

Série STL - Classe terminale

Enseignement de sciences physiques & chimiques en laboratoire

## **Systèmes & Procédés**

Proposition d'une étude de cas  
autour de la production autonome d'électricité

**Activités autour de la pile à combustible**

# Sommaire

- \* Le sous-système réel : La pile à combustible
- \* Description du système didactique  
Choix d'un système "adapté"
- \* Description de quelques activités expérimentales
- \* Prolongements

## Le système réel

Pile IDATECH FCS1200

1 kW – 48 V DC

Rendement 20 – 26 %

Dim: 800 x 700 x 700 mm  
65 kg

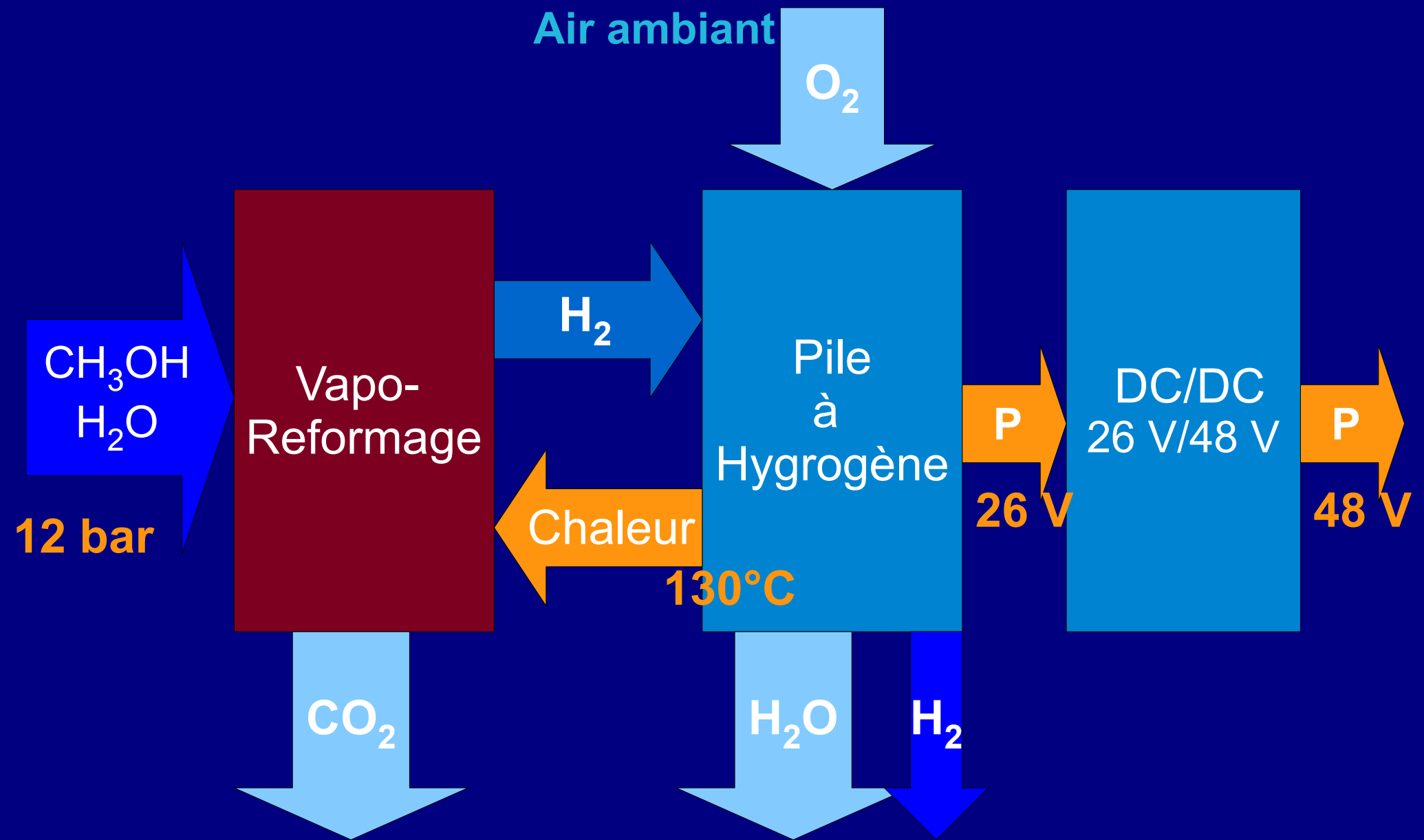


Coeur de pile PEMFC Ballard (**Proton Exchange Membrane Fuel Cell**)  
Combustible : mélange équimolaire méthanol / eau déminéralisée  
→ Evolution vers éthanol, GPL

Consommation de combustible : 1,4 l/h à 1 kWe, 0,2 l/h en veille

Durée de vie 1500 à 2000 heures de fonctionnement

# Structure de la pile à combustible



# Choix d'un système didactique

4 types de système :

- Maquette didactique "proche" d'un système réel
- Petit module du commerce
- Module élémentaire DPEM (méthanol)
- Module élémentaire PEM

# Système didactique "réel"



Type PEM

50 W

5 V

Coût élevé, > 10 000 €

Contraintes liées à l'alimentation en hydrogène

## Pile du commerce



Stockage H<sub>2</sub>  
Hydrures métalliques

Libération de H<sub>2</sub> par  
décomposition catalytique d'une  
solution aqueuse de borohydrure  
de sodium :



Pile à usage unique !

