

Prédiction du vieillissement des piles à combustibles : quelles approches de modélisation ?

**Serigne Daouda Pene¹, Antoine Picot¹, Amine Jaafar¹, Christophe Turpin¹,
Nicolas Savy², Fabrice Gamboa², Ludovic Landry³, Nicolas Lamarque³, Olivier
Flebus³**

¹LAPLACE, Université de Toulouse, CNRS, INPT, UPS, 2 rue Charles Camichel, 31071, Toulouse

²IMT, Université de Toulouse, UMR 5219, CNRS, Université Paul Sabatier, 118 Route de Narbonne,
31062, Toulouse

³VITESCO Technologies France, 44 Av. du Général de Crouette, 31100, Toulouse

05/12/2022

PLAN



Pile à combustible (PàC) : c'est quoi ?

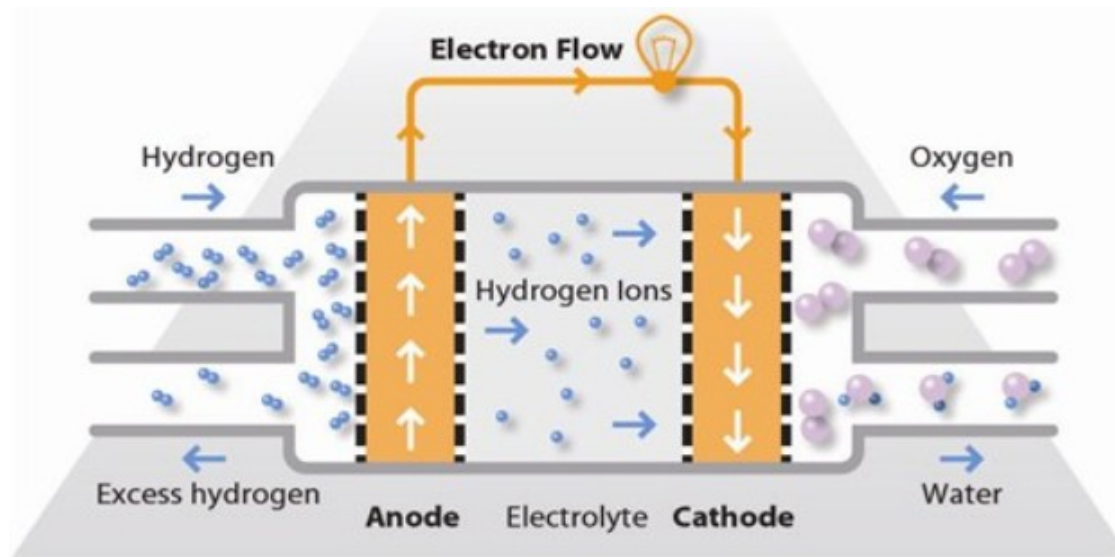


Prédiction du vieillissement : état de l'art.

Pile à combustible (PàC) : c'est quoi ?

PàC : dispositif électrochimique permettant de convertir de l'énergie chimique en énergie électrique avec un rendement important allant de 35 à 60%.

Principe fonctionnement d'une PàC



Source : <http://www.fuelcelltoday.com/technologies/pemfc>

À l'anode : $\text{H}_2 \longrightarrow 2\text{H}^+ + 2\text{e}^-$ (oxydation)

À la cathode : $\frac{1}{2} \text{O}_2 + 2\text{H}^+ + 2\text{e}^- \longrightarrow \text{H}_2\text{O}$ (réduction)

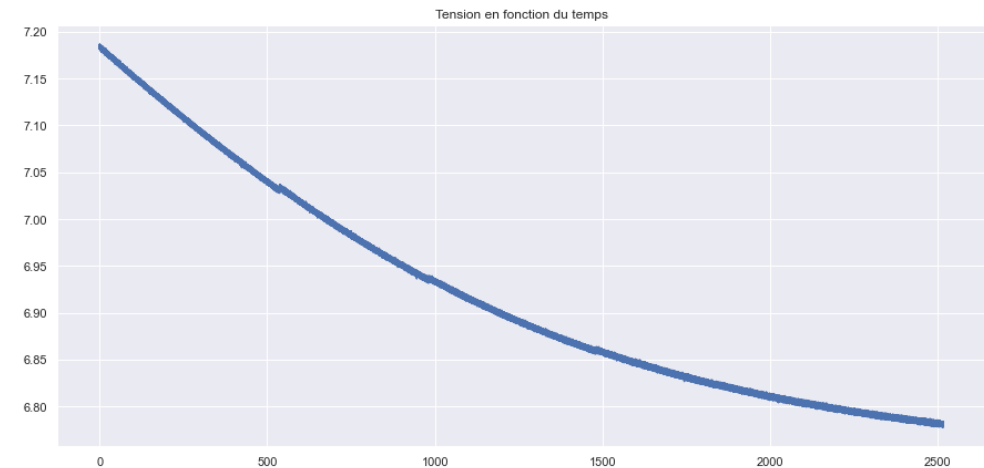
Equation globale :

$\text{H}_2 + \frac{1}{2} \text{O}_2 \longrightarrow \text{H}_2\text{O} + \text{électricité} + \text{chaleur}$

Pile à combustible (PàC) : c'est quoi ?

