

Un cursus d'excellence pour former des ingénieurs-experts en matière d'hydrogène-énergie

Par Pr Nadia YOUSFI STEINER
Professeure des universités

Lauréat du programme « Initiatives d'excellence en formations innovantes » mis en place par le gouvernement en 2012, le cursus Master en ingénierie (CMI) du réseau FIGURE a conduit à une transformation profonde et durable des universités tant en termes de pratiques d'enseignement qu'en termes de qualité des formations dispensées. Le CMI H3E est l'un de ces cursus ; il a été créé en 2014 à l'Université de Franche-Comté pour former des cadres scientifiques et techniques aux métiers de l'hydrogène, des étudiants devant faire preuve de capacités d'innovation et d'une ouverture sociétale renforcées.

Bénéficiant d'un écosystème Formation-Recherche-Industrie exceptionnel – deux grands laboratoires pionniers dans le domaine de l'hydrogène, un tissu industriel fortement impliqué, une région labélisée « Territoire Hydrogène » dès 2016 et une université qui compte l'hydrogène parmi ses thèmes prioritaires de formation –, le CMI H3E œuvre à proposer une formation d'excellence pour une filière en plein essor. Il s'appuie pour cela sur une offre de formation se déclinant en deux masters (en ingénierie électrique et en ingénierie thermique) et sur un corps professoral constitué d'experts reconnus.

La formation aux métiers de l'hydrogène, quels enjeux ?

L'hydrogène est aujourd'hui identifié comme une filière industrielle stratégique, respectueuse de l'environnement et créatrice de valeur et d'emplois dans les territoires européens⁽¹⁾. En France, elle est considérée comme étant l'une des filières prioritaires dans le cadre des plans France Relance et France 2030. On estime qu'à l'horizon 2030, plus de 100 000 emplois pourraient être créés ou adaptés pour la soutenir. Il s'agit là d'une formidable opportunité en termes d'insertion professionnelle qui s'inscrit au profit d'une filière en plein essor qui exprime d'ores et déjà un grand besoin en compétences clés et qui aura un impact majeur dans l'évolution de ces compétences pour des générations engagées et soucieuses de leur contribution à la transition énergétique.

Un large faisceau de compétences et de métiers est ainsi identifié par des acteurs industriels, académiques et socioéconomiques pour permettre à la fois l'implantation d'écosystèmes territoriaux et le déploiement d'une chaîne de valeur industrielle globale consolidée par un volet « Recherche et innovation fort »⁽²⁾. Accompagner la filière hydrogène dans les territoires signifie mettre

en place des chaînes de production d'équipements clés (*design* et fabrication de composants spécifiques, déploiement de systèmes de production et de stockage d'hydrogène, de cogénération et de véhicules à hydrogène), qu'il sera nécessaire de mettre en service, d'opérer et de maintenir. Il est donc urgent de répondre à ces besoins en compétences⁽³⁾ en développant une offre de formation adaptée qui assure un accompagnement durable de la filière.

C'est au sein d'un écosystème régional très favorable à l'hydrogène-énergie – qui est constitué de la région Bourgogne Franche-Comté, labélisée « Territoire Hydrogène » en 2016⁽⁴⁾, de deux laboratoires de pointe, FEMTO-ST et FCLAB, dont les premiers travaux de recherche sur l'hydrogène datent de 1999, ainsi que d'un tissu industriel et socioéconomique riche (Alstom, Colibri Énergie, Gaussin, Faurecia, etc.) – que naît et évolue tout naturellement la première formation sur l'hydrogène, au sein de l'Université de Franche-Comté : le CMI H3E – Cursus Master en ingénierie hydrogène-énergie et efficacité énergétique –, est ainsi le premier cursus à être mis en place en France pour répondre aux enjeux de cette nouvelle filière.

⁽¹⁾ Hydrogen Europe Research – Fuel Cell & Hydrogen Observatory, <https://www.fchobservatory.u/observatory/education-and-training>

⁽²⁾ GAUBY Thomas, « Adaptation des compétences métiers aux spécificités de l'hydrogène », Étude France Hydrogène, juin 2022.

⁽³⁾ L'axe 3 de la Stratégie nationale pour le développement de l'hydrogène décarboné en France est notamment consacré au développement de compétences en la matière.

⁽⁴⁾ Territoire Hydrogène, <https://www.bourgognefranche-comte.fr/ecologie>

Le cursus Master en ingénierie, une formation du réseau FIGURE et une nouvelle voie pour le métier d'ingénieur

Le réseau FIGURE (Formation d'InGénieur par les Universités de REcherche) est un réseau d'universités françaises qui a été créé en 2012 pour proposer un cursus de formation innovant en ingénierie au sein des universités : le CMI (Master en ingénierie).

