

Training - Piles à combustible pour la mobilité



H2PAC-FR-P



Face-to-face only



5 days

Partie asynchrone à suivre avant la
partie en présentiel

Cette formation vise à initier les participants aux bases de fonctionnement d'une pile à combustible

Level

Skilled

Public

Ingénieurs et techniciens souhaitant comprendre les bases de la physique de fonctionnement d'une pile à combustible et les grands enjeux associés. Il est nécessaire d'avoir des bases en chimie, en électricité, en électronique et en contrôle/automatisme

Objectives

Les apprenants seront capables de mettre en œuvre les compétences suivantes :

- Comprendre et savoir expliquer le principe de fonctionnement des piles à combustible,
- Comprendre et savoir expliquer les enjeux techniques de la conception des cellules, stack et système complet,
- Comprendre les modes de fonctionnement des auxiliaires du système (boucle d'air, gestion thermique),
- Appréhender les contraintes d'architectures électriques des véhicules à hydrogène,
- Comprendre la démarche d'analyse de cycle de vie des piles à combustible.

Pedagogical & technical resources

Activités pédagogiques

Assessment of achievements

- Les stagiaires sont évalués au long de la formation au travers de phases applicatives et d'échanges avec le formateur
- Une évaluation à chaud peut également être effectuée en fin de formation et/ou en fin de module par des tests visant à vérifier la compréhension et l'intégration par les apprenants des connaissances correspondant aux objectifs de la formation

Prerequisites

Aucun prérequis n'est nécessaire pour suivre cette formation

Responsable

Formateur IFP Training, ayant une expertise dans le domaine et formé à des méthodes pédagogiques modernes adaptées aux besoins spécifiques des apprenants issus du milieu professionnel

Program

PROGRAMME ASYNCHRONE A SUIVRE AVANT LE COURS EN SYNCHRONE/PRESENTIEL

INTRODUCTION À L'HYDROGÈNE & HYDROGÈNE DANS LE CONTEXTE DE LA MOBILITÉ

L'hydrogène demain.

Production d'hydrogène.

Contexte de la mobilité de l'hydrogène.

Comment fonctionne une pile à combustible : généralités.

Le rendement global d'une pile à combustible.

Étude de cas à préparer : calcul les émissions de CO₂ du puits à la roue (Well to Wheel) d'un véhicule H₂ PAC avec différents types de production d'énergie à la source pour produire le H₂ (Eolienne, Charbon, nucléaire, procédé de vaporeformage : Steam Methane Reforming, SMR).

PROGRAMME EN SYNCHRONE/PRESENTIEL

CELLULE/STACK

2 jours

Introduction : de la cellule au stack :

- Fonctionnement d'une pile à combustible et généralités.
- Pourquoi le choix de la technologie PEM pour les applications de transport ?
- Composants clés de la cellule et matériaux utilisés.
- Fonction des couches constitutives de la cellule (couche diffusive, couche catalytique, membrane, plaque bipolaire).
- Le stack ou l'empilement de cellules : répondre à un cahier des charges en tension et puissance.

Électrochimie à l'échelle de la cellule :

- Thermodynamique et équation de Nernst.
- Les pertes de potentiel : les pertes par activation et par transport diffusif.
- Les pertes ohmiques à la membrane et la gestion de l'eau.
- Rendement électrique de cellule.
- Un modèle semi-empirique de PEMFC.
- Une autre approche de la modélisation PEMFC : la spectroscopie d'impédance (SIE).

Vieillessement/rodage des cellules :

- Phénoménologie : mécanismes physico-chimiques.
- Processus de rodage.
- Bonnes pratiques.

SYSTÈME

1 jour

Architecture Système :

- Les auxiliaires de la PAC : le Balance of Plant (BoP).
- La boucle d'air : e-compresseur, humidificateur, filtre à air, vannes et muffler.
- La boucle de H₂ : détendeur, injecteur, éjecteur, pompe de recirculation et vannes de purge.
- La boucle de refroidissement : radiateur, filtre dé-ionisant, pompe et préchauffeur de LDR.
- Intégration véhicule : contrainte système.
- Architecture d'un FCEV et gestion d'énergie : Full Power, Mid Power, Range Extender.

Contrôle système et vieillissement :

- Calibration des boucles d'air et H₂.
- Les principaux phénomènes de vieillissement dans une PEMFC.
- Stratégies de contrôle optimales pour prévenir le vieillissement.