1 W

3,6 – 5,2 V

220 mA

30 W.h

Durée de vie : 5 mois

185 g

Dimension : 96 x 67 x 37mm

< 100 €

# Module élémentaire alimenté au méthanol



Type DPEM

10 mW

0,5 V

Méthanol (3%)

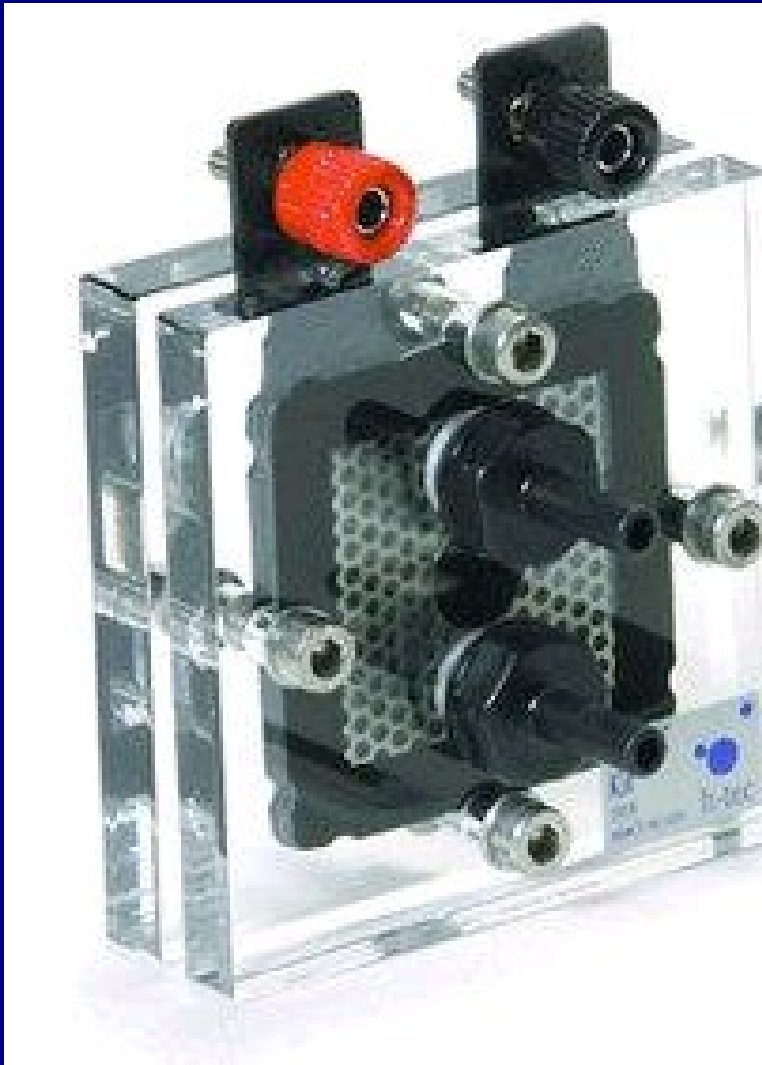
Abordable : < 100 €

Faible puissance

Manipulation du méthanol !