Inspiré des normes internationales et complémentaire à la formation traditionnelle d'ingénieur dispensée en France, le CMI est un cursus universitaire adossé à une licence et à un master qui offre aux étudiants un complément en termes de formation, de projets et de stages. Il a pour objectif de former des cadres scientifiques et techniques afin qu'ils deviennent des moteurs de l'innovation, de l'activité économique et de la société en général. Lauréat du programme IDEFI (Initiatives d'excellence en formations innovantes) mis en place par le gouvernement français en 2012, ce nouveau cursus a conduit à une transformation profonde et durable des universités en termes de pratiques d'enseignement et de qualité des formations qu'elles organisent et développent grâce à un système d'assurance-qualité conçu selon les meilleurs standards internationaux.

Les CMIs sont construits comme des ensembles cohérents de pédagogie innovante, où les méthodes d'apprentissage sont basées sur des projets et des mises en situation professionnelle. Ils allient, dès l'entrée dans le cursus, les apports de la recherche à une solide formation disciplinaire théorique et pratique ainsi qu'à des pédagogies actives et à des disciplines offrant une ouverture sur la société. Les étudiants acquièrent ainsi une vision systémique de leur domaine d'expertise et développent une capacité à concevoir et à innover afin d'exercer des fonctions d'ingénieur spécialiste au service de la conduite de projets complexes s'inscrivant dans des environnements professionnels interculturels. Les programmes du réseau FIGURE respectent une charte nationale d'excellence ainsi que les processus d'accréditation et d'évaluation mis en place par le réseau et conduits par un comité d'accréditation et des comités de pairs composés d'experts indépendants. Un label national est attribué aux étudiants diplômés d'un master réalisé dans le cadre d'un cursus CMI.

À ce jour, le réseau FIGURE compte 31 universités membres situées en France ou à l'étranger, dont l'Université de Franche-Comté (uFC), et 104 CMI accrédités dans 18 domaines de formation (dont 9 à l'uFC). La plupart des CMIs dispensent une formation orientée vers les biens et les systèmes de production dans les secteurs des transports aériens et terrestres, de la construction, de l'agroalimentaire, des cosmétiques, de la pharmacie, de l'énergie, de l'environnement, des réseaux et des télécommunications. Elle a opéré une ouverture récente aux services dans les secteurs de l'aménagement du territoire, de la banque, de la finance, de l'édition et des médias numériques. Ces programmes sont menés en association avec 210 laboratoires coresponsables et plus de 400 entreprises.

Le CMI H3E, le cursus Master en Ingénierie, Hydrogène-énergie et Efficacité énergétique

Le CMI Hydrogène-énergie et Efficacité énergétique (H3E) est une formation qui a été créée au sein de l'Université de Franche-Comté en 2014. Adossée à une licence pour l'ingénieur (SPI) et à deux masters en ingénierie électrique et en ingénierie thermique, elle vise à former aux métiers d'ingénieur dans le domaine des nouvelles technologies de l'énergie, en particulier celles liées à l'hydrogène-énergie.

Nature des enseignements

Ce parcours universitaire permet l'acquisition progressive d'une spécialité en hydrogène, en passant par la constitution d'un socle disciplinaire majeur ainsi que par des cours apportant une ouverture en matière sociale, économique et culturelle.

Le volet disciplinaire permet l'acquisition de bases solides en matière d'hydrogène-énergie et d'ingénierie électrique ou thermique, en bénéficiant d'un appui fort de la recherche comme outil de formation qui donne aux étudiants un accès aux dernières avancées

scientifiques et technologiques réalisées dans le domaine. De son côté, le volet « Ouverture sociale, économique et culturelle » est fondamental dans la formation de l'étudiant ; il garantit l'acquisition de compétences numériques, organisationnelles, sociales, environnementales et culturelles. Il correspond à 20 % du temps de formation (~ 720 heures) et s'articule autour de trois axes principaux :

- Une ouverture à l'international à travers l'apprentissage des langues, doublée d'une ouverture interculturelle. Un niveau de certification en anglais est exigé en sortie du cursus et la mobilité à l'international est fortement encouragée tout au long des cinq années de la formation. Cette mobilité est exigée pour le CMI H3E dès la première année et est facilitée par l'ancrage de la formation au sein de deux laboratoires de pointe, dont les partenariats à l'international sont diversifiés.
- Le développement personnel de l'étudiant et un projet professionnel qui se construit progressivement au fil des cinq années d'étude.
- La connaissance des entreprises et des particularités de l'innovation, dès la troisième année de formation, avec des enseignements portant sur l'innovation et un accompagnement pour aider les étudiants dans leurs projets de création d'entreprises (voir la Figure 1 de la page suivante).



