

Projet exploratoire CO-CONPAC

CO-CONception d'un cœur de Pile A Combustible PEM associé à son convertisseur statique

LAPLACE (Toulouse): C. TURPIN, O. RALLIERES, A. ZELLER

FEMTO-ST/ FCLAB (Belfort): J. MULOT (**Ing CDD**), D. HISSEL, M.C. PERA

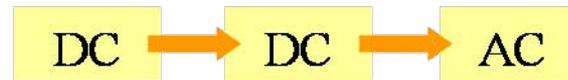
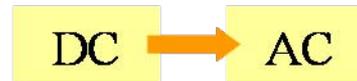
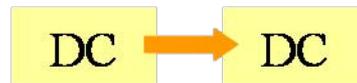
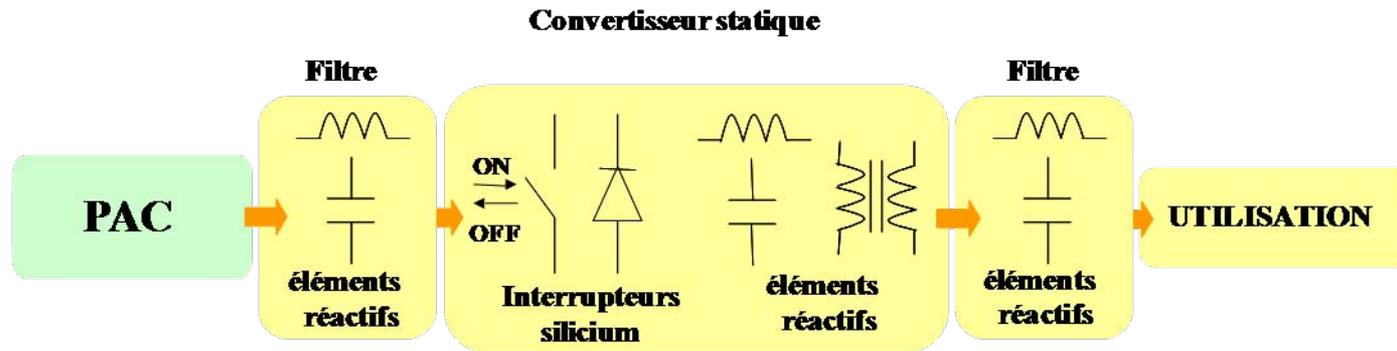
INRETS/FCLAB (Belfort) : F. HAREL

IGCM (Montpellier) : J. ROZIERE, D. JONES, F. FAVIER

FC LAB
Systèmes pile à combustible



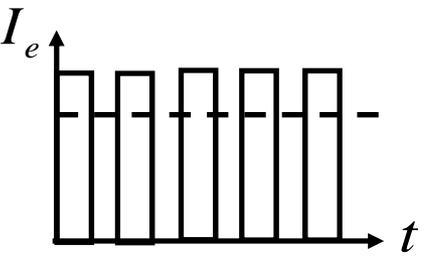
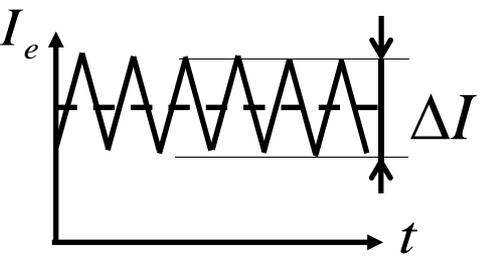
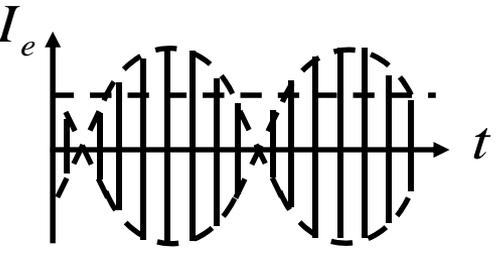
Interactions directes entre une PAC et son convertisseur statique qui génère des harmoniques de courant ?

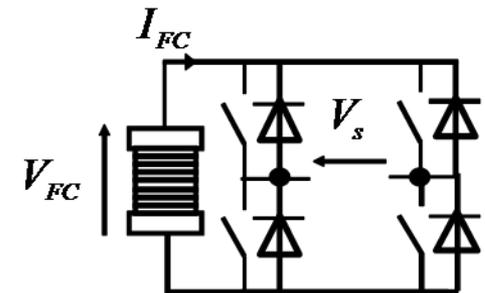
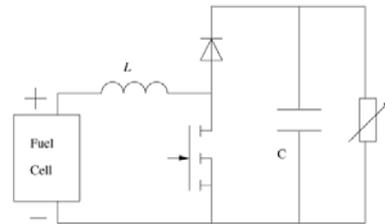
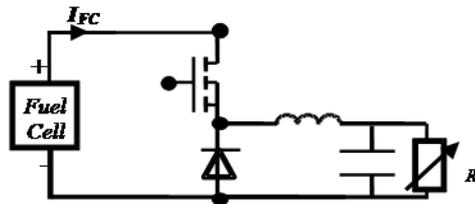


Rôle du convertisseur statique:
mise en forme de l'énergie électrique
délivrée par la PAC

