



République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur
et de la Recherche Scientifique
Université de Tissemsilt



Faculté des Sciences et de la Technologie
Département des Sciences et de la Technologie

Mémoire de fin d'études pour l'obtention du diplôme
de Master académique en
Filière : **Génie Mécanique**
Spécialité : installation Energétique et turbo machine

Présentée par : **SERSOUB NASERDDINE**

Thème

**Effet de la temperature et la pression et la
concentration d hydrogene sur la performance d'une
pile a echange protoneus PEMFC**

Soutenu le,

Dr Medkour Mihoub

Devant le Jury :

Mr. MERGHACHE SIDI MOHAMED
Mr. MEDKOUR MIHOUB
Mr. KOUIDER MOSTAFA

Président
Encadreur
Examinatrice

M.C.A. Univ-Tissemsilt
M.C.B. Univ-Tissemsilt
M.C.A. Univ-Tissemsilt

Année universitaire: 2020-2021

Remerciement

**Je tiens à remercier toutes les personnes qui m'ont aidée lors de la rédaction de ce mémoire.*

Je voudrais dans un premier temps remercier, mon directeur de mémoire **Mr MADKOUR Mihoub, pour sa patience, sa disponibilité et surtout ses judicieux conseils, qui ont contribué à alimenter ma réflexion.*

**Je remercie également toute l'équipe pédagogique de l'université de Tissemsilt et les intervenants professionnels responsables de ma formation qui ont pris le temps de discuter de mon sujet.*

**Mes parents, pour leur soutien constant et leurs encouragements.*

Dédicace

Je dédie ce modeste travail :

**A mes chers parents ma mère et mon père (que dieu les garde pour moi).*

**A ma femme qu'elle était Toujours à mes côtés.*

**A tous mes amis (es).*

**A toute la famille du Département de Génie Mécanique.*

**Et à tous ceux que je connais de près ou de loin.*

Table de matière

Remerciement

Dédicace

Liste des Tableaux

Liste des Figures

Introduction générale..... **Erreur ! Signet non défini.**

Chapitre I : Introduction à la filière technologique des piles à combustible.

I.1. Introduction.....	3
I.2. Pile à combustible.....	3
I.2.1. Les piles à combustible dans la société.....	4
I.2.2. Histoire des piles à combustible.....	4
I.2.3. Description et fonctionnement de la pile à combustible.....	4
I.2.4. Types de piles à combustible.....	5
I.2.5. Avantages et inconvénients.....	8
I.2.6. Applications.....	9
I.3. Pile à combustible à membrane échangeuse de proton (PEMFC).....	10
I.3.1. Structure de PEMFC.....	11
I.4. ETAT DE L'ART :.....	11
I.5. Conclusion :.....	14

Chapitre II : Modèle de champ d'écoulement de type PEM

II.1. Introduction.....	15
II.2. Écriture du modèle.....	15
II.2.1. Equation de continuité.....	15
II.2.2. Equation de quantité de mouvement.....	15
II.2.3. Equation de conservation des espèces.....	16
II.3. Tension de la cellule.....	18
II.3.1. Tension de Nernst.....	18
II.3.2. Polarisation d'activation.....	19
II.3.3. Polarisation ohmique.....	19
II.3.4. Polarisation de concentration.....	19

Chapitre III : Développement d'un modèle par ComsolMultiphysics

III.1. Algorithme de la ComsolMultiphysics.....	21
III.2. Géométrie et paramètres du modèle.....	28

Chapitre IV :	Résultats et discussion
IV.1. Validation du modèle	31
IV.2. Effet de la pression sur la performance.....	32
IV.3. Effet de la concentration d'hydrogène sur la performance.	34
IV.4. Effet de la température sur la performance.	35
Chapitre V :	Confirmation des résultats expérimentaux et théoriques
V.1. Introduction :	31
V.2. L'objectif.....	37
V.3. Efficacité de la pile à combustible PEM.	37
V.5. Efficacité de l'électrolyseur PEM.	45
V.5. Efficacité de la pile à combustible PEM.	49
Conclusion :.....	51
REFERENCES.....	53

Liste des tableaux

Tableau I.1 : Caractéristiques principales des différents types des piles à combustible.....	06
Tableau 1.2 : Conductivité et accroissement d'hydrogéné pour les différentes membranes composites.....	12
Tableau III.1 : Géométries et paramètres de fonctionnement.....	29
Tableau III.2 : Propriétés des électrodes et de la membrane.....	29
Tableau III.3 : Propriétés électrochimiques	30
Tableau III.4 : Diffusivités binaires à 1atm et à la température de la pile.	30
Tableau V.1 : Caractéristique courant-tension de l'électrolyseur PEM	43
Tableau V.2 : Ligne caractéristique de la pile à combustible PEM.....	44
Tableau V.3 La Relation entre V et le temps.....	46
Tableau V.4 La Relation Entre V et T	46
Tableau V.5 La Relation Entre V et Rendement	47
Tableau V.6 : (Résistance de charge 1 Ω) $P_{amb} = 984 \text{ hPa}$ $T = 22^\circ\text{C}$	48
Tableau V.7 : (Résistance de charge 2 Ω) $p_{amb} = 984 \text{ hPa}$ $T = 23^\circ\text{C}$	49
Tableau V.8 les conduction (I.V) et Efficacy	49
Tableau V.9 : comparaison des deux résultats de la chaleur de condensation Huet de la 5chaleur d'énergie électrique H_o	50
Tableau V.10 : Comparaison des deux résultats de la chaleur de condensation Huet de la chaleur d'énergie électrique H_o	51

Liste Des Figures

Figure I.1 : Représentation schématique d'une pile à combustible produisant de l'électricité à partir d'un combustible.....	3
Figure I.2 : Coupe transversale de la pile à combustible générale.....	5
Figure I.3 : Exemples d'applications des piles à combustible.....	9
Figure I.4 : représente Principe de fonctionnement et la structure d'une pile à combustible (PEMFC).[10].....	12
Figure III.1: Sélection de "Model Wizard" dans ComsolMultiphysics.....	21
Figure III.2: Sélection de la "Space Dimension".....	21
Figure III.3: Sous-physique de la physique électrochimique.....	22
Figure III.4 : Physique ajoutée pour la modélisation PEMFC.....	22
Figure III.5 : Sélection des études dans ComsolMultsPhysics.....	23
Figure III.6 : Section «Paramètres» dans MultiphysicsComsol.....	24
Figure III.7 : Section «Matériaux» dans MultiphysicsComsol.....	25
Figure III.8 : Outil «Définitions» dans la section "Component" de ComsolMultiphysics.....	26
Figure III.9 : Section "Geometry" dans ComsolMultiphysics.....	27
Figure III.10 : Sondes de domaine du modèle PEMFC.....	28
Figure IV.1 – Comparaison des résultats de modélisation avec des données expérimentales moyennes.....	31
Figure IV.2 – Performances de la pile à combustible, la densité de courant (A/m^2).....	32
Figure IV.3 – Performances de la pile à combustible, la densité de courant.....	35
Figure IV.4 – Performances de la pile à combustible, la densité de courant (A/m^2) et la diffusion de l'hydrogène.....	36
Figure V.1 : Montage expérimental : Rendement de la pile à combustible.....	38
Figure V.2 : Schéma électrique: caractéristique et efficacité de la pile à combustible.....	39
Figure V.3 : Principe de fonctionnement d'un électrolyseur PEM.....	40
Figure V.4. : Principe de fonctionnement d'une pile à combustible PEM.....	41
Figure V.5 : Ligne caractéristique courant-tension d'un électrolyseur PEM.....	44
Figure V.6 : Courbe caractéristique courant-tension d'une pile à combustible PEM.....	45
Figure V.7 : Volume de l'hydrogène généré par l'électrolyseur PEM en fonction du temps à différents courants I.....	47

Liste des abréviations

PEMFC : Pile à combustible à membrane d'électrolyte de polymère

DMFC : Pile à combustible au méthanol direct

AFC : Pile à combustible alcaline

PAFC : Pile à combustible à acide phosphorique

MCFC : Cellule de combustible de carbonate fondu

SOFC : Pile à combustible à oxyde solide

Introduction

Générale

Introduction générale

La fourniture d'une énergie propre sans infecter l'environnement est le plus grand défi du 21^{ème} siècle. En raison de ses avantages comme l'absence d'environnement spécial pour bien travailler (Autre qu'un dissipateur de chaleur) et sa grande efficacité à la fois électrique et physique (Sans son et avec beaucoup moins de polluants atmosphériques nocifs) la technologie des piles à combustible est réputée pour être l'une des technologies clés dans la fourniture d'énergie pour des applications fixe (Exemple, les centrales électriques des blocs) et les applications portables (Exemple, les véhicules, les ordinateurs portables et les téléphones cellulaires).

La pile PEMFC contient une variété de paramètres qui affectent les performances globales. Il s'agit de la concentration en hydrogène, de la température de fonctionnement, du débit d'hydrogène et de l'épaisseur de la membrane. En optimisant ces paramètres, le rendement élevé de PEMFC peut être atteint tout en maintenant la jonction hydrogène.

Les caractéristiques obtenues d'une membrane doivent être utilisés comme des entrées dans un modèle mathématique pour prédire la performance de PEMFC correspondant. Ainsi, au lieu d'avoir seulement une prévision de la performance PEMFC basée sur les résultats des expériences de la recherche, ce type de modèle devrait permettre une prédiction. Cependant, une grande partie des recherches sur la modélisation de la PEMFC sont portés dans des nombreux paramètres de la littérature.

Le présent ouvrage pédagogique présente une étude expérimentale avec l'aquella en a déterminer la courbe de polarisation afin de valider notre résultats obtenue par le modelé développe avec le COMSOLE 5.4 qui est l'étude théorique. Cette étude théorique est pour l'étude de l'effet des paramètres de la pression la température et la concentration de l'hydrogène sur la performance globale de la pile à combustible type PEMFC. Il commence par une introduction générale et essentiellement composé de cinq chapitres partagés comme suit.

Le premier chapitre présente l'histoire d'une pile à combustible, l'importance et l'intérêt pour la société et aussi pour l'environnement, comme on présentera les avantages et les inconvénients. Un intérêt spécial pour la pile à combustible à membrane échangeuse de proton est présenté dans cette première partie. Ce chapitre a inclus aussi un état d'art sur les piles à combustibles.

Dans le deuxième chapitre, on présente le formalisme mathématique conduisant à la mise en équation du problème des phénomènes de transfert de masse dans les différentes couches d'une cellule de pile. Les phénomènes de polarisation ainsi qu'un aperçu sur les modèles du transfert de charge sont décrits en fin de chapitre.

Dans le troisième chapitre le modèle 2D défini au-dessus a été mis en œuvre au moyen du logiciel commercial COMSOL Multiphysics version 5.5 a, après avoir validé le modèle choisi dans le chapitre précédent.

Nous traitons ensuite au chapitre 4, les résultats de simulations numériques en configuration 2D de transfert de masse dans les différentes couches de la pile. Nous avons utilisé pour cela. Ensuite on étudie les effets des différents paramètres qui influent sur la performance de cette pile.

Dans le chapitre 5, on présente en détail le banc d'essai, les tests réalisés ainsi que tous les résultats expérimentaux obtenus et les graphes schématisent. La partie expérimentale n'est, dans le cadre de ce travail, qu'un outil de validation du modèle.

À la fin de chaque chapitre, une conclusion donnera un récapitulatif des notions essentielles à retenir.

Enfin, une conclusion générale où nous dégagerons les points forts et les résultats de notre étude et les perspectives qu'elle offre.

À la fin de cette étude se trouve un recueil riche des références bibliographiques. En effet, il s'agit des meilleurs articles que l'auteur a pu les traduire, en mémoires de masters et de doctorat et des articles de recherche scientifique.

Chapitre I :
Introduction à la filière
technologique des piles
à combustible.

Chapitre I : Introduction à la filière technologique des piles à combustible.

I.1. Introduction

Dans ce chapitre, Les éléments de base impliqués dans le système de pile à combustible seront décrits. L'importance des piles à combustible dans la société et l'histoire des piles à combustible, les différents types de piles à combustible, les avantages et les inconvénients, les domaines d'application des piles à combustible, le fonctionnement et la structure de la PEMFC, l'état technique et le compte d'augmentation de la conductivité et de l'hydrogène de diverses membranes composites .

I.2. Pile à combustible

Une pile à combustible est un générateur qui convertit l'énergie chimique en énergie électrique (Figure 1). Il partage le travail continu qui consomme un carburant. La pile à combustible fonctionne silencieusement et efficacement. Lorsque l'hydrogène est utilisé comme carburant, il ne produit que de l'énergie et de l'eau. C'est ce qu'on appelle le moteur à zéro émission [1].

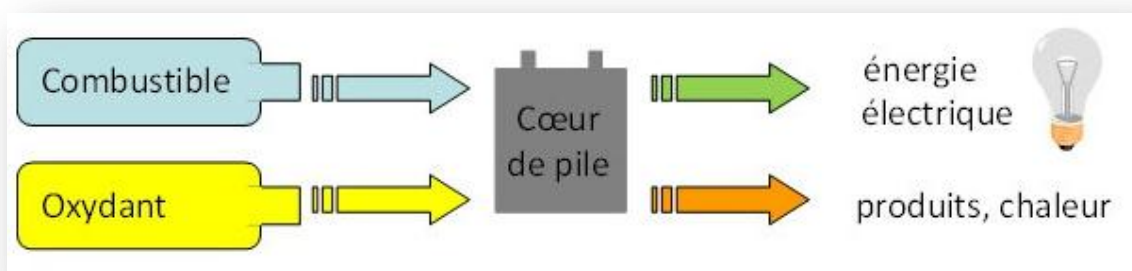


Figure 1 : Représentation schématique d'une pile à combustible produisant de l'électricité à partir d'un combustible.

Les piles à combustible peuvent convertir plus de 90 % de l'énergie chimique du combustible en énergie électrique. Les réactifs typiques d'une pile à combustible sont l'hydrogène et l'oxygène, mais aucun d'eux ne doit être sous forme pure. L'hydrogène peut être mélangé à d'autres gaz, tels que le dioxyde de carbone, l'azote et le monoxyde de carbone, ou dans des hydrocarbures (tels que le gaz naturel et le méthane), ou même dans des hydrocarbures liquides (tels que le méthanol). L'air ambiant contient suffisamment d'oxygène pour être utilisé comme oxydant pour les piles à combustible.

Chapitre I : Introduction à la filière technologique des piles à combustible.

I.2.1. Les piles à combustible dans la société

L'utilisation de combustibles fossiles peut couvrir environ 80 % des besoins énergétiques mondiaux, mais son utilisation pose deux problèmes. Le premier problème est que le nombre est limité. Cela signifie qu'il y aura une inadéquation entre la demande et la disponibilité des combustibles fossiles.

Le deuxième problème est que les combustibles fossiles, le charbon, le pétrole et le gaz naturel causent de graves problèmes environnementaux, tels que la consommation et la pollution de l'eau, la pollution de l'air, l'appauvrissement des couches, l'ozone et la vie animale.

Les énergies renouvelables ont également un impact sur l'environnement. Malgré les avantages de l'utilisation des énergies renouvelables, elles ne suffisent pas à produire la quantité d'énergie dont le monde a besoin. En conséquence, les piles à combustible apparaissent comme une substance efficace et respectueuse de l'environnement et un complément aux énergies renouvelables.

I.2.2. Histoire des piles à combustible

La découverte de l'effet pile à combustible était par l'Allemand Christian Schönbein en 1839. Sur les trois années suivantes William R. Grove a réalisé le premier modèle de laboratoire de pile à combustible. En 1889, Ludwig Mond et Carl Langer donnent le nom à la pile à combustible et sa forme actuelle. Francis T. Bacon a repris les études de la pile à combustible en 1932 et a réalisé un premier prototype de 1 kW en 1953, puis de 5 kW en 1959. Un prototype qui servira comme modèle pour les futures piles à combustible utilisées lors des missions spatiales Apollo [2].

I.2.3. Description et fonctionnement de la pile à combustible

Les piles à combustible fonctionnent par une réaction électrochimique sert a la conversion de l'énergie chimique stockée dans un combustible directement en électricité. Les piles à combustible sont transformées en structures planes minces avec l'utilisation des électrodes très poreuses pour fournir de grandes surfaces de réaction qui entraînent des courants plus importants. L'un de ces côté est approvisionné en oxydant (Côté cathode) et l'autre en carburant (Côté anode). Une séparation entre le combustible et les électrodes oxydantes se fait par une fine couche d'électrolyte qui assure que les deux demi-réactions se produisent isolées les unes des autres. On rencontre une variété de types de piles à

Chapitre I : Introduction à la filière technologique des piles à combustible.

combustible qui utilisent différentes réactions électrochimiques sans changement dans le processus général. La Figure I.2 montre une vue en coupe transversale d'une pile à combustible générale illustrant les principales étapes de la production d'électricité [3]

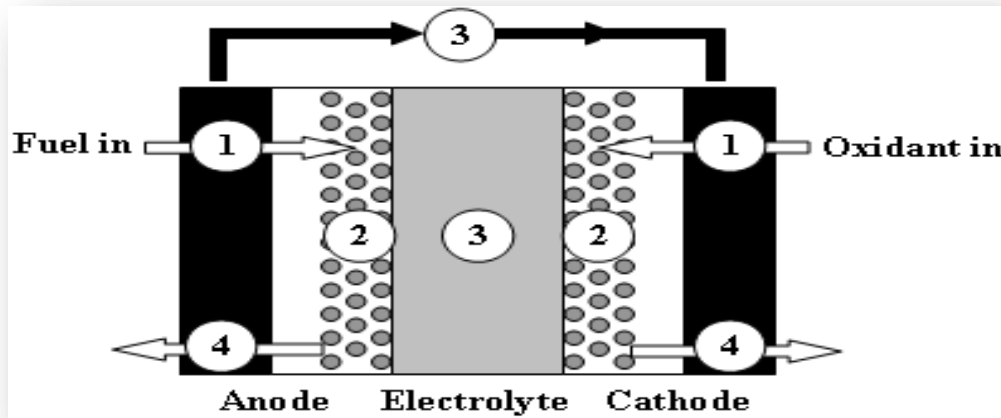


Figure I.2 : Coupe transversale de la pile à combustible générale.

