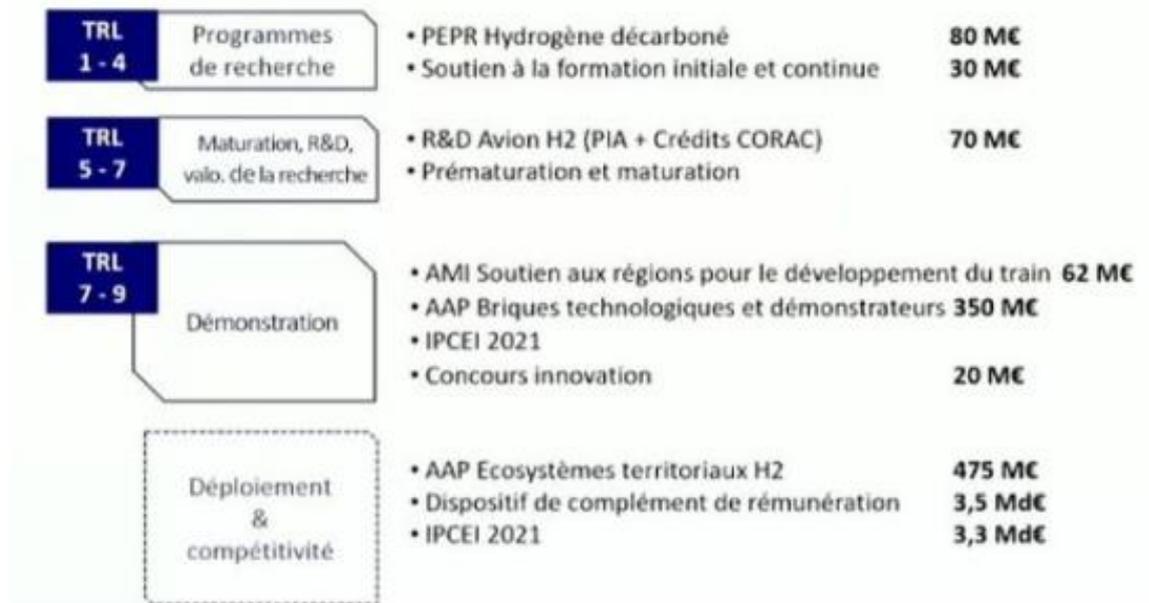
Les priorités du gouvernement français dans la stratégie nationale sont :

- Développer une industrie française de l'électrolyse.
- Décarboner l'industrie en remplaçant l'hydrogène carboné actuellement utilisé.
- Développer une offre de mobilité lourde à hydrogène.
- Développer des projets territoriaux d'envergure en favorisant le partage des usages.
- Soutenir la recherche, l'innovation et le développement des compétences.

L'hydrogène répond au besoin de longue autonomie et d'usages intensifs, notamment pour les flottes captives qui parcourent de longues distances en flux tendu : Véhicules Utilitaires Légers (VUL), Poids Lourds (PL), bus, Véhicules de Collecte des Ordures (VCR).

La stratégie pour le développement d'un hydrogène décarboné en France a été annoncée par le gouvernement le 8 septembre 2020. Elle prévoyait 7,2 milliards d'euros de soutien public d'ici 2030, dont 2 milliards d'euros d'ici 2022, dans le cadre de France Relance et des Investissements d'Avenir, auxquels se sont rajoutés 1,9 milliard d'euro en 2021 dans le cadre du plan France 2030.

Dans le cadre de France Relance, des projets de R&D et d'intégration de technologies hydrogène ont d'ores et déjà été soutenus. Un dispositif d'aide « briques technologiques et démonstrateurs hydrogène » est d'ores et déjà opéré par l'ADEME. Un second appel à projets « écosystèmes territoriaux », également opéré par l'ADEME, permet de soutenir la production par électrolyse et la mobilité hydrogène. Des projets d'envergure pouvant bénéficier d'un accompagnement dans le cadre de l'IPCEI (Important Projects for Common European Interest) ont d'ores et déjà été prés notifiés en 2021 (5 pour la mobilité et un en cours d'instruction).



Au niveau européen, le financement a été défini pour permettre le développement de grands projets afin d'assurer la mobilité H2. Les financements européens ont augmenté sur les technologies H2 mais aucun mécanisme de subvention n'est disponible pour faciliter les premiers déploiements de véhicules (légers et lourds). L' IPCEI est essentiel pour le secteur français de la mobilité, mais le processus reste complexe et long.

Document rédigé avec la contribution des équipes suivantes :

Jean-Bernard LEPAGE	FORVIA
Valérie BOUILLON-DELPORTE	MICHELIN
Beatrice LACOUT	PLASTIC OMNIUM
Robert LASSARTESES	RENAULT
Catherine GIRARD	
Gilles ABDELAZIZ	
Salim ABDENNADHER	
Sophie RICHET	STELLANTIS
Christian MAUGY	
Jean-Luc BROSSARD	STELLANTIS / PFA
Jean-Francois GIROUX	VALEO