

## Proposition de création d'une chaire « Hydrogène et énergies dé-carbonées pour l'industrie, les transports et les quartiers »

### 1. Résumé

**Intitulé de la chaire :** Hydrogène et énergies décarbonées pour les transports et les applications stationnaires

EPN : 1 ou 3

Laboratoire :

Rapporteur : Stéphane Lefebvre

#### Domaines d'expertises, mots-clés :

Énergie dé-carbonée – « Sustainability » – Transports terrestres et aériens – réseau de distribution – Industrie – Batiments – Eco-quartiers

#### État de l'art au CNAM, en France, à l'international :

En se focalisant sur l'enseignement :

- Pas d'enseignements spécifiques au Cnam sur la production d'hydrogène (gaz naturel, biomasse, électrolyseurs) et ses utilisations potentielles (industrie, transport, ville).
- De nombreuses écoles d'ingénieur dans le domaine de la chimie « produisent » un nombre « suffisant » d'ingénieurs permettant d'accompagner le développement des piles à combustible notamment.
- Les besoins se situent plutôt au niveau infra Bac (campus des métiers, <https://www.education.gouv.fr/transition-energetique-eco-industrie-les-campus-des-metiers-et-des-qualifications-9581>), Bac+1, Bac+3 et reconversions professionnelles (secteur automobile notamment).
- Plusieurs plans nationaux hydrogène importants et récents [1]: Japon, Corée, Chine, États-Unis, Australie ; et en Europe, l'Allemagne, les pays nordiques, la France, le Royaume Uni, l'Espagne...

La stratégie nationale pour le développement de l'hydrogène décarboné mise sur le renforcement des compétences, afin de **soutenir le développement des usages de l'hydrogène sur le territoire**. L'enjeu est de former à la spécificité du gaz hydrogène et de ses utilisations, aux composants et aux modalités d'intervention. Cela concerne à la fois des techniciens qui interviendront sur les véhicules, les responsables qualité – sécurité – environnement, les ingénieurs ou les chercheurs. Le plan met en avant les CMQ.

#### Impact économique et sociétal

Le secteur de l'hydrogène emploie aujourd'hui près de 2 000 personnes en France. Selon l'étude McKinsey [1] sur le développement de l'hydrogène pour l'économie française, environ 8,5 Md€ de chiffre d'affaires annuel sont attendus en 2030 et 40 Md€ en 2050, un potentiel à l'export de 6,5 Md€ d'ici 2030 et surtout plus de 40 000 emplois dans le secteur en 2030 et plus de 150 000 emplois en 2050 avec 10 à 12 Mt de CO<sub>2</sub> en moins en 2030 et 55 Mt en 2050.

Enfin, d'après [2] et sur les 4 secteurs d'activités suivants : « Concevoir-rechercher », « Préparer organiser », « produire-réaliser » et « Installer-maintenir », le potentiel d'emploi serait majoritairement dans le secteur de l'installation et de la maintenance avec des métiers en développement tels que « technicien thermoélectrique », « technicien conception réseau de gaz » ou encore « ingénieur power to gaz ».

### Conclusion

En se focalisant sur les applications de l'hydrogène, et sans oublier les applications liées à l'énergie, à l'injection de l'hydrogène dans le gaz naturel et à la cogénération associée à l'utilisation de piles à combustibles (PAC) stationnaires, il pourrait être pertinent de s'orienter vers les applications de transport (transports de flottes de véhicules ou transport lourd) et stationnaires de production d'énergie électrique. L'électrification des véhicules n'est pas aujourd'hui totalement aboutie (manque de techniciens compétents sur les chaînes de montage, d'opérateurs de maintenance, de garagistes spécialisés...) et cette chaire pourrait également contribuer à développer des formations dans ce domaine.

Un expert de l'hydrogène, avec une connaissance large des enjeux énergétiques et une très bonne connaissance des systèmes électriques pourrait être un excellent recrutement, dans une région fortement impliquée par le développement de l'hydrogène et permettant d'y associer plusieurs industriels (grands groupes et PME).

