



UNIVERSITÉ
DE LORRAINE



GREEN & LGEP



M. Hinaje, R. Linares, K. Berger O. Béthoux, G. Krebs, **B. Davat**

Melika.Hinaje@univ-lorraine.fr

SEEDS

4-5 juin 2014

Caractérisation de défauts par mesures de champ

- Objectifs
- Principe de fonctionnement d'une pile à combustible à H_2
- Exemple de dysfonctionnement
- Etude de faisabilité à travers un modèle 3D
- Banc test et expérimentation
- Travaux à venir

Objectifs

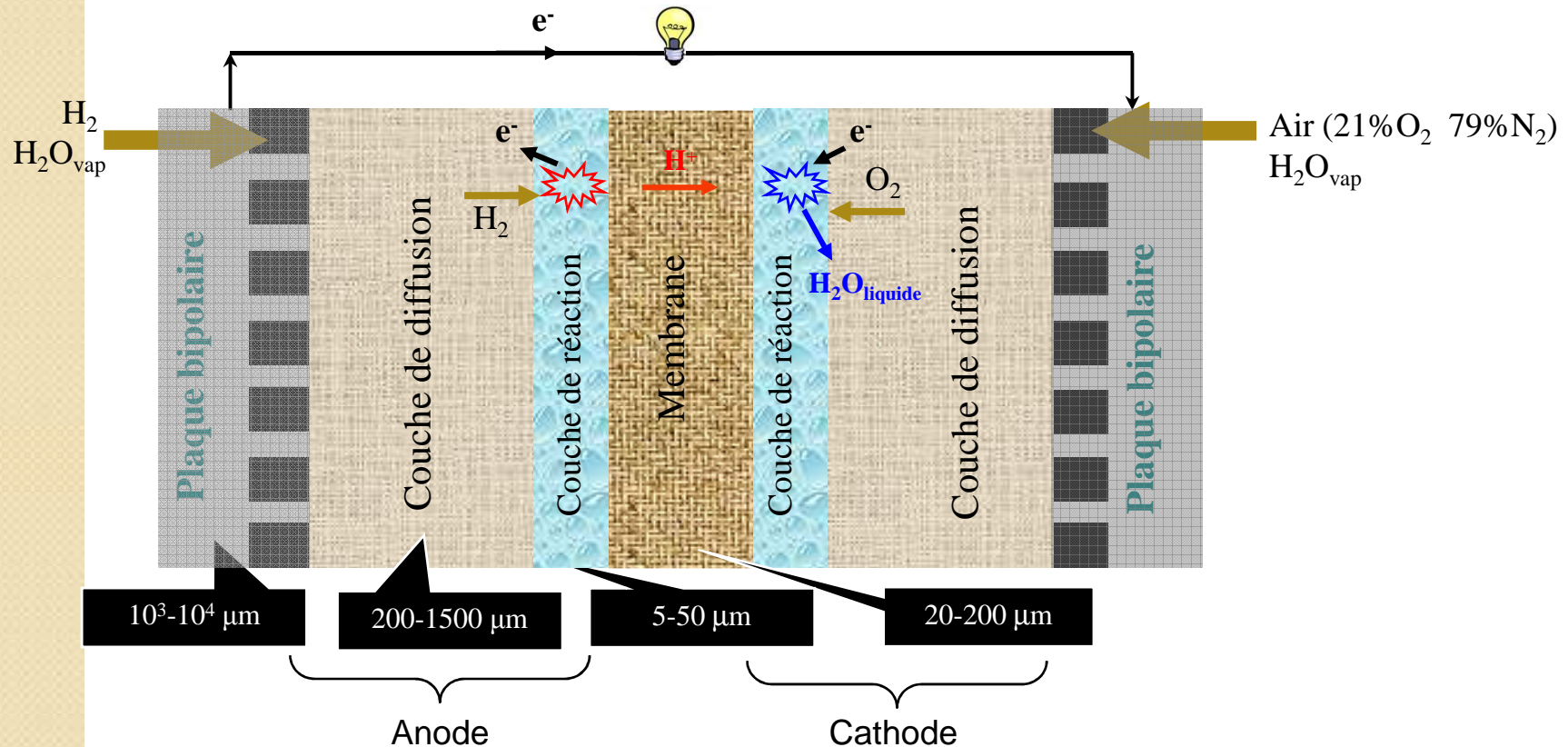
- Un défaut sur la pile a des répercussions sur le système complet (pile + auxiliaires)
=> baisse de performance et arrêt du processus

Besoin de déterminer et localiser le défaut

Indicateur de l'état de santé de la pile :

