

## Deuxième modèle de pile à combustible SOFC dans Thermoptim

Dans ce second modèle, on suppose que le taux d'utilisation de l'hydrogène  $\tau$  et le rendement énergétique  $\varepsilon$  sont déterminés à partir d'un modèle électrique. Les classes externes s'appellent SOFCH2ElecInlet et SOFCH2ElecOutlet.

### Modèle électrique retenu

Pour calculer la tension de cellule  $V_{cell}$  connaissant l'intensité et la surface active, divers modèles ont été proposés. Nous retiendrons celui qui a été développé au Centre Energétique et Procédés de l'Ecole des Mines de Paris. Son équation est :

$$V_{cell}(J) = E + \frac{b}{\ln(J/J_d) - 2} + \left( \frac{b}{4J_d} - \Delta \right) J$$

où :  $J = I/A$  est l'intensité de courant (intensité divisée par la surface active A), en  $A/cm^2$

$E$ ,  $J_d$ ,  $b$  et  $\Delta$  sont quatre paramètres dépendant a priori de la température de la cellule et de la pression en hydrogène. Ils peuvent en première approximation être considérés constants, mais l'influence de la température et de la pression partielle en  $H_2$  sur chaque paramètre peut aussi être prise en compte si nécessaire.

Connaissant  $V_{cell}$ , il est possible de calculer simplement la puissance de la cellule :  $P_{elec} = V_{cell} I N_{cell}$

Le taux d'utilisation de l'hydrogène est supposé proportionnel à la densité de courant  $J$ , ce qui correspond en première approximation à ce qui se passe en pratique : la fraction d'hydrogène consommée est nulle en circuit ouvert physiquement, et croît lorsque l'intensité débitée augmente. On a retenu la loi suivante :

$$\tau = 1,2 J$$

Les nouveaux paramètres du modèle sont : le nombre de cellules  $N_{cell}$ , l'intensité de courant demandée  $I$ , et la surface active d'une cellule  $A$ . Le modèle calcule  $\tau$  et  $\varepsilon$ , ainsi que la tension délivrée  $V$ .

noeud: SOFCH2\_outlet    type: external divider

veine principale: lien SOFC    m global: 124    h global: 1 743,75928158    T global: 1 186,45141929

isobare

nom transfo	m abs	m rel	T (°C)	H
air appauvri	104,761	104,761	1 186,45	1 298,77
hydrogène hu...	19,239	19,239	1 186,45	4 166,83

SOFC H2 elec outlet

current intensity (A): 360    Number of cells: 400

active surface (cm2): 900.000    fuel use rate: 0.480

heat released (W): 129168.00    conversion efficiency: 0.440

electric power generated (W): -101160.00    voltage: 281.000

outlet temperature (K): 1459.61

Figure 1 : Ecran du composant pile SOFC

L'écran du composant pile SOFC est donné figure 1, les intitulés des données d'entrée du modèle étant affichés en bleu, et on a supposé que les gaz en entrée de pile étaient à la température de 500 °C.

Il s'agit d'une pile de technologie cylindrique du type de celle développée par Westinghouse, chaque cellule ayant un diamètre de 19 mm et une longueur de 1,5 m, soit une surface de 900 cm<sup>2</sup>, conduisant à une intensité de 360 mA avec une densité de courant de 400 mA/cm<sup>2</sup>.

Les résultats du calcul, pour un ensemble de 400 cellules, correspondant à un système de 100 kWe, sont donnés ci-dessous :  $\tau = 0,48$ ,  $\varepsilon = 0,44$ ,  $V = 281$  V. En terme de puissance électrique et thermique, ce modèle conduit bien aux mêmes valeurs que le modèle simple développé précédemment .

### Activités proposées

A partir de ce modèle, il est possible d'une part d'affiner l'étude paramétrique du comportement de la pile en jouant sur les nouvelles données d'entrée, et d'autre part d'étudier la classe externe correspondante et de l'améliorer, notamment en introduisant divers tests pour vérifier la cohérence des données retenues, car elles ne peuvent pas être choisies totalement indépendamment. Par exemple, la densité de courant doit être comprise entre 0 et 700 ou 800 mA/cm<sup>2</sup>, faute de quoi les calculs n'ont plus de sens.

### Modifications pour la classe externe SOFCH2ElecOutlet

L'implémentation du modèle électrique est donnée ci-après :

```
double A=Util.lit_d(A_value.getText());//cm2
double intens=Util.lit_d(I_value.getText());//A
double Ncell=Util.lit_d(Ncell_value.getText());

//Modèle électrique de Albrieux/Busquet/Hubert
// 4 coefficients (qui dépendent de T et pH2)
// modèle d'ordre 1 (indépendance des 4 paramètres vis à vis de T et p)
double E = 0.94;
double b = 0.63;
double Jd = 400.;
double delta =0.0002;
//enthalpie de réaction (PCI) à 25° (négative car exothermique)
double DHO=-241830;

double densCourant = 1000*intens/A; //mA/cm2

double tensionCell = E+b/(Math.log(densCourant/Jd)-2)+densCourant*(b/4/Jd-delta);

double Vtot = tensionCell*Ncell;

JLabel9.setText("voltage : "+Util.aff_d(Vtot,3));
tau=intens/A*1.2;
JLabel10.setText("fuel use rate : "+Util.aff_d(tau,3));

double current = -Vtot*intens;
double Qlib= -DHO*tau*molFlowH2+current;

epsi = -current/(-DHO*tau*molFlowH2);
JLabel11.setText("conversion efficiency : "+Util.aff_d(epsi,3));

Q_value.setText(Util.aff_d(Qlib,0));
Current_value.setText(Util.aff_d(current,0));
```