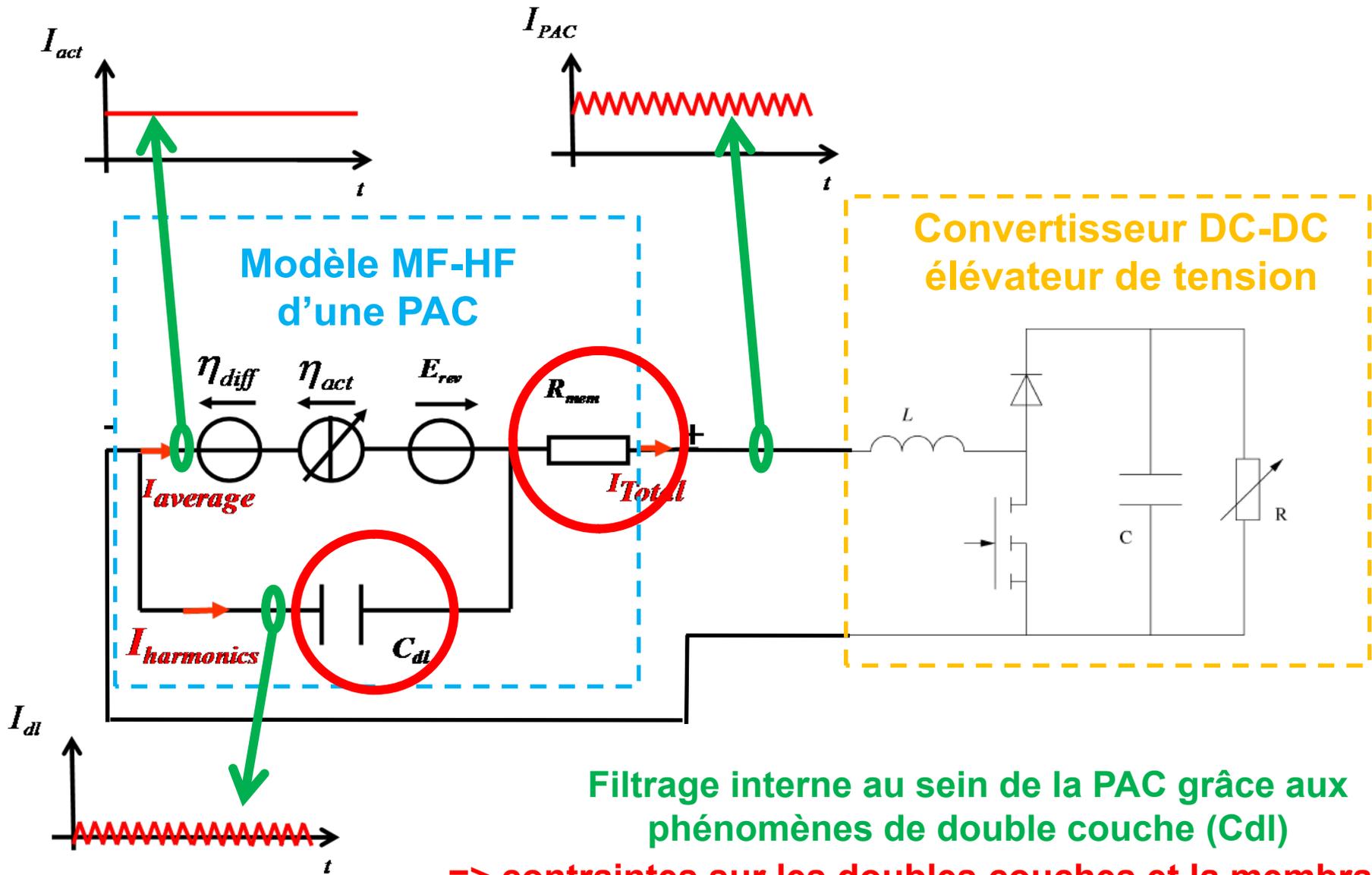
- Besoin d'une hybridation avec un autre composant de stockage de l'électricité?
- Quelles topologies? Quels filtres?
- Besoin de techniques d'entrelacement pour réduire l'ondulation de courant vue par la PAC?
- Besoin de techniques spéciales pour compenser tel ou tel harmonique (100Hz...)?
- ...

Quelques grandes caractéristiques de convertisseurs statiques typiques

Convertisseur statique	Convertisseur DC-DC abaisseur de tension	Convertisseur DC-DC élévateur de tension	Convertisseur DC-AC onduleur de tension monophasé
Formes d'onde (sans filtre dentrée)			
f_{harm}	HF de qq kHz à qq 10kHz	HF de qq kHz à qq 10kHz	HF + BF de qq kHz à qq 10kHz + 100 Hz
ΔI	élevée (100%)	moyenne (10 à 20 %)	très élevée (200%)



Introduction: point de vue du cœur de PAC



□ 1^{er} projet exploratoire CONPAC (FEMTO-ST, LAPLACE) [2008-2009]

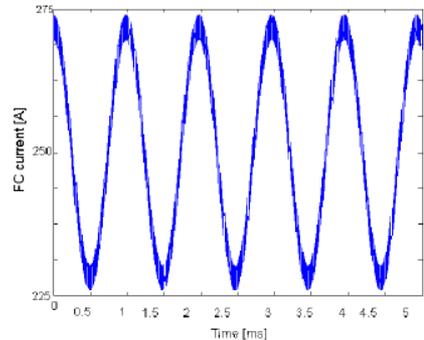


Figure 2: High frequency current oscillations imposed on the FC, simulating the effects of an electrical converter

PAC PEM de 1kW :
impact d'une ondulation
de courant de
 $\pm 10\%$ @ 1kHz
après 1000h

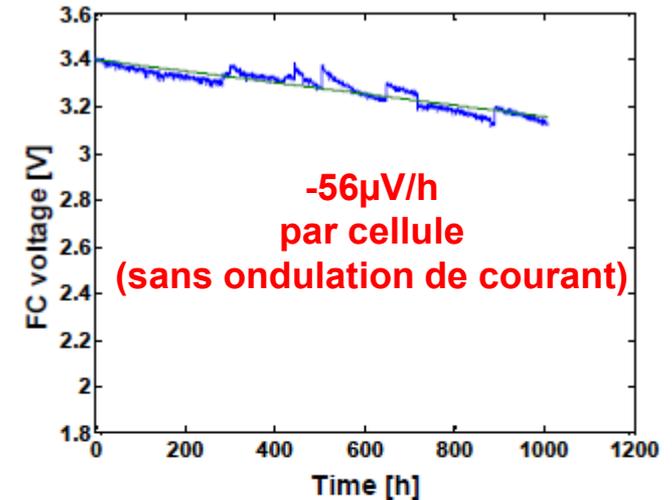


Figure 6: Stack voltage versus ageing time (reference test)

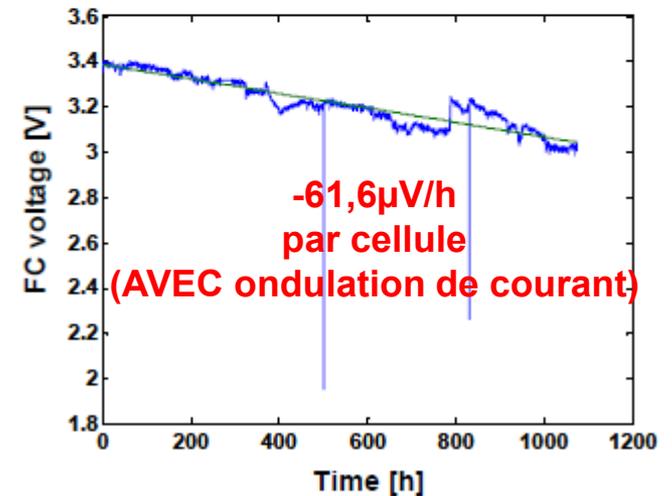


Figure 7: Stack voltage versus ageing time (dynamic test)

Conclusions de l'étude:
A PRIORI, il y a un impact de
l'ondulation de courant HF

Ici: vieillissement accéléré de +10%

MAIS une seule campagne avec un
sinus à 1kHz

Était-ce un résultat général?

❑ demande d'un Projet de Recherche en 2009 intitulé CO-CONPAC (FEMTO-ST, LAPLACE, INRETS, ICGM)

2 idées:

- 1) Refaire des campagnes pour valider et comprendre l'impact des harmoniques de courant pour différents types de convertisseurs statiques
- 2) Etudier et expérimenter les pistes pour augmenter l'effet double couche au sein de la PAC.



❑ **transformé en un nouveau Projet Exploratoire intitulé CO-CONPAC [2009-2010] (FEMTO-ST, LAPLACE, INRETS, ICGM) + 6 mois IR**
[nouvelle demande en 2010 d'un PR -> non aboutie]

2 idées pour ce nouveau PE:

- 1) Refaire une campagne pour valider l'impact des harmoniques de courant pour un type de convertisseur statique
- 2) Réfléchir aux pistes pour augmenter l'effet double couche au sein de la PAC.

