

Modélisation macroscopique multiphysique d'un stack de pile à combustible à Oxyde Solide (SOFC)

Takarli Zineb^a, Marie- Cécile Péra^a, Daniela Chrenko^a, Amine Jaafar^b, Christoph Turpin^b

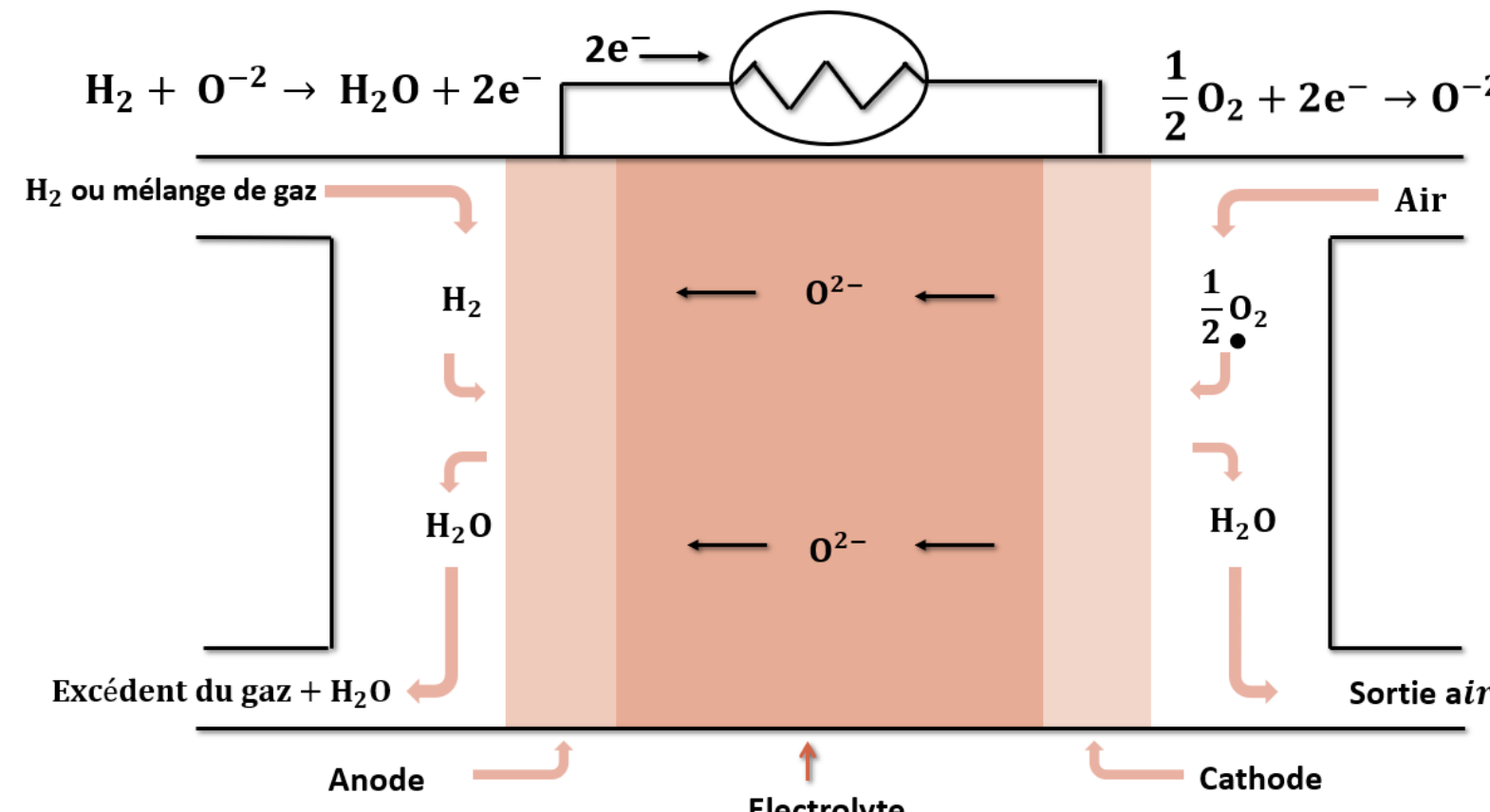
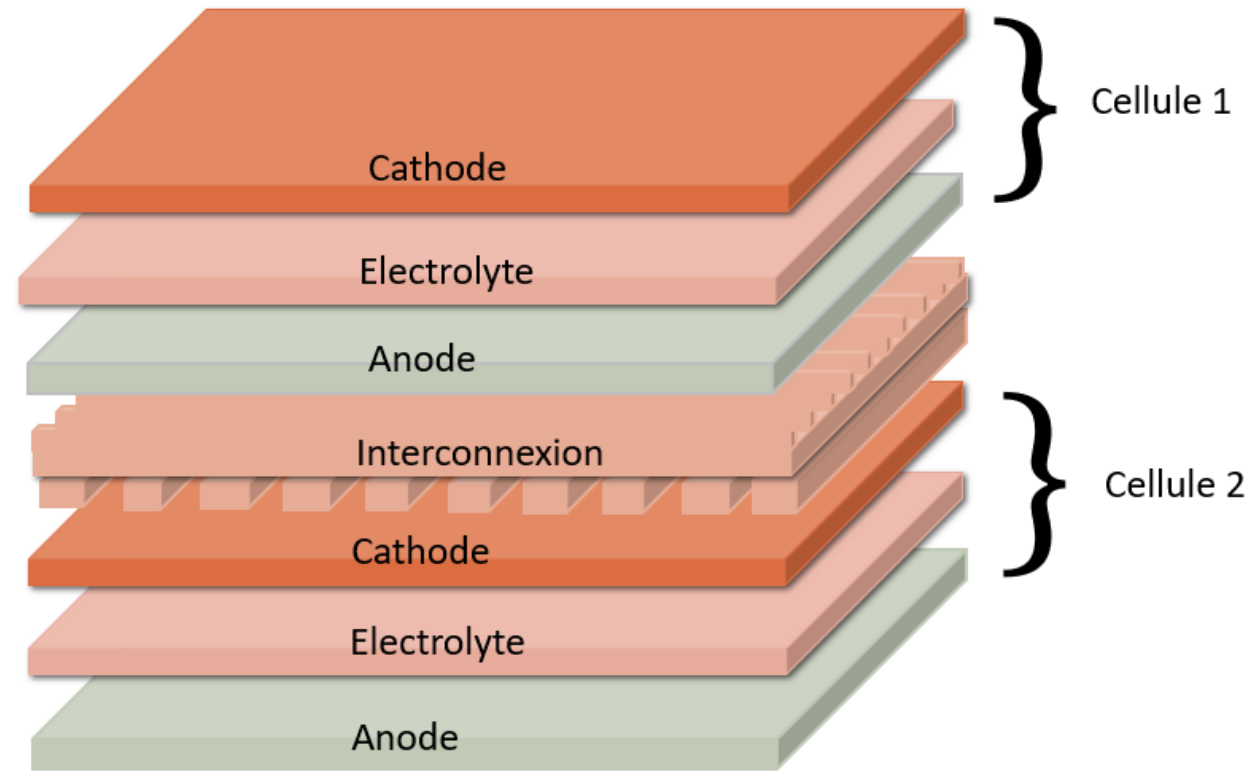
^aUniversité Marie et Louis Pasteur, UTBM, CNRS, institut FEMTO-ST, FCLAB, F-90000 Belfort, France.

