

Alexis Bazin

# MIA Pile à Combustible H2

[cogito44@icloud.com](mailto:cogito44@icloud.com)



# Introduction

## Piles à Combustible à Membrane Échangeuse de Protons

La pile à combustible de la Mia représente une avancée remarquable dans le domaine de la propulsion écologique. Fonctionnant selon le principe de la membrane à échange de protons, cette technologie ingénieuse convertit le dihydrogène gazeux et l'oxygène de l'air en une source d'électricité. Grâce à ce processus novateur, non seulement elle alimente directement la propulsion du véhicule en roulant, mais elle offre également la possibilité de recharger la batterie de la Mia.

L'architecture de cette pile à combustible est conçue avec 2 PAC montées en parallèle, délivrant une puissance nominale de 2880 W. Cette configuration confère à la Mia une autonomie de 270 km avec un réservoir de 50 litres\*.

## Vidéos



Dépose de la PAC et de la batterie

Premier test de la PAC, avec un générateur de dihydrogène

Teste de la PAC, avec une bouteille de dihydrogène

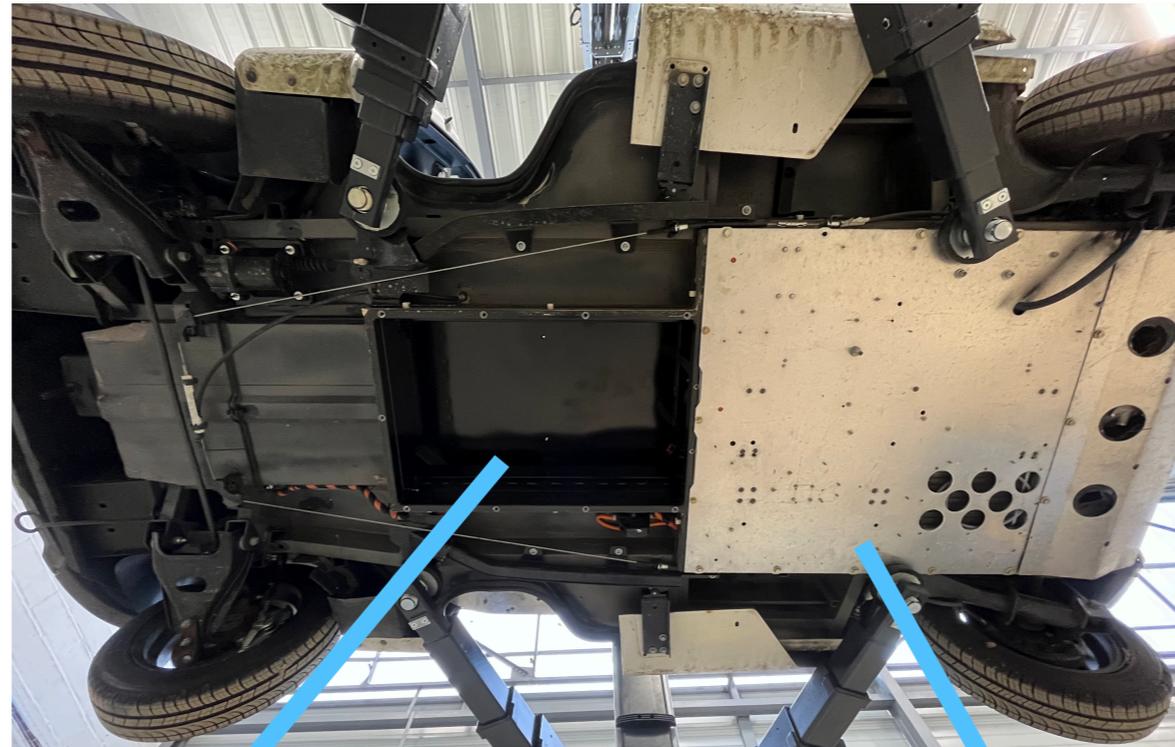
Essai sur route de la Mia avec la pile à combustible fonctionnel