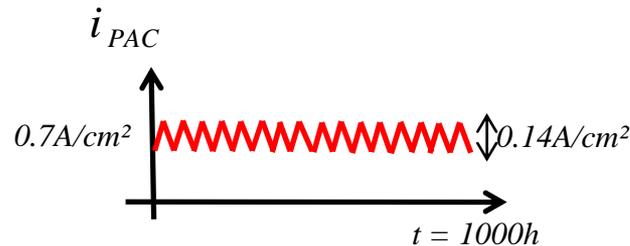
TO véritable: janvier 2010



Pile (UBzM)
5 cellules 100cm²



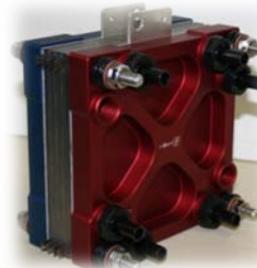
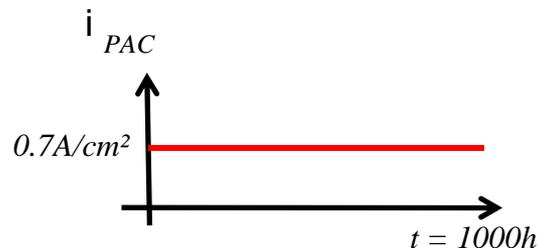
- 1^{ère} campagne d'essais (pile 1) : 1000h avec ondulation de courant HF (émulation d'un convertisseur DC-DC élévateur de tension)



Vieillissement à $I_{nom}=70A$ ($0.7A/cm^2$)
et ondulations de courant triangulaire
($\pm 10\%$ de I_{nom} @ 5kHz)

Pile 1 (UBzM)

- 2^{ème} campagne d'essais (pile 2) : 1000h sans ondulation de courant HF



Vieillissement à $I_{nom}=70A$
($0.7A/cm^2$)

*Nouvel assemblage Membrane /
Electrodes au bout des 1000h
précédentes*

Pile 2 (UBzM)



Banc d'essais FEMTO-ST/FCLAB

Suivi régulier de l'évolution des performances (toutes les 160h environ).

- 1) Courbe de polarisation décroissante de 1A/cm^2 à 0A/cm^2
- 2) Spectroscopies d'impédances à 0.7A/cm^2 , 0.45A/cm^2 et 0.2A/cm^2



Banc d'essais LAPLACE

Avant et après chaque campagne

- 1) Balayages BF en courant sinus de 0A/cm^2 à 0.5A/cm^2 .
- 2) Spectroscopies d'impédances à 0.5A/cm^2 de 20kHz à 1Hz .

**Nouvel assemblage Membrane /
Electrodes au bout des 1000h de
la première campagne**

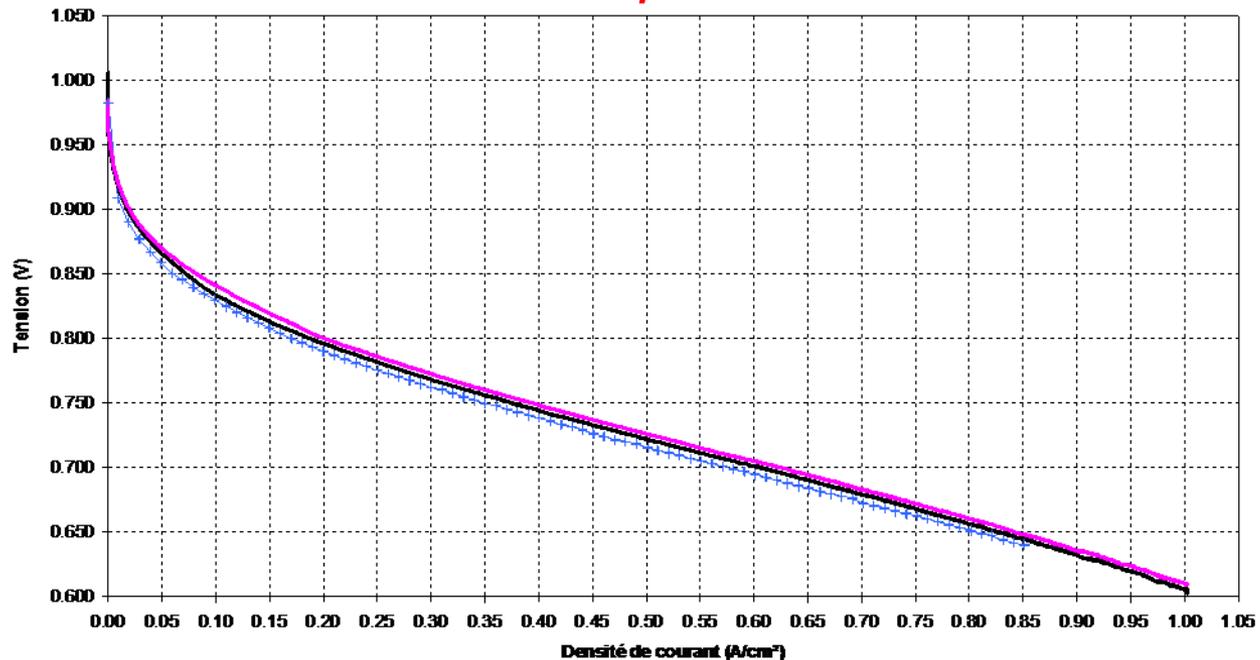


Pile 1 (UBzM)



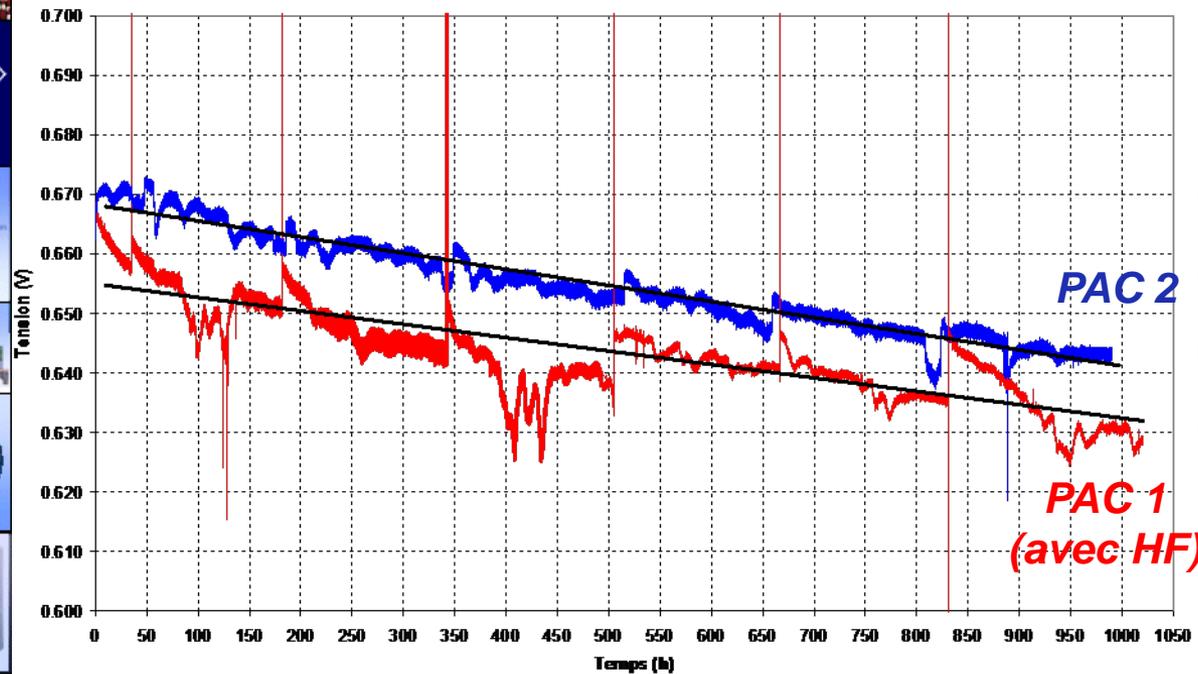
Pile 2 (UBzM)