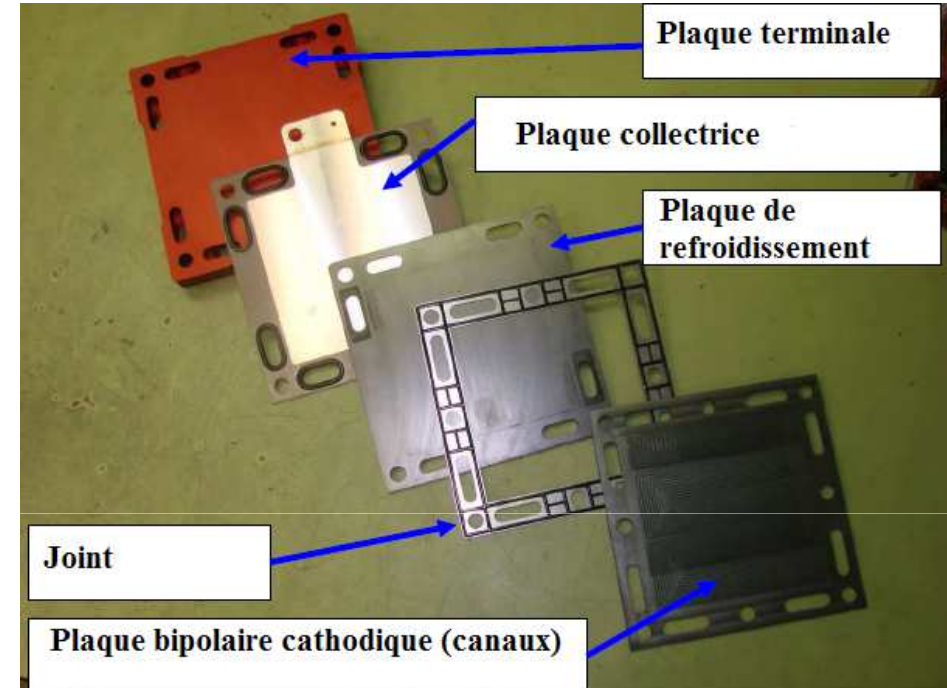
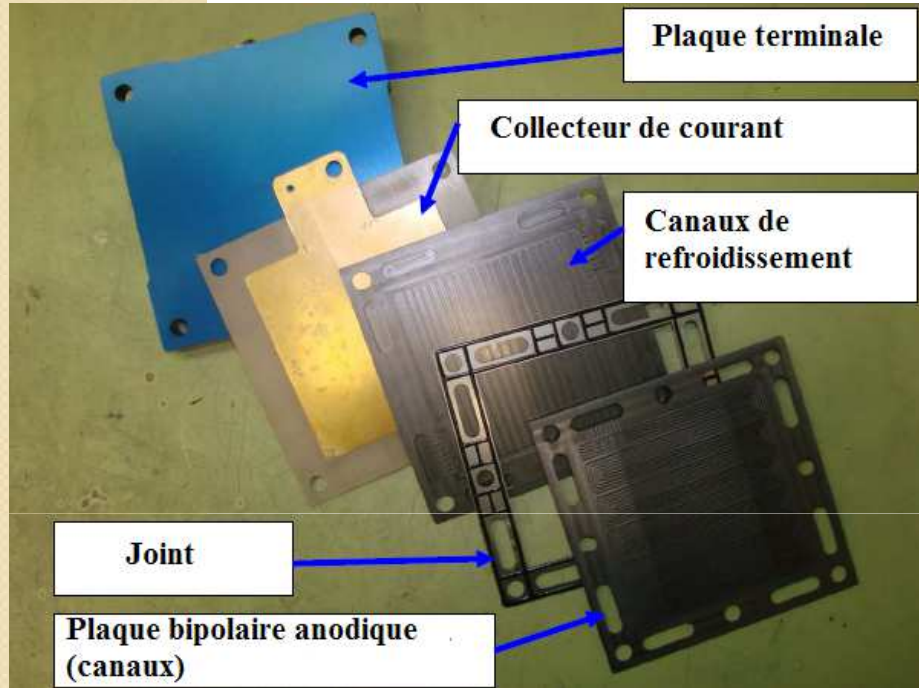
- Distribution de densité de courant peut être mesurée de manière non intrusive via le **champ magnétique**

Principe de fonctionnement

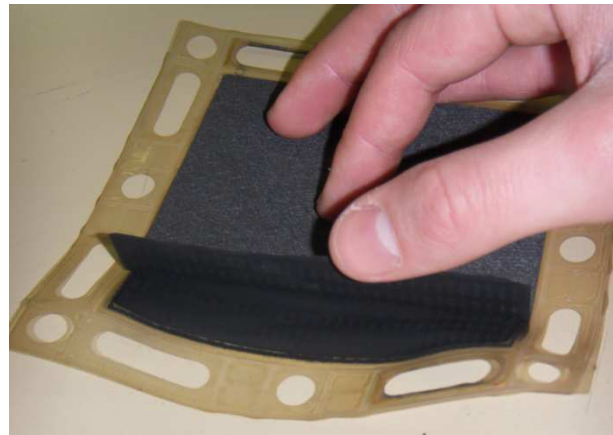


- ✓ Surface active $\Rightarrow I_{pile}$ (consommation de gaz proportionnelle)
- ✓ Nb de cellules $\Rightarrow V_{pile}$ (consommation de gaz proportionnelle à $N \times I_{pile}$)

Assemblage d'une monocellule



AME
*(imperméable aux gaz
et isolant électronique)*

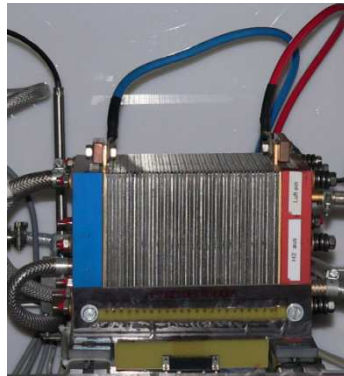


Exemple de dysfonctionnement

Caractéristiques de la pile

Pile à combustible	PEM
Nombre de cellules	23
Nombre de cellule défectueuse	1
Localisation	milieu
Section	100 cm ²
Densité de courant maximum	0.5A/cm ²
Pression des gaz	1 atm
Température de la pile	55°C