Figure 1 : Prise en main conduite dans le cadre de travaux pratiques (TP) sur les piles à combustible – Photo©Jemei S.

À l'issue des cinq années de formation, les étudiants doivent être capables d'analyser la pertinence du recours à l'hydrogène pour diverses applications, connaître les acteurs majeurs de la chaîne de valeur associée, comparer et choisir les meilleurs moyens de produire, de stocker, de distribuer et de consommer l'hydrogène, concevoir et opérer des systèmes stationnaires et embarqués, contribuer à développer une nouvelle activité dans une entreprise ou un écosystème hydrogène, appliquer la réglementation et gérer les risques : autant de thématiques émanant de réels besoins de terrain et surtout y répondant. Les débouchés offerts par cette formation se rattachent aux secteurs de la production, de la distribution et du stockage de l'énergie, y compris renouvelable, et de l'efficacité énergétique dans l'industrie, l'habitat et les transports.

Corps professoral

La majorité des intervenants sont des enseignants-chercheurs du domaine de l'hydrogène. Cela permet aux étudiants d'être informés des dernières avancées

de la recherche et de bénéficier d'un large réseau de recherche aux niveaux national et international. Les étudiants bénéficient également du retour d'expérience d'un large panel d'intervenants extérieurs, des acteurs clés de l'industrie ou du monde socioéconomique. Le fonctionnement en effectif limité permet d'assurer aux étudiants de meilleures conditions d'accueil et d'immersion au sein des laboratoires, un encadrement et un accompagnement de qualité et des échanges stimulants et personnalisés.

Que ce soit dans les métiers académiques ou de l'industrie, la formation est ouverte à l'alternance sur les deux dernières années du cursus, permettant ainsi à l'étudiant de s'immerger dans un milieu professionnel durant ses études. L'insertion professionnelle est excellente : le taux d'insertion est de 100 % à six mois.

Une implication forte des étudiants

Très présents dans des projets de vulgarisation et de sensibilisation en plus de leur implication pédagogique, les étudiants du cursus CMI H3E sont très fortement ancrés dans leur environnement scientifique et sociétal. Ils sont ainsi très actifs dans les activités de dissémination à travers leur participation à l'organisation de conférences, de *workshops* ou de forum internationaux ou encore dans des actions de diffusion scientifique et de vulgarisation à destination du grand public. Plusieurs projets étudiants sont ainsi conduits au sein d'écoles primaires : les étudiants y présentent de manière ludique et vulgarisée l'énergie et l'hydrogène et échangent avec les écoliers autour de ces thématiques. Un autre exemple est celui des parcours pédagogiques qui expliquent l'hydrogène, sa production, son stockage et son utilisation, au travers de vidéos, de kakémonos et de démonstrations pratiques. Ils sont organisés par les différentes promotions en partenariat avec l'industriel Engie et des laboratoires lors des éditions du forum Hydrogen Business for Climate et s'adressent à des groupes de scolaires et au grand public (voir la Figure 2 ci-dessous et la Figure 3 de la page suivante).

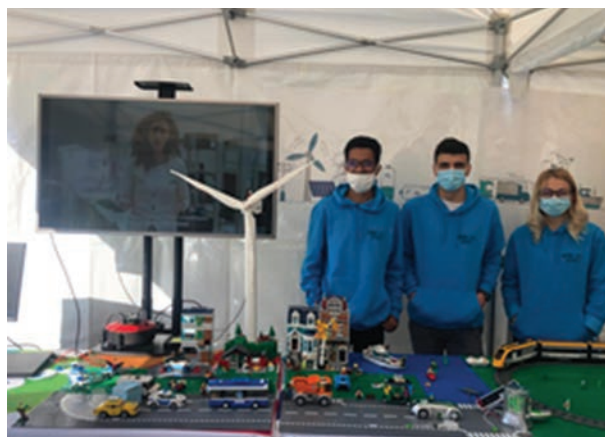


Figure 2 : Les étudiants du CMI H3E animant un parcours pédagogique – Photo©Véhicule du Futur – Forum Hydrogen Business for Climate.



Figure 3 : Intervention d'une étudiante en CMI H3E aux côtés de Mike Horn lors du forum Hydrogen Business for Climate, à Belfort en 2021 – Photo@Véhicule du Futur – Forum Hydrogen Business for Climate.