I.2.4. Types de piles à combustible

Il existe plusieurs types des piles à combustible qui sont développées pour différentes applications. Tous les types sont basés sur les mêmes principes électrochimiques et fonctionnent tous à des températures et des matériaux différents, comme le montre le Tableau 1.1[4].

Chapitre I : Introduction à la filière technologique des piles à combustible.

Tableau I.1 : Caractéristiques principales des différents types des piles à combustible.

Type de pile à combustible	Électrolyte	La charge transportée	Température de fonctionnement	Compatibilité carburant
PEMFC	Membrane polymère	H ⁺	20-80°C	Hydrogène
DMFC	Membrane polymère	H ⁺	20-80°C	Méthanol
PAFC	Phosphorique liquide	H ⁺	200°C	Hydrogène
AFC	Hydroxyde de potassium liquide	OH ⁻	60-220°C	Hydrogène
MCFC	Carbonate fondu	CO ₃ ²⁻	650°C	Hydrogène et Méthane
SOFC	Céramique	O ²⁻	600-1000°C	Hydrogène, Méthane Et Carbone

a Pile à combustible à membrane d'électrolyte de polymère (PEMFC)

Les piles à combustible à électrolyte polymère utilisent une membrane polymère comme électrolyte. Le combustible utilisé dans ce type de piles à combustible est l'Hydrogène et l'Oxygène pur oxydant ou de l'air. Le porteur des charges dans ce type de pile à combustible est l'ion Hydrogène (proton), la température de fonctionnement est inférieure à 80°C.

b Pile à combustible au méthanol direct (DMFC)

La pile à combustible au Méthanol direct utilise une membrane polymère comme électrolyte. Le porteur des charges dans ce type de pile à combustible est l'ion Hydrogène (proton). La température de fonctionnement est inférieure à 100°C. son principe est le même que le PEMFC. À l'anode l'Hydrogène est divisé en protons et électrons. L'électrolyte bloque le passage des électrons, ils empruntent donc un autre chemin pour rejoindre la cathode où ils se créent du courant électrique et la chaleur (circuit fermé). Les protons eux traversent l'électrolyte ou ils arrivent à la cathode et se combinent avec l'Oxygène pour former de l'eau.

Chapitre I : Introduction à la filière technologique des piles à combustible.

c Pile à combustible alcaline (AFC)

Les Piles à combustible Alcalines utilisent un électrolyte qui est une solution aqueuse d'Hydroxyde de Potassium (KOH). La température de fonctionnement de la Pile à combustible, qui varie de 65 à 220°C. Le porteur de charge pour un AFC est l'ion Hydroxyle (OH⁻) qui traverse l'électrolyte de la cathode à l'anode où il réagit avec l'Hydrogène pour produire de l'eau et des électrons. L'eau formée à l'anode migre vers la cathode pour régénérer les ions hydroxydes. Les réactions dans ce type de pile à combustible produisent de l'électricité et de la chaleur.

d Pile à combustible à acide phosphorique (PAFC)

Les piles à combustible acide Phosphorique (PAFC) utilisent comme électrolyte l'acide Phosphorique. Le porteur des charges dans ce type de pile à combustible est l'ion Hydrogène (proton). Les PAFC fonctionnent à des températures plus élevées (200°C), à l'anode l'Hydrogène est divisé en protons et électrons. L'électrolyte bloque le passage des électrons, ils empruntent donc un autre chemin pour rejoindre la cathode ou ils se créent du courant électrique et la chaleur (circuit fermé). Les protons eux traversent l'électrolyte ou ils arrivent à la cathode et se combinent avec l'Oxygène pour former de l'eau.

e Cellule de combustible de carbonate fondu (MCFC)

Les piles à combustibles de carbonate fondu (MCFC) utilisent un électrolyte composé d'un mélange fondu de sels de carbonate (le carbonate de Lithium et le Carbonate de Potassium). Les MCFC_S fonctionnent à des températures élevées (650°C). Lorsqu'ils sont chauffés, ces sels fondent et deviennent conducteurs d'ions Carbonate (CO₃⁻²). Ces ions s'écoulent de la cathode à l'anode où ils se combinent avec l'Hydrogène pour donner de l'eau, du Dioxyde de Carbone et des électrons. Ces électrons traversent un circuit externe vers la cathode, générant de l'électricité et de la chaleur.

f Pile à combustible à oxyde solide (SOFC)

La pile à combustible à oxyde solide (SOFC) utilise l'électrolyte qui est un matériau céramique mince et solide (Oxyde Solide) qui est conducteur aux ions oxygène (O²⁻). Les SOFC fonctionnent à plus haute température qui est en développement. Pour fonctionner à de telles températures élevées (600-1000°C). Le porteur de charge dans la SOFC. A la cathode, les molécules d'Oxygène de l'air sont divisées en ions d'oxygène avec l'addition de quatre

Chapitre I : Introduction à la filière technologique des piles à combustible.

électrons. Les ions d'Oxygène sont conduits à travers l'électrolyte et se combinent avec l'Hydrogène à l'anode, libérant quatre électrons. Les électrons parcourent un circuit externe fournissant de l'énergie électrique et produisant de la chaleur.

I.2.5. Avantages et inconvénients

Les piles à combustible ont plusieurs avantages, elles sont une technologie énergétique très prometteuse. Parmi les avantages de la PEMFC on peut citer [5]:

- **Faible émission :** Au fonctionnement de la pile à combustible, cette technologie est une amie à l'environnement et la couche d'ozone car Les seuls produits utilisés sont l'eau et l'air.
- **Rendement élevé :** Les piles à combustible n'utilisant pas la combustion, ou l'efficacité de conversion de puissance peut être élevée que celles des moteurs thermiques.
- **Longue durée de vie :** Les piles à combustible ne contiennent pas de pièces mobiles, elles n'ont pas besoin de changer les pièces, ce qui leur confère une longue durée de vie.
- **Le côté financier :** Les prix des piles à combustible produites en série sont beaucoup moins chers que ceux des centrales électriques conventionnelles.
- **La production :** Les piles à combustible ont de très bons produits énergétiques avec une bonne précision et une consommation d'énergie inférieure par rapport aux solutions conventionnelles.

Malgré les avantages des piles à combustible, elles présentent également des inconvénients, notamment :

- **Hydrogène :** il ne se trouve pas pur dans l'air ou toujours en accord avec l'oxygène et le carbone ainsi qu'avec l'azote, il y a donc une petite difficulté dans sa fabrication, car le stock `` hydrogéné` a besoin de quelques astuces spéciales à basse température et haute pression, donc ça coute chère.
- **Catalyseur a cout élevé :** Les piles à combustible contiennent des catalyseurs coûteux, ce qui rend difficile l'adaptation de cette technologie aux investisseurs.
- **Nouvelle technologie :** La pile à combustible est une nouvelle technologie que les entreprises regrettent pour le manque d'informations et d'utilisateurs de cette

Chapitre I : Introduction à la filière technologique des piles à combustible.

technologie, ainsi que des problèmes techniques et de disponibilité des catalyseurs (l'enjeu principal).

Il y aura un décalage entre la demande et la disponibilité des combustibles fossiles.

I.2.6. Applications

À l'échelle mondiale, la nouvelle technologie des piles à combustible est de plus en plus comprise et utilisée, et de nombreux domaines d'application sont ouverts. Les piles à combustible sont l'une des solutions pour générer de l'énergie propre, car elles peuvent être utilisées pour augmenter la production d'énergie à la demande. Il existe trois domaines d'application de cette technologie qui joueront un rôle très important à l'avenir et ce sont l'énergie fixe, le transport et l'énergie portable Figure 1.3 [5].



Figure I.3 : Exemples d'applications des piles à combustible (Courtoisie de Honda, Ballard, Samsung, Shell, Motorola, Compagnie XX25, Yamaha, DaimlerChrysler et Plug Power Inc).

g L'énergie stationnaire

Les piles à combustible peuvent produire de l'électricité pour de nombreux industriels (domiciles, entreprises, institutions et entreprises industrielles), et elles interviennent dans deux domaines de la production de masse et de la production domestique.

Chapitre I : Introduction à la filière technologique des piles à combustible.

h Le transport

Les piles à combustible peuvent également être utilisées Pour les applications de transport qui sont l'un des développements les plus importants concerne le traitement du carburant (des exigences strictes doivent être imposées sur le traitement des carburants de transport tels que l'essence et l'hydrogène).

i La charge des portables

Les piles à combustible jouent un rôle énorme dans le monde des communications telles que les téléphones, les tablettes et les ordinateurs. Les entreprises veulent améliorer et développer le monde de la communication de plus en plus car ce monde est très nécessaire dans la société, il existe également d'autres applications des piles à combustible dont les serrures d'hôtels et les détecteurs de fumée.

I.3. Pile à combustible à membrane échangeuse de proton (PEMFC)

Une pile à combustible à membrane échangeuse de proton (PEMFC) est une pile électrochimique qui génère de l'électricité à partir de l'oxydation de l'hydrogène et de la réduction de l'Oxygène en utilisant une membrane polymère comme électrolyte. Ce polymère est perméable aux protons qui sont le porteur de charge ionique A l'anode, on observe l'oxydation du l'hydrogène :



Les protons produits migrent jusqu'à la cathode à travers la membrane échangeuse de protons où ils sont récupérés par le dioxygène qui est alors réduit :



Réaction globale :



Ces piles fonctionnent à une température inférieure à 100 °C. La faible température de fonctionnement leur confère une aptitude à démarrer relativement rapidement. Ces piles présentent certains avantages, on peut citer :

Chapitre I : Introduction à la filière technologique des piles à combustible.

I.3.1. Structure de PEMFC

- **plaque bipolaire** : c'est une plaque qui doit conduire qui doit diriger les gaz dans les canaux elle doit conduire l'électricité pour récupérer les électrons, elle permet éventuellement d'évacuer des gaz notamment de l'air qui est en excédent, l'azote principalement et l'eau qui produit par la réaction chimique [6].
- **Couche de diffusion GDL** : la couche de diffusion qui est généralement une feuille ou un tissu de carbone poreux à pour rôle de diffuser les gaz sur l'ensemble de la couche catalytique et d'évacuer l'eau produit par la réaction elle doit aussi conduire l'électricité [6].
- **couche catalyseur** : Le meilleur au plan de la performance est, de loin, le platine. A l'anode, elle assure l'oxydation de l'hydrogène et, à la cathode, la réduction à quatre électrons de l'oxygène (le nombre d'électrons échangés par molécule pouvant varier de 2 à 4) [6].
- **Membrane** : la membrane qui est fait d'un polymère nation contenant des ions carboxyliques avec du fluor même qui la propriété de ne pas conduire l'électricité mais des conduire protons ce qui rende possible doute la réaction elle doit aussi garantir l'étanchéité de façon à éviter qui l'hydrogène et l'oxygène de mélange directement et provoque une explosion [7].

I.4. ETAT DE L'ART :

La plupart des efforts de recherche actuels sur les nouveaux matériaux pour pile à combustible à basse température (PEMFC) visent à l'augmentation des performances (augmentation des rendements, augmentation des puissances spécifiques, diminution des quantités de platine, diminution de l'encombrement et de la masse), l'augmentation des stabilités mécanique, thermique et électrochimique, la diminution des coûts pour les applications industrielles [8]. Les deux facteurs sur l'quelles les chercheurs on baser les travaux c'est la conductivité protonique et la densité de puissance qui doivent être plus élevé. Le Tableau I.2 : montre ces différents travaux.

Chapitre I : Introduction à la filière technologique des piles à combustible.

Tableau I.2 : Conductivité et accroissement d'hydrogéné pour les différentes membranes composites.

Ref.	Nano composites	Conductivité protonique S/cm.	Densité puissances mAcm ⁻²
[96]	sulfonated poly (phthalazinone ether sulfone ketone) (SPPEK)	1.3×10^{-2} à 3.0×10^{-2}	/
[97]	Polyéther-éther-cétone sulfoné à l'acide tungstosilicique supporté sur silice-l'aluminium oxydé	6.1×10^{-2} (s/cm)	/
[98]	Sulfone Poly (arylene éther sulfone) -silice SPAES-SiO ₂ .	0.1	234.8
[99]	Poly-(vinylidènefluorid-hexafluoropropylène) (PVdFHP)/nafioninomere/aluminium oxy hydroxyde	5×10^{-3}	/
[100]	Organicsilica/Nafion® composite membrane	1.57×10^{-2}	20 à 65
[101]	Sulfonated polyimide (SPI) membranes	La conductivité protonique de la SPI est comparable à celle du Nafion.	>0.1
[102]	Nafion-polybenzimidazole	<0.11 >0.015	>0.8 V
[103]	Quaternized poly(vinylalcohol) /alumina (QPVA/Al ₂ O ₃)	< 10 ⁻³ > 10 ⁻²	28.33 (mw/cm ²)
[104]	Poly (vinyl alcohol)/titanium oxide nanotubes/poly (styrene sulfonic acid)	10 ⁻³	12.85 (mw/cm ²)
[105]	Crosslinked PVA/SSA	(0.0419 à 0.0573)	4.13 (mWcm ⁻²)
[106]	Composite silica/nafion	0.069-0.028	300(A/cm ²)64 (MW/cm ²)
1	2	3	4
[107]	(aluminophosphate triéthylamine) (APO-TE)	2.4×10^{-3}	/
[108]	Poly (alcool vinylique) hydroxyapatite (PVA/HAP)	0.0182 à 0.0542	^{11.48} 20-40 (mw/cm ²)
[109]	Zéolithes (DEZ 25-5)	$1.5 \cdot 10^{-2}$ $2.135 \cdot 10^{-2}$	1600 à 2000 mAcm ⁻²

Chapitre I : Introduction à la filière technologique des piles à combustible.

[110]	Polyamides sulfones (SPI)	7.9×10^{-3} à 7.2×10^{-2} (S/cm)	Faible densité
[111]	Sulfonés poly (éther éther cétone) (SPEEKs) nitrés S63N17	~ 0.085 S.cm ⁻¹	23-25 (m.W.cm ⁻²)
[112]	Sulfonés poly (éther éther cétone) (SPEEKs) nitrés S63N38	~ 0.085 S.cm ⁻¹	24-29 (m.W.cm ⁻²)
[113]	Nafion 117	(0.1 S/cm)	Faible densité
[114]	Poly sulfoné réticulé (arylène éther sulfone)	0.1 à 0.093	Faible densité
[115]	polyimides sulfonés de naphthalène	$7.9 \cdot 10^{-3}$ à $7.2 \cdot 10^{-2}$	Faible densité
[116]	The crosslinked sulfonated poly (ether ether ketone)/2-acrylamido-2-methyl-1-propanesulfonic acid (SPEEK/AMPS) blend membranes	0.013 à 0.05	Faible densité
[117]	sulfated zirconia/Nafion® 115 nano composite membrane	5.0×10^{-3} S.cm ⁻¹	(5 à 35)
[118]	Poly aniline/Nafion	1.66×10^{-6}	70 (m.W.cm ⁻²)
[119]	poly (vinylidene fluoride)-graft-poly (styrene sulfonic acid) (PVDF-g-PSSA)	8.0 Sm ⁻¹	250-1100 (A/m ²)
[120]	PVA/TiO ₂ composite polymer membrane	0.0181 à 0.0310	7.54 - 20 (MA.cm ⁻²)
[121]	Sulfonated aromatic hydro carbon polymers	6.10^{-3} S/cm	/
[122]	sulfonated poly (ether ether ketone) s (C-SPEEKs)	0.007 - 0.08	/
[123]	Perfluorosulfonic acid (PFSA)	0.088	/
[124]	Nafion®/nitrated sulfonated poly (ether ether ketone)	~ 0.085 S.cm ⁻¹ .	And 24– 29 m.W.cm ⁻²
[125]	(PVA)/poly (styrene sulfonic acid-co-maleic acid) (PSSA MA)	0.0386 to 0.053	190-250 mA/cm ²
[126]	sulfonated poly (styrene-ran ethylene) (SPSE) infiltrated	1.25×10^{-7} à 2.80×10^{-6}	50.2 mA/cm ²
[127]	Nafion 1135	2.46×10^{-6}	40.8
[128]	PVA/PAMPS [poly (vinyl alcohol)/poly (2-acrylamido-2-methyl-1-propanesulfonic acid)]	0.06-0.1	15.8 à 42.9
[129]	sulfonated-sulfinated poly (oxa-p-phenylene-3,3-phthalido-p-phenylene-oxa-p-phenyleneoxy-phenylene) (SsPEEK-WC)	2.9×10^{-2}	/
[130]	Nafion_ 117	6.2×10^{-2}	52.9

Chapitre I : Introduction à la filière technologique des piles à combustible.

On note que le Nafion 117 qui a une conductivité protonique de 0.1 S/cm, nous permettent d'obtenir une grande performance.

I.5. Conclusion :

Dans ce chapitre, nous avons examiné les généralités liées à la PAC. Nous avons passé en revue les composants de PEMFC. L'intérêt pour la pile à combustible et en particulier le PEMFC a connu une croissance importante qui se poursuivra sûrement dans les années à venir. Les nombreux avantages d'une pile à combustible. Ce générateur produit silencieusement de l'énergie électrique et thermique, ne produit que de l'eau et n'émet aucun gaz à effet de serre.

Chapitre II

Modèle de champ d'écoulement de type

PEM

II.1. Introduction

L'amélioration des performances des piles à combustible PEM passe par une meilleure compréhension des différents phénomènes internes ainsi que de leurs interactions. La modélisation est un outil très puissant pour étudier ces interactions et leurs rôles, ainsi que pour prédire et optimiser les conditions de fonctionnement.