## 2. Argumentaire

### Etat de l'art de l'hydrogène, vecteur d'énergie et applications potentielles [1, 4, 5]

Pour limiter le changement climatique et réussir la transition énergétique, plus de la moitié des pays du G20 ont défini une stratégie hydrogène incluant la production, les utilisations, le transport, le stockage et une politique industrielle associée.

#### Hydrogène, vecteur d'énergie

Trois grandes catégories d'usages sont le plus souvent évoquées pour l'hydrogène : la production industrielle, le stockage de l'énergie et la mobilité. Deux principaux secteurs se distinguent : l'hydrogène « **matière première** » pour l'industrie et l'hydrogène « **énergie** » pour les mobilités ou la production stationnaire d'électricité.

**L'hydrogène matière première** est utilisé notamment dans les raffineries pour produire des carburants légers ou désulfurés, dans la chimie pour produire de l'ammoniac et des engrais et potentiellement dans la sidérurgie pour produire les aciers en réduisant le minerai de fer. L'hydrogène matière première correspond aujourd'hui à l'utilisation principale de l'hydrogène (50 % de la demande mondiale pour convertir les fractions lourdes de pétrole en produits légers et désulfurer les produits finaux et 45% pour la production des engrais).

**L'hydrogène énergie** : Peut être utilisé en combustion en apport au gaz naturel (ou à terme en remplacement) ou dans une pile à combustible (PAC) pour la production d'électricité. Son utilisation est à ce jour très modeste (< à 5% de la demande mondiale).

Les usages de l'hydrogène « énergie » envisagés dans le futur concernent l'injection dans les réseaux de gaz naturel, la transformation en méthane ou en carburants liquides (e-fuels et carburants de synthèse pour le transport aérien) ou la production d'électricité par conversion directe dans des PAC stationnaires (alimentation d'éco-quartiers ou de bâtiments) ou embarquées dans des véhicules. L'hydrogène est également évoqué comme un vecteur de stockage d'énergies solaires et éoliennes intermittentes, après production par électrolyse puis stockage (Power-to-Gaz) et reconversion en électricité par des PAC (Power-to-Gas-to-Power).

L'essentiel de l'hydrogène est actuellement produit par vaporeformage d'hydrocarbures (SMR pour Steam Methane Reforming). Les procédés sont matures, mais très fortement émetteurs de CO<sub>2</sub>.

**L'hydrogène, si sa production est décarbonée, peut devenir un vecteur d'énergie propre, et contrairement à l'électricité, ce vecteur d'énergie est stockable.**

- Il peut être produit avec séquestration du CO<sub>2</sub>, par reformage de la biomasse, vaporeformage du gaz naturel et gazéification du charbon.
- Il peut être également produit par électrolyse, ce procédé ne générant pas de CO<sub>2</sub>. Les procédés de production par électrolyse (alcaline, ou avec membranes échangeuses de protons "PEM") sont matures, mais plus coûteux que le vaporeformage. L'hydrogène produit par électrolyse n'a d'intérêt que s'il est associé à une production intermittente d'électricité (éolien et photovoltaïque).

D'après [1], le besoin le plus évident et immédiat est la substitution de l'hydrogène carboné issu des procédés de reformage par de l'hydrogène décarboné produit par électrolyse. C'est ce mode de production (en pleine évolution pour diminuer son coût et augmenter son efficacité) qui suscite actuellement dans de nombreux pays européens un véritable engouement, en présupposant que des capacités excédentaires de production intermittentes (solaire ou éolien) pourraient être utilisées pour produire et stocker de l'hydrogène. D'autres voies existent également telles que la production d'hydrogène à partir de biomasse.

Le système de certification CertifHy GO bénéficiant d'un soutien européen [1] retient trois types d'hydrogène : l'hydrogène gris issu des hydrocarbures sans capture de CO<sub>2</sub>, l'hydrogène bleu issu de sources non renouvelables mais avec un faible impact CO<sub>2</sub> (réduction de 60% d'émissions de CO<sub>2</sub> par rapport au reformage de méthane) et l'hydrogène vert dont la production respecte le plafond de CO<sub>2</sub> de l'hydrogène bleu, et est issu d'énergies renouvelables. La qualification d'hydrogène vert devrait être réservée à l'hydrogène décarboné (électrolyse avec de l'électricité décarbonée ou reformage avec capture et stockage et/ou utilisation du CO<sub>2</sub>).