^bLAPLACE, Université de Toulouse, CNRS, Toulouse INP, UPS, Toulouse, France.

FLEXISOC

Introduction

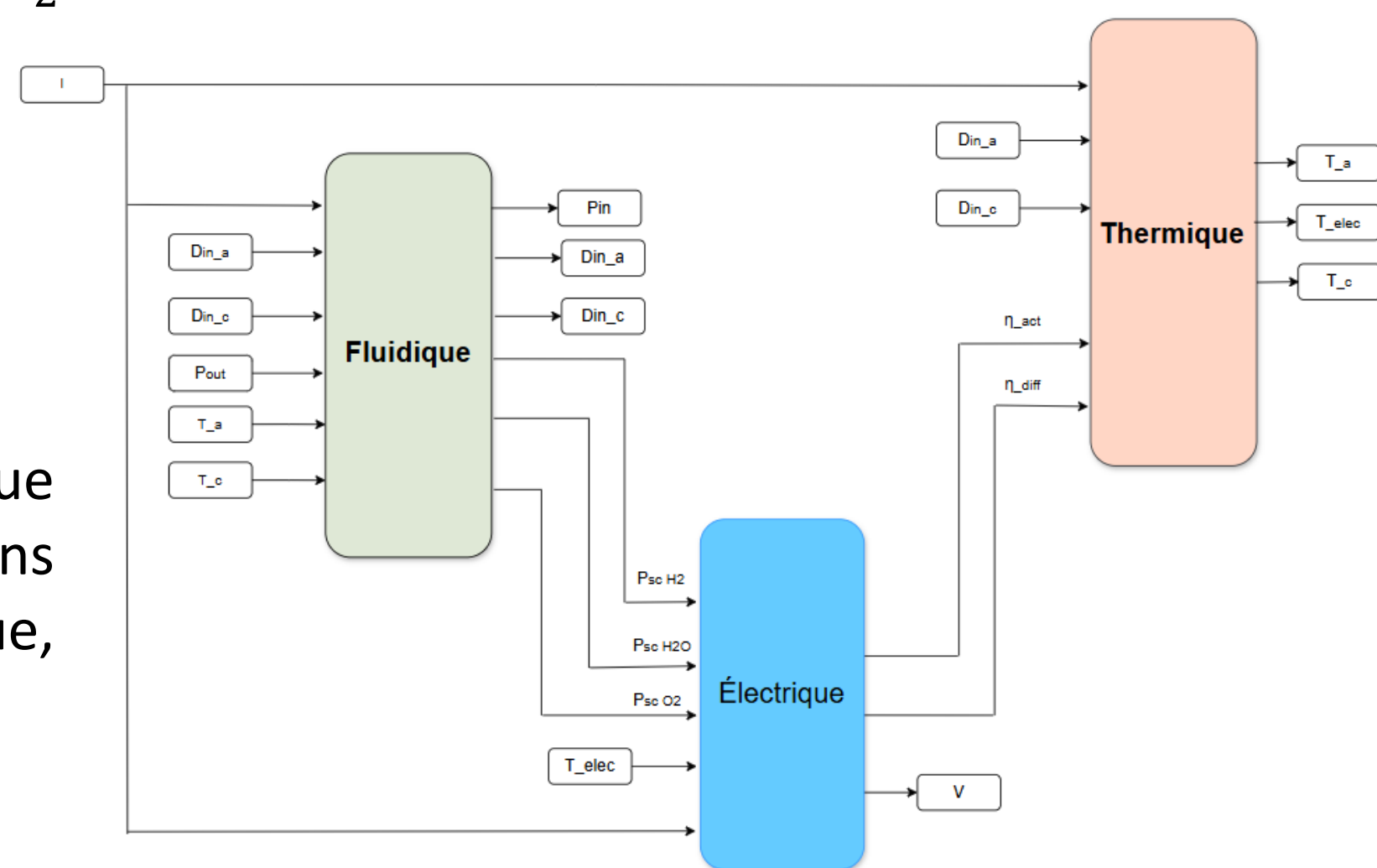
La pile à combustible à oxyde solide (SOFC) est une technologie prometteuse offrant un bon rendement global. Elle réduit la taille du système grâce au reformage interne et valorise efficacement la chaleur excédentaire. Adaptée à la cogénération, elle utilise divers combustibles comme le méthane ou le biogaz.



Equation globale : $\text{H}_2 + \frac{1}{2}\text{O}_2 \rightarrow \text{H}_2\text{O} + \text{électricité} + \text{chaleur}$

Modélisation

Architecture du modèle multiphysique illustrant les échanges et les interactions entre les sous-modèles fluide, électrique et thermique.



Moyens expérimentaux



Le banc d'essai

- Pmax : 2 kW
- Fabrication : laboratoire LAPLACE

Fonctionnement

- Mono-cellule ou stack
- Pile à combustible ou Electrolyseur



Stack E350

- Société : ELCOGEN
- Génération : 2^{ème} génération
- Nombre de cellules : 15
- Puissance nominale : 350 W
- Température nominale : 650°C
- Famille : IT-SOFC

Objectifs de la thèse

- Mise en œuvre expérimentale et caractérisation d'un stack SOFC
- Modélisation macroscopique du stack et du système de référence H₂ / Air
- Modélisation macroscopique du stack et du système en multi-combustibles

Modélisation électrique

- La tension moyenne équivalente du stack (V_{pac}) :

$$V_{pac} = E_{rev} - \eta_{act} - \eta_{dif} - \eta_{ohm}$$

Avec :

$$E_{rev} = V_{OCV}$$

- Chutes de tension par activation :

$$J_{pac} = J_0 \left(\exp\left(\frac{\alpha n F}{RT} \eta_{act}\right) - \exp\left(-\left(1 - \alpha\right) \frac{n F}{RT} \eta_{act}\right) \right)$$

- Chutes de tension par diffusion :

$$\eta_{diff} = \left| \frac{RT}{\beta n F} \ln\left(1 - \frac{J_{pac}}{J_{lim}}\right) \right|$$