# Module élémentaire



Type PEM

0,5 W

0,4 V – 1 V

1 A

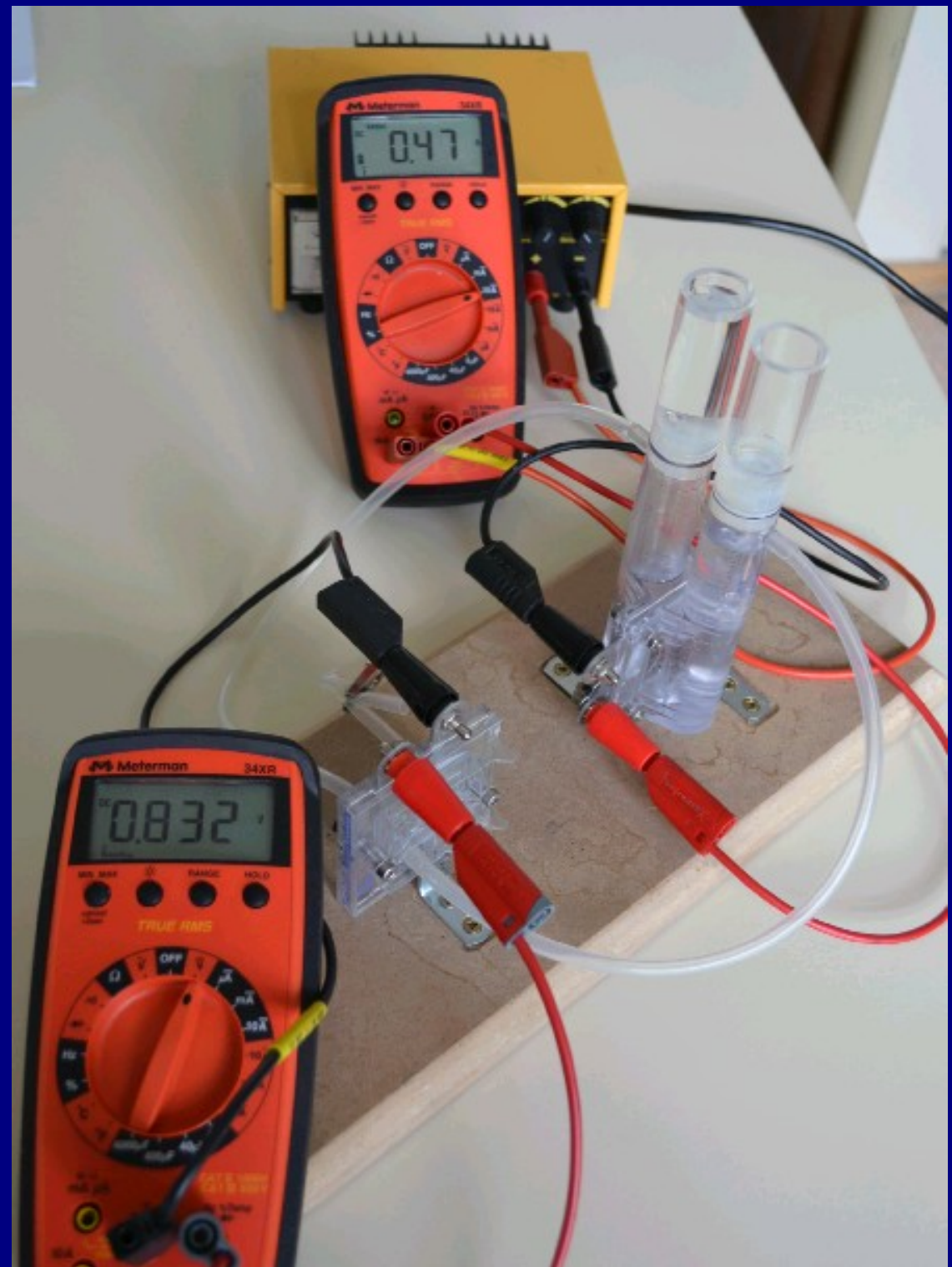
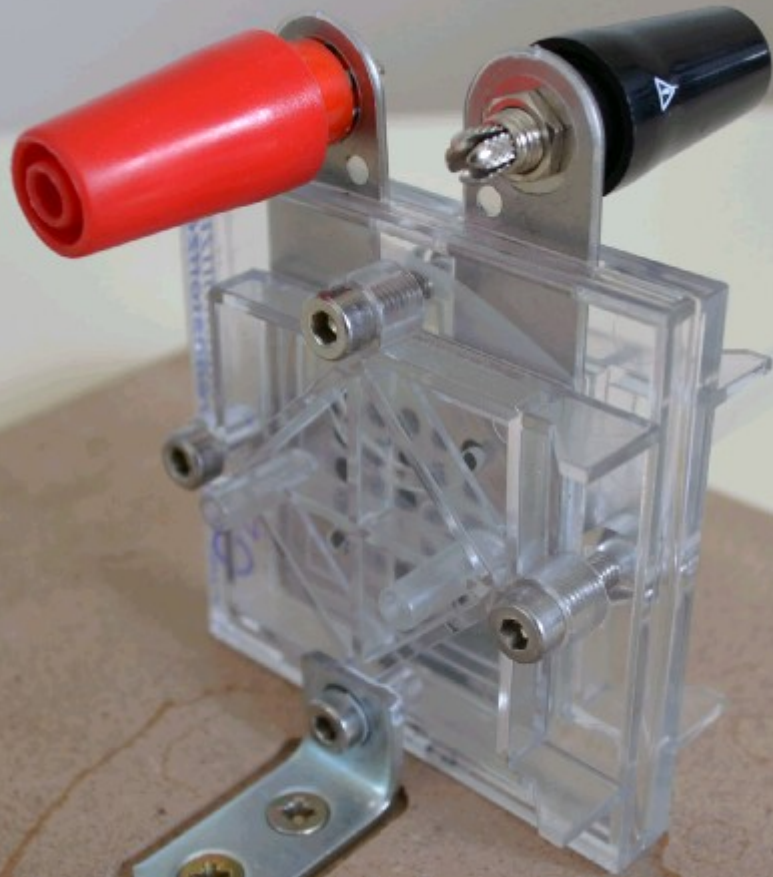
7 mL H<sub>2</sub> / min pour 1 A