Dans ce chapitre, nous étudierons un modèle de champ d'écoulement de type PEM à cellule entière.

II.2. Écriture du modèle

Le transfert de différentes espèces chimiques en compte dans le système d'équations décrivant la dynamique des fluides dans les canaux et les régions poreuses. Le modèle consiste en un système unique d'équations aux dérivées partielles non linéaires qui représentent les équations de conservation de la masse, de la quantité de mouvement, de la continuité et de l'énergie. Les équations de conservation s'écrivent :

II.2.1. Equation de continuité

Le transfert des différentes espèces chimiques est réalisé par l'équation de continuité suivante:

$$\frac{\partial \varepsilon p U}{\partial x} + \frac{\partial \varepsilon p V}{\partial y} = S_m \quad (\text{II.1})$$

Pour toutes les zones de ce modèle, le terme source de masse $S_m = 0$.

La porosité ε est égale 1 dans les canaux.

II.2.2. Equation de quantité de mouvement

Les champs de vitesse et de pression sont obtenus en résolvant des équations de mouvement écrites comme suit :

$$U \frac{\partial \varepsilon p U}{\partial x} + V \frac{\partial \varepsilon p U}{\partial y} = -\varepsilon \frac{\partial P}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\varepsilon \mu^{eff} \frac{\partial U}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\varepsilon \mu^{eff} \frac{\partial U}{\partial y} \right) + S_u \quad (\text{II.2})$$

$$U \frac{\partial \varepsilon p V}{\partial x} + V \frac{\partial \varepsilon p V}{\partial y} = -\varepsilon \frac{\partial P}{\partial y} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\varepsilon \mu^{eff} \frac{\partial V}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\varepsilon \mu^{eff} \frac{\partial V}{\partial y} \right) + S_v \quad (\text{II.3})$$

Les termes sources $S_u ; S_v$ sont égaux à zéro dans toutes les zones sauf pour les couches de diffusion de gaz et les couches de catalyseur modélisent le comportement du milieu poreux ils sont basés sur la loi de Darcy.

$$S_u = -\varepsilon \frac{\mu}{k} U \quad (II.4)$$

$$S_v = -\varepsilon \frac{\mu}{k} V \quad (II.5)$$

Où : ε : la porosité, k : la perméabilité de chaque milieu poreux de la pile, μ : la viscosité.

II.2.3. Equation de conservation des espèces

Le transport des différentes espèces chimiques doit tenir compte du système d'équations décrivant la dynamique des fluides dans les canaux et les régions poreuses.

Les fractions massiques de différentes espèces sont soumises à une équation de la même forme que l'équation de transfert, où la préservation des espèces est nécessaire pour calculer le bilan massique de chaque réactif impliqué dans ce modèle.

$$U \frac{\partial \varepsilon p Y_i}{\partial x} + V \frac{\partial \varepsilon p Y_i}{\partial y} = \frac{\partial}{\partial x} \left(p D_i^{eff} \frac{\partial C_i}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(p D_i^{eff} \frac{\partial C_i}{\partial y} \right) + S_i \quad (II.6)$$

Où l'indice « i » désigne l'oxygène O_2 côté cathode et l'hydrogène H_2 côté anode et la vapeur d'eau H_2O_{VAP} dans les deux côtés.

Où D_i^{eff} et Y_i indiquent respectivement les coefficients de diffusion effective et les fractions molaires des espèces « i ».

Afin de tenir compte des contraintes géométriques des milieux poreux, les diffusivités sont corrigées en utilisant la formule de correction de Bruggemann [9.10].

$$D_i^{eff} = D_i \cdot \varepsilon^{1.5} \quad (II.7)$$

D_i représente les coefficients de diffusion des espèces « i » en fonction de température et de pression est exprimée par :

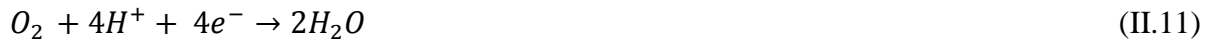
$$D_i = D_i^0 \left(\frac{T}{T^0} \right)^{1.5} \left(\frac{P^0}{P} \right) \quad (II.8)$$

Trois espèces sont prises en compte dans le calcul des termes sources. Ce sont l'hydrogène (H_2) à l'anode, l'oxygène (O_2), et la vapeur d'eau (H_2O_{VAP}) à la cathode. Les termes sources

S_{H_2} et S_{O_2} correspondent à la diminution dans les volumes de contrôle relatifs aux zones de réaction de l'hydrogène et de l'oxygène. Le terme source de l'eau S_{H_2O} , à la cathode est déduit quant à lui des termes sources S_{H_2} et S_{O_2} . La variation des espèces à travers la zone de réaction est imposée par la réaction électrochimique. C'est une fonction qui ne dépend que de la densité de courant et elle est donnée par la loi de Faraday :

$$S_i = \frac{M_i}{nF} i \quad (\text{II.9})$$

Où : i est la densité de courant en $(A.cm^{-2})$, n le nombre d'électrons échangés lors de la réaction, F la constante de Faraday, M_i la masse molaire des constituants « i » en $(kg.mol^{-1})$. Les réactions chimiques des produits et des réactifs à l'anode et à la cathode sont respectivement :



Dans le cas de la décomposition de l'hydrogène à l'anode, $n=2$ dans l'équation (2.10). Le terme consommation d'hydrogène s'obtient avec :

$$S_{H_2} = -\frac{M_{H_2}}{2F} i \quad (\text{II.12})$$

L'oxygène étant réduit à la cathode, $n = 4$ dans l'équation (2.11) et le terme source est :

$$S_{O_2} = -\frac{M_{O_2}}{4F} i \quad (\text{II.13})$$

La quantité d'eau générée à la cathode est donnée par la relation suivante :

$$S_{H_2O} = \frac{M_{H_2O}}{2F} i \quad (\text{II.14})$$

À l'intérieur des zones catalytiques, les densités de courant local i ($A.cm^{-2}$) sont définies de façon générale comme suit [11].

$$i_a = i_{0,a}^{ref} \left(\frac{C_{H_2}}{C_{H_2}^{ref}} \right)^{1/2} \left[\exp \left(\frac{\alpha_a F}{RT} C_{act} \right) - \exp \left(-\frac{\alpha_c F}{RT} C_{act} \right) \right] \quad (\text{II.15})$$

$$i_c = i_{0,c}^{ref} \left(\frac{C_{O_2}}{C_{O_2}^{ref}} \right) \left[\exp \left(\frac{\alpha_a F}{RT} C_{act} \right) - \exp \left(-\frac{\alpha_c F}{RT} C_{act} \right) \right] \quad (\text{II.16})$$

Où i : la densité de courant locale, $i_a=i_{0.a.c}^{ref}$: ref ac i : la densité de courant d'échange de référence, C : les concentrations d'espèces (kg. Mol / m^3), α : le coefficient de transfert (adimensionnel), C_{act} : surtension électrique ou pertes d'activation, F : la constante de Faraday (C.kg/mol).

Les équations (2.15) et (2.16) sont une formulation générale de la fonction de Butler Volmer. La simplification de cette fonction en tenant compte des termes prépondérants donne les équations de Tafel qui peuvent encore s'écrire :

$$i_a=i_{0.a}^{ref} \left(\frac{C_{H_2}}{C_{H_2}^{ref}} \right)^{1/2} \exp \left(\frac{\alpha_a F}{RT} C_{act} \right) \quad (II.17)$$

$$i_c=i_{0.c}^{ref} \left(\frac{C_{O_2}}{C_{O_2}^{ref}} \right) \exp \left(-\frac{\alpha_c F}{RT} C_{act} \right) \quad (II.18)$$

II.3. Tension de la cellule

Les potentiels d'équilibre thermodynamique sont connus à l'aide de l'équation de Nernst en raison des pertes induites et irréversibles. Le calcul de la surtension d'activation se fait par les équations de Tafel. La résistance interne est déterminée par les équations de Nernst Planck en utilisant la loi d'Ohm, nous pouvons exprimer la tension de la cellule avec l'expression suivante [12.13] :

$$V_{Pile} = E_{Nernst} - A_{act} - R_{ohm} - C_{conc} \quad (II.19)$$

Les pertes, appelées souvent polarisation, proviennent principalement de trois sources: la polarisation d'activation (A_{act}), la polarisation ohmique (R_{ohm}) et de la polarisation de concentration (C_{conc}). Ces pertes entraînent, pour une pile de potentiel idéal E_{Nernst} , une chute de la tension [14] :

$$V_{pile} = E_{Nernst} - perte \quad (II.20)$$

II.3.1. Tension de Nernst

E_{Nernst} Dite tension réversible : est le potentiel d'équilibre thermodynamique définit en utilisant l'équation de Nernst [15].

$$E_{Nernst} = 0.0025T + 0.2329 \quad (II.21)$$

II.3.2. Polarisation d'activation

Lorsque l'équation de Tafel est écrite en termes de surtension d'activation, la η_{act} forme d'expression devient [16].

$$A_{act} = 2.303 \frac{RT}{\alpha_c F} \ln \left[\left| \frac{i}{i_0} \right| \right] \quad (\text{II.22})$$

II.3.3. Polarisation ohmique

Les principales sources de surtension ohmique η_{ohm} sont attribuées au transfert de protons dans la membrane

$$U_{ohm} = R_m \cdot i \quad (\text{II.23})$$

La résistance de la membrane $R_m (\Omega m^2)$ dépend fortement de son taux d'humidification et de sa température. Le matériau le plus utilisé dans la membrane de la pile PEM est le Nafion. L'expression de la résistance électrique du Nafion d'après la loi d'ohm [17] :

$$R_{ohm} = \frac{H_m}{\sigma_m(\lambda)} \quad (\text{II.24})$$

σ_m : Conductivité de la membrane (S/m),

H_m : Epaisseur de la membrane (m).

II.3.4. Polarisation de concentration

Les concentrations en H₂ et O₂ sont affectées par le transfert de masse en raison des pressions partielles plus faibles de ces gaz. Cette polarisation est exprimée par la relation de J. Larminie [18] :

$$C_{conc} = -B \ln \left(1 - \frac{i}{i_L} \right) \quad (\text{II.25})$$

i_L : Courant limite

B : Terme relatif à chaque réactif, est égal :

-Pour l'hydrogène : $\left(\frac{RT}{2\alpha F}\right)$

-Pour l'oxygène : $\left(\frac{RT}{4\alpha F}\right)$

-La densité de puissance électrique est donné par :

$$P_{elec} = V_{pile} \times i \quad (w/m^2) \quad (II.26)$$

Chapitre III

Développement d'un modèle par

ComsolMultiphysics

III.1. Algorithme de la ComsolMultiphysics

Pour développer un modèle mathématique par ComsolMultiphysics, plusieurs outils algorithmiques ordonnés doivent être utilisés. La première étape de l'algorithme commence par le choix du " *Model Wizard* ", comme le montre la Figure III.1

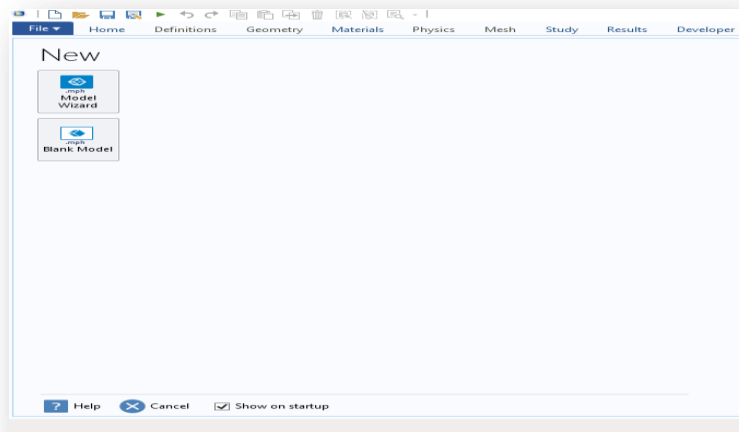


Figure III.1: Sélection de " *Model Wizard* " dans ComsolMultiphysics.

Cette étape est suivie de la sélection de " *Space Dimension* ". La Figure III.2 montre la sélection de " *Space Dimension* " dans ComsolMultiphysics. On choisissant le local "3D".

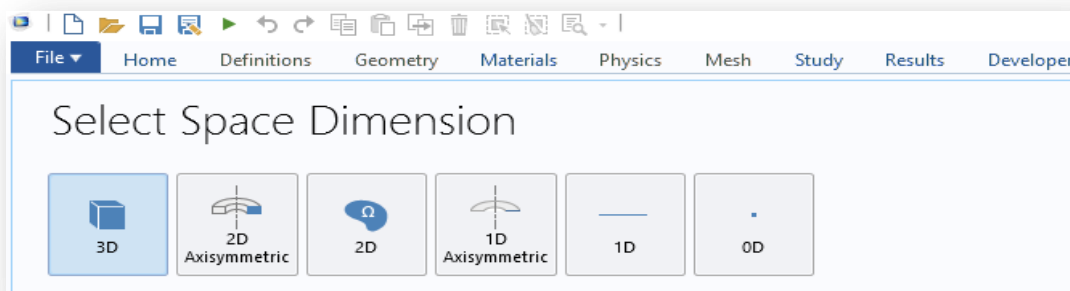


Figure III.2: Sélection de la " *Space Dimension* "

L'étape suivante consiste à choisir la fenêtre pour l'électrochimie et le transfert d'espèces chimiques, on choisit la fenêtre pour « *Primary and Secondary Current Distribution* », et on choisit pour « *Secondary Current Distribution (cd)* » (en électrochimie). La Figure III. 3 montre la sous-physique de la physique électrochimique. En sous-physique de l'électrochimie.

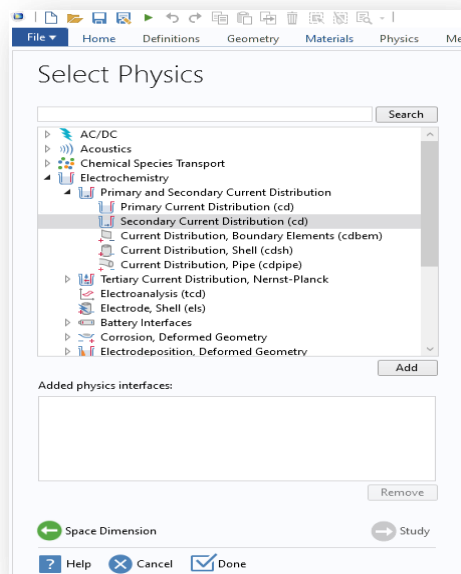


Figure III.3 : Sous-physique de la physique électrochimique.

Une fois les sélections de dimension et de physique effectuées, la dépendance du temps d'étude doit être choisie comme étape suivante de l'algorithme. La Figure III.4 présente les différents types de sélections d'études disponibles dans ComsolMultiphysics, l'étude est choisie comme étant «stationnaire». La Figure III.5 indique la Sélection des études dans ComsolMultsPhysics.

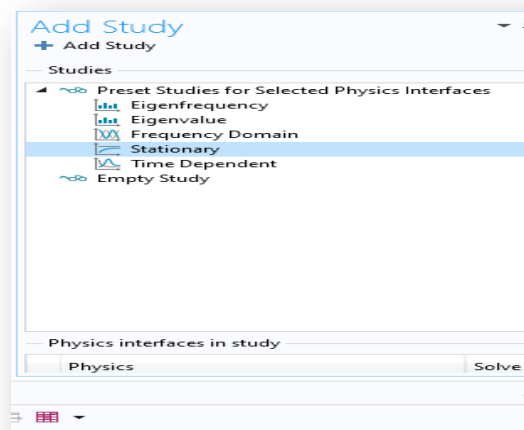


Figure III.4 : Sélection des études dans ComsolMultsPhysics.

Chapitre III: Développement d'un modèle par ComsolMultiphysics

Dans ComsolMultiphysics, l'outil « *Model Builder* » est utilisé pour développer un modèle complet. L'outil « *Définitions* » est utilisé pour l'identification des paramètres, des variables et des fonctions. Ensuite Pour la modélisation BT-DMFC, 34 paramètres différents sont introduits dans le programme. La Figure III.5 montre l'interface de la section «*Paramètres*» dans MultiphysicsComsol.

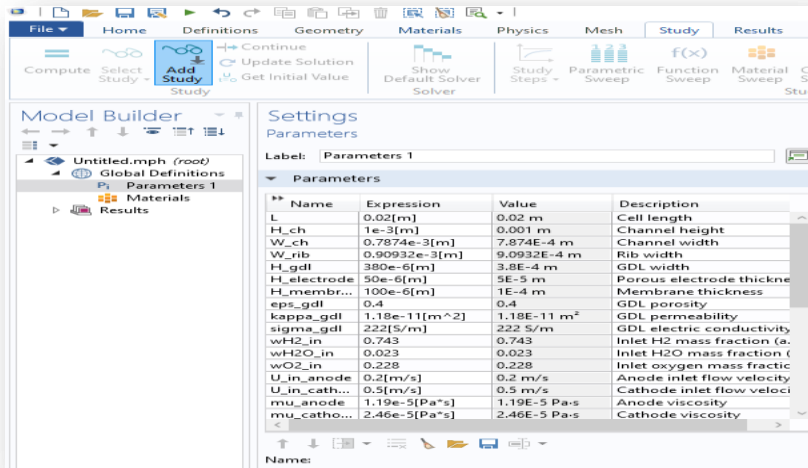


Figure III.5: Section «*Paramètres*» dans Multiphysics Comsol.

L'outil «*Geometry*» est la colonne vertébrale pour la construction du modèle dans le ComsolMultiphysics. L'outil «*Work Plane*» nous permettent de construire des géométries plus compliquées (3D). La Figure III.6 représente la Section «*Geometry*» dans Comsol Multiphysics.