\* Voir page 9

# Dépose de la PAC

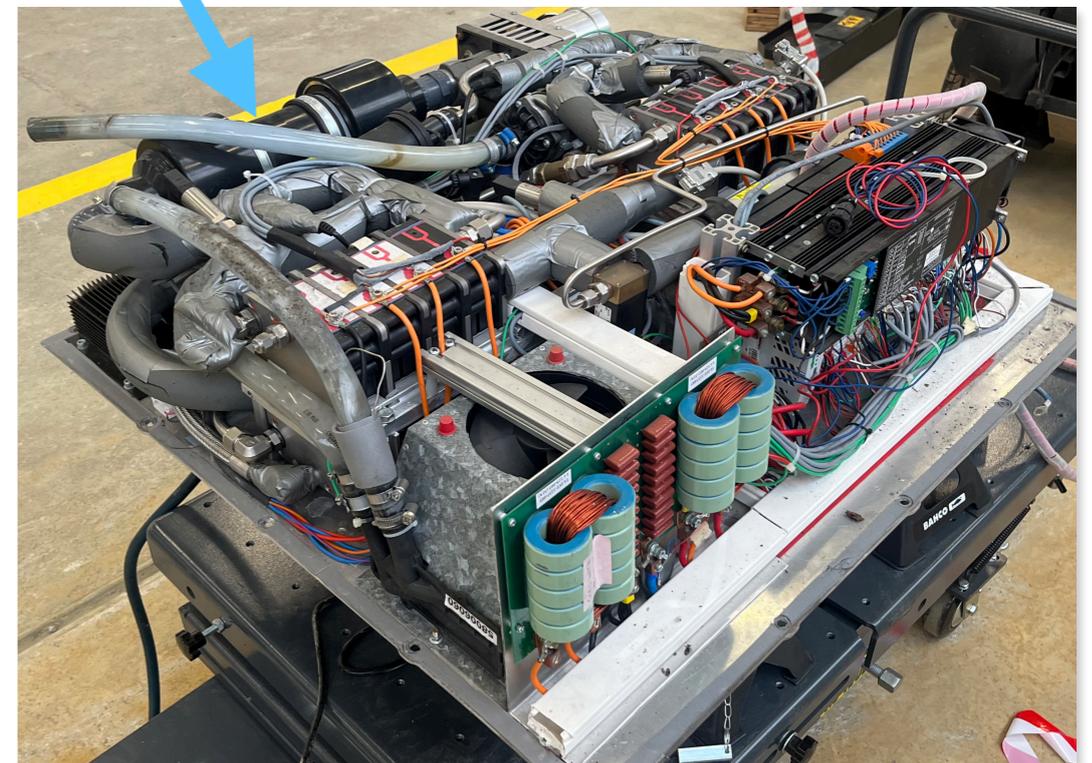
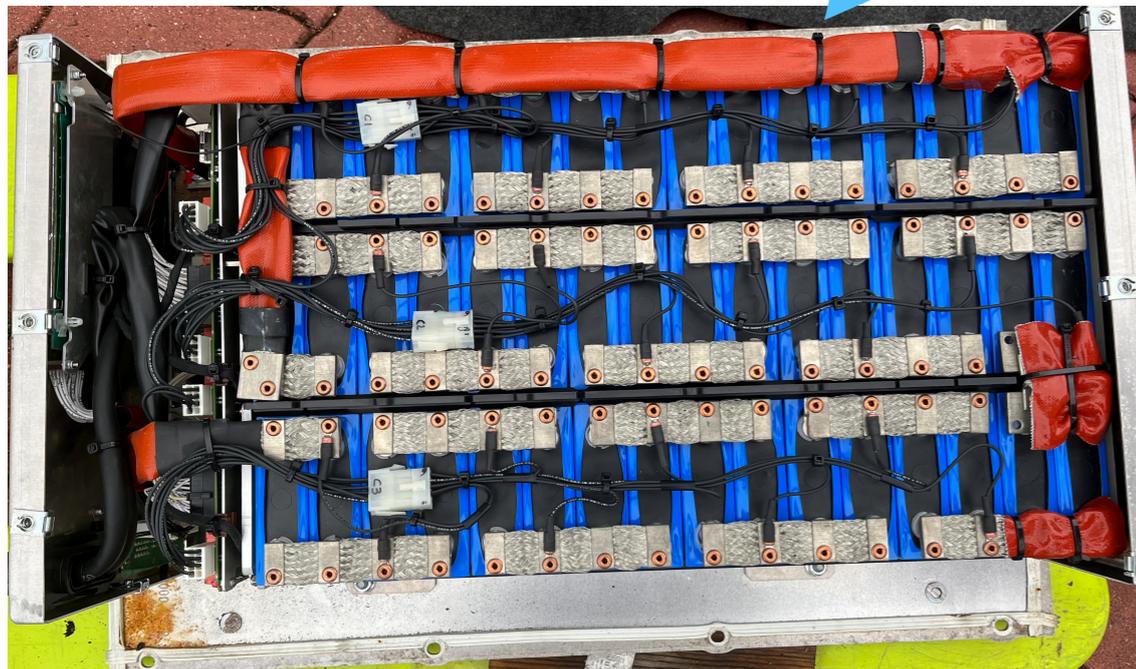
## Batterie