Abordable : < 200 €

Exploitation expérimentale possible

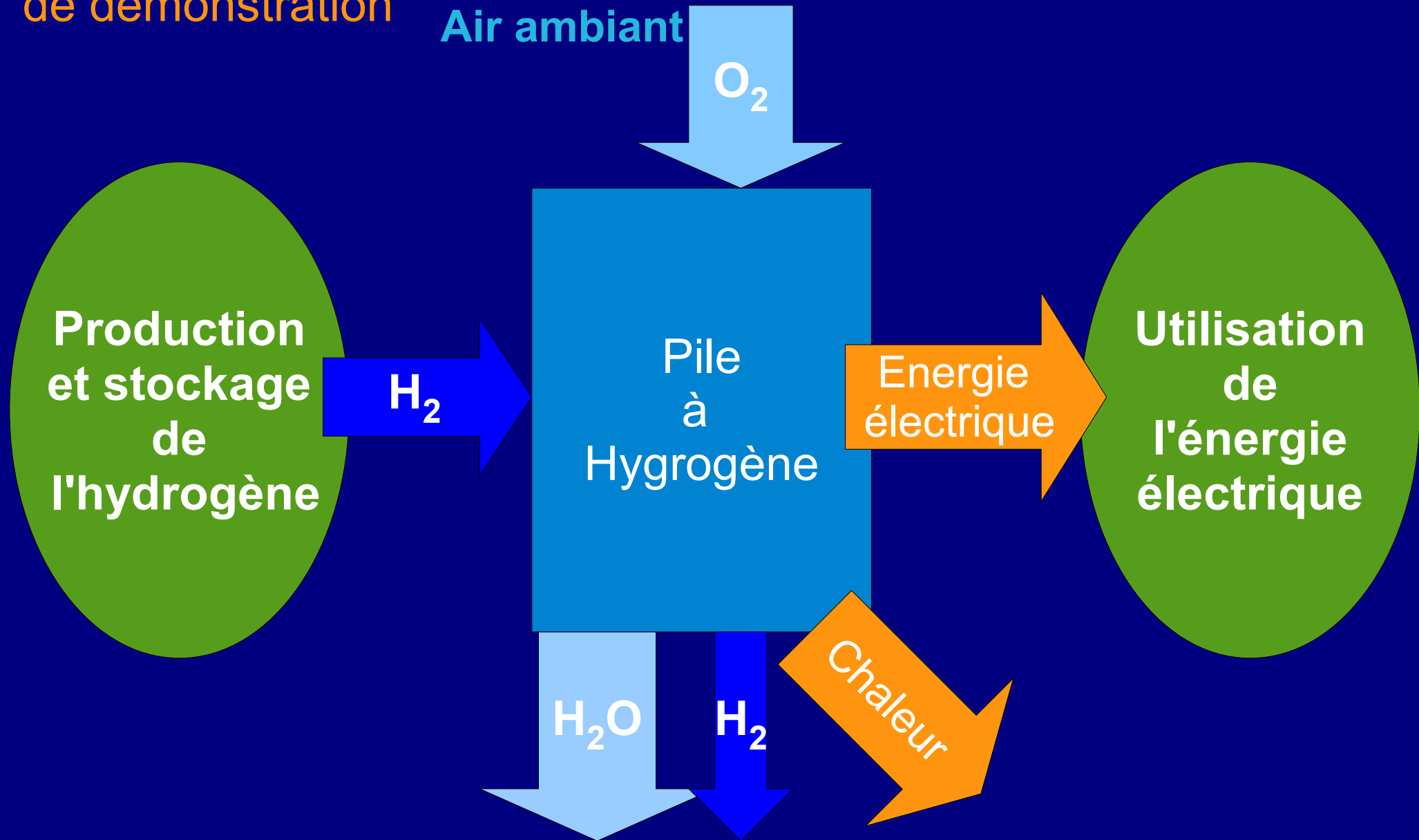
## Quelques expériences



## Quelques expériences

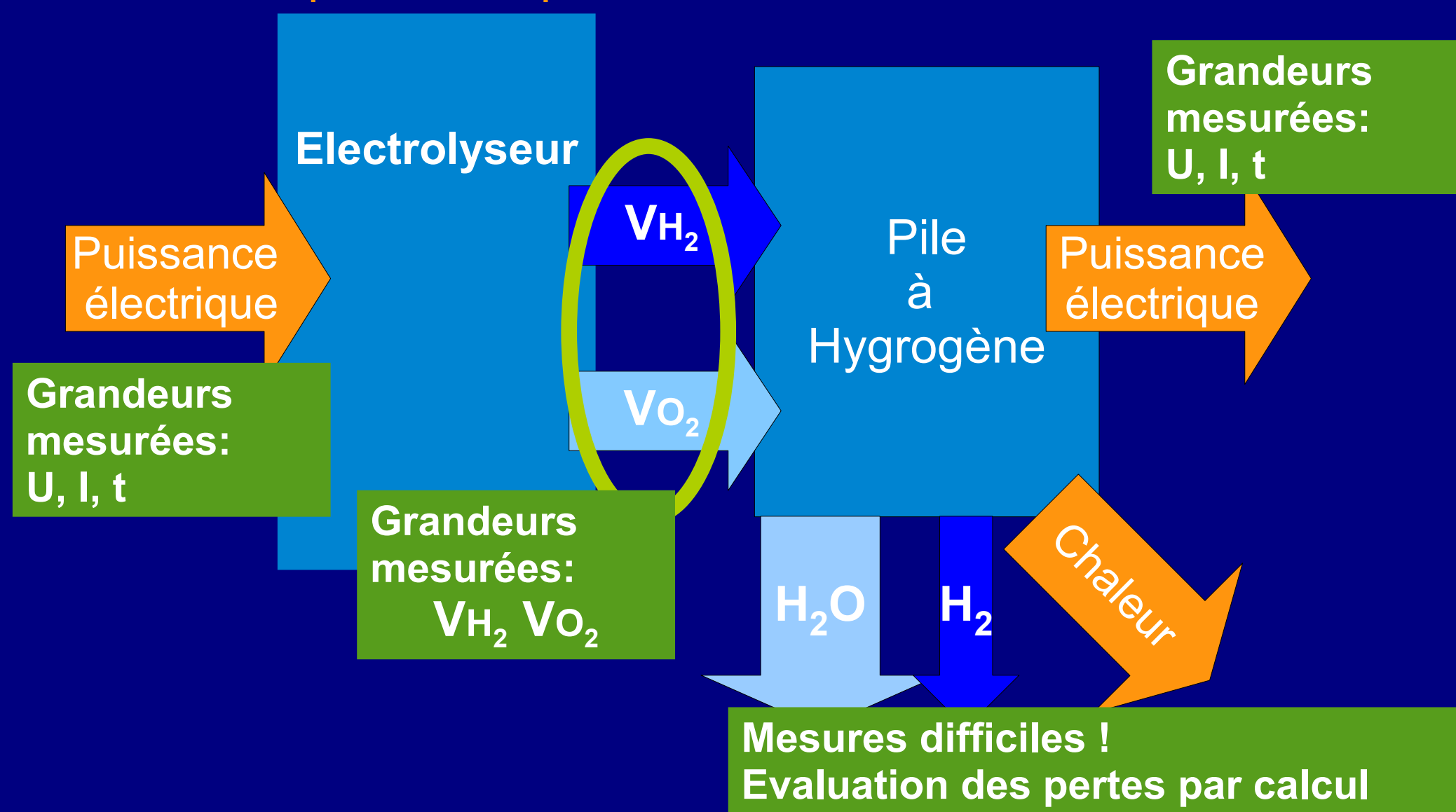
- \* Production d'hydrogène par électrolyse de l'eau
- \* Caractéristique de la pile
- \* Phénomènes transitoires

# Les questions autour de l'utilisation d'une pile à hydrogène de démonstration



Attention aux "décalages" avec le système réel !