Très bonne reproductibilité



- + Tension moyenne de cellule (PAC ZSW 3 cellules - CONPAC - T0 - 04/12/08)
- Tension moyenne de cellule (PAC1 ZSW 5 cellules - CO-CONPAC - T0 - 31/01/10)
- Tension moyenne de cellule (PAC2 ZSW 5 cellules - CO-CONPAC - T0 - 23/06/10)

Performances au fil du vieillissement @0.7 A/cm²



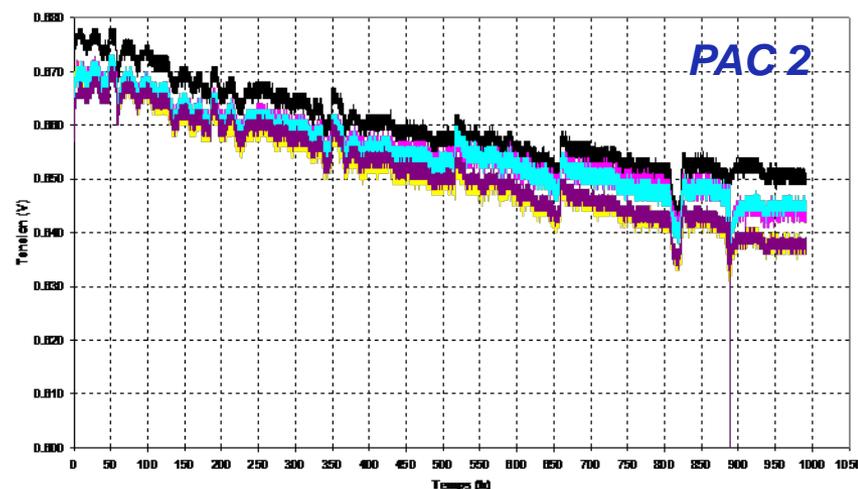
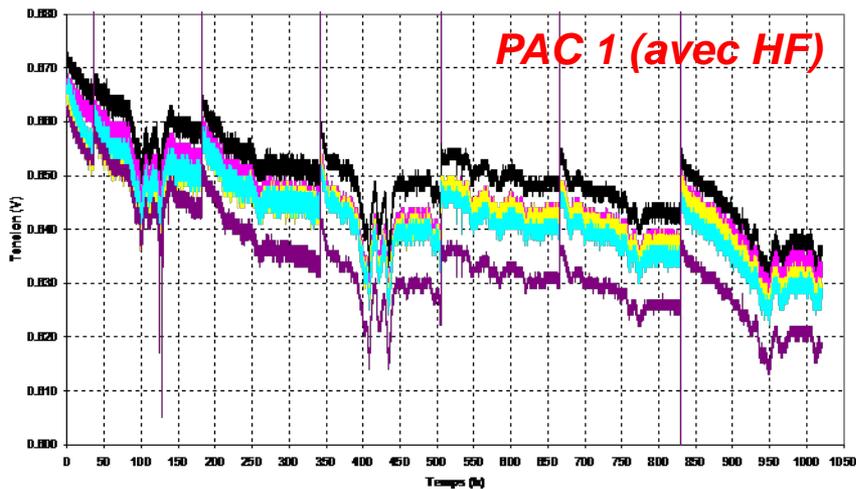
L'ondulation HF a manifestement un impact sur le fonctionnement.

PAC 1 (Avec HF): -22,5 $\mu\text{V/h/cellule}$

PAC 2 (Sans HF): -27,6 $\mu\text{V/h/cellule}$

La PAC 2 semble avoir plus vieilli.

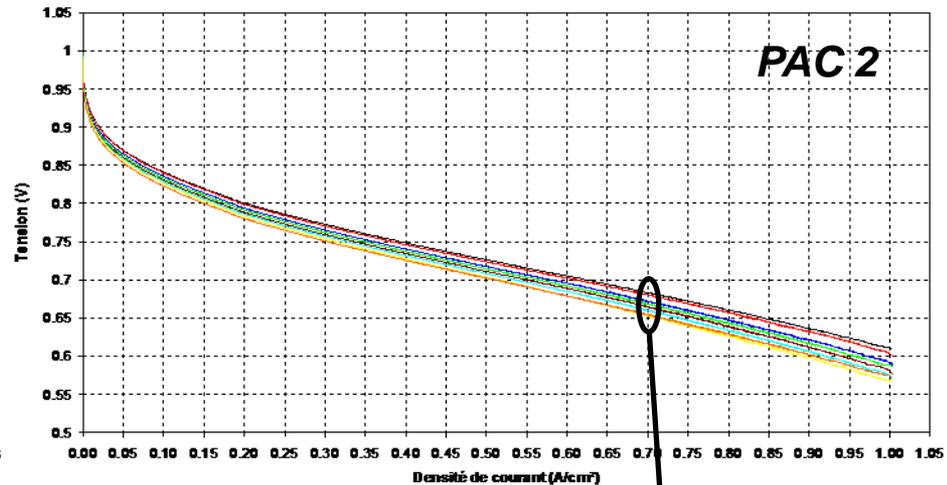
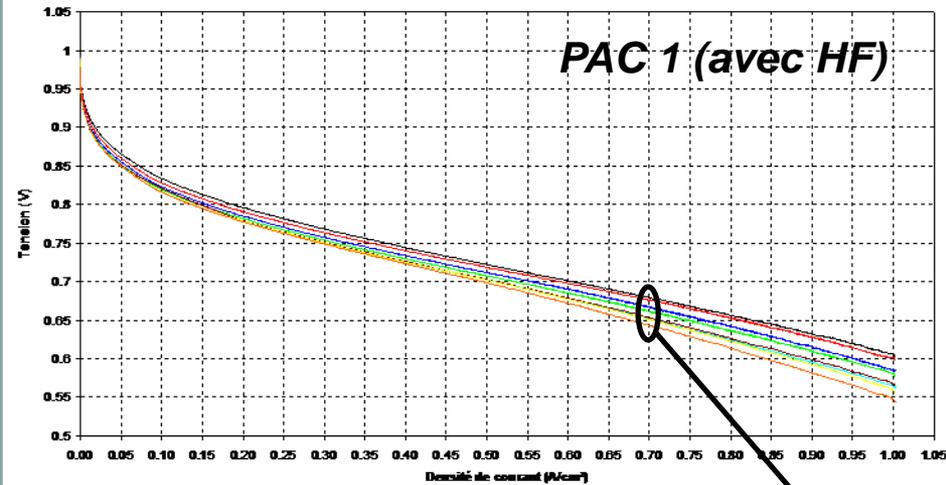
— Tension moyenne cellule - PAC 1 - 70 A avec ondulation HF — Tension moyenne cellule - PAC 2 - 70 A sans ondulation HF