La batterie de marque E4V elle dispose d'une capacité de 6,14 kWh monter avec 2 modules en parallèle de 40 Ah et d'une tension nominale de 76,8 V. Soit  $2P\ 24S, 80\ Ah \times 76,8\ V = 6,14\ kWh$

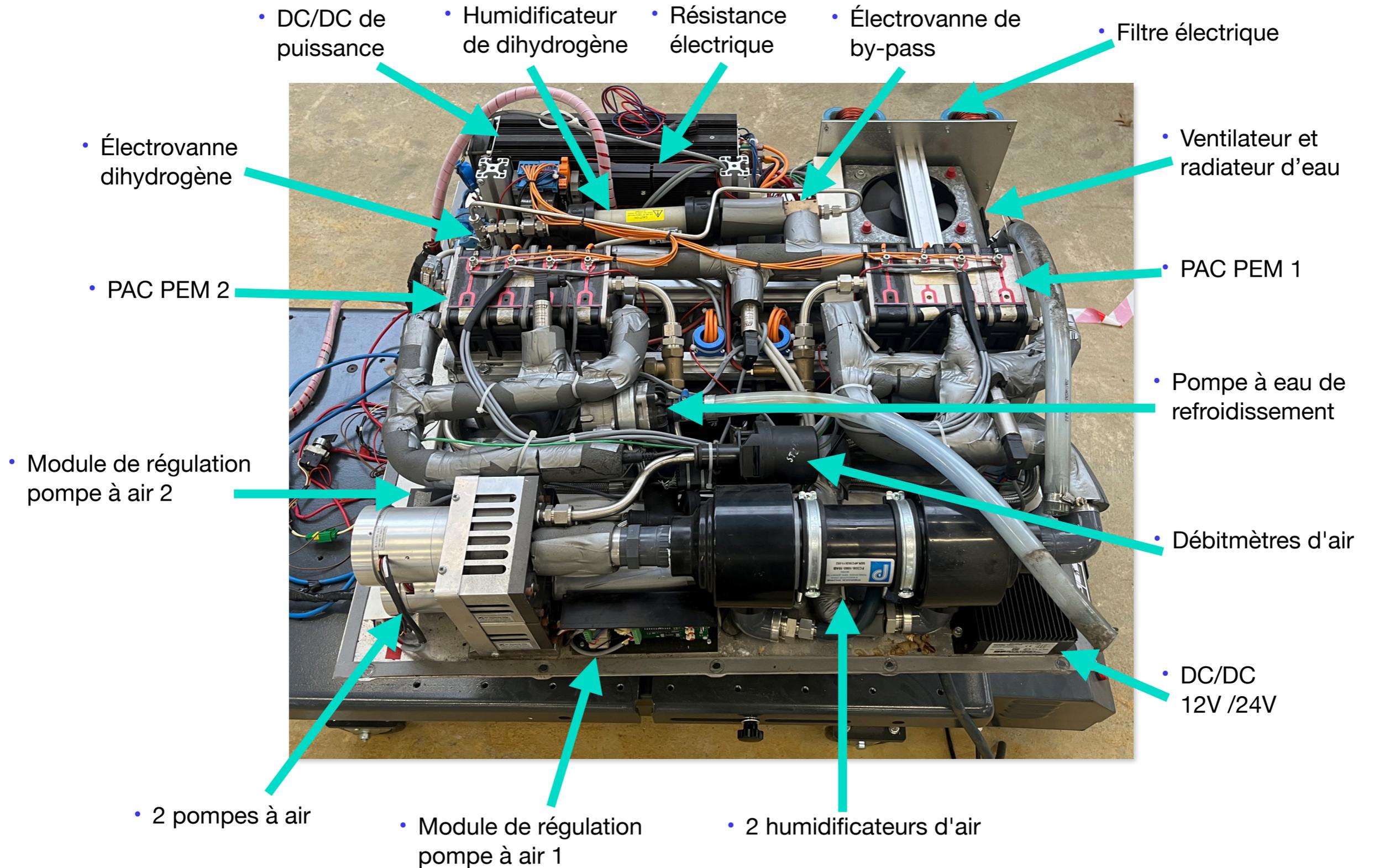


## PAC

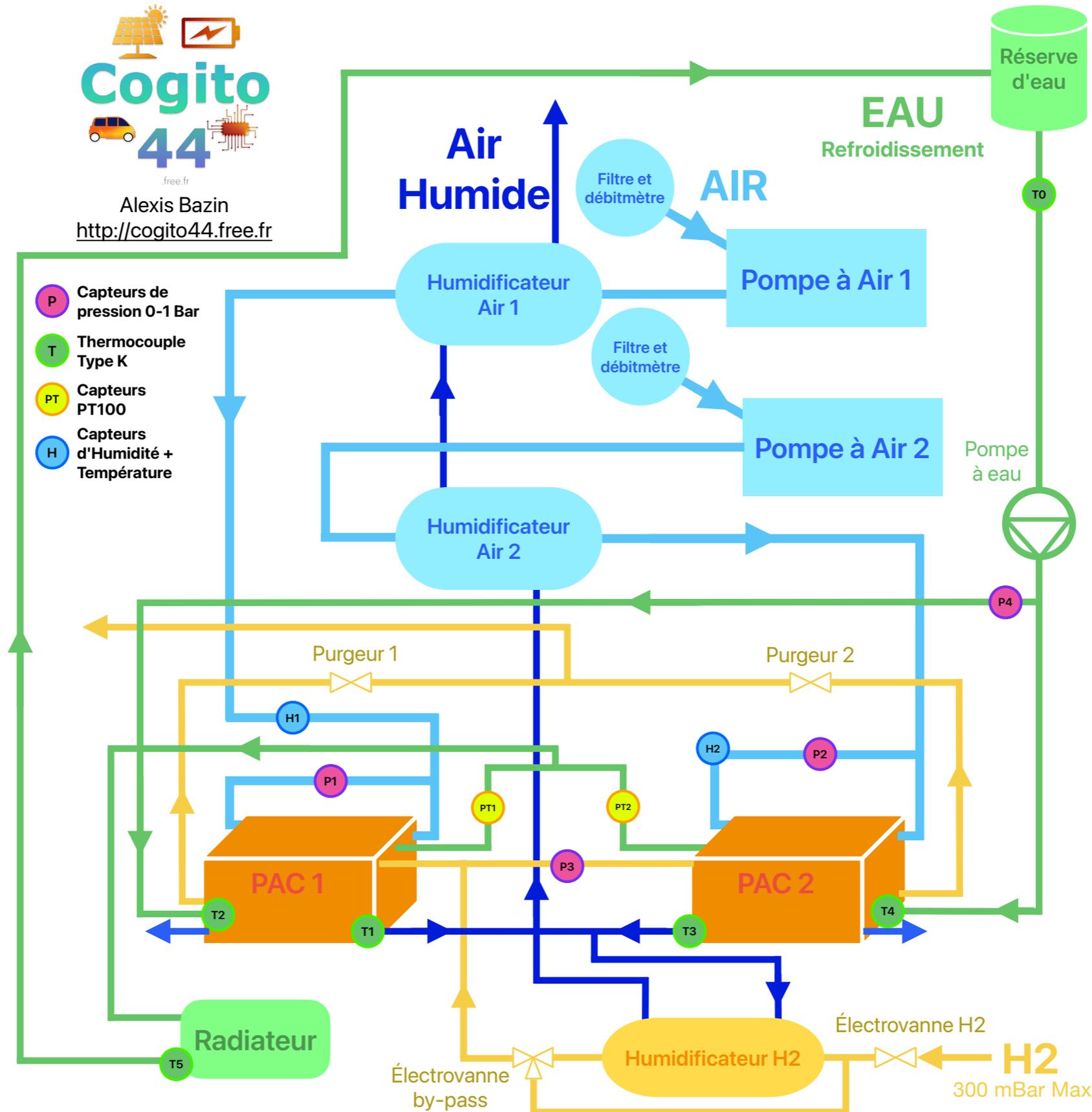
La PAC occupe l'intégralité de la place de la plaque arrière d'une Mia longue. Elle est raccordée à la voiture via son alimentation 12 V et sa connexion à la batterie E4V. Le chargeur et les DC DC ont dû être déplacés sur la marche côté droit.