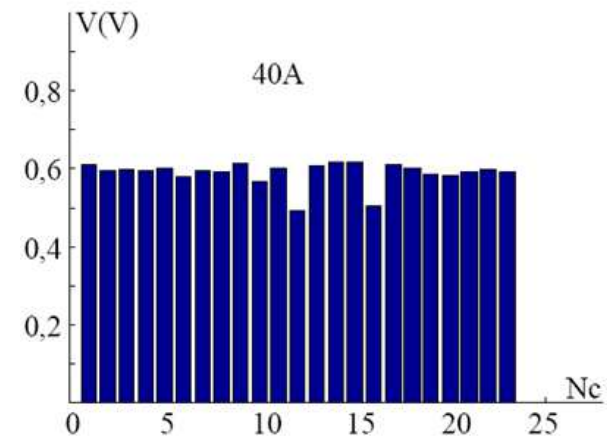
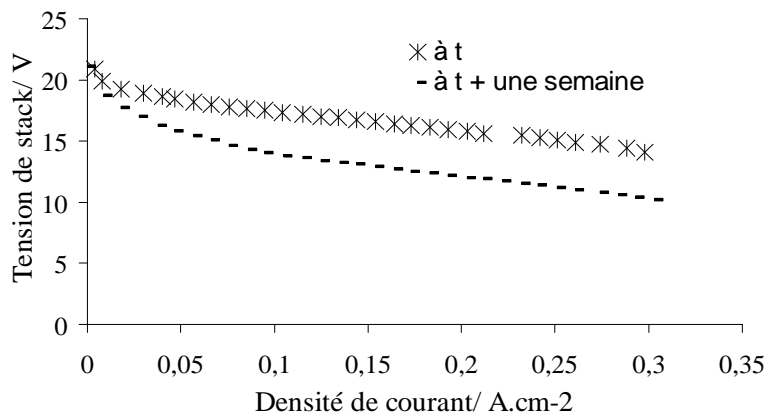
Tension de cellule inférieure à la tension seuil



Plusieurs facteurs peuvent être à l'origine d'une inversion de tension sur la pile notamment :

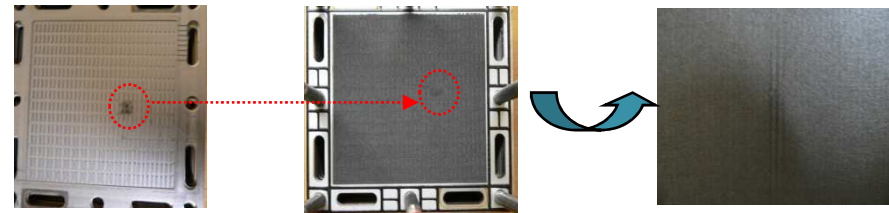
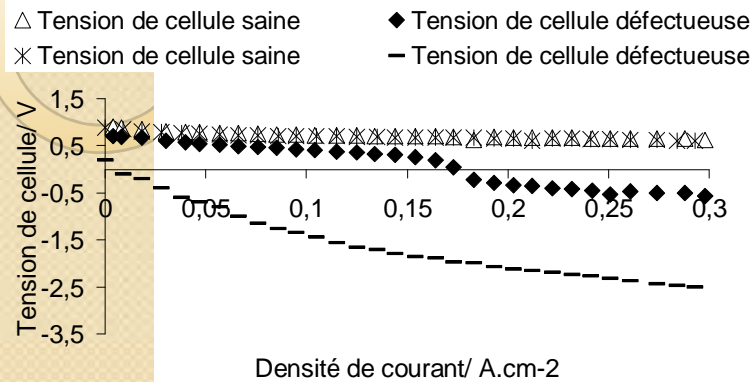
- son noyage,
- son assèchement,
- une sous alimentation en gaz.
- une membrane percée
- une dégradation de la couche catalytique

Résultats expérimentaux

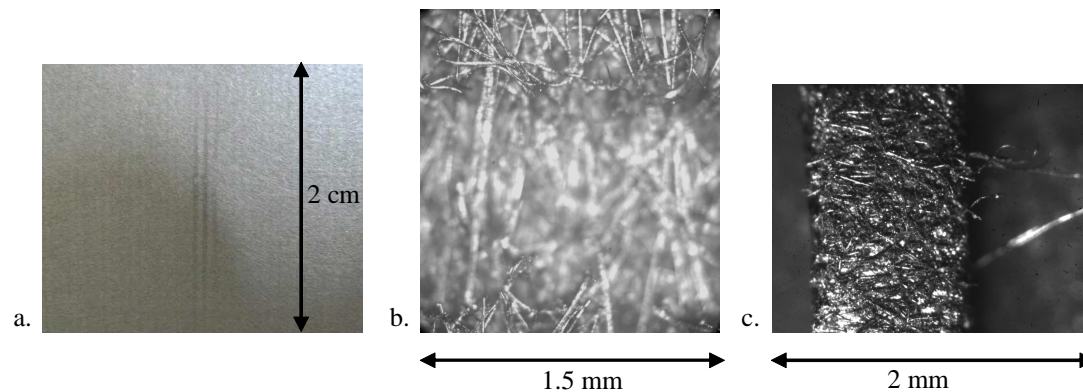


Analyse du stack

Cellule défectueuse démontée



Photographie de l'AME; a) Point chaud sur la couche de diffusion; b) Visualisation du trou de la couche de diffusion au microscope (Leica); c) dépôt de fibres de carbone sur la plaque distributrice de gaz côté anode.

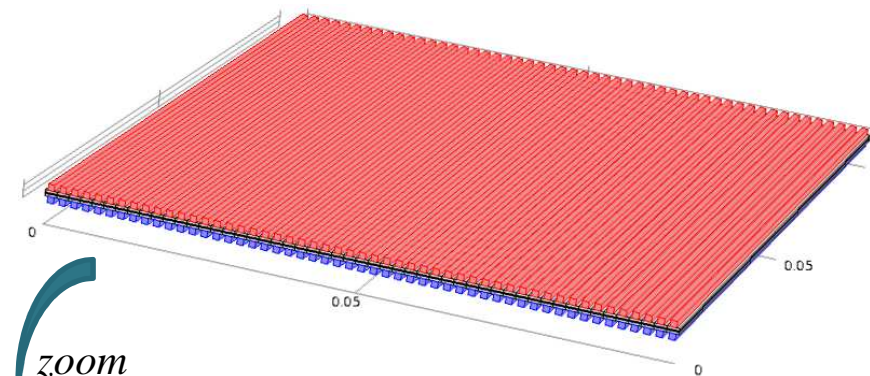


Tout comme pour une cellule saine, établir un modèle impédance de la cellule défectueuse.