— Tension cellule 1 — Tension cellule 2 — Tension cellule 3 — Tension cellule 4 — Tension cellule 5

— Tension cellule 1 — Tension cellule 2 — Tension cellule 3 — Tension cellule 4 — Tension cellule 5

Performances au fil du vieillissement – courbes de polarisation



- Tension moyenne de cellule (T0)
- Tension moyenne de cellule (T35)
- Tension moyenne de cellule (T182)
- Tension moyenne de cellule (T343)
- Tension moyenne de cellule (T515)
- Tension moyenne de cellule (T666)
- Tension moyenne de cellule (T830)
- Tension moyenne de cellule (T1016)

- Tension moyenne de cellule (T0)
- Tension moyenne de cellule (T48)
- Tension moyenne de cellule (T185)
- Tension moyenne de cellule (T348)
- Tension moyenne de cellule (T515)
- Tension moyenne de cellule (T658)
- Tension moyenne de cellule (T823)
- Tension moyenne de cellule (T991)

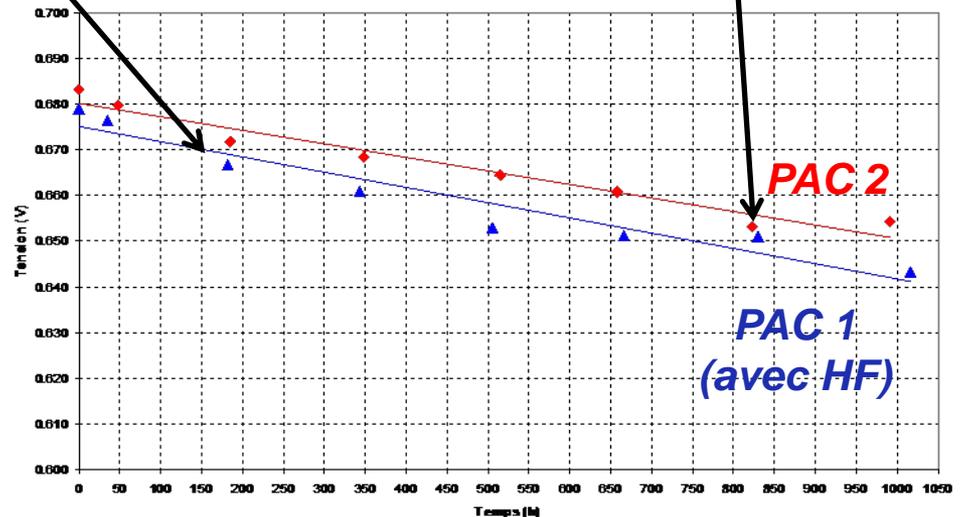
Pas d'évolution chaotique. Les courbes de polarisation se dégradent progressivement dans les deux cas.

PAC 1 (Avec HF): -33,5 $\mu\text{V/h/cellule}$

PAC 2 (Sans HF): -29,6 $\mu\text{V/h/cellule}$

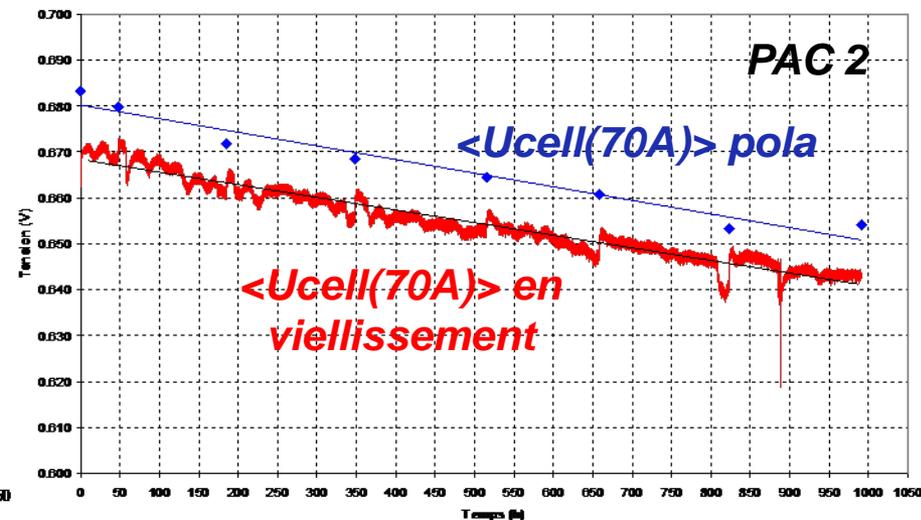
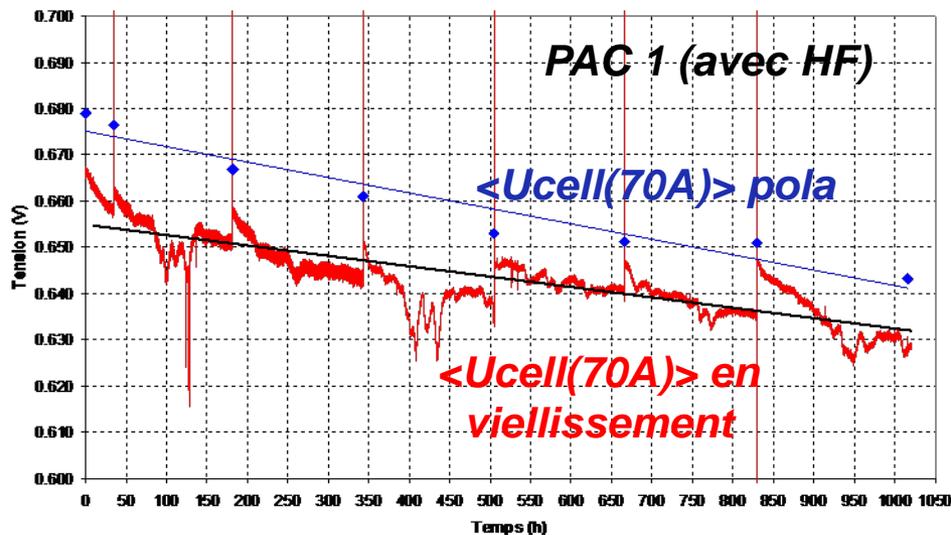
La PAC 1 semble avoir plus vieilli.
=> Contradictoire avec le résultat précédent.

$$\langle U_{\text{cell}}(70\text{A}) \rangle = f(\text{temps})$$



- ▲ Tension moyenne cellule PAC1 (Polarisation @70A)
- ◆ Tension moyenne cellule PAC2 (Polarisation @70A)

Notions pertes réversibles/pertes irréversibles



— Tension moyenne cellule (Vieillessement @70A) ♦ Tension moyenne cellule (Polarisation @70A)
— Linéaire (Tension moyenne cellule (Vieillessement @70A)) — Linéaire (Tension moyenne cellule (Polarisation @70A))

— Tension moyenne cellule (Vieillessement @70A) ♦ Tension moyenne cellule (Polarisation @70A)
— Linéaire (Tension moyenne cellule (Vieillessement @70A)) — Linéaire (Tension moyenne cellule (Polarisation @70A))

Notion de pertes « réversibles » : **amélioration/perte** (réversible) de performances lors de **changement/retour** dans des mêmes conditions.