#### **Applications de l'hydrogène :**

**Power to gaz to power :** L'hydrogène produit à partir d'énergies renouvelables excédentaires et stocké pourrait-être déstocké et converti en électricité lorsque la demande d'électricité dépasserait les capacités de production. Les rendements énergétiques globaux sont toutefois extrêmement faibles notamment pour la conversion double power to gaz to power (électrolyse et PAC). D'autre part, l'hydrogène électrolytique produit avec l'électricité renouvelable restera durablement plus cher (5 à 8 €/kg) que l'hydrogène de reformage (de 3,0 à 4,5 €/kg y compris la capture et le stockage du CO<sub>2</sub>) tant que les prix de marché du gaz naturel resteront faibles.

**La mobilité à base d'hydrogène** apporte une autonomie que ne permet pas la mobilité électrique exclusivement à base de batterie. Certaines mobilités (bateaux, trains, camions et bus) ne peuvent être décarbonées par des batteries électriques (densité massique et volumique d'énergie trop faible). A noter l'importance du coût du système embarqué qui inclut la production embarquée d'électricité (réservoir d'hydrogène, pile à combustible, batterie de stockage intermédiaire) et la chaîne de propulsion électrique dont l'électronique de puissance contrôlant les échanges de puissance entre la source (PAC associée à des éléments de stockage) et les charges électriques.

Les développements encourageants de la pile à combustible avaient conduit tous les constructeurs automobiles à abandonner la voie des moteurs thermiques à hydrogène à partir de 2010. Bien qu'en 2019, un regain d'intérêt semble apparaître au travers d'initiatives de sociétés étrangères

européennes (ULEMCo, Deutz-Keyou et BeHydro) [4], l'électrification des mobilités à l'aide des PAC semble toutefois largement prioritaire.

L'hydrogène peut être également utilisé dans des **piles à combustible stationnaires pour produire localement de l'électricité** (alimentation de bâtiments ou d'éco quartiers)

On peut également l'utiliser dans des turbines à gaz en cycle direct ou complété par une turbine à vapeur (cycle combiné). Les turbines actuelles, qui peuvent atteindre 60 % de rendement en cycle combiné, n'acceptent qu'une petite proportion d'hydrogène comme combustible, et le gaz naturel (émetteur de CO<sub>2</sub>) en reste le principal carburant. Elles ont cependant une meilleure durée de vie et permettent de plus fortes puissances que les PAC. Certains constructeurs développent des turbines à gaz 100 % hydrogène (Mitsubishi, Siemens, General Electric). Elles ne sont pas envisagées avant 2030.

Les différentes filières électricité, gaz et hydrogène sont interdépendantes et une approche systémique de la production et des usages de l'hydrogène est nécessaire.

Le modèle actuel, qui se caractérise par une consommation d'énergie en «silos» dans les transports, l'industrie, le gaz et le bâtiment ne peut pas permettre d'atteindre la neutralité climatique d'ici à 2050 de manière rentable. L'évolution du coût des solutions innovantes doit être prise en compte dans la manière dont un système énergétique est exploité. **Un ou une experte hydrogène doit donc également posséder un spectre large de compétences sur l'ensemble des énergies décarbonées.**

#### **Plan de relance et priorités nationales**

Le plan de déploiement de l'hydrogène pour la transition énergétique du 1er juillet 2018 (plan « Hulot ») avait fixé l'objectif que 10 % de l'hydrogène français soit produit par électrolyse en 2023 et 20 % à 25 % en 2028.

La stratégie nationale pour le développement de l'hydrogène décarboné en France (septembre 2020) prévoit une diminution des émissions de CO<sub>2</sub> (53 millions de tonnes émises par an en 2030 contre 80 émises par an aujourd'hui), une capacité de production d'hydrogène décarboné de 6,5 GW par électrolyse, et, pour les transports, priorité est donnée aux véhicules utilitaires et poids lourds, bus, trains à hydrogène, le développement des technologies et composants clés, le déploiement de projets pilotes pour des navettes fluviales et des navires fonctionnant à l'hydrogène, ainsi que l'accélération des efforts d'innovation en faveur d'un avion décarboné à hydrogène dont l'entrée en service pourrait avoir lieu au cours de la décennie 2030.