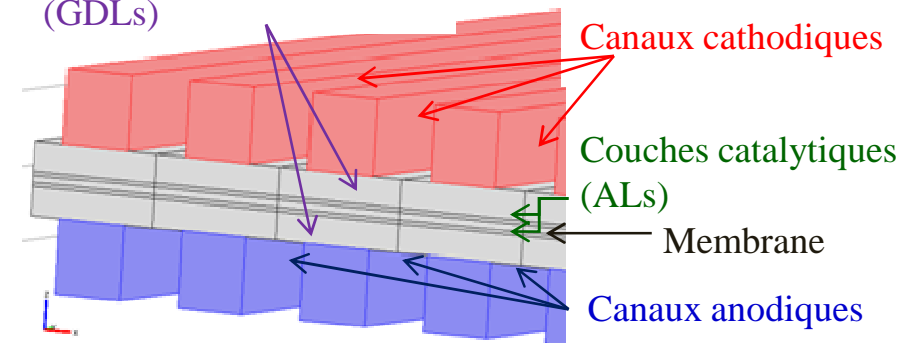
Etude de faisabilité à travers un modèle 3D

Paramètres	Valeur
Surface active	100 cm ² (10 X 10)
Epaisseur GDL anode	380 μm
Epaisseur GDL cathode	380 μm
Epaisseur membrane	100 μm
Epaisseur couche de réaction anodique	50 μm
Epaisseur couche de réaction cathodique	50 μm
Porosité de la GDL	0.4
Porosité de la couche de réaction	0.3
Hauteur du canal anodique et cathodique	1 mm
Profondeur du canal anodique et cathodique	1 mm
Hauteur de la dent (récup tension courant)	0.9 mm
Conductivité de la couche de diffusion	220 S/m
Conductivité de la membrane	10 S/m

Domaine d'étude
(en bleu, les canaux cathodiques
acheminent l'air humide)



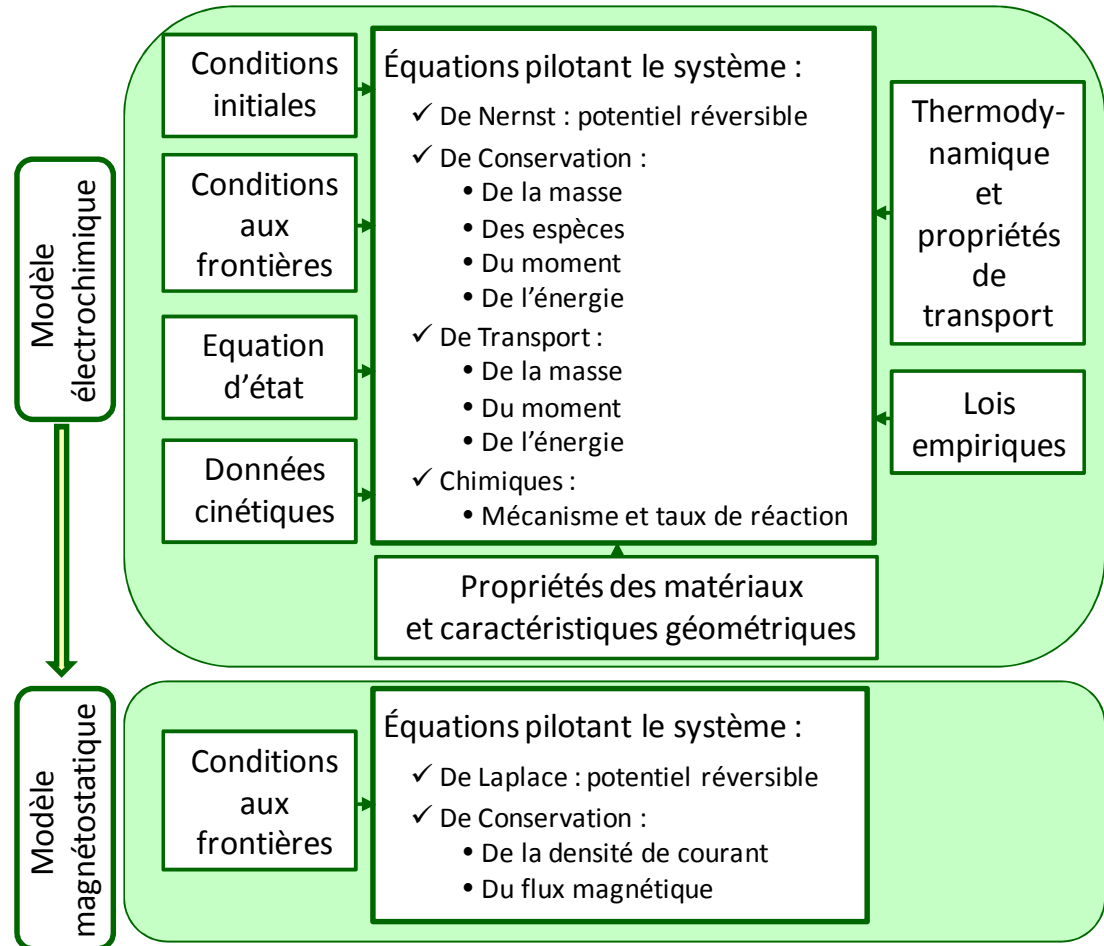
Couches de diffusion
(GDLs)