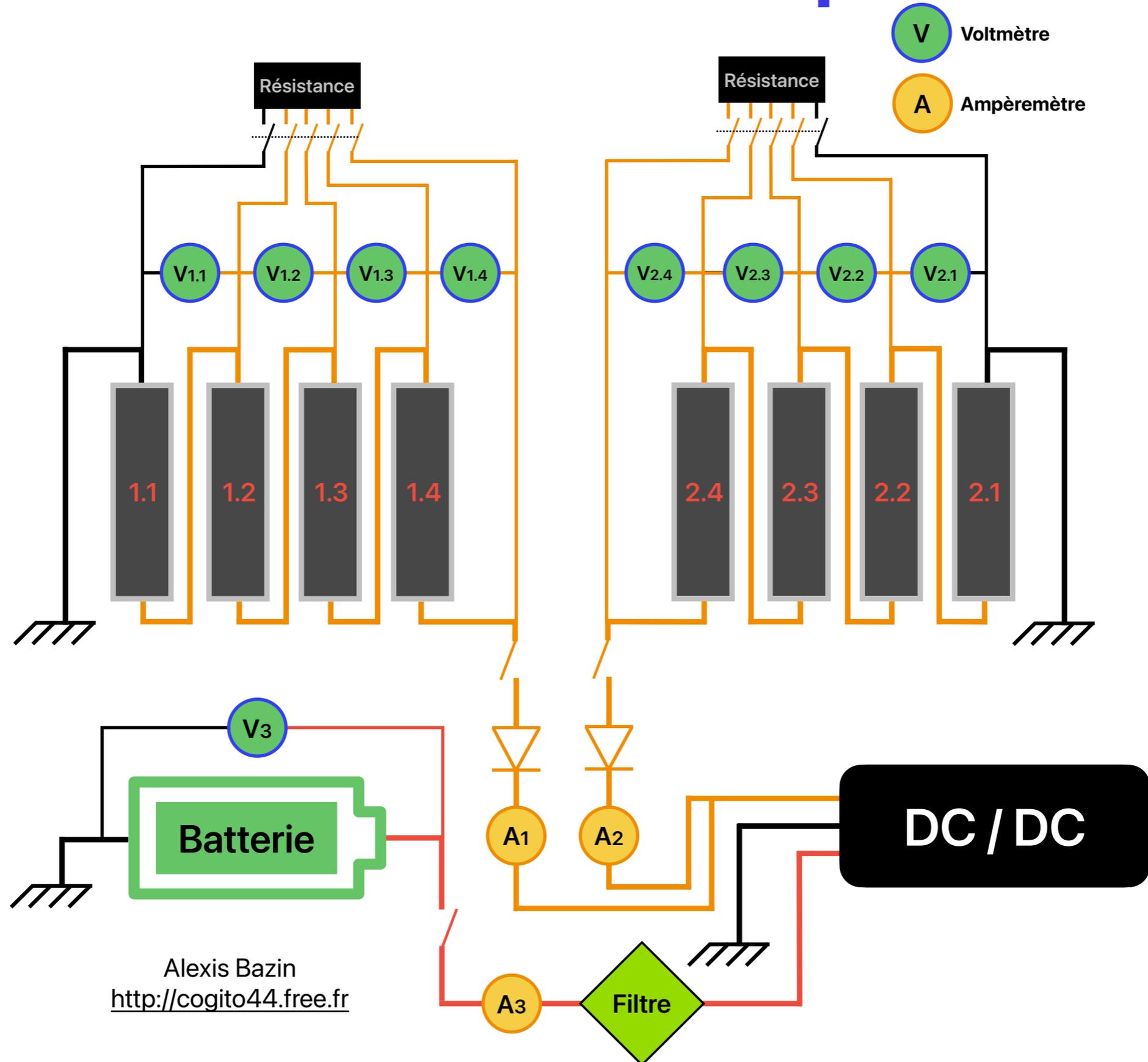
# Composants fonctionnel



# Schéma de principe des fluides



# Schéma électrique



Alexis Bazin  
<http://cogito44.free.fr>

# Composants & Caractéristiques

Composants	Marque	Référence	Observation
<b>DC/DC de puissance</b>	Zahn Electronics Inc.	<a href="#">CH 25045F-S, 2 LC225s</a>	Le DC/DC permet de convertir et réguler la tension des PAC pour charger la batterie de la Mia. Il peut être contrôlé en courant, via un 0-5Vdc. Puissance Max <b>4050W</b> soit <b>45 A</b> en 90V. Tension d'entrée <b>80 V à 200 V</b> et tension de sortie de 0 V à 199 V.
<b>DC/DC 12V/24V</b>	Sure Power Industries, Inc.	12010C00	Ce DC/DC, permet de convertir le 12 V provenant de la batterie de servitude de la Mia en 24 V pour faire fonctionner les organes qui fonctionnent en 24 V comme les électrovannes. Courant de sortie <b>Max 10 A</b> .
<b>PAC PEM</b>	Schunk	FC - 42	Les 2 Piles à Combustible à Membrane Échangeuse de Protons. Caractéristiques pour une PAC : <ul style="list-style-type: none"> <li>- Puissance nominale de 1,44kW</li> <li>- 42 cellules X 4 = 168 cellules en série</li> <li>- 8 kg</li> <li>- 130 x 202 x 190 mm</li> <li>- Consommation de dihydrogène : 20 l/min à pleine charge</li> <li>- Consommation d'air : 120 l/min à pleine charge</li> <li>- Tension nominale 96 V</li> <li>- Courant nominal 15 A</li> </ul>
<b>Humidificateurs d'air</b>	Perma Pure	<a href="#">FC300-1660-10AB</a>	Les humidificateurs d'air permettent de faire rentrer l'air dans les PAC avec le bon taux d'humidité.