#### **Dans son rapport du 30 juin 2020, l'académie des technologies fixe plusieurs priorités :**

- La production décentralisée de l'hydrogène par électrolyse pour les usages industriels diffus, plutôt que par reformage du gaz naturel (bilan carbone positif).
- Distribution sur le territoire de l'hydrogène pour les mobilités.
- Injection d'hydrogène décarboné dans les réseaux de gaz.
- Développement de démonstrateurs industriels de systèmes de stockage (cavités salines) et de distribution 100 % hydrogène notamment pour l'approvisionnement énergétique des zones non interconnectées (ZNI) ou pour l'exportation.

#### **Concernant cette fois le plan de relance français détaillé le 3 septembre 2020 :**

Un investissement global de 3,4 Md€ est prévu pour le financement de la filière « hydrogène » d'ici 2023, et jusqu'à 7,2 Md€ d'ici à 2030. La stratégie nationale de l'hydrogène passera par plusieurs leviers :

- Soutien aux projets portés par les entreprises dans les territoires, afin notamment de favoriser l'émergence d'une offre française de solutions hydrogène.
- Mise en place d'un mécanisme de soutien à l'hydrogène produit par électrolyse de l'eau par appel d'offres et complément de rémunération.

- La mise en place d'un projet commun européen en vue de soutenir l'industrialisation sur le territoire et le développement de démonstrateurs.

Avec comme exemples de projets pouvant être soutenus :

- Financement de projets de recherche pour le développement des solutions décarbonées basées sur l'hydrogène pour le maritime et l'aviation.
- Développer et industrialiser des solutions françaises de piles à combustible, de réservoirs et de matériaux pour permettre le développement de véhicules à hydrogène pour la mobilité.
- Développer et industrialiser des solutions françaises d'électrolyseurs pour la production d'hydrogène bas carbone et la décarbonation de sites industriels.

### Partenaires économiques et sociétaux et compétences françaises dans le domaine

Les technologies clés (électrolyseur, biomasse, pile à combustible, réservoirs embarqués, etc.) existent, elles sont presque toutes matures et industrialisables.

Les grands intégrateurs français (Air Liquide, Engie, EDF, Total...) sont présents.

Air Liquide a annoncé la construction au Canada du plus grand électrolyseur PEM (Membrane échangeuse de protons) au monde, d'une capacité de 20 MW. Renault produit depuis fin 2019 des véhicules utilitaires légers à batterie électrique, avec un prolongateur d'autonomie à l'hydrogène, dont le cœur est une pile à combustible de petite puissance (5 kW). Le prolongateur permet de recharger la batterie y compris lorsque le véhicule est à l'arrêt. Le Master atteint une autonomie de 350 km contre 120 km sans hydrogène.

Les compétences industrielles française existent [1] sur quasiment toutes les technologies liées à l'hydrogène : PAC embarquée (Michelin-Symbio), PAC stationnaire (Areva SE, Helion...), réservoirs (Faurecia, Plastic Omnium...), Electrolyseurs (McPhy, Areva H2Gen). Le plan de relance met clairement l'accent sur la production d'hydrogène à partir d'électrolyseurs. Une attention particulière doit toutefois être portée à d'autres solutions alternatives telles que la biomasse avec captation et utilisation de carbone (Haffner Energy). La France ne possède pas, par contre et contrairement à l'Allemagne, suffisamment de PME pour la production des différents composants nécessaires à l'électronique de puissance associée aux PAC et aux motorisations pour véhicules électriques.

Toutes les régions françaises (à l'exception de la région Ile-de-France) sont impliquées dans le partenariat européen sur les vallées d'hydrogène (partenariat porté par quatre régions européennes dont deux françaises, l'Aragon, Auvergne-Rhône-Alpes, la Normandie et le nord des Pays-Bas). L'initiative « Fuel Cells and Hydrogen for Green Energy in European Cities and Regions » soutient la transition énergétique dans les régions et villes européennes dotées d'hydrogène et de piles à combustible. À ce jour, 89 régions et villes européennes de 22 pays participent à cette initiative (environ un quart de la population, de la superficie et du PIB de l'Europe). En France, ce sont les régions et villes suivantes qui sont à ce jour impliquées : Auvergne Rhône-Alpes, Bourgogne-Franche-Comté, Centre-Val de Loire, Grand Dole, Grenoble, La Roche sur Yon, Normandie, Occitanie-Pyrénées, Orléans, Pays de la Loire, Pays de St Gilles.