Modélisation locale 3D stationnaire

❖ *Transport de masse et de charge (monophasé et isotherme)*

Conditions opératoires	Valeurs
Température de la pile	60 °C
Débit total d'hydrogène (sur les 52 canaux)	624 mL/min
Débit total d'air	1.56 L/min
Fraction massique H ₂	0.743
Fraction massique d'O ₂	0.228
Fraction massique d' H ₂ O	0.023
Vitesse H ₂ entrant à l'anode	0.2 m/s
Vitesse air entrant à la cathode	0.5 m/s
Profondeur du canal	1 mm
Hauteur de la dent (récup tension courant)	0.9 mm
Conductivité de la couche de diffusion	220 S/m
Conductivité de la membrane	10 S/m
Viscosité de l'H ₂	1.19 10 ⁻⁵ Pa/s
Viscosité air	2.46 10 ⁻⁵ Pa/s
Coefficient de diffusion effectif H ₂ - H ₂ O	1.055 10 ⁻⁴ m ² /s
Coefficient de diffusion effectif N ₂ - O ₂	2.751 10 ⁻⁵ m ² /s
Coefficient de diffusion effectif N ₂ - H ₂ O	2.951 10 ⁻⁵
Coefficient de diffusion effectif O ₂ - H ₂ O	3.233 10 ⁻⁵



Résolution

❖ *EDP couplées*

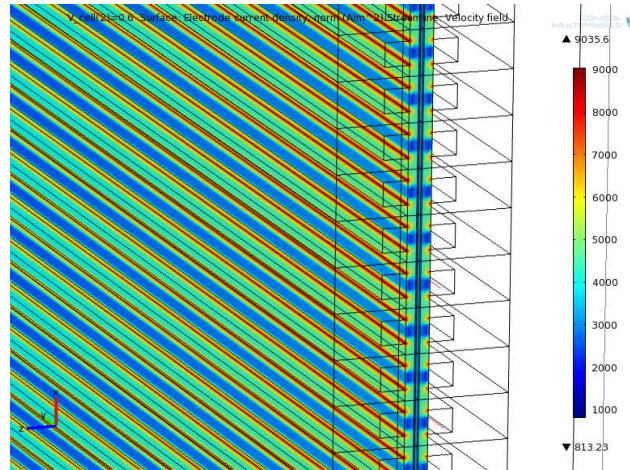
- *8 domaines (Canaux, GDL, CL, membrane, air)*
- *7 espèces*
- *Différentes échelles du μm au cm*

❖ *Par éléments finis*

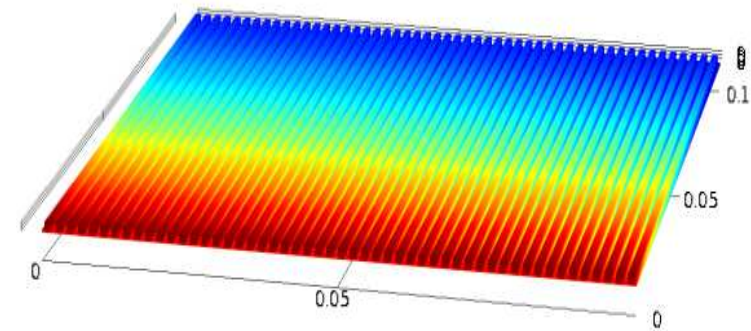
- *Difficultés de maillage*
- *Choix des éléments quadri-angles degré 1, extrusion au 3D*
- *Nombre d'éléments : 250 000 éléments*
(accent mis sur l'AME)

Transport de masse et de charge (monophasé et isotherme)

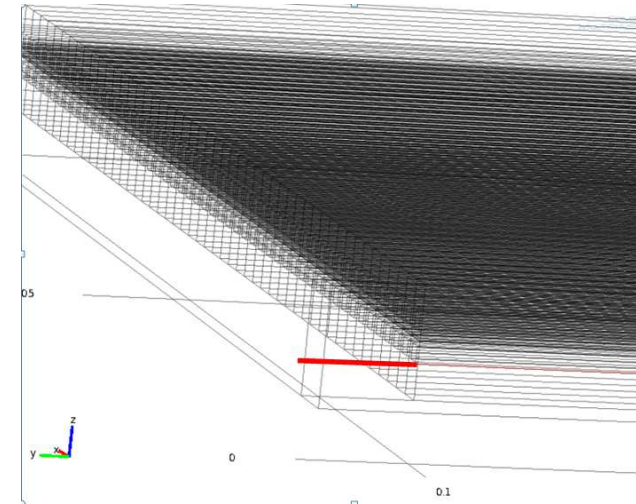
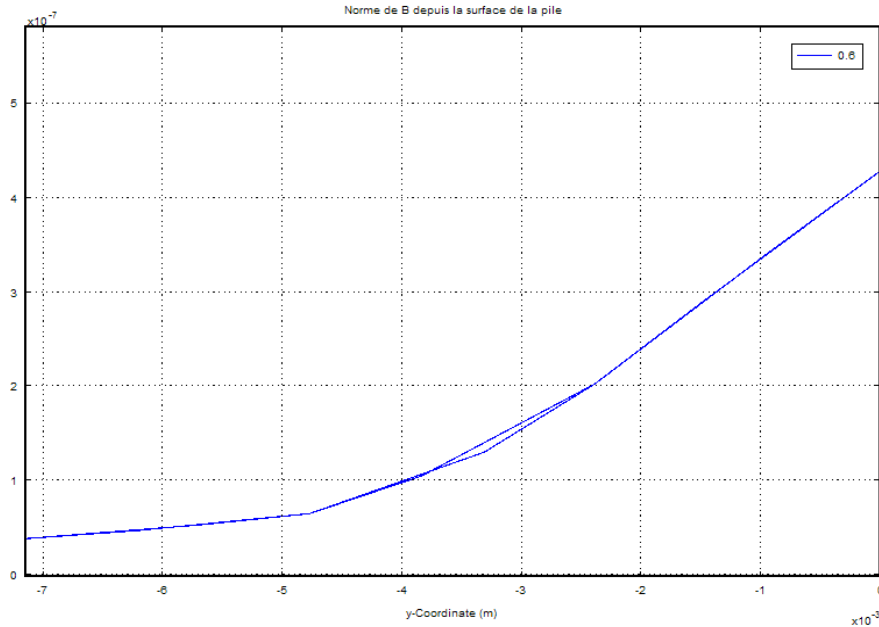
Densité de courant cellule saine (0,6V)