# Mesures et exploitations possibles



**Evaluation du rendement de l'électrolyseur**  
**Evaluation du rendement électrique de la chaîne**

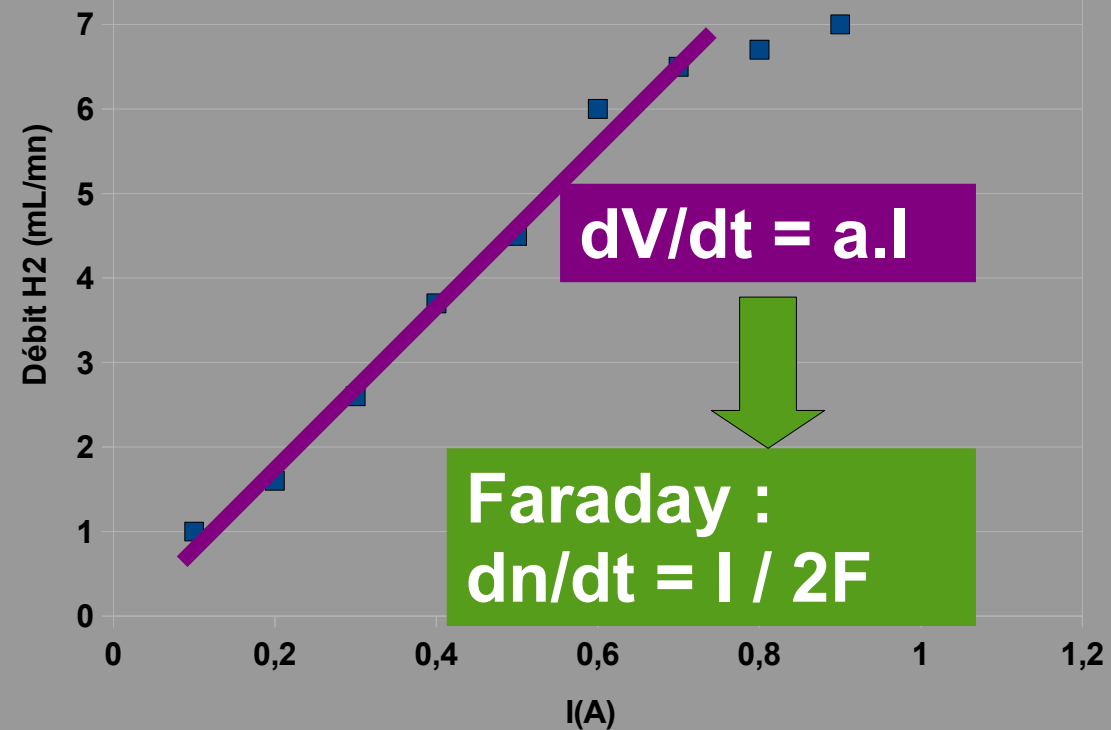
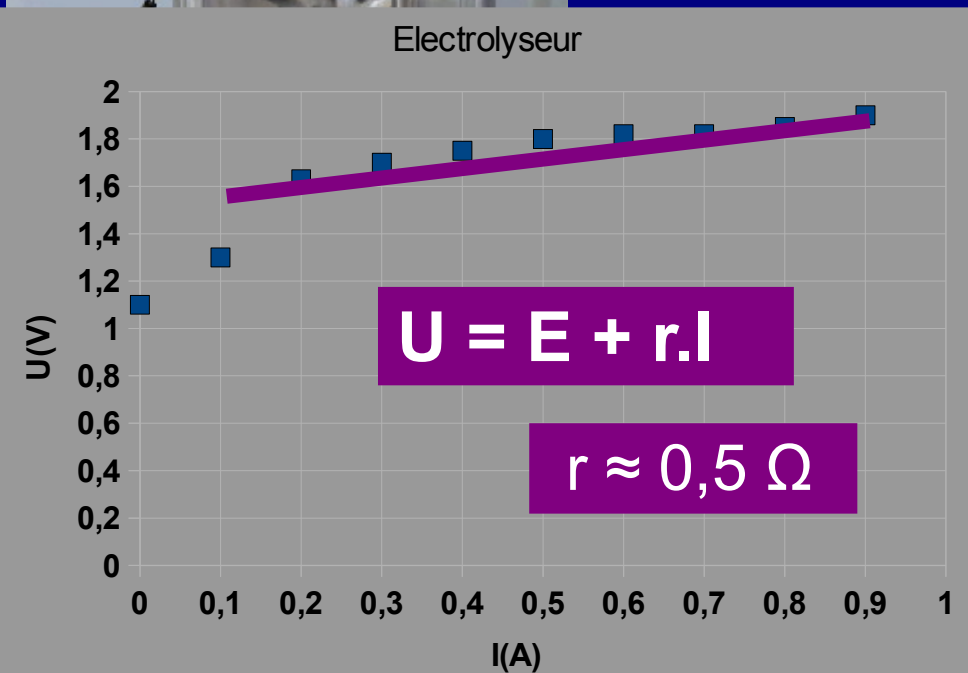
# Around electrolysis