→ leur origine n'est pas claire

→ vraisemblablement liée à de l'accumulation d'eau

Si l'on estime les performances en ne tenant pas des pertes réversibles, càd à partir des courbes de polarisation:

PAC 1 (Avec HF): -33,5 $\mu\text{V}/\text{h}/\text{cellule}$

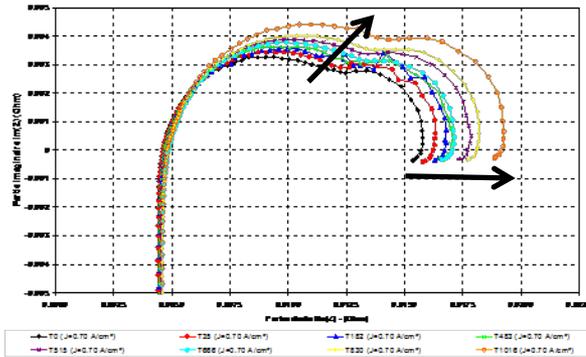
PAC 2 (Sans HF): -29,6 $\mu\text{V}/\text{h}/\text{cellule}$

→ avec ce critère les ondulations de courant HF ont accéléré le vieillissement de 13%.

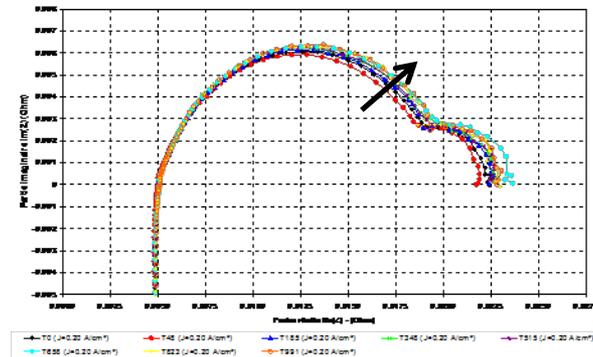
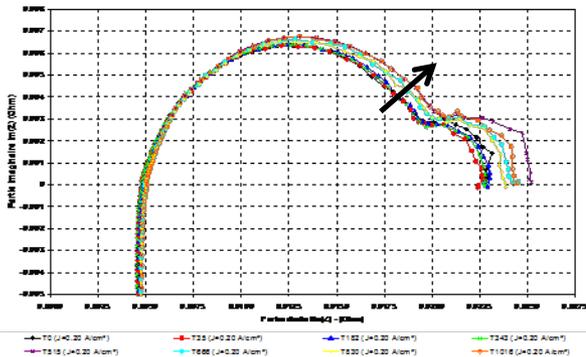
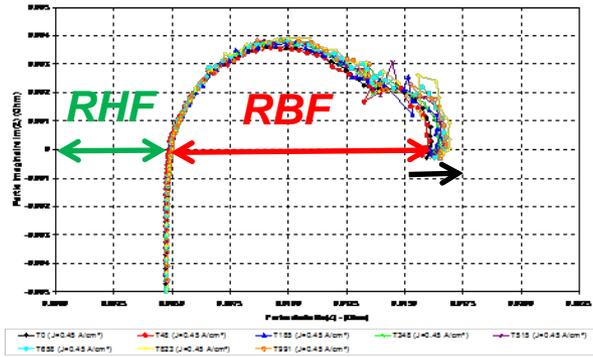
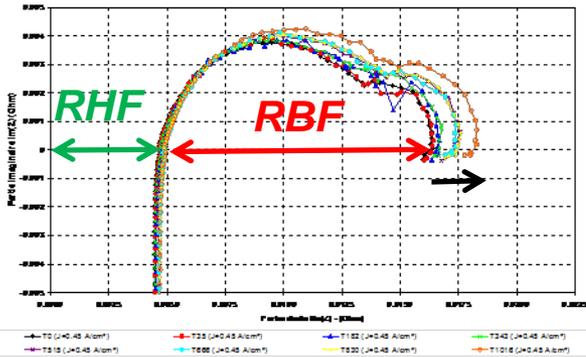
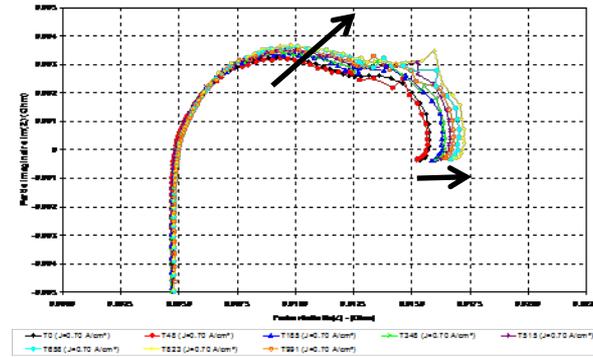
→ confortant les résultats du projet CONPAC.

Performances au fil du vieillissement – spectroscopies d'impédance

PAC 1 (avec HF)



PAC 2



Performances au fil du vieillissement – spectroscopies d'impédance

RHF

I (A/cm ²)	0.2	0.45	0.7
ΔRHF (%)	+5.7	+5.6	+4.3
ΔRHF (%)	+1.6	+0.8	+1.6

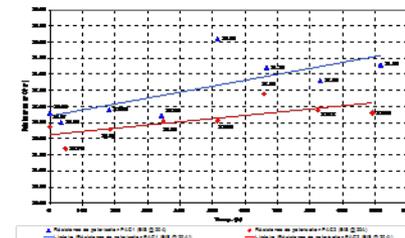
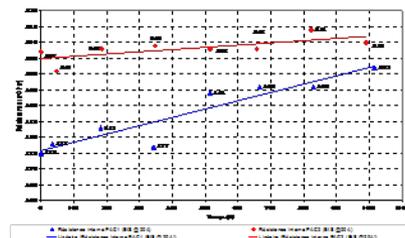
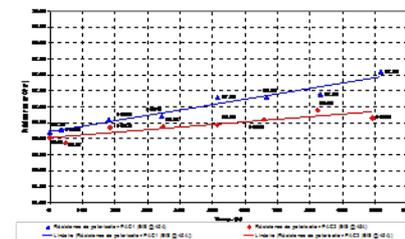
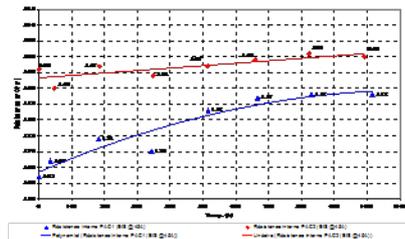
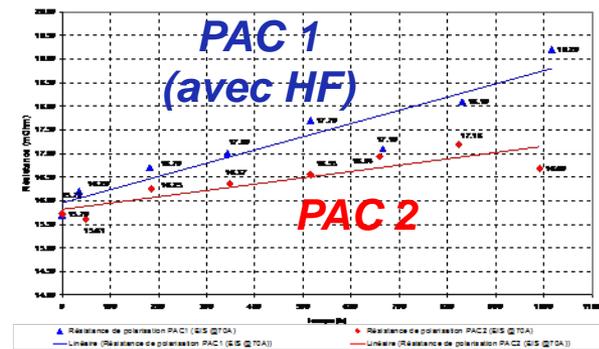
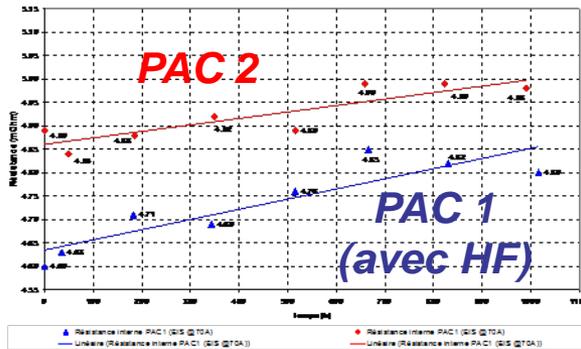
PAC 1 (avec HF)