Étude de cas : simulation PAC (sur Excel) et calibration de compresseur d'air :

- Utilisation d'un modèle semi-empirique de PEMFC pour prédire la courbe de polarisation à différentes pressions et stoechiométrie cathode.
- Calibration optimale de la boucle d'air basée sur le choix d'un compresseur d'air parmi deux candidats.

GESTION THERMIQUE

0,5 jour

Rappel des fondamentaux :

- Rappels sur les modes de transfert thermique (conduction, convection, rayonnement).
- Cas particuliers : contact thermique et matériaux d'interface thermique (TIM), changement de phase. Principes, lois, exemples pratiques.
- Réactions électrochimiques et thermodynamique électrochimique : applications des 1er et 2nd principes de thermodynamique, de la notion enthalpie libre et de l'équation de Nernst.
- Courbe de polarisation, identification des pertes thermiques et leurs enjeux, rendement électrique, rendement système.

Exigences thermiques :

- Sources et puits thermiques, bilan thermique.
- Exigences thermiques par ambiances froides : situations de vie et modes de défaillances, solutions.
- Exigences thermiques en besoin de refroidissement : interprétation du bilan thermique et énergétique, conditions optimales de fonctionnement, vieillissement, qualification des différents enjeux sur les différents systèmes thermiques.
- Conséquences : choix du mode de gestion thermique, fluide caloporteur, dimensionnement du système de refroidissement, impacts adaptation véhicule : façade aérothermique, entrées/extractions d'air, architecture fonctionnelle boucles fluidiques.
- Étude de cas : comparaison exigences thermiques GMP => systèmes thermiques véhicule pour 4 stratégies GMP : ICE / BEV / FCEV selon 2 modes de fonctionnement. Rendement global GMP, puissances de refroidissement, spécification coefficients d'échange thermique.

ÉLECTRONIQUE DE PUISSANCE

0,25 jour

Architectures électriques des systèmes hybrides pile à combustible-batterie et de la chaîne de conversion électromécanique :

- Bus DC ou AC.
- Degrés de liberté pour le contrôle et nombre de convertisseurs utilisés.

Topologies des convertisseurs couramment utilisés :

- Convertisseur DC-AC (onduleur).
- Convertisseurs DC-DC : non-isolés ou isolés, non-réversibles ou réversibles.

Contrôle de la gestion d'énergie : partage fréquentiel de la puissance entre une source d'énergie (ex : pile à combustible) et une source de puissance (ex : batterie).

MODÉLISATION ET SIMULATION SYSTÈME HYBRIDE À PILE À COMBUSTIBLE + BATTERIE (TRAVAUX DIRIGÉS)

0,75 jour

Considération d'un profil de mission urbain mixte d'un véhicule.

Dimensionnement (évaluation de la masse au 1er ordre) d'une pile à combustible seule pour fournir toute la puissance lors de la mission.

Analyse du profil de mission : potentiel d'hybridation de puissance (PHP), potentiel d'hybridation en énergie (PHE).

Considération d'un système énergétique hybride associant pile à combustible et composant de stockage

Dimensionnement d'un composant de stockage (type batterie) en adoptant un contrôle d'énergie basé sur un partage fréquentiel de la puissance.

Redimensionnement de la pile à combustible - Conclusion.

REPLISSAGE – SURALIMENTATION (BOUCLE AIR)

0,5 jour

Transformation de l'énergie mécanique en pression.

Terminologie, fonctionnement.

Triangle de vitesses, Équation d'Euler.

Puissance d'entraînement du compresseur.

Rendement de l'étage compresseur.

Caractérisation des performances du compresseur.

Contraintes applicables à la suralimentation de la pile à combustible.

Technologie de suralimentation en air :

- Conception Produit – Architecture.
- Conception Produit – Système de paliers à air.

Performance :

- Besoins en air de la Pile à Combustible.
- Optimisation du rendement du compresseur électrique.
- Limites physiques.

Sessions

Rueil-Malmaison - From 04/13/2026 to 04/17/2026

3040 €/HT

Rueil-Malmaison - From 11/30/2026 to 12/04/2026

3040 €/HT

To French entities : IFP Training is referenced to DataDock ; you may contact your OPCO about potential funding.

Please contact our disabled persons referent to check the accessibility of this training program : referent.handicap@ifptraining.com