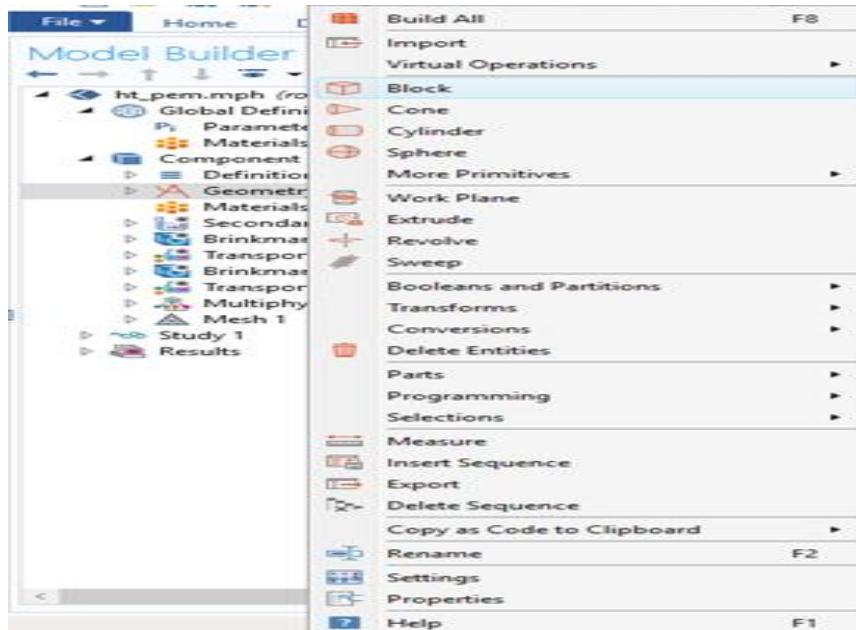


Figure III.6 : Section “*Geometry*” dans ComsolMultiphysics.

Pour la modélisation HT-PEMFC, les composants qui sont créés à l'aide des blocs. Des domaines différents sont définis dans cette section. La Figure III.7 indique les sondes identifiées pour la modélisation HT-PEMFC.

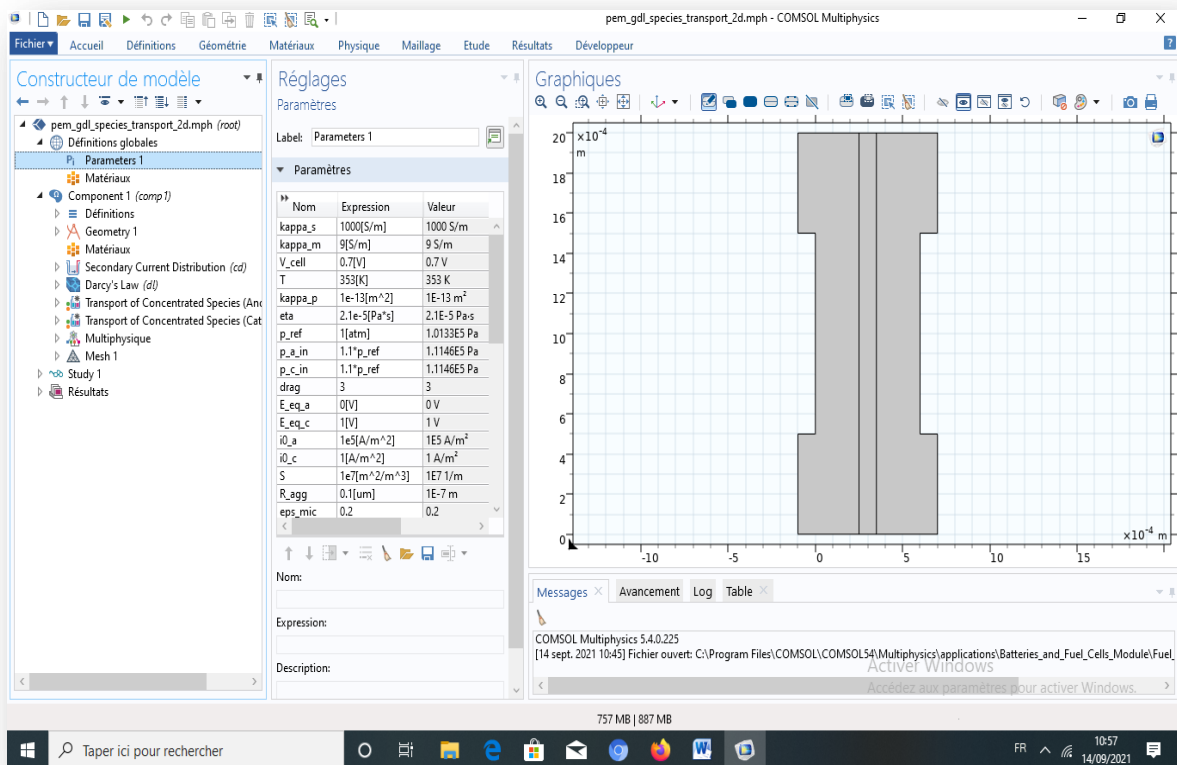


Figure III.7 : Sondes de domaine du modèle PEMFC.

Dans l'outil «*Mesh*», le domaine construit est divisé en petits éléments selon la taille du maillage. La séquence du type de maillage peut être sélectionnée comme «*User controlled*» ou «*Physicscontrolled*», comme le montre la Figure III.8.

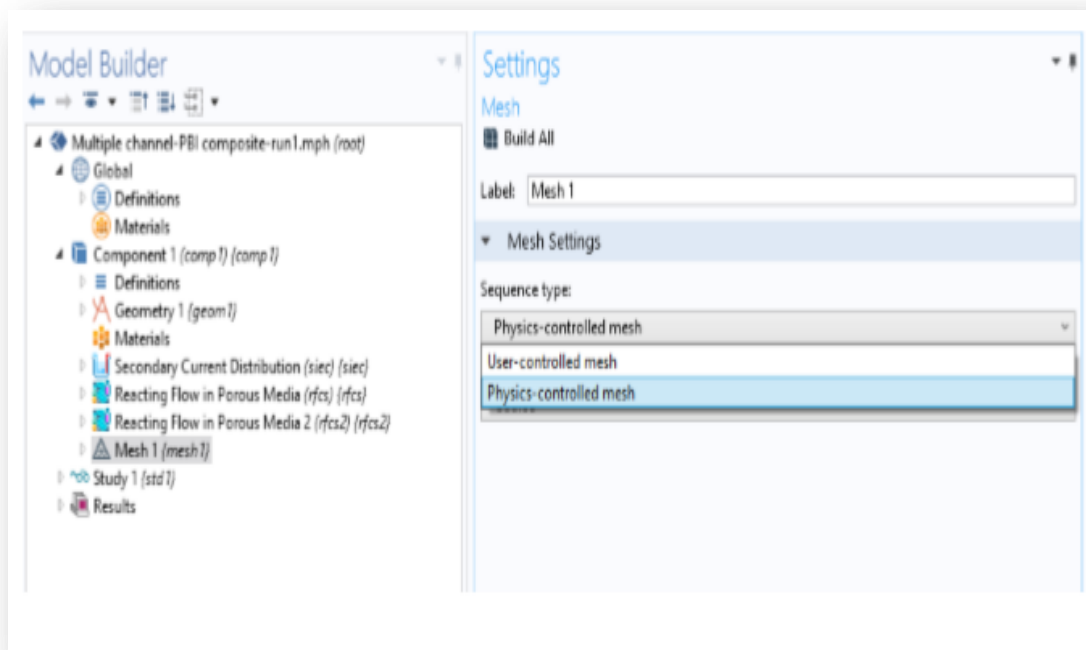


Figure III.8 : Types de séquence de l'outil « *Mesh* » dans Comsol Multiphysics.

La dernière étape de l'algorithme consiste à ajouter l'outil «Study» afin de démarrer la simulation et obtenir les résultats requis pour le modèle. La Figure III.9 représente l'Outil « Study » dans Comsol Multiphysics.

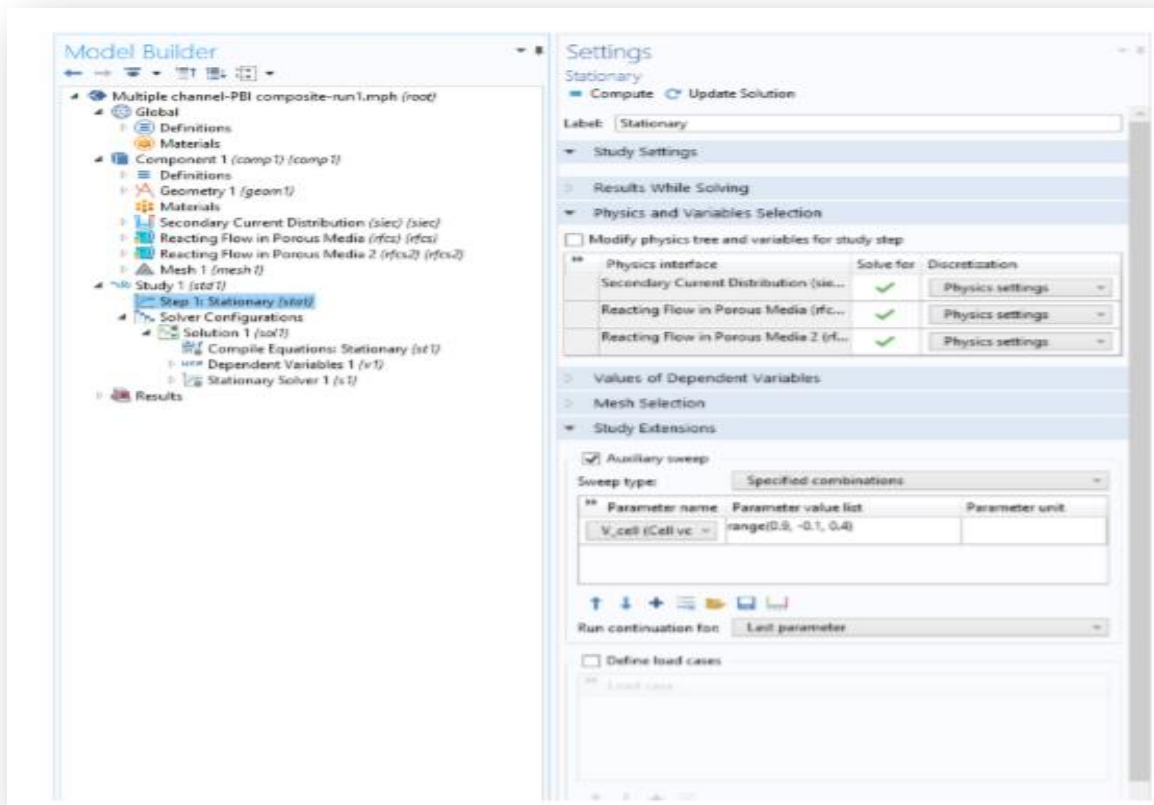


Figure III.9 Outil « Study » dans ComsolMultiphysics.

Le programme a duré plusieurs heures en fonction de la complexité du modèle développé et de la physique ajoutée. Une fois la simulation du modèle terminée, les résultats peuvent être obtenus facilement en utilisant l'outil «Results». Les résultats tirés en 2-D. Pour la modélisation HT-PEMFC. La Figure III.10 illustre la liste des résultats qui peuvent être obtenus à la fin de la simulation du modèle BT-PEMFC.

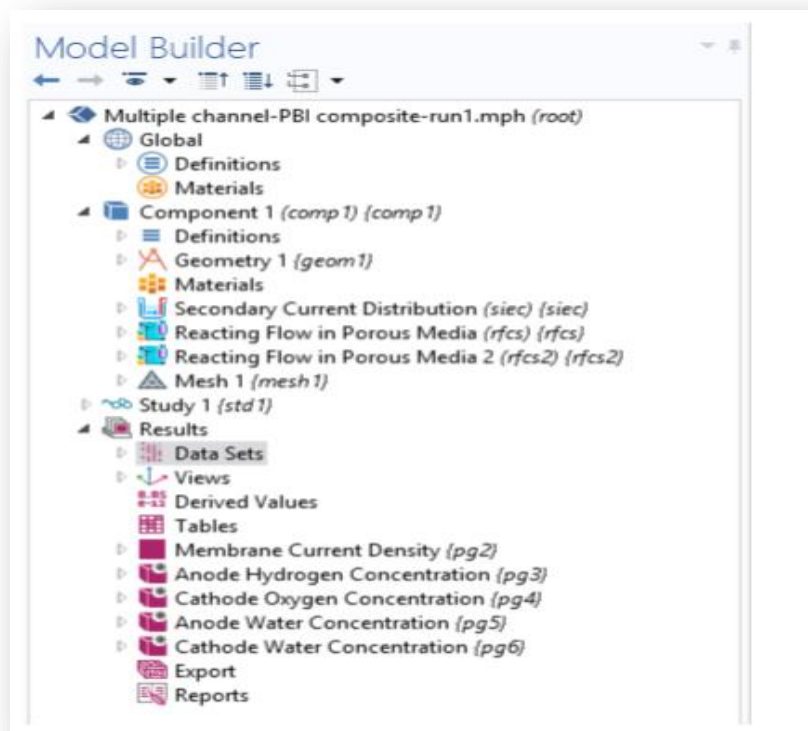


Figure III.10 : Outil « Results » dans Comsol Multiphysics.

III.2. Géométrie et paramètres du modèle

Le choix des paramètres de modélisation corrects est très important et il est difficile de construire un modèle informatique d'une pile à combustible entièrement PEM pour la simulation numérique. Les résultats expérimentaux sont très limités dans la littérature avec des spécifications détaillées de l'architecture cellulaire et des conditions expérimentales.

Tableau III.1 : Géométries et paramètres de fonctionnement.

Paramètre	Symbole	Valeur
Longueur de cellule	L	0.023[m]
Hauteur du canal	H_{ch}	$0.8 \times 10^{-3}[m]$
Largeur de canal	W_{ch}	$0.8 \times 10^{-3}[m]$
Largeur de nervure	W_{rib}	$0.8 \times 10^{-3}[m]$
Largeur de la GDL	H_{gdl}	$380 \times 10^{-6}[m]$
Épaisseur d'électrode poreuse	$H_{\text{électrode}}$	$50 \times 10^{-6}[m]$
Épaisseur de membrane	H_{membrane}	$100 \times 10^{-6}[m]$
Température de la pile	T	80+273.15[K]

Tableau III.2 : Propriétés des électrodes et de la membrane.

Paramètre	Symbole	Valeur	Référence
Porosité GDL	ε_{gdl}	0.4	[29]
Porosité Membrane	ε_M	0.413	[29]
Perméabilité GDL	$K_{p.gdl}$	$1.18 \times 10^{-11}[m^2]$	[29]
Perméabilité à la membrane saturée N112 [A.Z. Weber, JES 152 (2005) A681]	$K_{p.M}$	$1.8 \times 10^{-7}[m^2]$	[29]
Perméabilité (électrode poreuse)	$K_{p.CL=K_{p.GDL}}/5$	$1.8 \times \frac{10^{-7}}{5}[m^2]$	[29]

Tableau III.3 : Propriétés électrochimiques.

Paramètre	Symbole	Valeur	Référence
Densité de courant d'oxydation d'hydrogène à l'anode.	$i_{0_{H_2a}}$	94.5[A/m ²]	[29]
Densité de courant d'oxydation d'hydrogène à l'cathode.	$i_{0_{H_2c}}$	0[A/m ²]	[29]
Concentration de référence en oxygène	$C_{O_2.ref}$	40.88[mol/m ³]	[29]
Concentration de référence en hydrogène	$C_{H_2.ref}$	100[mol/m ³]	[29]

Tableau III.4 : Diffusivités binaires à 1atm et à la température de la pile.

Paramètre	Symbole	Valeur	Référence
H_2-H_2O Coefficient de diffusion binaire	$D_{H_2-H_2O}$	$9.15 \times 10^{-5} \times [T/307.1]^{1.75} [m^2/s]$	[30]
N_2-H_2O Coefficient de diffusion binaire	$D_{N_2-H_2O}$	$2.56 \times 10^{-5} \times [T/307.1]^{1.75} [m^2/s]$	[30]
O_2-N_2 Coefficient de diffusion binaire	$D_{O_2-N_2}$	$2.2 \times 10^{-5} \times [T/293.2]^{1.75} [m^2/s]$	[30]
O_2-H_2O Coefficient de diffusion binaire	$D_{O_2-H_2O}$	$2.82 \times 10^{-5} \times [T/308.1]^{1.75} [m^2/s]$	[30]

Chapitre V
Résultats et discussions

IV.1. Validation du modèle

Pour valider le modèle établi dans cette étude, des comparaisons doivent être effectuées entre les résultats de la simulation correspondant aux conditions de base (Tableau II.2) et les données expérimentales obtenues par notre étude pour la courbe de polarisation, c'est-à-dire la courbe de tension de cellule en fonction de la densité de courant.

On constate un bon accord entre les deux ensembles des résultats dans les plages de densité de courant observées, comme est indiqué.