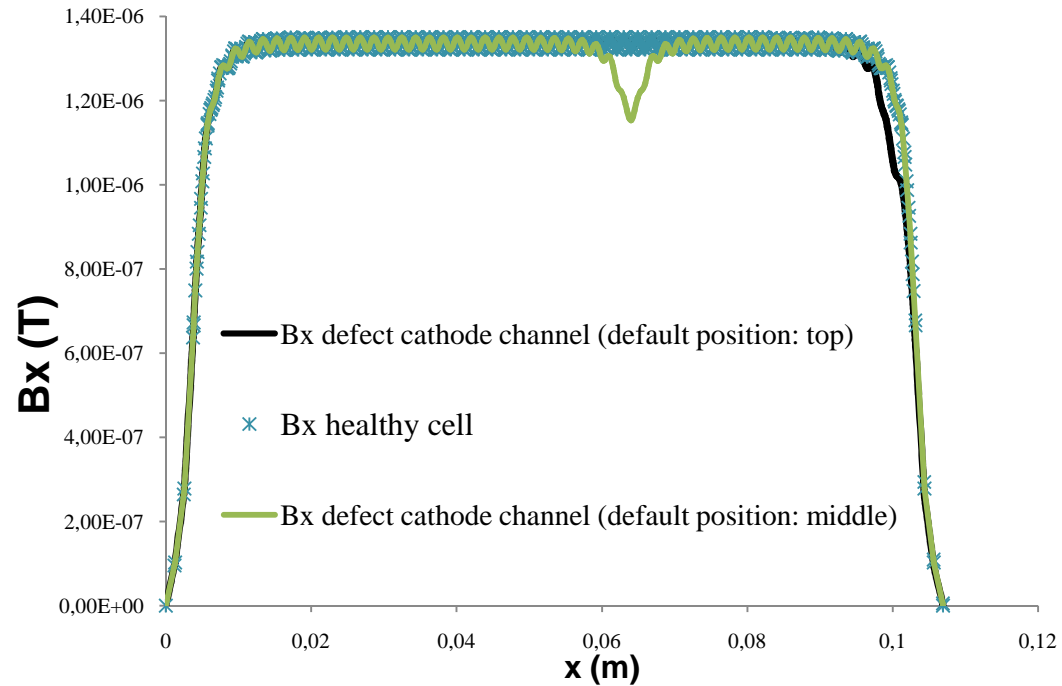
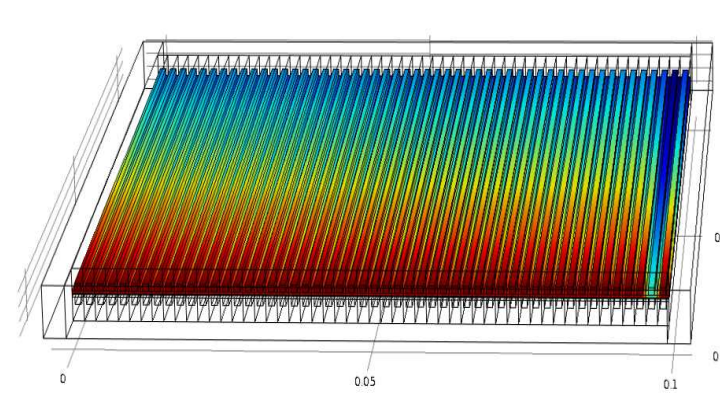
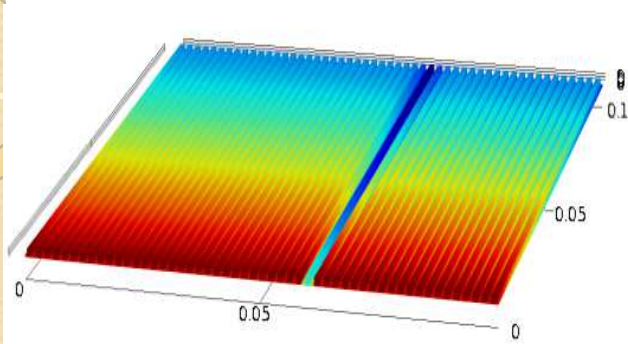
Diffusion O_2 cellule saine