<b>Humidificateurs d'air</b>	Perma Pure		L'humidificateur de dihydrogène permettent de faire un échange d'humidité entre l'air de sortir des PAC et le dihydrogène entrant dans la PAC, il peut être by-passé avec une électrovanne 3 voie.
<b>Pompes à air</b>	Air Squared Mifg.	<a href="#">P16H34N2.3</a>	Les deux pompes peuvent être pilotées via un 0-5 Vdc. Elle permet d'alimenter en air les PAC, ils sont régulés via des débitmètres d'air.
<b>Débitmètres</b>	PIERBURG		Le débitmètre d'air permet de mesurer le débit d'air qui rentre dans la PAC, c'est une des données utilisées par l'algorithme de régulation de la quantité d'air qui rentre dans la PAC.
<b>Capteurs d'humidité et température</b>	BB Sensors	<a href="#">FF-IND-20MA-EXT-TE1</a>	Les données de ce capteur sont utilisées dans l'algorithme de régulation de la puissance et du débit d'air. Il fonctionne en 24 Vdc et renvoie une donnée en 4-20 mA sur l'humidité et la température.
<b>Capteurs de pression</b>	BAMO MESURES	<a href="#">TP 805</a>	Plage de mesure de 0-1 bar avec une sortie 4-20 mA, mesure la pression de dihydrogène, d'air en entrée PAC et du circuit d'eau.
<b>Capteur de courant</b>	Sensilec	<a href="#">SHo10V12</a>	Capteur de courant continu à effet Hall, 0-60 Adc avec une sortie en 0-10 Vdc. Il mesure le courant de chaque PAC individuellement et du courant en sortie du DC/DC vers la batterie de la Mia.
<b>Automate</b>	National instruments	<a href="#">NI cRIO 9063</a>	Cette automate constituée d'un châssis et de plusieurs modules permet d'acquérir les données de tous les capteurs et de réguler les actionnaires en fonction de l'état de la PAC et de la demande de puissance. <u>(Plus de précisions plus bas)</u>