PAC 2

I (A/cm ²)	0.2	0.45	0.7
ΔRBF (%)	+6.5	+12	+22
ΔRBF (%)	+1.9	+3.8	+6.2

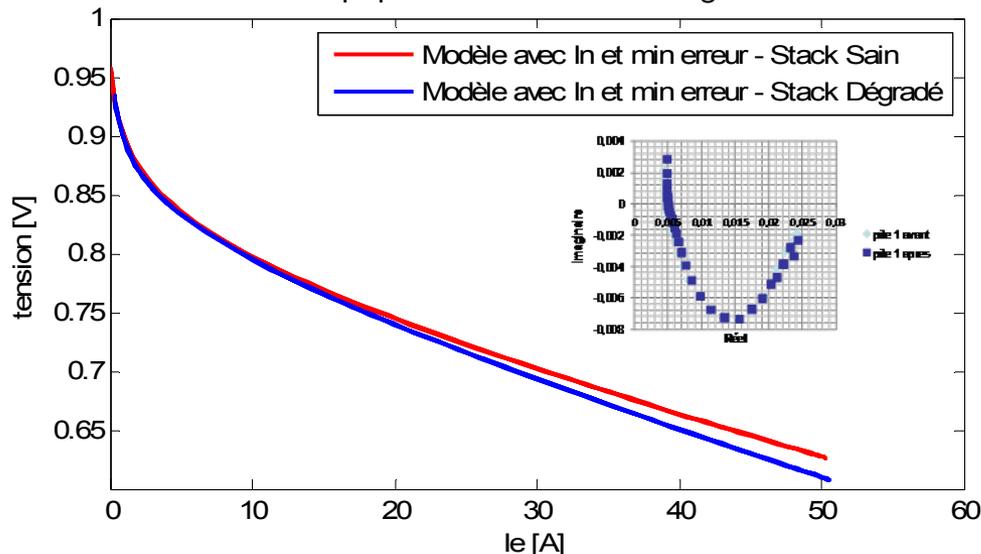
RBF

L'impact des ondulations des courants est confirmé: Elles accélèrent le vieillissement. Les membranes ont été affectées, mais les phénomènes de diffusion ont été les plus touchés.



☐ Impact des harmoniques de courant et du vieillissement sur la pile à 50A (PILE 1)

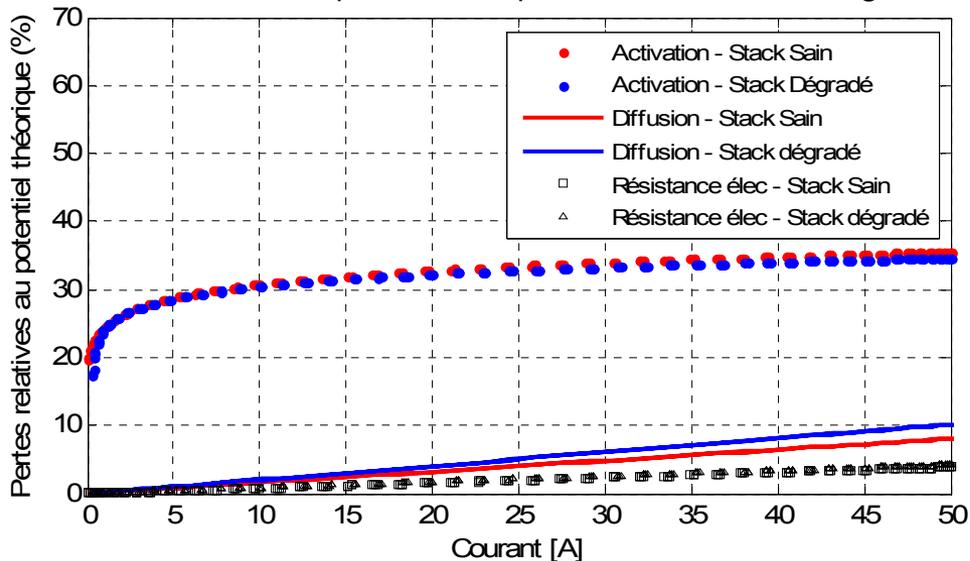
Superposition Pile Saine / Pile Dégradé



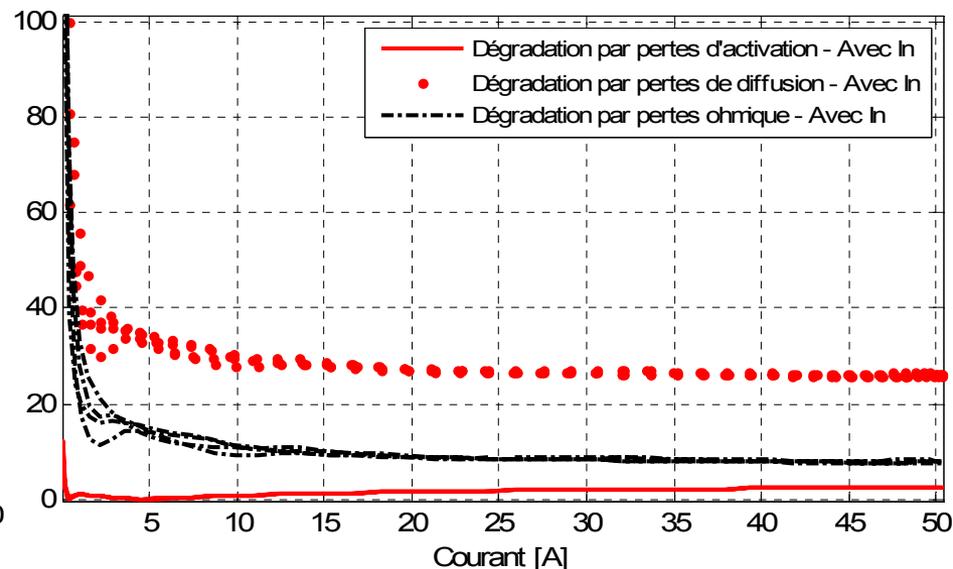
$$U_{FC} = E_{rev} - \frac{RT}{\alpha n F} \ln\left(\frac{I + I_n}{I_o}\right) - (R_{elec} + R_{diff})I$$