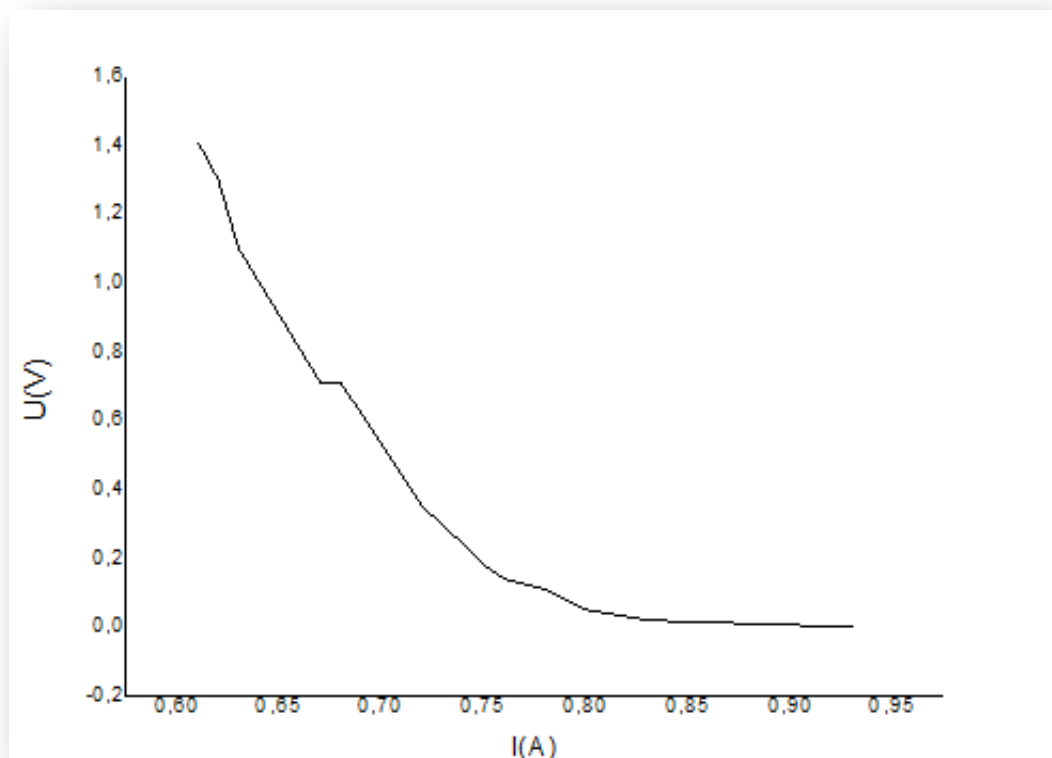


Figure IV.1.a. – Données expérimentales moyennes dans notre étude expérimentales.

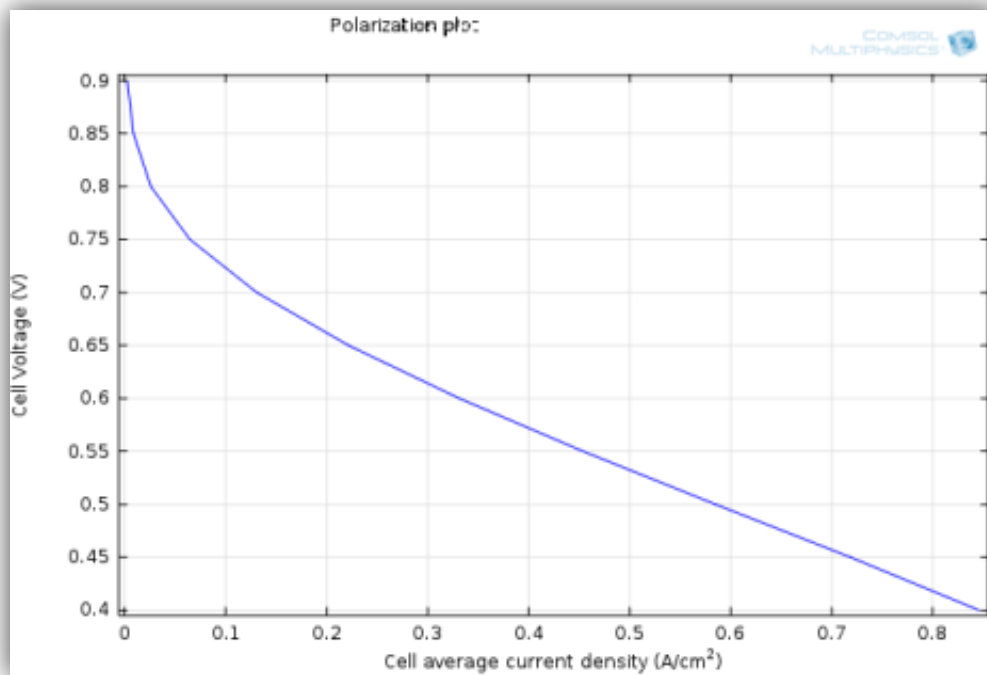
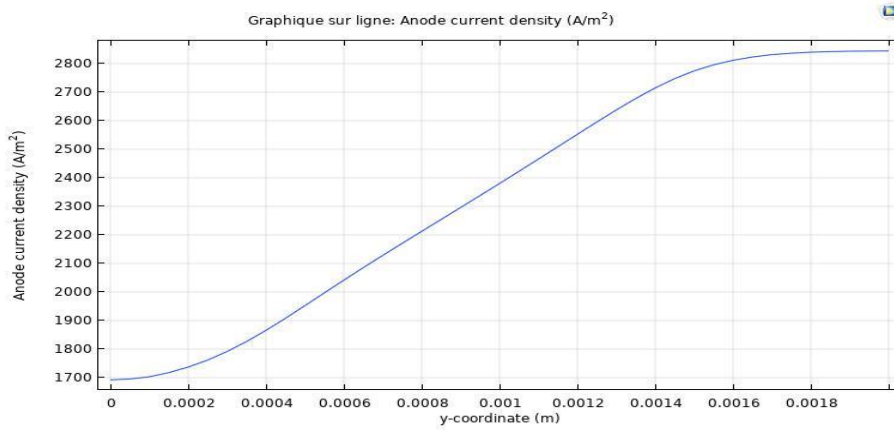


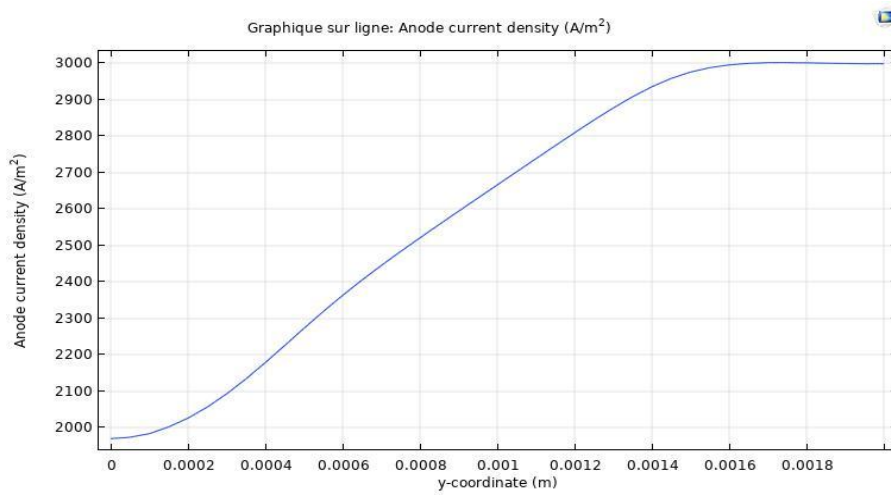
Figure IV.1.b – Résultats de modélisation

IV.2. Effet de la pression sur la performance.

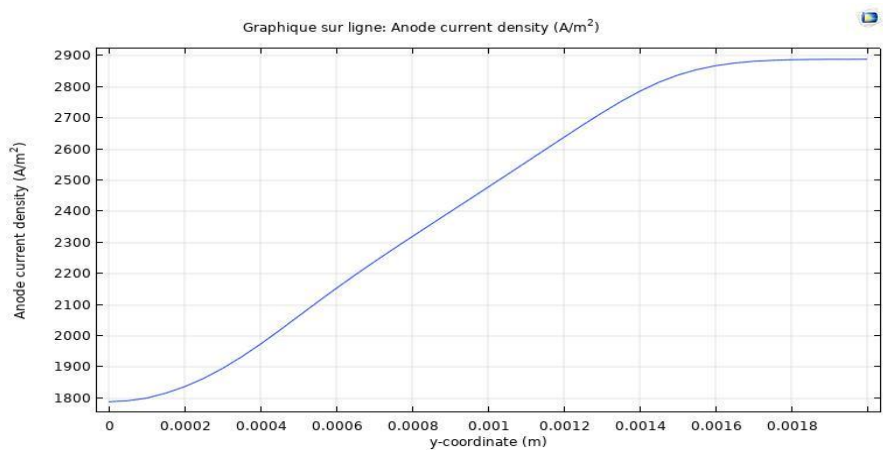
Les paramètres qu'on peut être modifiés pour améliorer les performances de la PEMFC est la pression. Elle influe fortement sur les performances de la pile à combustible PEMFC. La Figure 5.2 montre l'effet de différente pression (1.1×10^5 (Pa), 1.2×10^5 (Pa), 1.3×10^5 (Pa)) sur une pile PEMFC en utilisant une membrane de Nafion 112 et du concentration d'hydrogène à (1 (Mol/L)). L'augmentation de la pression de la pile à combustible DMFC entraine une augmentation de la performance globale de cette dernière. Exemple à une pression de (1.1×10^5 (Pa)) en aura une densité de courant de ($\square 2800$ (A/m^2)), et avec l'augmentation de la pression la densité de courant augmente de façon significatif de à (2800 (A/m^2)) à (2900 (A/m^2)) pour une différence de pression de (0.1×10^5 (Pa)) et de à (2900 (A/m^2)) à (3000 (A/m^2)) pour un ($\Delta P = 0.3 \times 10^5$ (Pa)). On conclue que avec cette pression de (1.3×10^5 (Pa)) on auras une meilleur performance souhaite.



(a)



(b)



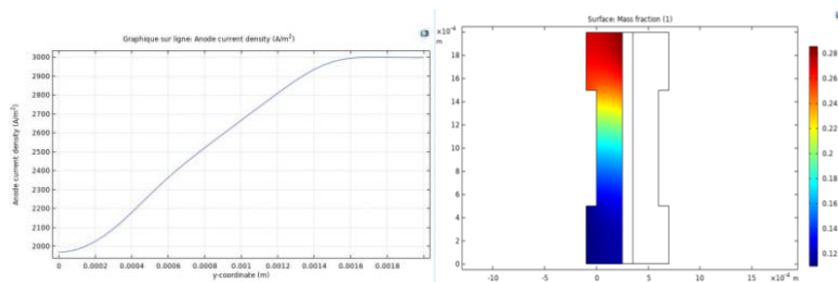
(c)

Figure IV.2–Performances de la pile à combustible, la densité de courant (A/m²). Conditions de modélisation (1.1×10^5 (Pa), 1.2×10^5 (Pa), 1.3×10^5 (Pa)), avec 1 (Mol/L) d’hydrogène.

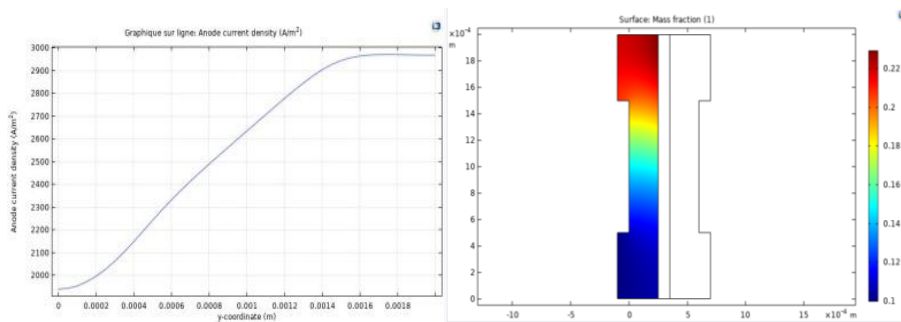
IV.3. Effet de la concentration d’hydrogène sur la performance.

Pour l’effet de la concentration d’hydrogène on a constaté que l'utilisation d'une concentration plus élevée améliorerait la tension, densité de puissance et les densités de courant. Comme la montre la Figure 5.3, une analyse à $(1.3 \times 10^5 \text{ (Pa)})$ et à différentes concentration $3(\text{mol/l}), 2.5(\text{mol/l}), 2(\text{mol/l})$, indique que le d’hydrogène a $3(\text{mol/l})$ donné les meilleurs résultats. Cela se produit car il y a plus de d’hydrogène à réagir et donc plus de puissance par unité de volume. Cependant, à des concentrations plus faibles, il y avait moins de d’hydrogène nécessaire pour réagir.

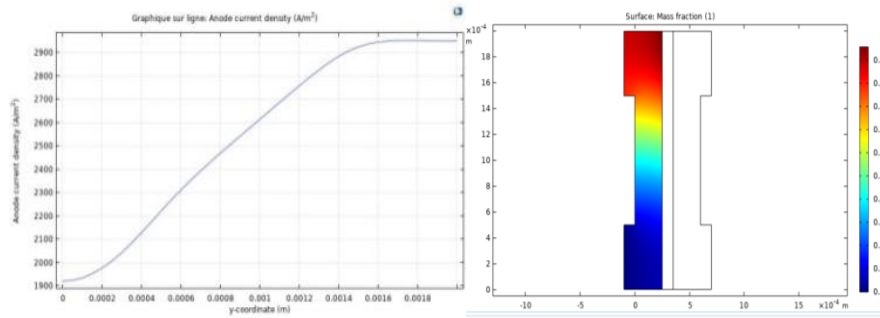
Donc on a préféré la concentration de $3(\text{mol/l})$ qui nous permettent d’avoir la meilleur performance pour cette pile à combustible type DMFC.



(a)



(b)



(c)

Figure IV.3 – Performances de la pile à combustible, la densité de courant. Conditions de modélisation, $a - 3(\text{mol/l})$, $b - 2.5(\text{mol/l})$, $c - 2(\text{mol/l})$, à $(1.3 \times 10^5 \text{ (Pa)})$.

IV.4. Effet de la température sur la performance.

Parmi les paramètres qu'on peut être modifiés pour améliorer les performances de la PEMFC est la température. Cette dernière influe fortement sur les performances de la pile à combustible. La Figure IV.2 montre l'effet de différentes température ($a - (600 K^0)$, $b - (500 K^0)$, $c - (300 K^0)$) sur une pile PEMFC en utilisant une membrane de Nafion 112 et du l'hydrogène à $(3(\text{Mol/L}))$. L'augmentation de la température de la pile à combustible PEMFC entraine une diminution de la performance globale de cette dernière. Notons bien que cette température augmente en raison de l'amélioration de la cinétique chimique qui résulte de l'oxydation de solution d'hydrogène à la couche catalyseur anodique. Ce qui diminue la conductivité protonique des protons H^+ au niveau de la membrane. Et d'un autre cote on a une diminution de la diffusion de la concentration d'hydrogène à la cote anodique ce qui signifie la consommation de carburant. Exemple à température de $(300 K^0)$ en aura une densité de courant de $(\square 3700(A/m^2))$, et avec l'augmentation de la température le (DDP) augmente de façon significative.

On conclue qu'avec cette température de $(300K^0)$ on aura une meilleure performance souhaite.

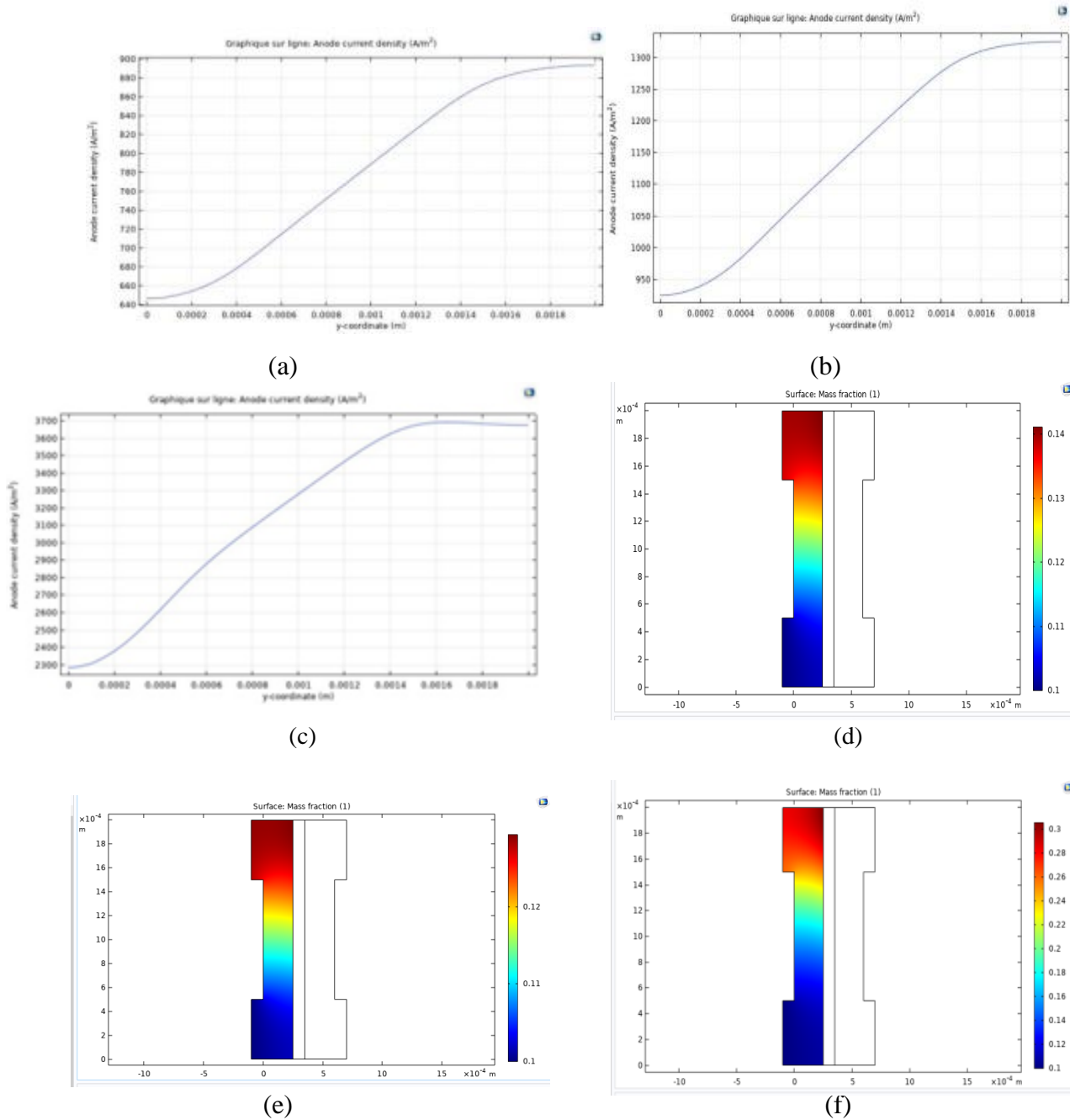


Figure IV.4–Performances de la pile à combustible, la densité de courant (A/m²) et ldiffusion de l’hydrogène Conditions de modélisation (a–(600 K⁰), b–(500 K⁰), c–(300 K⁰)), avec 3(Mol/L) d’hydrogène.