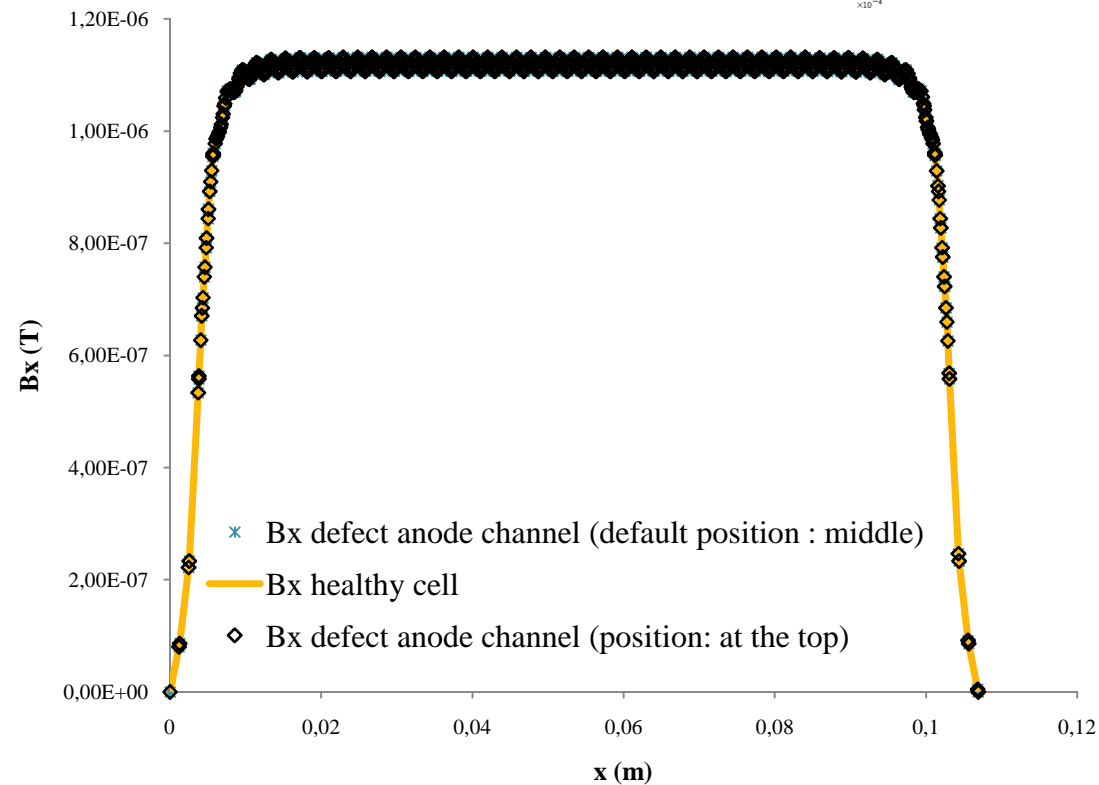
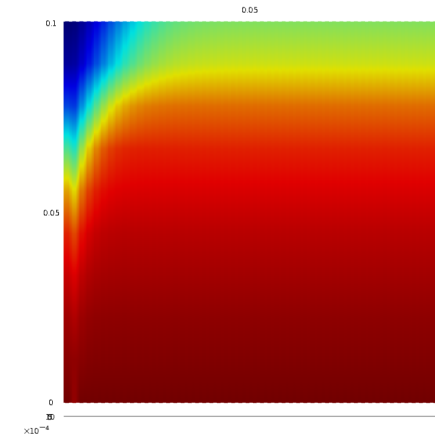
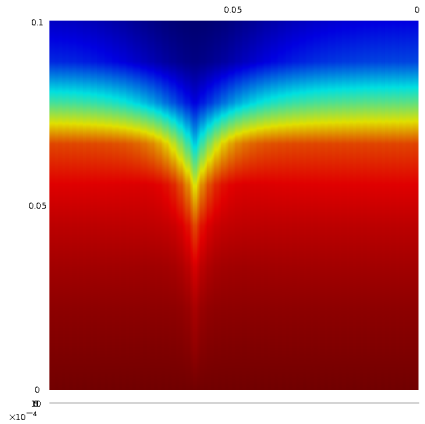
Norme de B à 1cm de la surface de la pile jusqu'à la pile sans défaut



Induction magnétique tangentielle pour ($v_{\text{cell}} = 0.6\text{V} - i_{\text{cell}} = 24.5\text{A}$) avec formation d'un bouchon dans un canal cathodique

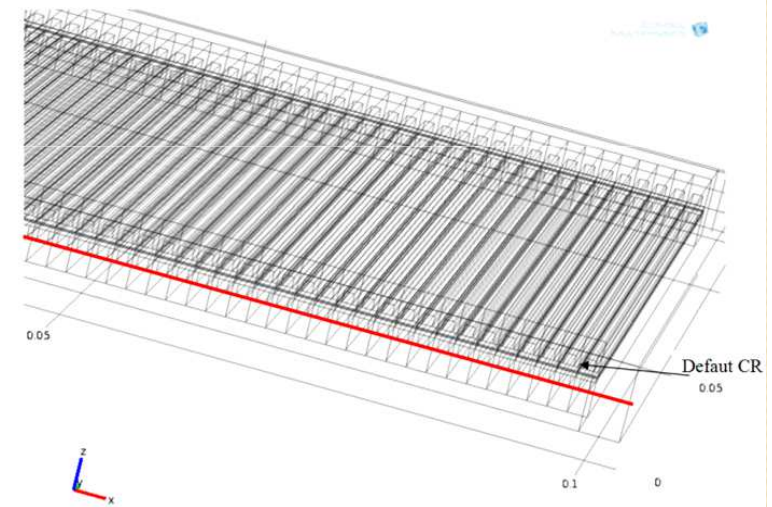
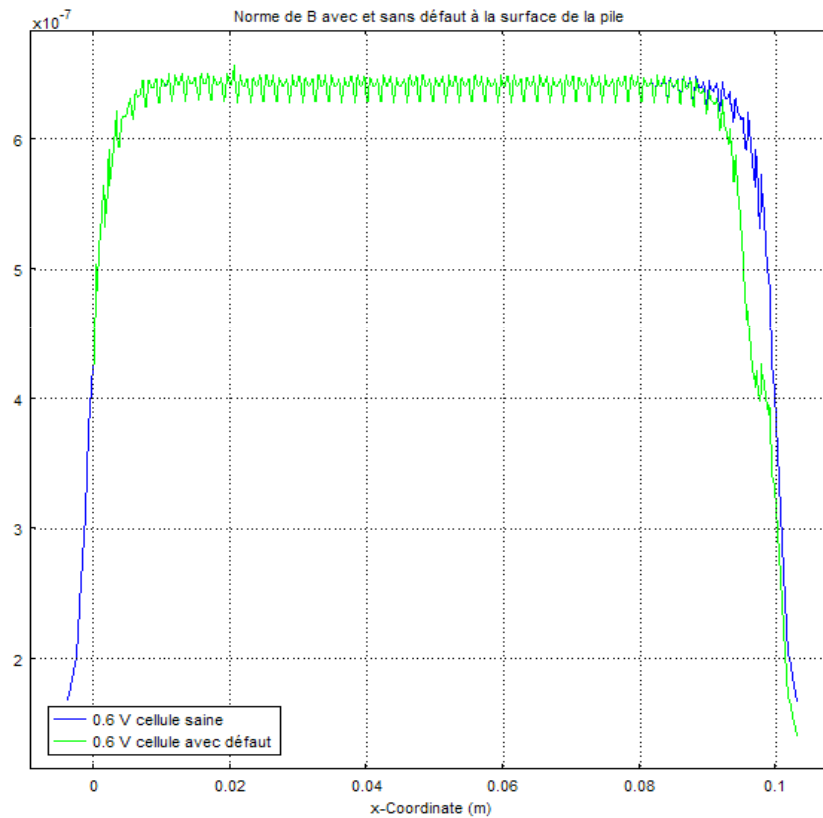