- Le modèle isole bien les dégradations
- Phénomènes de diffusion les plus affectés
- Les membranes ont été affectées également.
- Activation peu touchée par la dégradation.
- TRES COHERENT AVEC LES ANALYSES PRECEDENTES

Pertes relatives au potentiel théorique avec In - Stack Sain et Dégradé



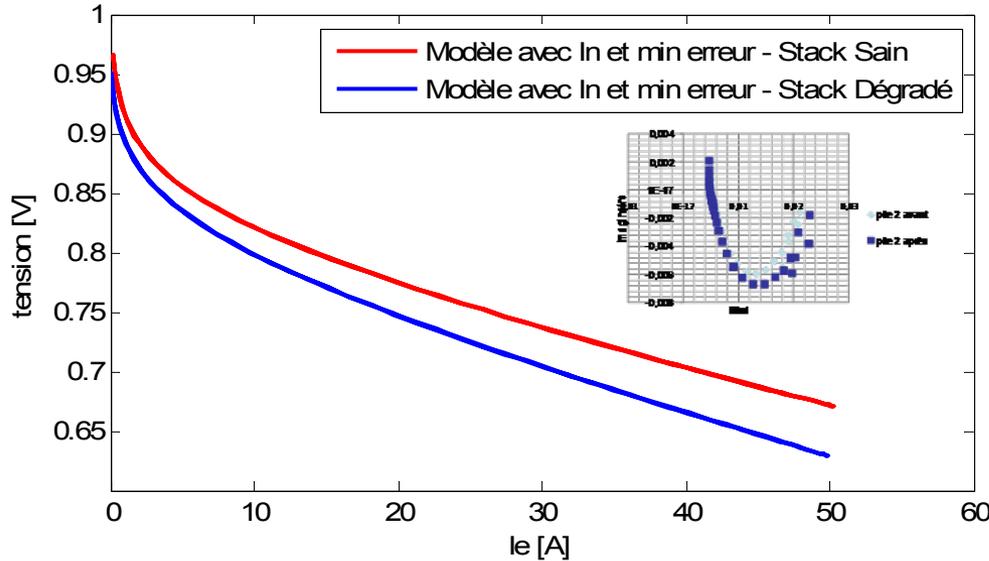
Dégradation par rapport à l'état sain



Impact du vieillissement uniquement sur la pile à 50A (PILE 2)

ATTENTION il y a eu un mois de stockage (mois d'août) – Pas testé dans la foulée comme pour la PILE 1.

Superposition Pile Saine / Pile Dégradé



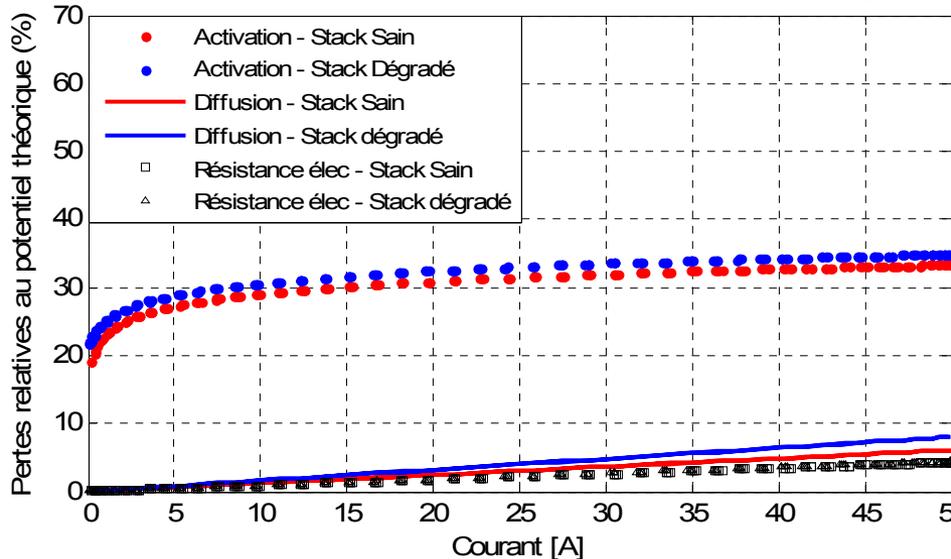
→ Phénomènes de diffusion toujours les plus affectées

→ Activation plus touchée par la dégradation que pour la PAC 1.

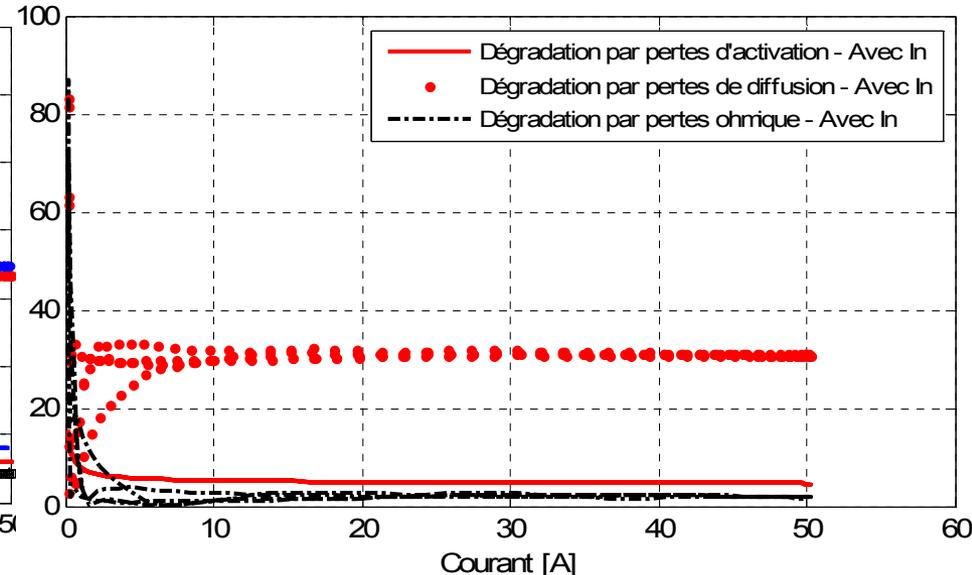
→ Les membranes ont été peu affectées.

→ ± COHERENT AVEC LES ANALYSES PRECEDENTES = STOKAGE ESTIVAL FATAL?

Pertes relatives au potentiel théorique avec In - Stack Sain et Dégradé



Dégradation par rapport à l'état sain





CONCLUSIONS:

- L'impact des harmoniques de courant générées par un convertisseur statique ne fait plus guère de doute.
→ il reste à comprendre (fortement lié à l'eau)
- finalisation des analyses (rapport d'ici fin avril 2011)

PERSPECTIVES:

- trouver un cadre pour poursuivre ces études!