Les régions Auvergne Rhône-Alpes (AURA) et Normandie sont aujourd'hui parmi les plus dynamiques. A titre d'exemple, la région AURA va déployer à brève échéance 20 stations de recharge d'hydrogène permettant à des véhicules utilitaires et lourds de couvrir l'ensemble de la région. 1200 véhicules et 25 bennes à ordures sont attendus pour 2022. Une unité de production industrielle de fabrication de PAC va être implantée au sud de Lyon par Symbio (Michelin/Forestia). La région présente également à travers plusieurs acteurs industriels des compétences en stockage, transport et distribution de l'hydrogène. Elle met également en avant le besoin de travailler sur de nouvelles formations et certifications en lien avec les acteurs industriels du domaine. Enfin, Michelin et le CEA Grenoble sont deux poids lourds européens du domaine implantés dans la région.

## Impact économique et social, conditions d'équilibre économique du projet de création

**Hydrogène, vecteur d'énergie... De sa production à ses différentes utilisations mais également concernant les problématiques liées à la sécurité, la logistique et au transport de l'hydrogène**, de nombreuses EPN (EPN 1, 3, 4, 7, 9, 10, 15 et 16) et laboratoires de recherche du Cnam sont potentiellement fortement intéressés par cette chaire.

Il me semble toutefois extrêmement important que cette chaire soit clairement orientée dans le domaine des sciences pour l'ingénieur où elle pourrait aider à l'attractivité de plusieurs filières de formation.

Le plan de relance français place très clairement les territoires au cœur des préoccupations et des financements. L'ensemble des documents consultés et tous les entretiens effectués le confirment, et je serais donc partisan de **localiser cette chaire en région**.

Le plan de relance fait également clairement apparaître le soutien aux applications et usages de l'hydrogène. C'est dans les applications de l'hydrogène qu'un besoin de formations est le plus évident. Je serai donc également partisan à ce que ce soit **les usages de l'hydrogène qui soient privilégiés**, ce qui d'ailleurs correspond le mieux, me semble-t-il, à l'ADN du Cnam.

Parmi ces usages, on peut retenir :

- L'injection dans les réseaux de gaz naturels et à terme éventuellement le remplacement du gaz naturel par l'hydrogène.
- Les transports avec électrification massive des véhicules et utilisation de PAC (transports lourds, utilitaires et flottes de véhicules dans un premier temps).
- L'alimentation en gaz fortement hydrogéné et en énergie électrique (PAC stationnaires) de bâtiments et éco-quartiers avec possibilité de cogénération.
- Le stockage des surplus d'énergies intermittentes renouvelables (Power to Gaz) et éventuellement la production ensuite d'électricité à partir de l'hydrogène (Power to Gaz to Power) même si cette dernière solution a un rendement global de conversion très faible.

Plusieurs laboratoires du Cnam ont déjà des activités dans le domaine de l'hydrogène (SATIE) ou pourraient être intéressés pour les développer (Lafset, Lifse, Pimm). Toutefois, et dans la mesure où le poste serait localisé en région, l'affectation recherche pourrait être discutée avec le CNRS dans une de ses UMR, en favorisant toutefois des collaborations fortes avec les laboratoires du Cnam.

Enfin, un tel projet aurait besoin d'un appui à la fois régional et industriel.

## Activités attendues du titulaire de chaire

- Développer un diplôme d'ingénieur « Hydrogène », large spectre, HTT et FISA.
- Adosser le projet à un CMQ et développer des formations Bac+1, Bac+3 et ingénieur.
- Développer des formations de compréhension des grands enjeux énergétiques (énergies décarbonées) à destination d'élus locaux.
- Proposer des UE « hydrogène » à destination de l'EiCnam pour ses formations HTT et FISA déjà existantes, notamment en FOAD.
- Dans le domaine de la culture scientifique et technique, montrer et faire connaître dans les médias spécialisés et grand public les compétences et forces du Cnam sur la thématique « énergie décarbonée ».