Mécanismes de dégradation des piles à combustible

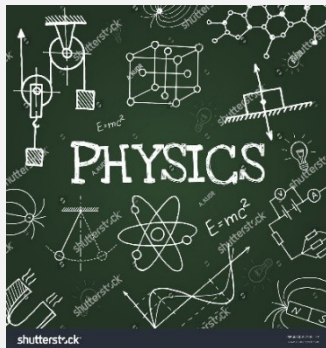
- Dégradations de **natures diverses**;
 - Liées à un dysfonctionnement de un ou plusieurs sous systèmes (hydriques, thermiques, etc.);
 - Surviennent au niveau des **différents composants**;
 - Deux types de dégradations : **réversibles** et **irréversibles**;
 - Accélère le **vieillissement** du système.
- **Vieillissement** : dégradation de performances au cours du temps due à une altération des propriétés et caractéristiques des matériaux composant la pile à combustible.



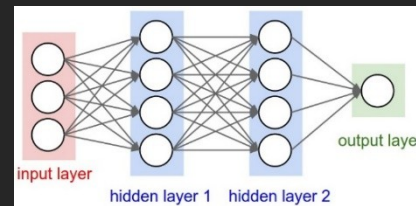
Prédiction du vieillissement : état de l'art

Méthodes de modélisation du vieillissement

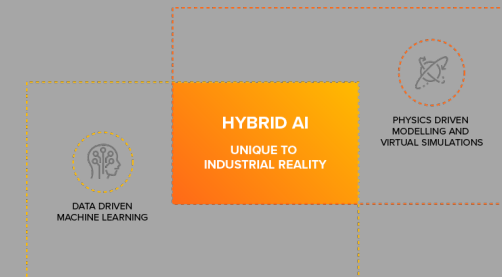
Méthodes basées
sur les modèles



Méthodes basées
sur les données



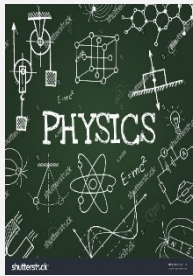
Méthodes
hybrides



Prédiction du vieillissement : état de l'art

Méthodes basées sur les modèles

Méthodes basées sur les modèles



- Équations modélisant la « physique » régissant les dégradations;
- Suivi des paramètres au cours d'une campagne de vieillissement.
- Deux outils généralement utilisés : courbe de polarisation, spectroscopie d'impédance électrochimique.



- + Implémentation simple.
- + Peuvent donner des informations sur les paramètres physiques internes.
- + Bonne capacité de généralisation.

- Mécanistiques
- Semi-empiriques

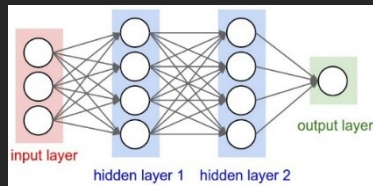


- Généralement statiques ou quasi-statiques.
- Nécessitent une bonne compréhension du comportement du système et de ses lois de dégradation.

Prédiction du vieillissement : état de l'art

Méthodes basées sur les données

Méthodes basées sur les données



- Modèles empiriques
- Modèles statistiques
- Machine learning
- Réseaux de neurones



- Basées sur des équations mathématiques;
- Modèles standards de statistiques;
- Algorithmes d'intelligence artificielle.
- Utilisation de bases de données expérimentales.
- Prédiction des performances futures à partir de l'historique.



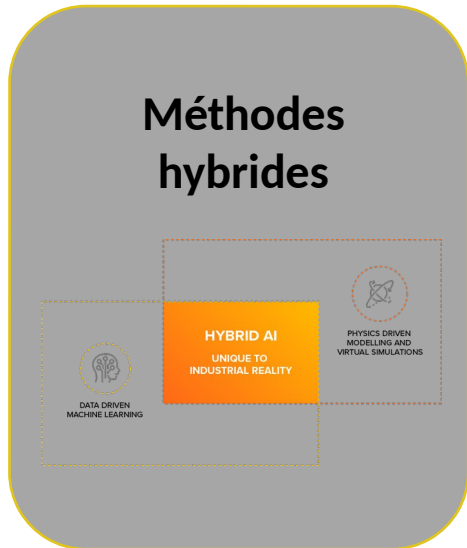
- + Connaissance sur les paramètres physiques internes non nécessaire.
- + Ne nécessitent pas une compréhension du comportement du système et de ses lois de dégradation



- Boîtes noires
- Grand besoin en données pour construire un « bon » modèle
- Nécessitent une bonne compréhension du comportement du système

Prédiction du vieillissement : état de l'art

Méthodes hybrides



Peu de modèles hybrides développés dans la littérature



- Combinaison des méthodes basées sur les données et celles basées sur les modèles.
- Prise en compte de l'historique des séries et des lois régissant le système.



+ Théoriquement, précision supérieure par rapport aux deux approches prises séparément.



- Peuvent aussi combiner les défauts des deux approches.
- Importantes ressources computationnelles.

Objectifs de la thèse

- Proposer et concevoir des méthodes statistiques / de machine learning,
- Intégrer des connaissances issues des modèles physiques,
- Prédire la durée de vie et/ou les performances futures d'une pile à combustible.

L'idée est de faire usage à la fois des **lois physiques** qui régissent la dynamique de ces systèmes et de **modèles de prédiction statistiques quasi-interprétables**, tout en améliorant l'**évolutivité** et les **performances** de ceux-ci.

Remerciements

- Cette thèse est financée dans le cadre du projet ECH2
« Ce projet ECH2 (*i.e. Efficient Control for H2 systems*) a été financé par le Gouvernement dans le cadre du plan France 2030 opéré par l'ADEME »



- Le consortium du projet ECH2, animé par VITESCO Technologies, est constitué des partenaires suivants :



**Merci de
votre
attention !**