- Chutes de tension ohmique :

$$\eta_{ohm} = R_{ohm} * J_{pac}$$

Modélisation thermique

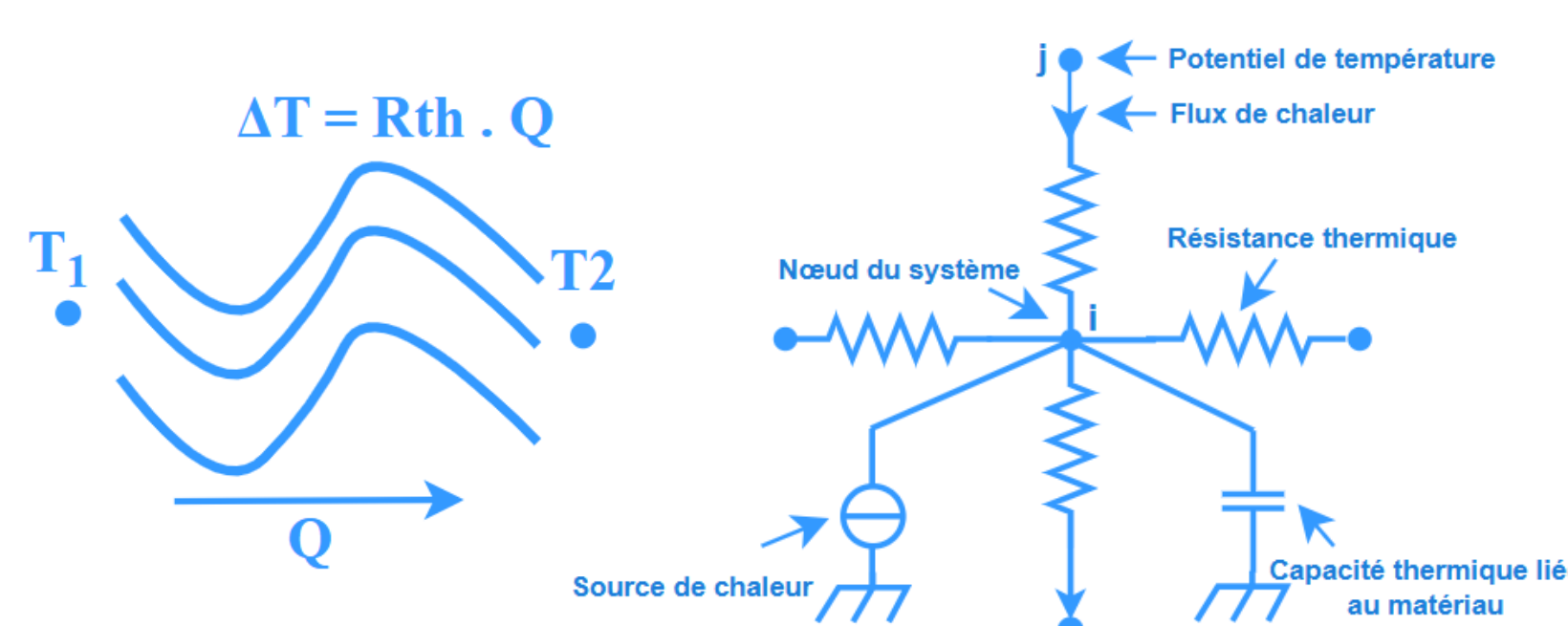
$$C_i \frac{dT_i}{dt} = \sum \frac{T_j - T_i}{R_{ij}} + Q_j$$