Chapitre V

*Confirmation des résultats expérimentaux
et théoriques*

V.1. Introduction :

Dans cette section, on présente en détail le banc d'essai, les tests réalisés ainsi que tous les résultats expérimentaux obtenus. Effectivement, ce travail de maîtrise n'est pas un travail expérimental. La partie expérimentale n'est, dans le cadre de ce travail, qu'un outil de validation du modèle. Aussi, on cherche ici principalement à aboutir aux conclusions en termes de validation (ou non) du modèle.

V.2. L'objectif.

L'objectif de cette section est de valider expérimentalement la modélisation des Courbes caractéristique courant-tension d'une pile à combustible PEM dans l'électrode (CAC). Ainsi, d'un point de vue modèle, on considère l'ensemble constitué des modules canal et GDL à la cathode et du module potentiel cellule. Ce dernier est nécessaire car il permet la comparaison des voltages expérimentaux avec la simulation. En effet, le banc d'essai ne permet pas d'obtenir des mesures internes à la pile portant sur les gaz. Aussi, on ne peut mener la comparaison que par l'intermédiaire du voltage (seule grandeur mesurable qui nous donne des informations internes à la pile). La pile utilisée pour la validation comporte une cellule. Elle est intégrée dans un banc d'essai schématisé à la figure. (En plus des notations habituelles, désignent sur ce schéma la tension et la puissance aux bornes de la cellule, le débit en conditions atmosphériques).

V.3. Efficacité de la pile à combustible PEM.

Pour déterminer l'efficacité de la pile à combustible, les deux gazomètres du bar à gaz doivent être aussi pleins que possible.

Pour cela connecter les deux gazomètres à l'électrolyseur (colliers ouverts). Faire fonctionner l'électrolyseur avec une tension maximale (2V) ou un courant maximal (2 A). Si la production de gaz dépasse la capacité volumique maximale du gazomètre (environ 250 ml), le gaz en excès s'échappe par l'entonnoir dans l'atmosphère.

En conséquence, non seulement le gazomètre H_2 , mais également le gazomètre O_2 peuvent être facilement remplis complètement à l'aide de l'électrolyseur.

Après avoir rempli le gazomètre, éteignez l'électrolyseur et serrez fermement le tube derrière l'électrolyseur.

– Les deux gazomètres doivent contenir environ 250 ml de gaz.

Chapitre V : Confirmation des résultats expérimentaux et théoriques

- Réaliser le montage expérimental selon la Figure V.1 et le schéma électrique de la Figure V.2.
 - Scellez hermétiquement les raccords de sortie inférieurs avec de courts morceaux de tuyau en caoutchouc (diamètre = 4 mm) et des colliers de serrage.
 - Relier chacun des deux raccords d'admission supérieurs de la pile à combustible à un gazomètre.
 - Desserrer les colliers des flexibles de raccordement entre le gazomètre et la pile à combustible.
 - Raccordez une résistance de charge de 1Ω à la pile à combustible conformément au schéma électrique de la Fig. 1.
 - La pile à combustible consomme de l'hydrogène et de l'oxygène dans un rapport de 2:1. Mesurer le volume V_{H_2} d'hydrogène consommé en fonction du temps t .
- Remarque : Les valeurs de tension et de courant ne sont pas constantes pendant de longues périodes, car l'alimentation en gaz des électrodes devient plus faible. Par conséquent, il est conseillé de mesurer le temps de consommation de 25 ml d'hydrogène dans chaque cas, et de rincer la pile à combustible avec de l'hydrogène et de l'oxygène entre les mesures.
- Desserrer avec précaution le collier de serrage du raccord de sortie inférieur du côté oxygène de la pile à combustible et laisser environ 25 ml d'oxygène s'écouler à travers la pile. Serrez la pince.
 - Laisser ensuite s'écouler l'hydrogène de la même manière jusqu'à ce que le niveau d'eau dans l'entonnoir cylindrique soit d'environ 1 mm au-dessus d'un repère d'étalonnage et resserrer le collier. Commencez à mesurer le temps lorsque le niveau d'eau dépasse le repère d'étalonnage et arrêtez de le mesurer lorsque 25 ml d'hydrogène ont été utilisés.
 - Mesurer la tension U et le courant I au début et à la fin de l'intervalle de temps.



Figure V.1 : Montage expérimental : Rendement de la pile à combustible.

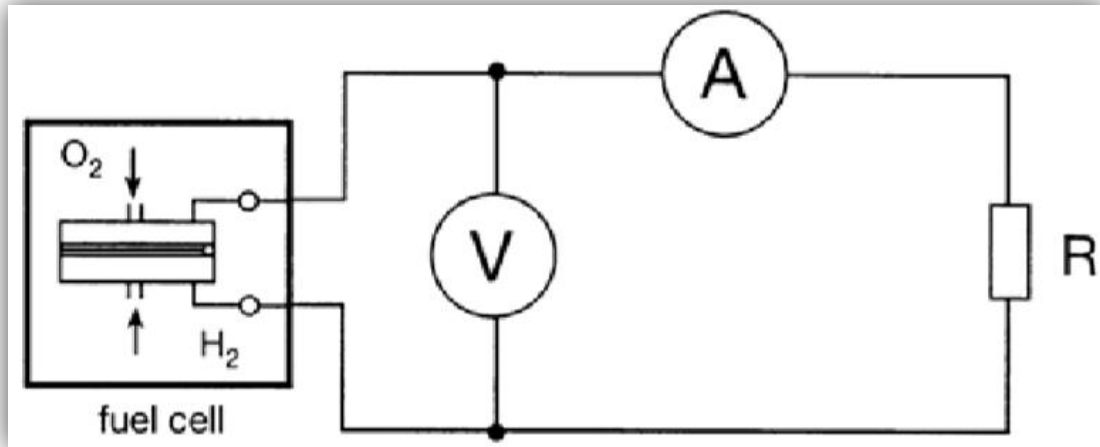


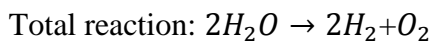
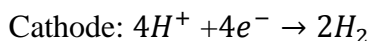
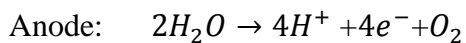
Figure V.2 : Schéma électrique: caractéristique et efficacité de la pile à combustible.

- Rincer à nouveau la pile à combustible avec de l'oxygène et de l'hydrogène, et effectuer une nouvelle mesure du temps pour la consommation de 25 ml d'hydrogène.
- Mesurer la température ambiante T_{amb} et la pression ambiante P_{amb} .
- Une répétition de cette expérience avec une autre résistance de charge (par exemple 2Ω) est facilitée, lorsque, par exemple, les gazomètres ont été remplis pour une autre expérience avec l'électrolyseur.

V.4. Théorie et évaluation

La partie principale de l'unité d'électrolyse PEM et de la pile à combustible PEM est une unité membrane-électrode. Une couche de matériau catalyseur a été appliquée sur les deux faces de la fine membrane conductrice de protons (PEM = proton exchange membrane). Ces deux couches forment l'anode et la cathode de la cellule électrochimique.

Dans l'électrolyseur, la réaction suivante se produit Figure V.3 :



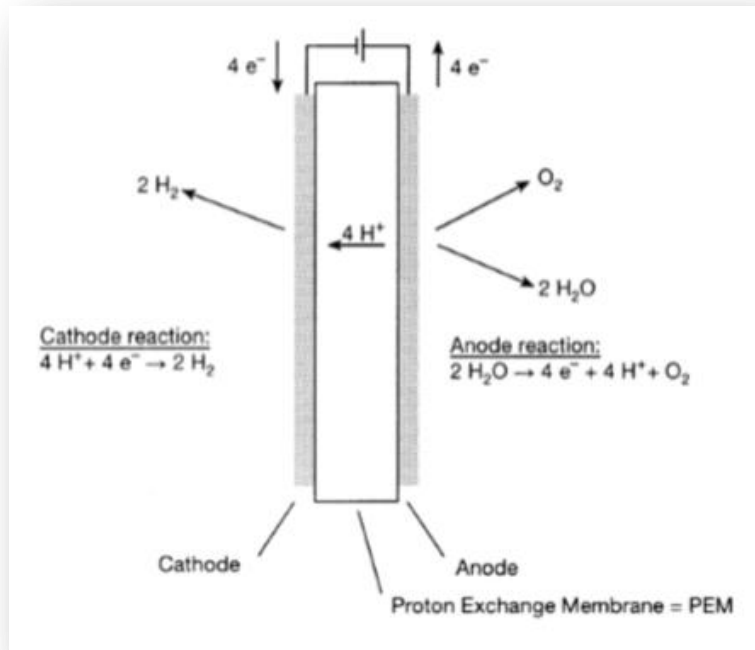
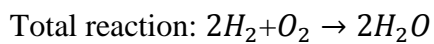
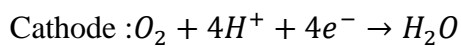
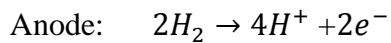


Figure V.3 : Principe de fonctionnement d'un électrolyseur PEM.

Du côté de l'anode, de l'oxygène gazeux, des électrons et des ions H^+ se forment lorsqu'une tension externe est appliquée. Les ions H^+ traversent la membrane conductrice de protons jusqu'à la cathode et ils forment de l'hydrogène gazeux avec les électrons circulant dans le circuit conducteur externe.

Dans la pile à combustible, la réaction suivante se produit Figure V.4 :



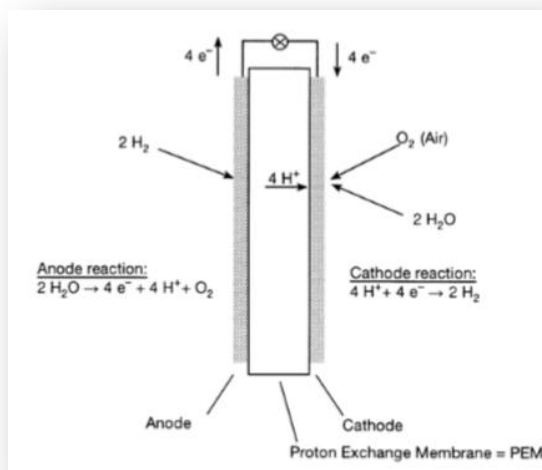


Figure V.4 : Principe de fonctionnement d'une pile à combustible PEM

Étant donné que l'hydrogène gazeux qui est fourni à l'anode est oxydé, il se décompose en raison de l'action catalytique de l'électrode (par exemple le platine) en protons et électrons. Les ions H^+ traversent la membrane conductrice de protons jusqu'au côté cathode. Les électrons traversent le circuit électrique extérieur fermé jusqu'à la cathode et effectuent un travail électrique de cette manière. L'oxygène gazeux qui est fourni à la cathode est réduit. Dans le processus, de l'eau se forme en plus des protons et des électrons.

Si une électrode à hydrogène et une électrode à oxygène sont situées dans un électrolyseur ou une pile à combustible, il existe une différence de potentiel ΔE entre les deux électrodes. Il dépend de la température ; sa valeur théorique peut être calculée à partir de l'enthalpie libre de réaction ΔG et est égale à : $\Delta E = 1.23 \text{ V}$ à 25°C

En électrolyse, la tension appliquée doit être au moins aussi grande que cette tension de cellule théorique pour qu'un courant puisse circuler. Dans la pile à combustible, la tension maximale aux bornes peut être aussi élevée que cette valeur théorique. Dans l'électrolyseur comme dans la pile à combustible, des potentiels supplémentaires apparaissent au niveau des électrodes.

Dans l'équilibre électrochimique, des potentiels de limite de phase entre l'électrode et la membrane se produisent également au niveau des électrodes. Dans le processus, il y a un échange continu de charges entre les deux, mais la réaction brute est égale à zéro.

Si, en plus, un courant traverse l'électrolyseur ou la pile à combustible, l'équilibre électrochimique aux électrodes est perturbé. Le potentiel d'électrode prend une autre valeur,

Chapitre V : Confirmation des résultats expérimentaux et théoriques

qui dépend de la densité de courant, en raison de diverses réactions au niveau de l'électrode. Cet écart par rapport à la valeur d'équilibre est appelé « polarisation électrique », c'est-à-dire que l'électrode se polarise.

Les raies caractéristiques de l'électrolyseur et de la pile à combustible ne présentent donc une évolution presque linéaire qu'à des valeurs de courant plus élevées ; dans cette section, le mouvement des ions à travers la membrane est décisif.

La quantité de substance n libérée à une électrode peut être calculée en utilisant la loi de Faraday.

$$\eta = \frac{I.t}{z.F} \quad (\text{V.1})$$

où I : courant, t : temps, z : nombre d'électrons nécessaires pour libérer une molécule, F : constante de Faraday.

$$F = 96,487 \text{ As/mol}$$

Dans cette expérience, des gaz se dégagent. Le volume d'une quantité de substance n peut être déterminé à l'aide de l'équation générale des gaz :

$$V = \frac{n.R.T}{P} \quad (\text{V.2})$$

où T : température absolue, p : pression, R ; constante générale des gaz $R = 8,31 \text{ J}/(\text{mol. K})$.

Si un courant I circule dans un électrolyseur, le volume de gaz suivant par unité de temps est généré selon les équations (1) et (2) :

$$\frac{V}{t} = \frac{I.R.T}{z.F.p} \quad (\text{V.3})$$

Dans la pile à combustible, ce volume de gaz par unité de temps est nécessaire pour que le courant I puisse circuler.

Pour déterminer l'efficacité de l'électrolyseur et de la pile à combustible, les énergies électrique W_{el} et chimique W_{H_2} de l'hydrogène généré ou requis sont calculées par.

$$W_{el} = U.I.T \quad (\text{V.4})$$

$$W_{H_2} = U.I.H \quad (\text{V.5})$$

où U : tension, I : courant, t : temps, n : quantité d'hydrogène, H : contenu calorifique molaire (enthalpie molaire de réaction) de l'hydrogène.

On différencie entre le contenu calorifique inférieur H_U et le contenu= calorifique supérieur H_O .

Le teneur calorifique molaire de l'hydrogène sera donné comme suit :

$$H_U = 242.0 \text{ kJ/mol}$$

Chapitre V : Confirmation des résultats expérimentaux et théoriques

$$H_o = 266.1 \text{ kJ/mol}$$

La différence entre les deux est l'enthalpie molaire de vaporisation (enthalpie de condensation) q de l'eau.

$$H_o = H_U + q \quad (\text{V.6})$$

L'efficacité de l'électrolyseur dépend fortement des conditions de fonctionnement respectives. S'il n'a pas été utilisé pendant une longue période, l'intensité du courant à 2 V peut être inférieure à celle indiquée dans le tableau ; après une longue période de fonctionnement, parfois beaucoup plus importante (par exemple supérieure à 4 A).

Tableau V.1 Caractéristique courant-tension de l'électrolyseur PEM

U/V	I/A
2.00	2.69
1.91	2.20
1.81	1.50
1.75	1.00
1.68	0.51
1.61	0.21
1.55	0.11
1.51	0.06
1.40	0.03
0.99	0.02
0.40	0.00

Les valeurs mesurées dans le Tableau V.1 sont tracées sur la Figure V.5. À partir du segment linéaire de la ligne caractéristique, la tension de décomposition U_z est déterminée comme l'intersection de la ligne droite prolongée avec l'axe U :

$$U_z = 1.60 \text{ V.}$$

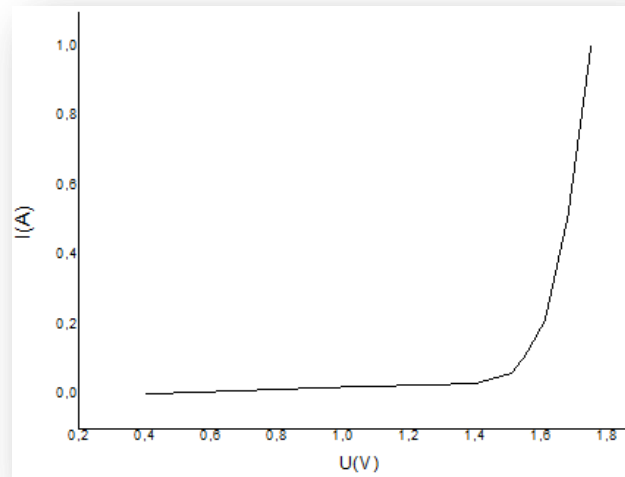


Figure V.5. : Ligne caractéristique courant-tension d'un électrolyseur PEM.

Tableau V.2 : Ligne caractéristique de la pile à combustible PEM.

R/ Ω	Combinaison	U/V	I/A
Infinite		0.93	0.00
28	=10+10+5+2+1	0.83	0.02
25	=10+10+5	0.82	0.03
20	=10+10	0.81	0.04
15	=10+5	0.80	0.05
10		0.79	0.07
7	=5+2	0.78	0.11
5		0.76	0.14
4	=2+2	0.75	0.18
3	=2+1	0.74	0.24
2		0.72	0.35
1		0.68	0.71
0.83	=1//5	0.67	0.71
0.67	=1//1	0.63	1.10
0.40	=1//1//2	0.62	1.30
0.37	1//1//2//5	0.61	1.41

Chapitre V : Confirmation des résultats expérimentaux et théoriques

L'efficacité de la pile à combustible est fonction des pressions de gaz, du débit de gaz, de l'humidité de la membrane et de la température.