## Characteristics :

1,4 - 1,8 V  
0 - 500 mA

Max flow : 3,5 mL / mn  
( in reality > 6 mL / mn  
for  $I \approx 0,8A$ )

Storage : 10 mL  
at atmospheric pressure



Débit H2



# Electrolyse / Exploitations & Prolongements

\* Evaluation du rendement (Faraday) :

$$\eta \approx 65 \%$$

Production de  $n = 8.10^{-5}$  moles d' $H_2$  pour  $W_{\text{élec}} = 29 \text{ J}$

\* Sur les modes de production de  $H_2$  :

Quelles sources d'énergie ?      Quels procédés ?

Combustible fossile  
& Biomasse  
Reformage

Gazéification

Pyrolyse

Electricité

Electrolyse

Chaleur (solaire)

Dissociation  
thermochimique  
de  $H_2O$

\* Stockage

Sous pression  
 $350 \rightarrow 700 \text{ bar}$

Hydrures  
métalliques

Nanostructures  
de carbone

# Autour de la pile

Energie chimique  
 $\Delta G$   
- 273 kJ / mol  $H_2$   
(à 25°C)

Combustion de  $H_2$

Energie électrique  
 $n.F.E^0$   
 $E^0 = 1,23 \text{ V}$   
(à l'équilibre)

Caractéristiques :

0,4 – 1V  
 $I_{\text{max}} = 1 \text{ A}$

Consommation :  
7 mL / min pour  $I = 1 \text{ A}$

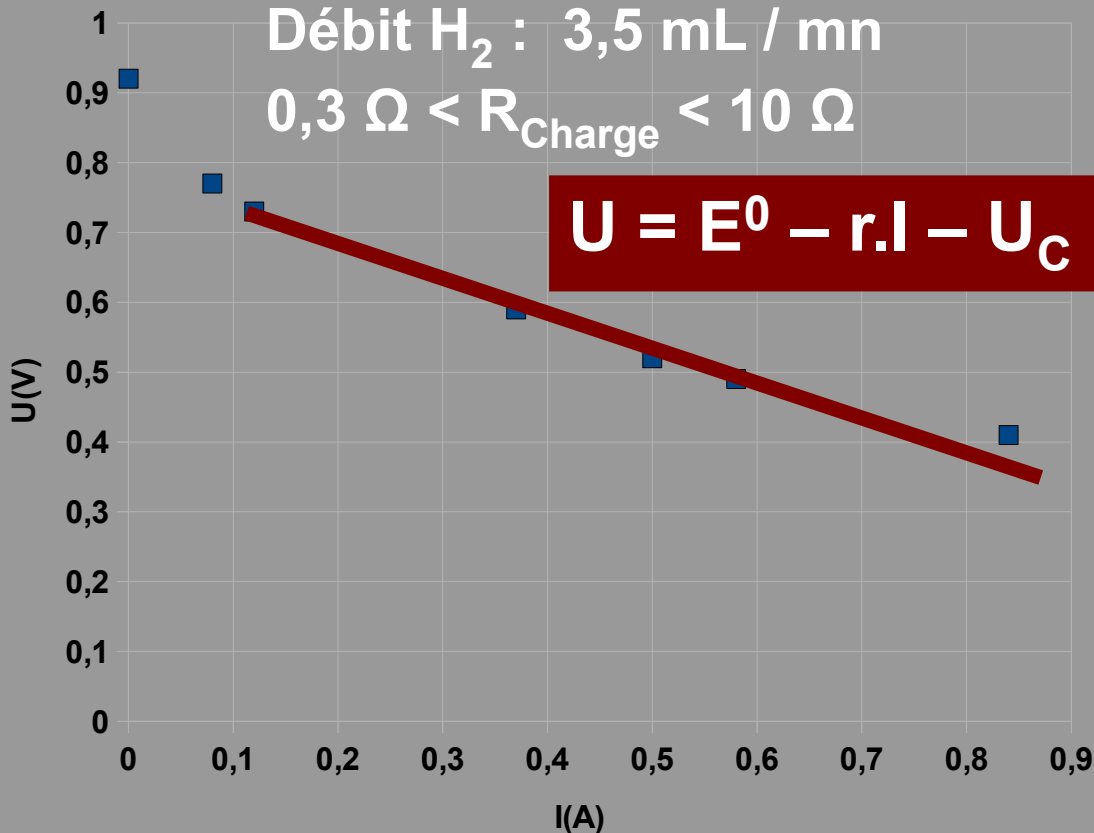
Détermination  
de la résistance interne  
(membrane) :  $r \approx 0,5 \Omega$