$$R_{ij-cond} = \frac{\lambda \cdot S}{e}, \quad R_{ij-conv} = h \cdot S$$

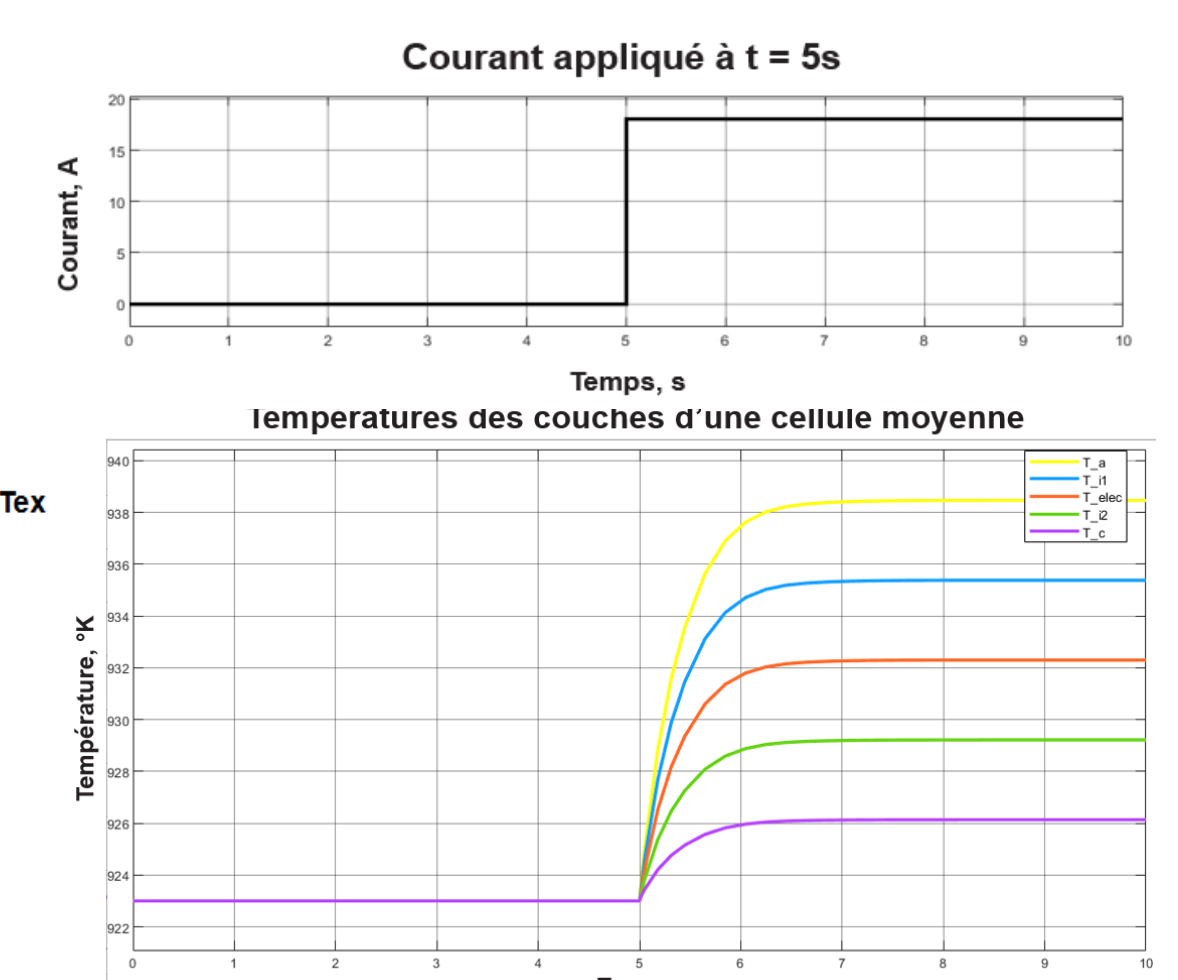
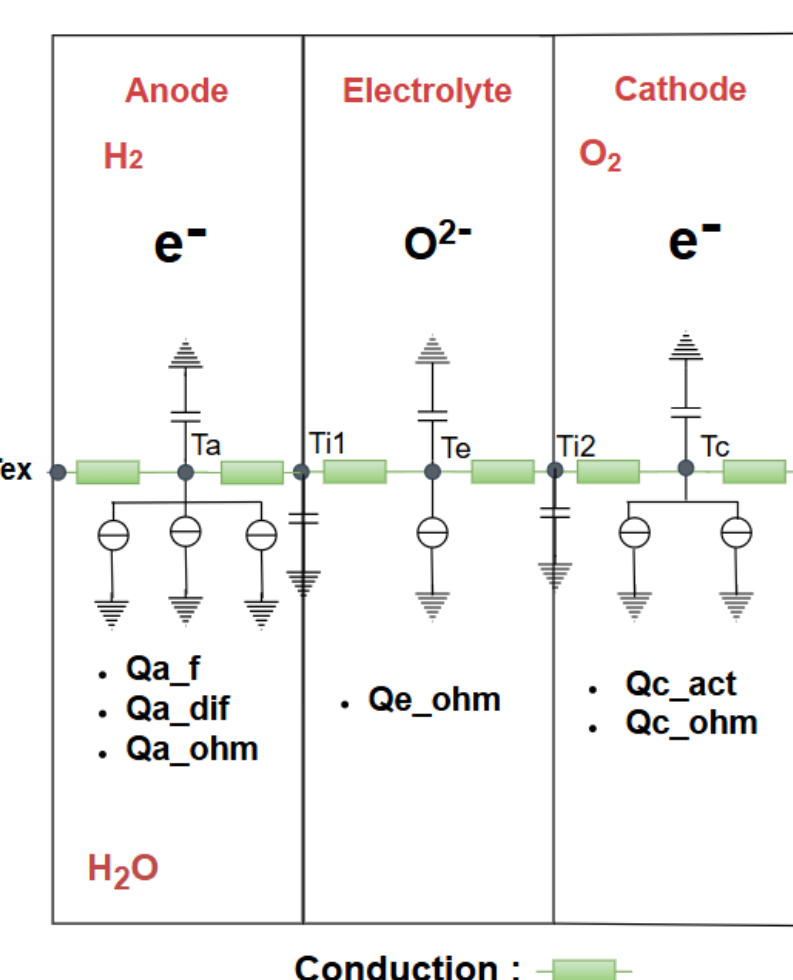
$$R_{ij-ray} = \frac{1}{\epsilon \cdot \sigma \cdot S \cdot (T_1^2 + T_2^2) \cdot (T_1 + T_2)}, \quad R_{ij-masse} = \frac{1}{m \cdot c_p}$$