Les valeurs mesurées dans le tableau 2 sont tracées sur la Figure V.5. La tension à vide est.

$$U_0 = 0.93 \text{ V.}$$

Pour des valeurs de courant plus élevées, la ligne caractéristique de la Figure V.6 présente un parcours presque linéaire. Si la ligne caractéristique s'écarte d'une trajectoire linéaire dans cette région, il est possible que les apports d'hydrogène et d'oxygène à la pile à combustible soient insuffisants.

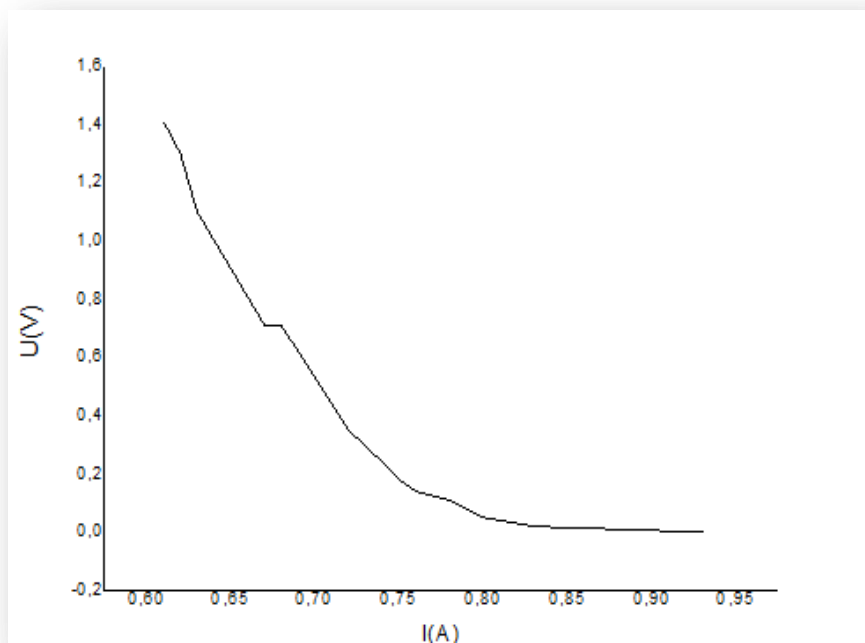


Figure V.6 : Courbe caractéristique courant-tension d'une pile à combustible PEM

V.5. Efficacité de l'électrolyseur PEM.

$$I=1.02 \text{ (A)} \quad U=1.71 \text{ (V)} \quad p_{amb} = 984 \text{ (hPa)} \quad T = 21 \text{ (}^\circ\text{C)}$$

Tableau V.3 La Relation Entre V et le temps

V_{H_2}/ml	t/min:s	t/s
0	0:00	0
25	3:27	207
50	6:50	410
75	10:18	618
100	13:42	822
125	17:08	1028
150	20:40	1240
175	24:16	1456

$I=2.01A$ $U=1.83V$ $p_{amb} = 984 hPa$ $T = 21^{\circ}C$

Tableau V.4 La Relation V et T

V_{H_2}/ml	t/min:s	t/s
0	0:00	0
25	1:42	102
50	3:24	204
75	5:07	307
100	6:49	409
125	8:34	514
150	10:15	615
175	12:03	723

Les valeurs mesurées dans les Tableaux V.3 et V.4 sont représentées sur la Figure V.7. À partir de la pente des droites, les volumes générés par unité de temps V_{H_2}/t (mesurés) peuvent être lus.

Elles sont comparées aux valeurs théoriques selon l'équation (3) et à partir de là, le rendement en gaz, c'est-à-dire l'efficacité de courant, est calculé.

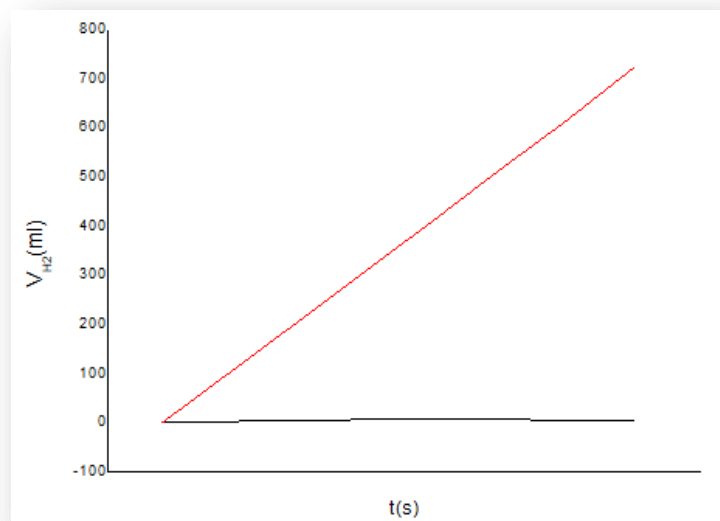


Figure V.7 : Volume de l'hydrogène généré par l'électrolyseur PEM en fonction du temps à différents courants I.

La pression générée par la colonne d'eau dans le gazomètre doit être ajoutée à la pression ambiante mesurée P_{amb} . Celui-ci a une valeur moyenne d'environ 20 hPa. D'autre part, l'hydrogène produit est saturé en vapeur, dont la pression partielle est de 23 hPa. Comme ces deux effets se compensent, aucune correction de la pression n'est à effectuer.

$$P = P_{amb} = 984 \text{ (hPa)}, T = 294 \text{ (K)}$$

Tableau V.5 : La Relation Entre V et Le Rendement

conditions Expérimental	V_{H_2} /ml measure	V_{H_2} /ml théorique	Rendement en gaz
I= 1.02A V= 1.71V	0.121 ml/s	0.131 ml/s	92%
I= 2.01A V= 1.83V	0.243ml/s	0.258ml/s	94%

Le gaz manquant est dû à des pertes de diffusion à l'intérieur de la cellule. L'efficacité de l'électrolyseur peut être calculée à l'aide des équations (4) et (5).

Chapitre V : Confirmation des résultats expérimentaux et théoriques

$$\eta = \frac{W_{H_2}}{W_{el}} = \frac{H_0 \cdot n}{U.I.t.}$$

(V.8)

En utilisant l'équation générale des gaz (2), les volumes mesurés V_{H_2} d'hydrogène sont convertis en quantités de substance n . Ainsi, on obtient pour l'efficacité :

$$\eta = \frac{H_0 \cdot p \cdot V}{R \cdot T \cdot U \cdot I \cdot t}$$

(V.9)

De plus, un facteur de correction doit être pris en considération à ce stade, si les marques de volume sur les entonnoirs du gazomètre ont été vérifiées avec un appareil de mesure de volume. Dans notre cas, une mesure a montré ce qui suit :

250 ml en gazomètre = 255 ml en appareil de mesure de volume.

$$V_{\text{corr}} = 1.02 \cdot V_{H_2} \quad p_{\text{amb}} = 984 \text{ hPa} \quad T = 294 \text{ K}$$

Tableau V.6 (: (Résistance de charge 1 Ω) $P_{\text{amb}} = 984 \text{ hPa}$ $T = 22^\circ\text{C}$

Conditions de fonctionnement	Efficacité
I= 1.02A V= 1.71V	82%
I= 2.01A V= 1.83V	78%

Le rendement de l'électrolyseur est un peu plus important à 1,71 V/1,02 A qu'à 1,83 V/2,01 A. Le rendement en gaz est le même dans les deux cas.

V.5. Efficacité de la pile à combustible PEM.

Tableau V.7 : (résistance de charge 1 Ω) $P_{amb} = 984$ hPa $T = 22^\circ\text{C}$.

Mark	V_{H_2}/ml	t/min;s	U/V	I/A
225	25	0;00	0.68	0.67
200		4:42	0.66	0.65
175	25	0;00	0.67	0.66
150		4;47	0.66	0.64
125	25	0;00	0.67	0.65
100		4;57	0.65	0.64
75	25	0;00	0.67	0.65
50		4;42	0.65	0.63

Valeurs moyennes : $t = 287$ s $U = 0,66$ V $I = 0,65$ A

Tableau V.8 :(résistance de charge 2 Ω) $P_{amb} = 984$ hPa $T = 23^\circ\text{C}$.

Mark	V_{H_2}/ml	t/min;s	UN	I/A
225	25	0;00	0.75	0.35
200		9;05	0.75	0.35
175	25	0;00	0.75	0.35
150		9;07	0.73	0.34
125	25	0:00	0.75	0.35
100		8:57	0.75	0.35
75	25	0;00	0.75	0.35
50		8;51	0.74	0.35

Valeurs moyennes : $t = 540$ s $U = 0.75$ V $I = 0.35$ A

La pression générée par la colonne d'eau dans le gazomètre doit être ajoutée à la pression ambiante mesurée P_{amb} . Celui-ci a une valeur moyenne d'environ 20 hPa. D'autre part, l'hydrogène produit est saturé en vapeur, dont la pression partielle est de 23 hPa. Comme ces deux effets se compensent, aucune correction de la pression n'est à effectuer $P = P_{amp}$.

Le volume de gaz théoriquement requis, déterminé selon l'équation (3), est comparé à celui mesuré, et à partir de celui-ci, l'utilisation du gaz est calculée.

Chapitre V : Confirmation des résultats expérimentaux et théoriques

Tableau V.9 comparaison des deux résultats de la chaleur de condensation Huet de la
5chaleur d'énergie électrique Ho

Conditions de fonctionnement	V_{H_2}/t measured	V_{H_2}/t theoretical	Gas utilisation
I= 1.02A V= 1.71V P= 992hPa, T =295k	0.0871 ml/s	0.0832 ml/s	96%
I= 1.02A V= 1.71V P= 992hPa, T =295k	0.0463 ml/s	0.0447 ML/S	97%

Le gaz manquant est dû à des pertes de diffusion à l'intérieur de la cellule.

L'efficacité de la pile à combustible est calculée à l'aide des équations (4) et (5).

$$\eta = \frac{W_{el}}{W_{H_2}} = \frac{U.I.t}{n.H.}$$

(V.10)

En raison de la réaction se produisant dans la pile à combustible, la teneur calorique supérieure Ho doit être utilisée pour calculer le rendement. Dans l'industrie, il est cependant normal de calculer avec le contenu calorique inférieur Hu car la chaleur de condensation ne génère que de la chaleur et pas d'énergie électrique. Les deux résultats sont comparés dans le tableau 4.4.

Les volumes mesurés V d'hydrogène sont convertis en quantités de substance n à l'aide de l'équation générale des gaz (2). On obtient ainsi pour l'efficacité :

$$\eta = \frac{R.T.U.I.t}{H_{0,p}.V} \quad (V.11)$$

De plus, un facteur de correction doit être pris en considération à ce stade, si les marques de volume sur les entonnoirs du gazomètre ont été vérifiées avec un appareil de mesure de volume. Dans notre cas, une mesure a montré ce qui suit : 250 ml dans le gazomètre = 255 ml dans le dispositif de mesure du volume.

$$V_{corr} = 1.02 \cdot v_{H_2}$$

Chapitre V : Confirmation des résultats expérimentaux et théoriques

Tableau V.10 : Comparaison des deux résultats de la chaleur de condensation Huet de la chaleur d'énergie électrique H_0

Conditions de fonctionnement	Efficacité (en utilisant H_0)	Efficacité (en utilisant H_u)
I= 0.65A ,U= 0.66V P= 992hPa, T =295k	42%	49%
I= 0.35A, U= 1.71V P= 998hPa, T =295k	48%	57%

Conclusion :

Le rendement de la pile à combustible est un peu plus élevé à 0,75 V/0,35 A qu'à 0,66 V/0,65 A. Le rendement en gaz est le même dans les deux cas.

Conclusion Générale

Conclusion générale

Conclusions

L'augmentation de la température signifie que la concentration de l'hydrogène est dans la plus petite valeur, alors que cette température permet le mauvais fonctionnement de P.E.M.F.C lorsqu'elle vaporise l'eau c'est-à-dire elle sèche la membrane qui est une conductrice protonique c.à.d. la diminution de conductivité protonique. Avec l'existence d'une concentration supérieure de l'hydrogène on aura une autre fois l'apparition de phénomène de inondation de la membrane, ce qui diminue une autre fois la performance de la pile alors on a obligé de définir l'intervalle de cette température ou la pile P.E.M.F.C peut avoir le plus grand rendement. Pour valider le modèle établi dans cette étude, des comparaisons doivent être effectuées entre les résultats de la simulation correspondant aux conditions de base et les données expérimentales obtenues dans notre étude expérimentale pour la courbe de polarisation. La pression joue aussi un rôle très important pour augmenter la performance de la pile à combustible P.E.M.F.C.

Perspectives

Le modèle peut être amélioré par les propositions suivantes :

- L'eau et le méthanol dans les couches de diffusion sont à l'état liquide, mais peuvent également s'y trouver à l'état gazeux. Il faut donc prendre en compte l'évaporation de l'eau et de méthanol dans les couches de diffusion.
- La membrane peut être légèrement perméable aux liquides, donc il faut calculer la perméation de méthanol et de l'eau.
- Le cœur de pile peut être siège de gradient de température, ce qui peut affecter les mécanismes de transport et les pressions de saturation et le changement de phase.

REFERENCES

- [1] Milad Hosseinpour Madhumita Sahoo Maria Perezage Sebastian Ross Baylis Faisal Patel Stuart M.Holmes, Improving the performance of direct methanol fuel cells by implementing multilayer membranes blended with cellulose nanocrystals, *International Journal of Hydrogen Energy* Volume 44, Issue 57, 15 November 2019, Pages 30409-30419
- [2]M. Goor, S. Menkin, E. Peled, High power direct methanol fuel cell for mobility and portable applications, *Int J Hydrogen Energy*, 44 (2019), pp. 3138-3143
- [3]M. Perez-Page, M. Sahoo, S.M. Holmes, Single layer 2D crystals for electrochemical applications of Ion exchange membranes and hydrogen, *Adv Mater Interfaces*, 6 (2019)1801838
- [4]P. Prapainainar, N. Pattanapisutkun, C. Prapainainar, P. Kongkachuichay, Incorporating graphene oxide to improve the performance of Nafion-mordenite composite membranes for a direct methanol fuel cell, *Int J Hydrogen Energy*, 44 (2019), pp. 362-378
- [5]X. Xu, G. Zhao, H. Wang, X. Li, X. Feng, B. Cheng, et al. Bio-inspired amino-acid-functionalized cellulose whiskers incorporated into sulfonated polysulfone for proton exchange membrane *J Power Sources*, 409 (2019), pp. 123-131.
- [6] Shima Shari, Rahbar Rahimi¹, Davod Mohebbi-Kalhari, C. Ozgur Colpan, Numerical investigation of methanol crossover through the membrane in a direct methanol fuel cell, *Iranian Journal of Hydrogen & Fuel Cell* 1(2018) 21-33
- [7]P. Prapainainar, S. Maliwan, K. Sarakham, Z. Du, C. Prapainainar, S.M. Holmes, et al, Homogeneous polymer/filler composite membrane by spraying method for enhanced direct methanol fuel cell performance *Int J Hydrogen Energy*, 43 (2018), pp. 14675-14690
- [8]Y. Guo, Z. Jiang, X. Wang, W. Ying, D. Chen, S. Liu, et al, Zwitterion threaded metal-organic framework membranes for direct methanol fuel cells, *J Mater Chem A*, 6 (2018), pp. 19547-19554
- [9]N. Shaari, S.K. Kamarudin Performance of crosslinked sodium alginate/sulfonated graphene oxide as polymer electrolyte membrane in DMFC application: RSM optimization approach *Int J Hydrogen Energy*, 43 (2018), pp. 22986-23003
- [10]I. Jankowska, R. Pankiewicz, K. Pogorzelec-Glaser, P. Ławniczak, A. Łapiński, J. Tritt-Goc, Comparison of structural, thermal and proton conductivity properties of micro- and nanocelluloses *Carbohydr Polym*, 200 (2018), pp. 536-542
- [11]3El Dosoky M, Ahmed M, Ashgriz N. Numerical simulation of condensate removal from gas channels of PEM fuel cells using corrugated walls. *Int J Energy Res*. 2018; 42(4): 1664-1676.

Références

- [12]Saied M, Ahmed K, Nemat Alla M, Ahmed M, El Sebaie M. Performance study of solid oxide fuel cell with various flow field designs: numerical study. *Int J Hydrog Energy*. 2018; 43(45): 20931 20946.
- [13]Sun J, Zhang G, Guo T, Jiao K, Huang X. A three dimensional multiphase numerical model of DMFC utilizing Eulerian Eulerian model. *ApplTherm Eng*. 2018; 132: 140 153.
- [14]Ismail A, Kamarudin SK, Daud WRW, Masdar S, Hasran UA. Development of 2D multiphase nonisothermal mass transfer model for DMFC system. *Energy*. 2018; 152: 263 276.
- [15]Baz FB, Ookawara S, Ahmed M. Enhancing underrib mass transport in proton exchange membrane fuel cells using new serpentine flow field designs. *Int J Hydrog Energy*. 2018; ; 263: 273 378.
- [16]Wang Y, Wang S, Wang G, Yue L. Numerical study of a new cathode flowfield design with a subchannel for a parallel flowfield polymer electrolyte membrane fuel cell. *Int J Hydrog Energy*. 2018; 43(4): 2359 2368.
- [17]El Zoheiry RM, Mori S, Ahmed M. Using multipath spiral flow fields to enhance underrib mass transport in direct methanol fuel cells. *Int J Hydrog Energy*. 2018; xx: xx yy.
- [18]Tan Z, Wang A, Yuan W, et al. Dimensional effect of graphite flow field channels of a direct methanol fuel cell under different operating conditions. *Can J Chem Eng*. 2018; 96(3): 659 669.
- [19] ElZoheiry RM, Ookawara S, Ahmed M. Efficient fuel utilization by enhancing the underrib mass transport using new serpentine flow field designs of direct methanol fuel cells. *Energy Convers Manag*. 2017; 144: 88 103.
- [20]Ouellette D, Ozden A, Ercelik M, et al. Assessment of different bioinspired flow fields for direct methanol fuel cells through 3D modeling and experimental studies. *Int J Hydrog Energy*. 2017; xx: 1 19.
- [21]Wang C, Zhang Q, Lu J, et al. Effect of height/widthtapered flow fields on the cell performance of polymer electrolyte membrane fuel cells. *Int J Hydrog Energy*. 2017; 42(36): 23107 23117.
- [22]Wang A, Yuan W, Huang S, Tang Y, Chen Y. Structural effects of expanded metal mesh used as a flow field for a passive direct methanol fuel cell. *Appl Energy*. 2017; 208(October): 184 194.
- [23]Bednarek T, Tsotridis G. Issues associated with modelling of proton exchange membrane fuel cell by computational fluid dynamics. *J Power Sources*. 2017; 343: 550 563.