## 2. Bibliographie

- [1] Rapport de l'académie des technologies, « Rôle de l'hydrogène dans une économie décarbonée », 30 juin 2020.
- [2] Cartographie des métiers de la filière hydrogène, pôle de compétitivité Derby (Développement des énergies renouvelables dans le bâtiment et l'industrie,  
<http://www.afhypac.org/documents/Emploi%20formation%20POLE%20DERBI.pdf>
- [3] « Plan de déploiement de l'hydrogène pour la transition énergétique» Ministère de la transition écologique et solidaire, juin 2018.
- [4] Association française pour l'hydrogène et les piles à combustible, Mémento de l'hydrogène, fiche 5.1.1, Moteurs thermiques à hydrogène, révision janvier 2020.  
<http://www.afhypac.org/documents/toutsavoir/Fiche%205.1.1%20Moteurs%20thermiques%20C3%A0%20hydroq%C3%A8ne%20Rev%20janv2020%20ThA.pdf>
- [5] International Renewable Energy Agency, "Hydrogen, a renewable energy perspective », 2nd Hydrogen Energy Ministerial Meeting, September 2019, Tokyo  
[https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2019/Sep/IRENA\\_Hydrogen\\_2019.pdf](https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2019/Sep/IRENA_Hydrogen_2019.pdf)
- [6] France Relance, les mesures du plan de relance, 3 septembre 2020  
[https://www.economie.gouv.fr/files/files/directions\\_services/plan-de-relance/annexe-fiche-mesures.pdf](https://www.economie.gouv.fr/files/files/directions_services/plan-de-relance/annexe-fiche-mesures.pdf)
- [7] European hydrogen valleys partnerships  
<https://s3platform.jrc.ec.europa.eu/documents/20182/424898/European+H2+Valleys+Partnership+-+Booklet-min.pdf/9955781c-03db-48c3-8603-1b420d9952d5>
- [8] Fuel Cells and Hydrogen for Green Energy in European Cities and Regions A Study for the Fuel Cell  
[https://www.fch.europa.eu/sites/default/files/181123\\_FCHJU\\_Regions\\_Cities\\_Final\\_Report\\_FINAL.pdf](https://www.fch.europa.eu/sites/default/files/181123_FCHJU_Regions_Cities_Final_Report_FINAL.pdf)

## Annexe 1 : Résumé des principaux programmes internationaux

**La Commission européenne a présenté le 8 juillet 2020, un plan stratégique pour l'hydrogène.** Le but est de développer la demande et les capacités de production d'hydrogène vert par électrolyse de l'eau à partir d'énergie renouvelable : un objectif de 6 gigawatts (GW) est fixé pour 2024, et 40 GW en 2030. Pour y parvenir, une « Alliance européenne pour un hydrogène propre » a été créée sur le modèle de l'« Alliance européenne des batteries », créée en 2017.

**L'Espagne** avec une politique orientée vers la mobilité terrestre. Plusieurs démonstrateurs et projets de production d'hydrogène par électrolyse à partir d'ENR (photovoltaïque et éolien) pour alimenter des parcs de véhicules. Le stockage massif d'électricité intermittente ne semble pas prioritaire

Les **USA** et le programme « hydrogène et PAC ». La transition vers un secteur de transports plus propres semble être le moteur principal du développement de nouvelles solutions de production d'hydrogène. Au second plan, on trouve les solutions Power-to-Gaz pour anticiper la transition vers une économie dépendante de moyens intermittents de production d'énergie.

Le **Royaume-Uni**, pays gazier, a pour priorité de décarboner la gaz naturel en y injectant une proportion très significative d'H<sub>2</sub>. La mobilité individuelle n'est pas prioritaire, mais la mobilité collective (bus, trains et ferrys) est programmée. La production d'hydrogène est envisagée par utilisation des surplus de renouvelable (PAC), mais aussi par reformage de méthane produit à partir de biomasse avec CCS (Carbon Capture and Storage).