# La PAC

## FC - 42

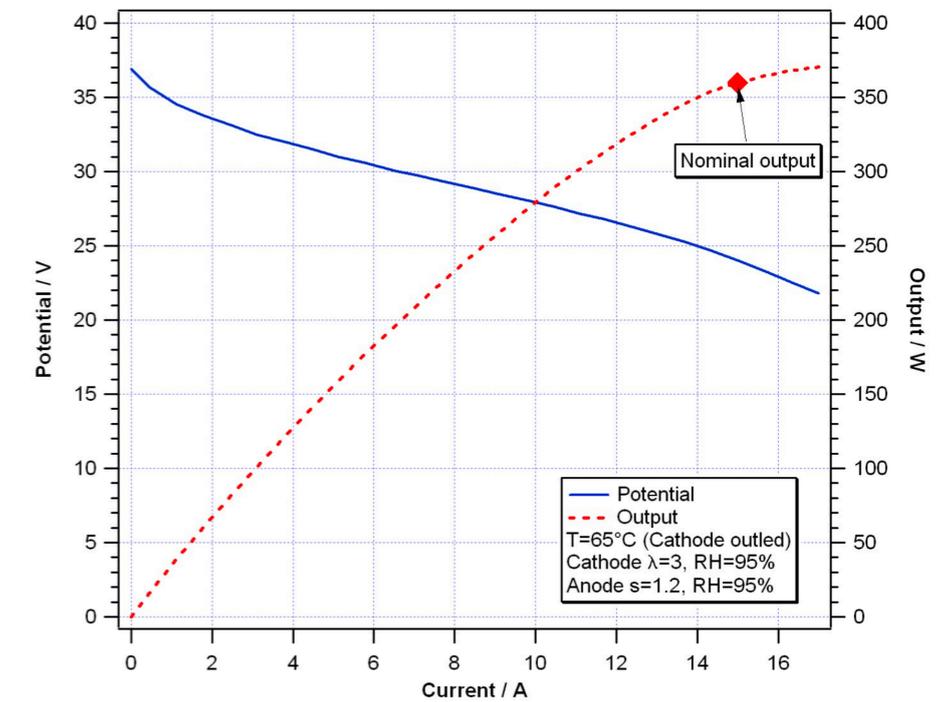
Les modules **FC-42** de Schunk sont conçus de manière modulaire et peuvent être assemblés jusqu'à 4 éléments en série d'une puissance unitaire de **360 W**. Elles ont une tension nominale de **24 V** et peuvent délivrer **15 A** pour une masse de **2,1 kg**.

Pour la durée de vie des PAC, le conditionnement des gaz, la température et l'énergie soutirer doivent être contrôlé et adapter pour rester dans les caractéristiques de fonctionnement optimal de la PAC.