$$Q = Q_a + Q_e + Q_c, \quad Q_a = Q_f + Q_{dif} + Q_{a,ohm}$$

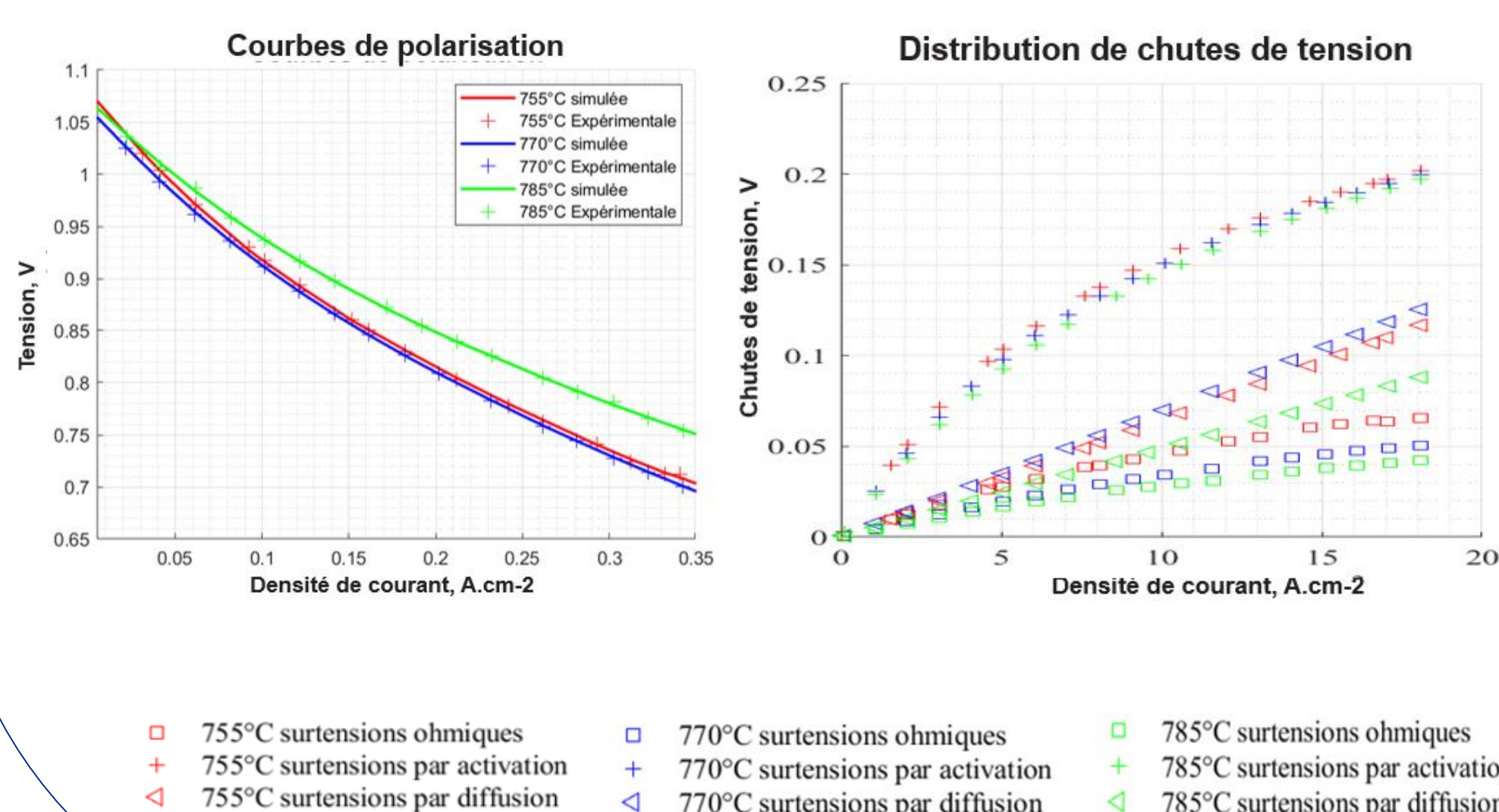
$$Q_e = Q_{e,ohm}, \quad Q_c = Q_{act} + Q_{c,ohm}$$