Le **Japon** a pour objectif principal de réduire ses importations et sa consommation de gaz naturel en sécurisant l'approvisionnement à partir de pays partenaires (reformage après capture de CO<sub>2</sub> ou électrolyse) et l'exportation de technologies liées à l'H<sub>2</sub>. Les constructeurs automobiles japonais (Toyota, Honda...) ont l'ambition de maîtriser l'ensemble de la technologie hydrogène sans recours aux équipementiers.

**L'Allemagne** dans son plan « hydrogène » indique vouloir importer la quasi-totalité (80 %) de ses besoins en hydrogène pour décarboner sa mobilité, son industrie et ses besoins de chaleur et de compenser ces importations par l'exportation de technologie (électrolyseurs et piles à combustible) avec la formation de main d'œuvre. Concernant les mobilités, le plan allemand se concentre sur les transports lourds (camions, trains, flottes de bus et d'automobiles) et pas sur le marché automobile grand public qui serait assuré par la propulsion électrique. Pour décarboner l'industrie, le plan allemand prévoirait de s'attaquer à la décarbonation des cimenteries et de l'acier grâce à l'hydrogène « bleu » (CCS) et « turquoise » (pyrolyse) qui serait considéré au même rang que le « vert » pour le remplacement d'hydrogène « gris »

La **Corée** présente un plan de développement de la filière hydrogène tourné initialement vers l'industrie automobile (Hunday a été un des premiers constructeur automobile à lancer des véhicules particuliers à hydrogène (FCEV)). Hunday, comme Toyota, exporte ses voitures à hydrogène, en particulier, pour la moitié d'entre elles, en Californie. En 2018, le plan du gouvernement a été élargi à la production et au transport d'H<sub>2</sub>. En 2019, un nouveau plan beaucoup plus ambitieux a été lancé qui concerne cette fois toute l'économie de l'H<sub>2</sub>. La Corée annonce vouloir être le pays leader dans ce domaine. Trois villes seront entièrement hydrogène compatibles en 2022. Elles seront équipées d'un réseau de distribution par gazoduc d'hydrogène et l'énergie dans le bâti (éclairage, chauffage) et la mobilité sera basée sur cette énergie (gaz) et sur des piles à combustible (production d'électricité). Tous les domaines hors aviation sont ciblés, véhicules individuels, bus, camions, navires côtiers et trains. L'objectif coréen est d'atteindre en 2025 100 000 FCEV/an pour, en 2040, en avoir produit environ 6 millions et exporté la moitié.



## Annexe 2 : Personnalités rencontrées

**Catherine Algani**, Directrice de l'EPN 3.

**Patrick Benammar**, Vice-Président Learning et Développement Renault et président du CA d'Ingénieurs2000 (rencontre prévue le 15 septembre).

**Thibaut Duchêne**, Adjoint de l'Administrateur général en charge de la stratégie et du développement.

**Alexandre Garcia**, Directeur de l'EPN 4.

**Philippe Haffner**, co-dirigeant de la start-up Haffner Energy (production d'hydrogène à partir de biomasse).

**Daniel Hissel**, professeur de l'université de Franche-Comté et chercheur à l'Institut FEMTO-ST, co-fondateur d'une start-up pour des piles à hydrogène plus performantes, Médaille de l'innovation du CNRS 2020.

**Françoise Lamnabhi-Lagarrigue**, Directrice de recherche émérite au CNRS, lauréate du prix Irène Joliot-Curie 2019 de la femme scientifique de l'année pour ses travaux dans le domaine de l'automatique et vice-présidente de l'assemblée des chaires.

**Christophe Marvillet**, Directeur de l'EPN 1.

**Samy Rémita**, Directeur de l'EPN 7.

### Region Auverne Rhône-Alpes :

**Mathilde Cadic**, chargée de mission à Bruxelles, **Cathy Fillie Rondenet**, chargée de mission formation industrie et énergie, **Brigitte Ducourtil**, chargée de mission environnement, **Laurence Minne**, chargée de mission recherche et innovation.

**David Benech**, Directeur opérationnel du Réseau Auto'Mobilités Auvergne-Rhône-Alpes, Plateforme Pédagogique Partagée de l'Électromobilité (CMQ).

**Région Normandie**, échange programmé le 7 octobre 2020.