Induction magnétique tangentielle pour ($v_{\text{cell}} = 0.6\text{V}$ - $i_{\text{cell}} = 24.5\text{A}$) avec formation d'un bouchon dans un canal anodique



Dégradation de la couche de réaction cathodique

❖ *Conductivité de l'électrolyte réduite l'électrolyte réduite*



Norme de B à la surface de la pile avec et sans défaut
(couche de réaction cathodique)

Principaux résultats

- ❖ *Modèle 3D d'une pile à l'échelle*
- ❖ *Induction magnétique très faible pour quelques dizaines d'ampère , (quelques mG)*
- ❖ *Défaut à l'anode ne semble pas déterminant du moins sur B.*
- ❖ *Défaut à la cathode influence B mais valeurs faibles*



- *Sonde précise au mG et stable en température ($T_{pile} = 60^{\circ}C$)*
- *Travailler à fort courant*

Banc test et expérimentation

❖ *Montage en cours sur un stack de 16 cellules*

Difficultés :

1. *Assurer le blindage*

Electrovannes, débitmètres peuvent parasiter la mesure.

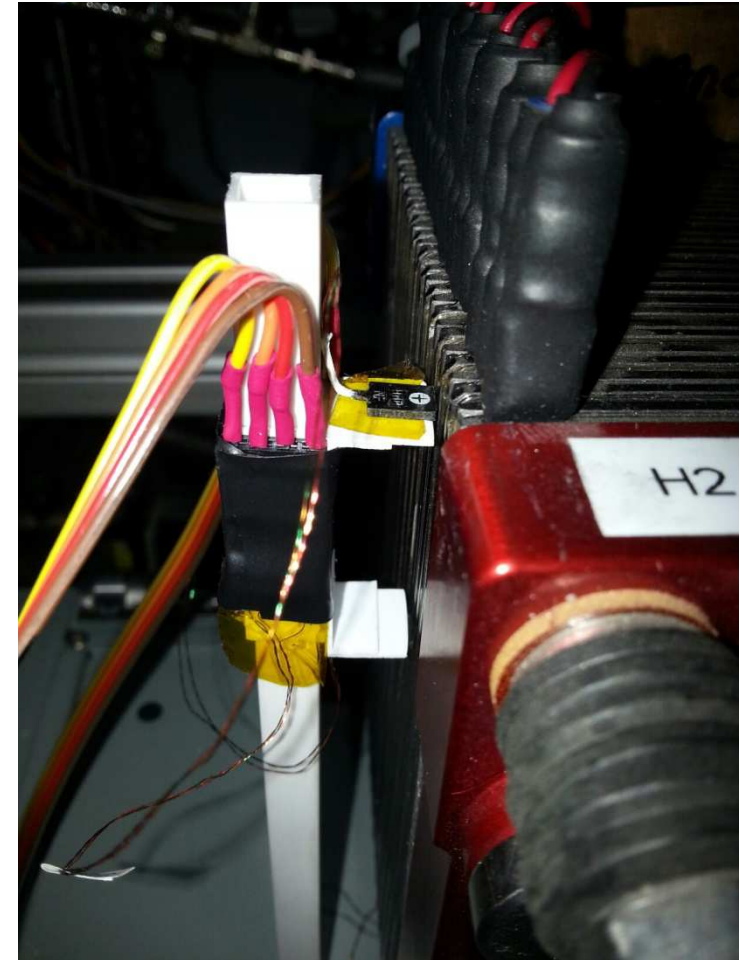
Mise en place d'une cage de Faraday

2. *Positionnement de la sonde magnétique*

Mesure de la composante tangentielle du champ

Reproductibilité de la mesure

Banc test et expérimentation



Travaux à venir

- ❖ *Influence d'une sous alimentation en gaz, du noyage, de l'assèchement sur B.*
- ❖ *Localiser la ou les cellules qui présentent le premier signe de faiblesse*
- ❖ *Vérifier de manière qualitative les résultats obtenus par simulation.*
- ❖ *Mesure de B suite à différentes sollicitations de la pile*
 - *Combiner EIS et mesure de B : dégager une signature spécifique à certaines altérations du cœur de pile*
 - *...*