Pile PEM

$U=f(I)$

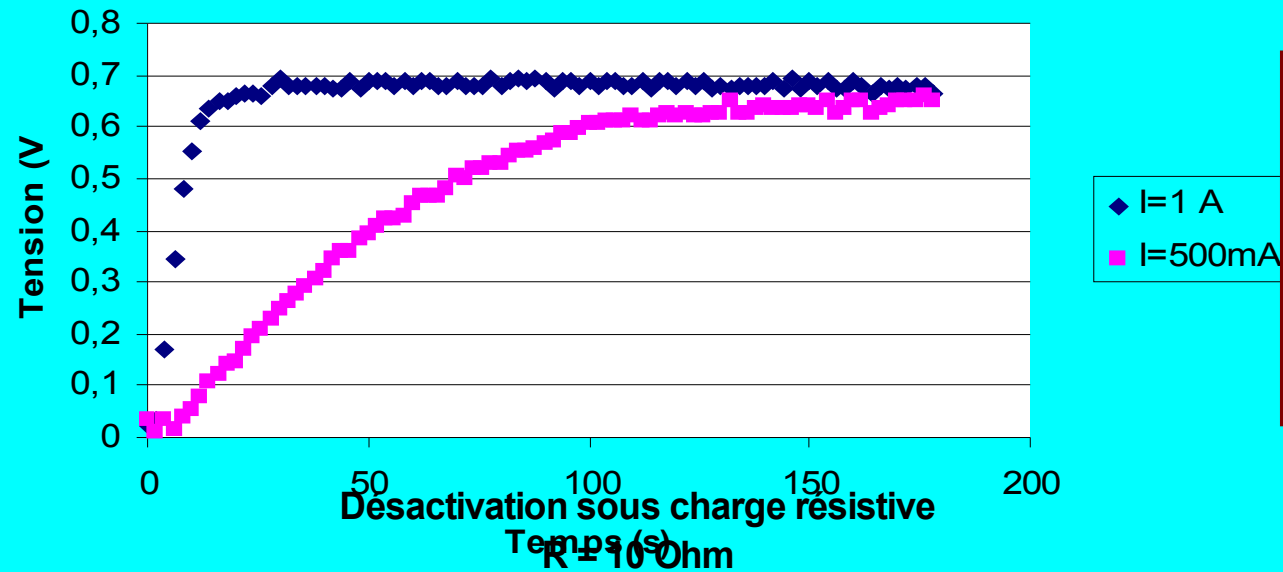
Débit  $H_2$  : 3,5 mL / mn  
 $0,3 \Omega < R_{\text{Charge}} < 10 \Omega$

$$U = E^0 - r.I - U_C - U_A$$





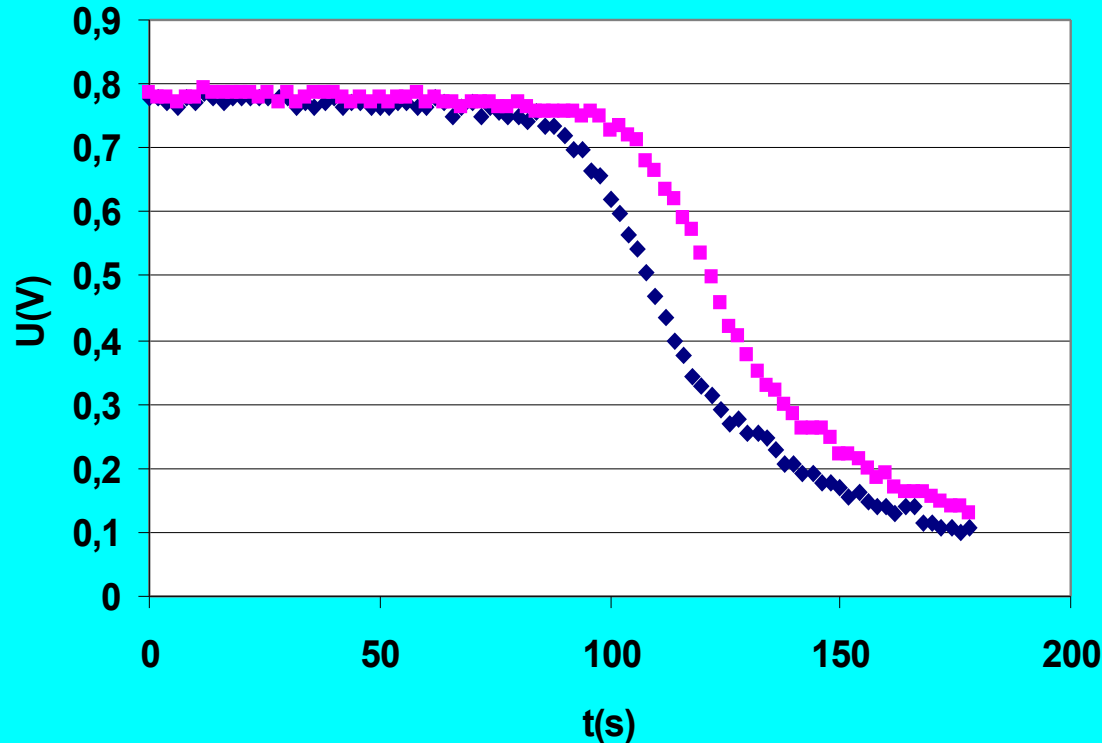
# Phénomènes transitoires



"Activation" de la pile  
à vide

\* Mise en service non  
instantanée !

→ Rejets au démarrage  
→ Rendement variable



"Désactivation" de la  
pile  
sous charge résistive  
 $R = 10 \Omega$

# Pile à combustible / Exploitations & Prolongements

$$\eta \approx 65 \%$$

Du rendement de la chaîne {électrolyseur-pile} → Rendement de la pile

$$\eta \approx 25 \%$$

$$\eta \approx 38 \%$$

Puissance utile sous charge résistive :  $P_u \approx 120 \text{ mW}$

Puissance absorbée par l'électrolyseur :  $P_{abs} \approx 480 \text{ mW}$

\* Notion de volume à stocker pour une puissance d'utilisation donnée :  
e.g. Pour la consommation électrique d'un ménage sur 1 an ?