Reconnaissance du CMI H3E au niveau national

Le projet CMI H3E porté par l'Université Franche-Comté (uFC) a été récompensé par le prestigieux trophée de l'hydrogène, Hydrogénies 2022, prix de « la sensibilisation, de l'éducation et de la formation ». Ce trophée décerné par un jury composé des meilleurs experts

de la filière a été remis à l'uFC lors d'une cérémonie organisée à l'Assemblée nationale, le 15 mars 2022, par le député Michel Delpon, président du groupe d'études Hydrogène de l'Assemblée nationale, et Philippe Boucly, président de France Hydrogène (voir la Figure 4 ci-dessous).



Figure 4 : Les étudiants du CMI H3E lors de la cérémonie de remise du trophée Hydrogénies 2022, organisée à l'Assemblée nationale le 15 mars 2022 – Photo@Hydrogénies.eu

Deux grands laboratoires support

L'Unité d'appui et de recherche (UAR) CNRS FCLAB, par Marie-Cécile Péra, directrice et professeure à l'Université de Franche-Comté



Figure 5 : L'entrée de l'UAR CNRS FCLAB – Photo©Simon Daval_périples_Cie.

FCLAB (Fuel Cell LAB) est une unité d'appui et de recherche du CNRS, de l'Université de Franche-Comté, de l'Université de technologie de Belfort-Montbéliard et de Sup MicroMécanique. Elle est le fruit de plus de deux décennies de recherche et de développements technologiques sur les systèmes Hydrogène pour l'énergie à Belfort. FCLAB développe une offre de prestations s'adressant aux acteurs du domaine, allant de l'expertise de projets à la réalisation de campagnes d'essais et de formation continue. Elle assure ainsi un continuum recherche-valorisation, en s'appuyant sur l'expertise de ses équipes et sur l'animation scientifique du réseau se composant de ses laboratoires partenaires.

Les axes thématiques de ses travaux sont l'efficacité énergétique, la durabilité et la soutenabilité économique, sociétale et environnementale de la filière, de la production d'hydrogène par électrolyse, allant de son stockage à son utilisation dans des piles à combustible pour des applications transport et stationnaires (voir la Figure 6 ci-après).



Figure 6 : La chaîne de valeur hydrogène dans l'expertise de FCLAB – Photo©Simon Daval_périples_Cie.

FCLAB gère la plateforme Hydrogène-énergie, laquelle offre des capacités de test de composants hydrogène de puissance allant jusqu'à 120 kW, des tests réalisés sur des équipements uniques à l'échelle européenne. Elle dispose de huit cellules d'essai correspondant à une surface cumulée de 420 m² ; elles permettent la réalisation d'expérimentations dans un environnement permettant de manipuler de l'hydrogène en toute sécurité. Il est ainsi possible de tester des *stacks* et des systèmes complets ou partiels de piles à combustible, des électrolyseurs et des composants dédiés à la gestion de l'hydrogène. Des essais de très longue durée peuvent y être menés, 24 heures sur 24 et 7 jours sur 7. Partenaire du projet DURABILITHY, lequel est doté d'un financement total de 4,8 M€, l'UAR FCLAB va connaître un développement accéléré au cours des cinq prochaines années.

FCLAB contribue à la formation des ingénieurs en hydrogène-énergie du CMI H3E en accueillant des apprentis (deux à trois années de formation en continu), des étudiants dans le cadre de leurs projets et de leurs stages. De même, elle apporte un soutien à des actions d'information s'adressant au grand public et à des scolaires.

FEMTO-ST/Équipe SHARPAC, par Daniel Hissel, directeur, professeur à l'Université de Franche-Comté et directeur adjoint de la Fédération nationale de recherche sur l'hydrogène (FRH2)

Localisée à Belfort, l'équipe SHARPAC (Systèmes électriques Hybrides, ActionneurS électriques, systèmes Piles À Combustible) de l'Institut FEMTO-ST (UMR CNRS) se compose de 90 enseignants-chercheurs, chercheurs, ingénieurs et doctorants. Elle développe son activité scientifique dans les domaines applicatifs des véhicules électriques et des énergies renouvelables. Elle est particulièrement impliquée dans l'UAR CNRS FCLAB. L'équipe SHARPAC s'organise autour de six pôles scientifiques (batteries et accumulateurs, convertisseurs statiques, actionneurs électriques, micro-réseaux électriques, jumeaux numériques et systèmes hydrogène-énergie), où les recherches portent sur la conception, la durabilité, l'optimisation et l'intégration de systèmes pile à combustible et d'électrolyseurs dans les domaines du transport et du stationnaire. Ces activités s'appuient sur le savoir-faire expérimental unique mis en œuvre au sein de la plateforme Hydrogène-énergie de Belfort (voir les Figures 7 et 8 de la page suivante).