Simulation



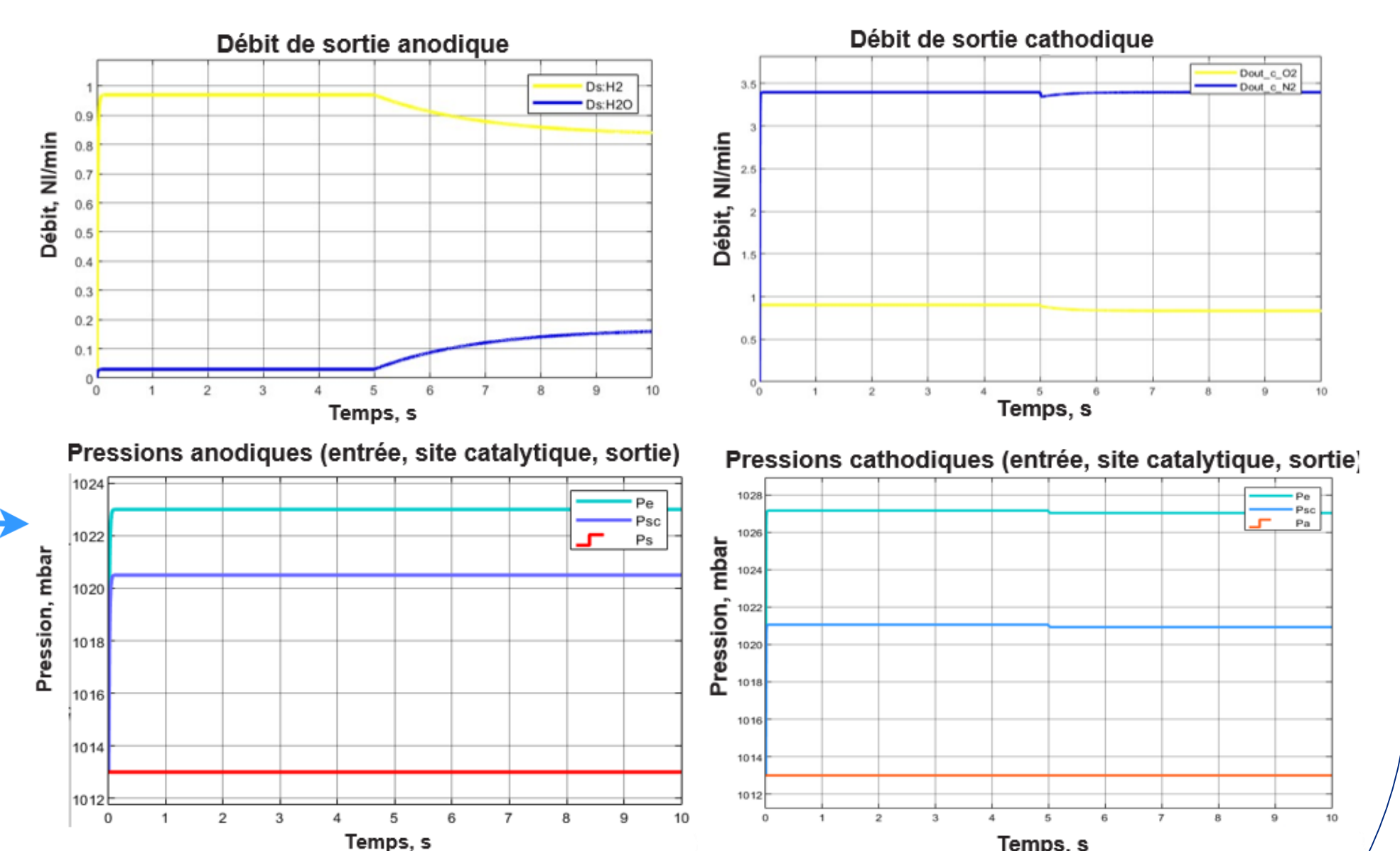
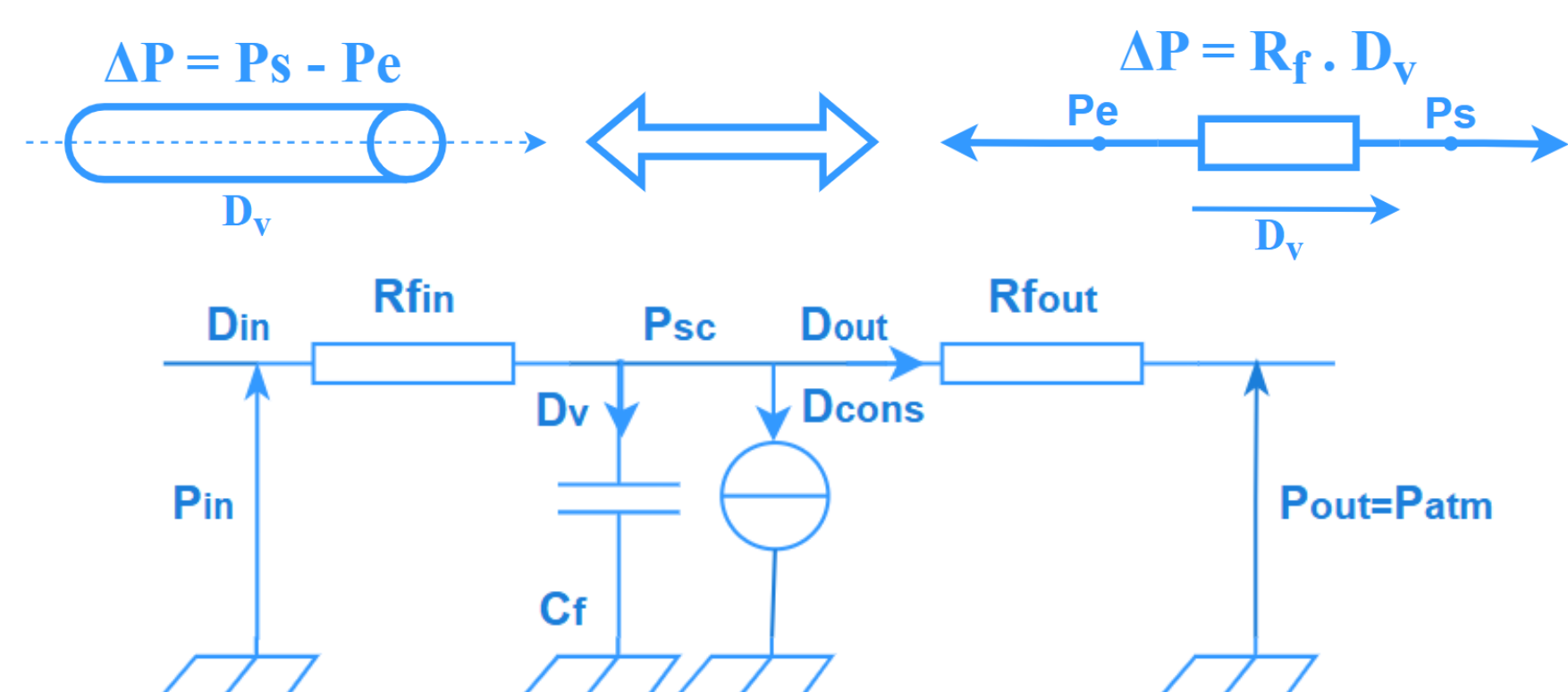
Validation expérimentale



Modélisation fluide

$$D_{v,molaire} = C_f * \frac{dp_{sc}}{dt}, \quad C_f = \frac{V}{RT}$$

$$D_{v,molaire} = D_{e,molaire} - D_{cons,molaire} - D_{s,molaire}$$



Conclusion

- Le modèle électrique quasi statique parvient à décrire de manière satisfaisante la courbe de polarisation pour chaque température et permet d'obtenir une bonne cohérence de l'évolution des chutes de tension.
- La simulation fluide met en évidence l'évolution de la pression au niveau du site catalytique ainsi que les débits de sortie anodique et cathodique.
- La simulation thermique d'une cellule met en évidence les températures au niveau de l'anode, de la cathode et de l'électrolyte, et permet d'évaluer l'influence des différentes sources de chaleur localisées dans les électrodes sur la répartition thermique.

Perspectives

- Acquisition d'un nouveau stack : caractérisation et modélisation
- Modélisation de tout le système en H₂
- Modélisation du stack et du système en multi-combustibles