2500 kW.h → 3 000 m<sup>3</sup> d'H<sub>2</sub> à P= 1 bar ! (pile  $\eta \approx 30 \%$ )

\* Pile : Réaction exothermique  
Rendement = f(T)

Contrôle de la chaleur (Régulation)  
Cogénération

\* Les différents types de piles à combustible

Matériaux / membranes / Catalyseurs

\* Les domaines d'applications des piles à combustible

# Sur les domaines d'applications des piles à combustible ...

## Expédition "Clipperton" - Jean-Louis Etienne



### Technical specifications

- Power range . . . . . 0,5 to 2,5 kW)
- Overload capacity . . . . . 5 kW in 1 second
- User voltage . . . . . 110 V AC / 60 Hz  
230 V AC / 50 Hz  
48 V DC  
Battery charger mode 48 V DC
- Output sinusoid . . . . . THD<sup>1</sup> < 5% with resistive load
- Electrical protection . . . . . surge protection and short-circuit
- Noise . . . . . 50 dba at 1 meter
- WWeight w / o storage . . . . . 75 kg
- Dimensions . . . . . 66 x 48 x 48 cm (200 liters)
- Maximum power . . . . . Instantaneous transient°C
- Storage temperature . . . . . -40°C to + 70°C
- Operating temperature . . . . . 0°C to +45°C
- Maximum altitude . . . . . Up to 3 000 meters operating
- EC label
- UL/CSA labeling . . . . . in process

<sup>1</sup> Total Harmonic Distorsion

# Visite de sites

## Laboratoire de recherche en électronique, Electrotechnique et système - Belfort

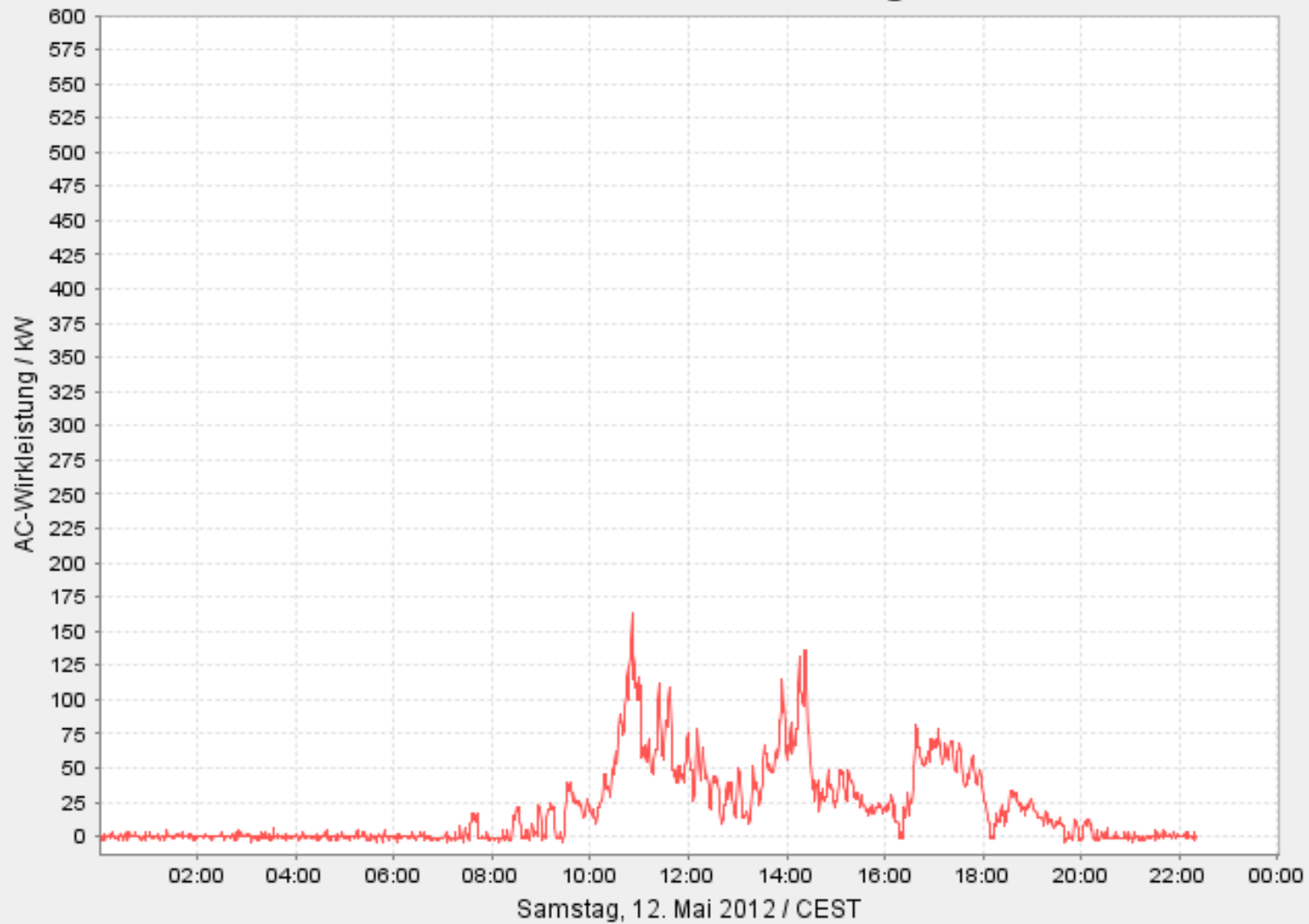




# Visite de sites



**Mont-Soleil AC-Wirkleistung**





# Visite de sites Quartier Vauban de Fribourg-en-Brisgau