Références

- [24]Glass DE, Olah GA, Prakash GKS. Effect of the thickness of the anode electrode catalyst layers on the performance in direct methanol fuel cells. *J Power Sources*. 2017; 352: 165-173.
- [25]Lee J, Lee S, Han D, Gwak G, Ju H. Numerical modeling and simulations of active direct methanol fuel cell (DMFC) systems under various ambient temperatures and operating conditions. *Int J Hydrog Energy*. 2017; 42(3): 1736-1750.
- [26]P. Prapainainar, Z. Du, P. Kongkachuichay, S.M. Holmes, C. Prapainainar, Mordenite/Nafion and analcime/Nafion composite membranes prepared by spray method for improved direct methanol fuel cell performance *Appl Surf Sci*, 421 (2017), pp. 24-41
- [27]B.C. Ong, S.K. Kamarudin, S. Basri Direct liquid fuel cells: a review *Int J Hydrogen Energy*, 42 (2017), pp. 10142-10157
- [28] [2]Atacan, O. F., Ouellette, D., & Colpan, C. O. Two dimensional multiphase non-isothermal modeling of a flowing electrolyte–direct methanol fuel cell. *International Journal of Hydrogen Energy*, 42(4), 2669-2679, (2017).
- [29]M. Ercelik, A. Ozden, Y. Devrim, C.O. Colpan, Investigation of Nafion based composite membranes on the performance of DMFCs, *Int J Hydrogen Energy*, 42 (2017), pp. 2658-2668
- [30]Colpan, C. O., Ouellette, D., Glüsen, A., Müller, M., & Stolten, D. Reduction of methanol crossover in a flowing electrolyte-direct methanol fuel cell. *International Journal of Hydrogen Energy*, (2017)
- [31]G. Gnanakumar, A. Manthiram, Sulfonated polyether ether ketone/strontium zirconiteTiO₂ nanocomposite membranes for direct methanol fuel cells, *J Mater Chem A*, 5 (2017), pp. 20497-20504
- [32]S.M. Holmes, P. Balakrishnan, V.S. Kalangi, X. Zhang, M. Lozada-Hidalgo, P.M. Ajayan, et al. 2D crystals significantly enhance the performance of a working fuel cell *Adv Energy Mater*, 7 (2017), p. 1601216.
- [33]S.S. Gaur, P. Dhar, A. Sonowal, A. Sharma, A. Kumar, V. Katiyar Thermo-mechanically stable sustainable polymer based solid electrolyte membranes for direct methanol fuel cell applications, *J Membr Sci*, 526 (2017), pp. 348-354
- [34]Ong BC, Kamarudin SK, Basri S. Direct liquid fuel cells: A review. *Int J Hydrog Energy*. 2017; 42(15): 10142-10157.
- [35]Wang C, Zhang Q, Shen S, et al. The respective effect of under-rib convection and pressure drop of flow fields on the performance of PEM fuel cells. *Sci Rep*. Dec. 2017; 7(1):43447.

- [36]Zehtabiyani Rezaie N, Arefian A, Kermani MJ, Noughabi AK, Abdollahzadeh M. Effect of flow field with converging and diverging channels on proton exchange membrane fuel cell performance. *Energy Convers Manag.* 2017; 152(August): 31-44.
- [37]Kahraman H, Orhan MF. Flow field bipolar plates in a proton exchange membrane fuel cell: Analysis & modeling. *Energy Convers Manag.* 2017; 133: 363-384.
- [38]Vasile NS, MonteverdeVidela AHA, Simari C, Nicotera I, Specchia S. Influence of membrane type and flow field design on methanol crossover on a singlecell DMFC: An experimental and multi physics modeling study. *Int J Hydrog Energy.* 2017; 42(46): 27995-28010.
- [39]Hayre R, Colella WG, Cha SW, Prinz FB. *Fuel Cell Fundamentals*. 3rd ed. Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons Inc.; 2016.
- [40]I. Pivac, F. Barbir Inductive phenomena at low frequencies in impedance spectra of proton exchange membrane fuel cells – a review, *J Power Sources*, 326 (2016), pp. 112-119
- [41]T.D.O. Gadim, C. Vilela, F.J.A. Loureiro, A.J.D. Silvestre, C.S.R. Freire, F.M.L. Figueiredo Nafion and nanocellulose: a partnership for greener polymer electrolyte membranes *Ind Crops Prod*, 93 (2016), pp. 212-218
- [96]Wang XD, Yan WM, Duan YY, Weng FB, Jung GB, Lee CY. Numerical study on channel size effect for proton exchange membrane fuel cell with serpentine flow field. *Energy Convers Manag.* 2010; 51(5): 959-968.
- [97]A.S. Arico, V. Baglio, V. Antonucci Hansan Liu, JiuJun Zhang (Eds.), *Electrocatalysis of direct methanol fuel cells*, WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim (2009),
- [98]S.K. Kamarudin, F. Achmad, W.R.W. Daud, Overview on the application of direct methanol fuel cell (DMFC) for portable electronic devices, *Int J Hydrogen Energy*, 34 (2009), pp. 6902-6916
- [99]Q. Li, J. O. Jensen, R. F. Savinell, and N. J. Bjerrum, High temperature proton exchange membranes based on polybenzimidazoles for fuel cells, *Prog. Polym. Sci.*, vol. 34, no. 5, pp. 449-477, May 2009.
- [100] C. Wannek, W. Lehnert, and J. Mergel, Membrane electrode assemblies for high-temperature polymer electrolyte fuel cells based on poly(2,5-benzimidazole) membranes with phosphoric acid impregnation via the catalyst layers, *J. Power Sources*, vol. 192, no. 2, pp. 258-266, Jul. 2009.

- [101] E. U. Ubong, Z. Shi, and X. Wang, Three-Dimensional Modeling and Experimental Study of a High Temperature PBI-Based PEM Fuel Cell, *J. Electrochem. Soc.*, vol. 156, no. 10, p. B1276, 2009.
- [102] Zhao TS, Xu C, Chen R, Yang WW. Mass transport phenomena in direct methanol fuel cells. *Prog Energy Combust Sci.* 2009; 35(3): 275- 292.
- [103] Z. Shi and X. Wang, —Two-Dimensional PEM Fuel Cells Modeling using COMSOL Multiphysics, in *Modelling and Simulation*, G. Petrone and G. Cammarat, Eds. I-Tech Education and Publishing, 2008.
- [104] A. D. Le and B. Zhou, A general model of proton exchange membrane fuel cell, *J. Power Sources*, vol. 182, no. 1, pp. 197–222, Jul. 2008.
- [105] M. Khakpour and K. Vafai, Analysis of transport phenomena within PEM fuel cells An analytical solution, *Int. J. Heat Mass Transf.*, vol. 51, no. 15–16, pp. 3712–3723, Jul. 2008.
- [106] Z. Shi and X. Wang, Two-Dimensional PEM Fuel Cells Modeling using COMSOL Multiphysics, in *Modelling and Simulation*, G. Petrone and G. Cammarat, Eds. I-Tech Education and Publishing, 2008.
- [107] R. Chen, T.S. Zhao, W.W. Yang, C. Hu, Two-dimensional two-phase thermal model for a passive direct methanol fuel cells, *Journal of Power Sources* 175 (2008) 276-287.
- [108] T.K. Yeh, C.H. Chen, Modelling and optimizing the performance of a passive direct methanol fuel cell, *Journal of Power Sources* 175 (2008) 353-362.
- [109] K. Yoshizawa, K. Ikezone, Y. Tasaki, Kramer D., E.H. Lehmann, C.C. Sherer, Analysis of gas diffusion layer and flow field design in a PEMFC using neutron radiography, *J. Electrochemical Society* 155 (2008) B223-227.
- [110] H. Tawfik, Y. Hung, and D. Mahajan, Metal bipolar plates for PEM fuel cell A review, *J. Power Sources*, vol. 163, no. 2, pp. 755–767, Jan. 2007.
- [111] D. F. Cheddie and N. D. H. Munroe, A two-phase model of an intermediate temperature PEM fuel cell, *Int. J. Hydrog. Energy*, vol. 32, no. 7, pp. 832–841, May 2007.
- [112] Y. Shao, G. Yin, Z. Wang, and Y. Gao, Proton exchange membrane fuel cell from low temperature to high temperature: Material challenges, *J. Power Sources*, vol. 167, no. 2, pp. 235–242, May 2007.
- [113] K. Scott, S. Pilditch, and M. Mamlouk, Modelling and experimental validation of a high temperature polymer electrolyte fuel cell, *J. Appl. Electrochem.*, vol. 37, no. 11, pp. 1245–1259, Oct. 2007.

- [114]V. Saarinen, O. Himanen, T. Kallio, G. Sundholm, K. Kontturi, A 3D model for the free-breathing direct methanol fuel cell: Methanol crossover aspects and validations with current distribution measurements, *Journal of Power Sources* 172 (2007) 805-815.
- [115]G.B. Jung, A. Su, C.H. Tu, Y.T. Lin, F.B. Weng and S.H. Chan, Effects of cathode flow fields on direct methanol fuel cell-simulation study, *Journal of Power Sources* 171 (2007) 212-217.
- [116]Yang WW, Zhao TS. A two-dimensional, two-phase mass transport model for liquid-feed DMFCs. *Electrochim Acta*. 2007; 52(20): 6125- 6140.
- [117]Yang WW, Zhao TS, Xu C. Three-dimensional two-phase mass transport model for direct methanol fuel cells. *Electrochim Acta*. 2007; 53(2): 853- 862.
- [118]X. Li, E.P.L. Roberts, S.M. Holmes, Evaluation of composite membranes for direct methanol fuel cells, *J Power Sources*, 154 (2006), pp. 115-123
- [119]P. Piela, R. Fields, P. Zelenay, Electrochemical impedance spectroscopy for direct methanol fuel cell diagnostics, *J Electrochem Soc*, 153 (2006), pp. A1902-A1913
- [120]D. Cheddie and N. Munroe, Mathematical model of a PEMFC using a PBIMembrane, *Energy Convers. Manag.*, vol. 47, no. 11–12, pp. 1490–1504, Jul. 2006.
- [121]J. Zhang *et al.*, High temperature PEM fuel cells, *J. Power Sources*, vol. 160, no. 2, pp. 872–891, Oct. 2006.
- [122]D. F. Cheddie and N. D. H. Munroe, Three dimensional modeling of high temperature PEM fuel cells, *J. Power Sources*, vol. 160, no. 1, pp. 215–223, Sep. 2006.
- [123]Ye Q, Zhao TS, Xu C. The role of under-rib convection in mass transport of methanol through the serpentine flow field and its neighboring porous layer in a DMFC. *Electrochim Acta*. 2006; 51(25): 5420- 5429.
- [124]Xu C, He YL, Zhao TS, Chen R, Ye Q. Analysis of Mass Transport of Methanol at the Anode of a Direct Methanol Fuel Cell. *J Electrochem Soc*. 2006; 153: 1358- 1364.
- [125]Wong CW, Zhao TS, Ye Q, Liu JG. Experimental investigations of the anode flow field of a micro direct methanol fuel cell. *J Power Sources*. 2006; 155(2): 291- 296.
- [126]B. Yang, A. Manthiram, Multilayered membranes with suppressed fuel crossover for direct methanol fuel cells, *Electrochem Commun*, 6 (2004), pp. 231-236
- [127]Y.L. Ma, J. S. Wainright, M. H. Litt, and R. F. Savinell, Conductivity of PBIMembranes for High-Temperature Polymer Electrolyte Fuel Cells, *J. Electrochem. Soc.*, vol. 151, no. 1, pp. A8–A16, Jan. 2004.
- [128]L. Li, J. Zhang, Y. Wang, Sulfonated poly(ether ether ketone) membranes for direct methanol fuel cell, *J Membr Sci*, 226 (2003), pp. 159-167

[129]V. Tricoli, N. Carretta, M. Bartolozzi, A comparative investigation of proton and methanol transport in fluorinated ionomeric membranes, *J ElectrochemSoc*, 147 (2000), pp. 1286-1290

[130]Scott K, Taama WM, Argyropoulos P. Engineering aspects of the direct methanol fuel cell system. *J Power Sources*. 1999;79(1): 43- 59.

Résumé :

Selon la nature de leur électrolyte les piles à combustible se différencient, par le niveau de leur température de fonctionnement, leur architecture et leurs domaines d'applications dans les quels chaque type peut être utilisé. Le travail présenté dans ce manuscrit, performance d'une pile à combustible à hydrogène direct DMFC, Pour valider le modèle établi dans cette étude, des comparaisons doivent être effectuées entre les résultats de la simulation correspondant aux conditions de base et les données expérimentales obtenues pour la courbe de polarisation.

Les performances de la pile à combustible augmentent avec la température en raison de l'amélioration de la cinétique. Utilisation d'une concentration plus élevée de Méthanol améliorerait la densité de puissance et les densités de courant.

Les couches de diffusion de gaz sont une partie essentielle de la pile à combustible PEM et la porosité de cette couche à un effet notable sur les performances de la pile à combustible PEM. Il est évident que la pile à combustible avec une porosité CDG plus grande élargit la limitation de la diffusion des réactifs vers les zones réactives CCA. Une plus grande porosité en volume a des effets positifs sur le transport de masse de l'oxygène côté cathode ainsi que de l'hydrogène côté anode. Porosité effective de la couche de catalyseur ont été étudiés numériquement dans ce travail.

La porosité de la couche de catalyseur (CC) peut avoir une incidence sur les performances de la pile à combustible, car la résistance au transport de l'oxygène en dépend. Avec des porosités effectives plus élevées de CC, La variation de la porosité dans la couche de membrane n'a pas d'influence significative sur la courbe de polarisation avec une densité de courant faible. Cependant, une influence légère peut être constatée avec une densité de courant plus élevée.

Mots clé : pile à combustible, hydrogène direct DMFC, influence, performances.

ملخص: اعتمادًا على طبيعة المنحل بالكهرباء، تختلف خلايا الوقود من حيث درجة حرارة تشغيلها وبنيتها ومجالات تطبيقها حيث يمكن استخدام كل نوع. العمل المقدم يتمثل في أداء خلية وقود الهيدروجين المباشر DMFC، للتحقق من صحة النموذج المحدد في هذه الدراسة، يجب إجراء مقارنات بين نتائج المحاكاة المطابقة لظروف خط الأساس والبيانات التجريبية التي تم الحصول عليها لمنحنى الاستقطاب. يزداد أداء خلية الوقود مع زيادة درجة الحرارة بسبب التحسن في الخواص الحركية. أدى استخدام تركيز أعلى من الهيدروجين إلى تحسين كثافة الطاقة والكثافة الحالية.

تعد طبقات انتشار الغاز جزءًا أساسيًا من خلية وقود PEM، كما أن مسامية هذه الطبقة لها تأثير كبير على أداء خلية وقود PEM. من الواضح أن خلية الوقود ذات المسامية الأكبر لـ CDG توسع حدود انتشار المواد المتفاعلة نحو المناطق التفاعلية لزرنيخات النحاس الكروماتية. المسامية الأكبر في الحجم لها تأثيرات إيجابية على

النقل الجماعي للأكسجين على جانب الكاثود أيضًا. الهيدروجين فقط على جانب الأنود. تم فحص المسامية الفعالة لطبقة المحفز عدديًا في هذا العمل.

يمكن أن تؤثر مسامية طبقة المحفز (CC) على أداء خلية الوقود لأن مقاومة نقل الأكسجين تعتمد عليها. مع مسامات عالية الفعالية لـ CC، لا يؤثر اختلاف المسامية في طبقة الغشاء بشكل كبير على منحني الاستقطاب بكثافة تيار منخفضة. ومع ذلك، يمكن رؤية تأثير طفيف مع ارتفاع كثافة التيار.

الكلمات المفتاحية: خلية الوقود، الهيدروجين المباشر DMFC، التأثير، الأداء.

Abstract :

Depending on the nature of their electrolyte, fuel cells differ in terms of their operating temperature, their architecture and their fields of application in which each type can be used. The work presented in this manuscript, Performance of a Direct Methanol Fuel Cell DMFC, To validate the model established in this study, comparisons should be made between the simulation results corresponding to the baseline conditions and the experimental data obtained for the polarization curve.

The performance of the fuel cell increases with temperature due to the improvement in kinetics. Using a higher concentration of hydrogène improved power density and current densities.

Gas diffusion layers are an essential part of the PEM fuel cell and the porosity of this layer has a significant effect on the performance of the PEM fuel cell. It is obvious that the fuel cell with a greater CDG porosity widens the limitation of the diffusion of the reactants towards the CCA reactive zones. Higher volume porosity has positive effects on the mass transport of oxygen on the cathode side as well as hydrogen on the anode side. Effective porosity of the catalyst layer were investigated numerically in this work.

The porosity of the catalyst layer (CC) can affect the performance of the fuel cell because the resistance to oxygen transport depends on it. With higher effective porosities of CC, the variation of the porosity in the membrane layer does not have a significant influence on the polarization curve with low current density. However, a slight influence can be seen with higher current density.

Keywords: fuel cell, direct hydrogène DMFC, influence, performance