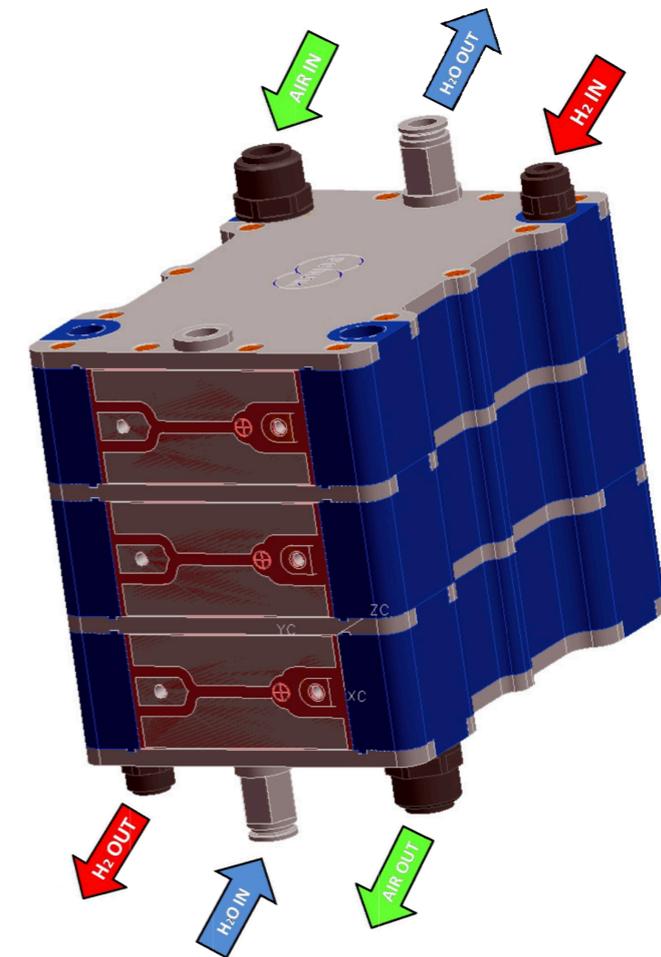
C'est à ça que servent tous les accessoires montés autour des PAC (humidificateur, pompe à air, système de refroidissement, capteurs, etc.)

L'automate a un rôle d'autant plus indispensable, car il est chargé d'acquérir et d'analyser les données des capteurs et de réguler les actionneurs.

Caractéristiques	
Nombre de cellules	42
Tension nominale	24 V
Courant nominal	15 A
Tension minimale	15 V
Courant maximal	30 A
Tension maximale (circuit ouvert)	36 V à 42 V
Température de fonctionnement	5 à 55 °C (non humidifié) <75 °C (humidifié)
Qualité de l'hydrogène	99,99 % (aucune trace de CO)
Air	Environ. 25 l/min à pleine charge et $\lambda= 2.35$
Refroidissement (eau/glycol)	Environ. 3 l/min à pleine charge
Gestion de l'humidité	Auto-humidifié (5 à 55 °C) Humidificateur externe (> 55 °C)



Courbe caractéristique U/I Schunk FC-42



# Consommation

## Calcul de l'autonomie

Avec un réservoir de **50 l** à une pression de **200 bars** à **15 °C** qui contient **0,83 kg** de dihydrogène.

En sachant que la consommation volumique d'une seule PAC est de 16 l/m à pleine puissance avec une masse molaire de dihydrogène de 2,016 g/mol et si on applique la formule des gaz parfaits, on obtient une consommation pour les 2 PAC de 0.0010017 kg/min. À cela, il faut rajouter la perte des purges qui interviennent toutes les minutes pendant une seconde, soit 0.000407 kg/s + 0.0010017 kg/min = **0,0010424 kg/min**

Donc, avec un réservoir de 0,83 kg de dihydrogène on obtient une durée de fonctionnement de 794.58 minutes ÷ 60 = **13.243 heures**.

Si on ramène ça en kilomètres, en prenant en compte le rendement électrique des PAC : (2,88 kW - 0,280 kW) x 13,243 h = **34,43 kWh** / 0,150 kWh/km = **229,5 km** à cela, il est possible d'ajouter la batterie d'origine de 6,1 kWh et on arrive à **270 km**.

Si le réservoir de 50 l est comprimé à **400 bars** à 15°C, il contient **1.68281 kg** de dihydrogène. Ce qui permet de faire fonctionner la PAC pendant **26.87 h**, soit une production théorique de **69,86 kWh**. Soit **465 km** et **506 km** avec la batterie.

$$n = \frac{(4 \times 10^7 \text{ Pa}) \times (0.05 \text{ m}^3)}{(8.314 \text{ J} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}) \times (288.15 \text{ K})}$$

$$\text{Masse} = 834.43 \text{ moles} \times 2.016 \text{ g/mol}$$

$$\text{Masse} \approx 1682.81 \text{ g}$$

Bouteille 50 l



170 cm

23 cm

# Automate

## NI cRIO 9063

Les systèmes de National Instruments CompactRIO sont destinés à la recherche, ils ont la particularité de faire tourner un programme en temps réel ou en FPGA directement sur le châssis. Ce châssis dispose de **4 slots** permettant d'accueillir autant de modules, d'acquisition ou de contrôle.

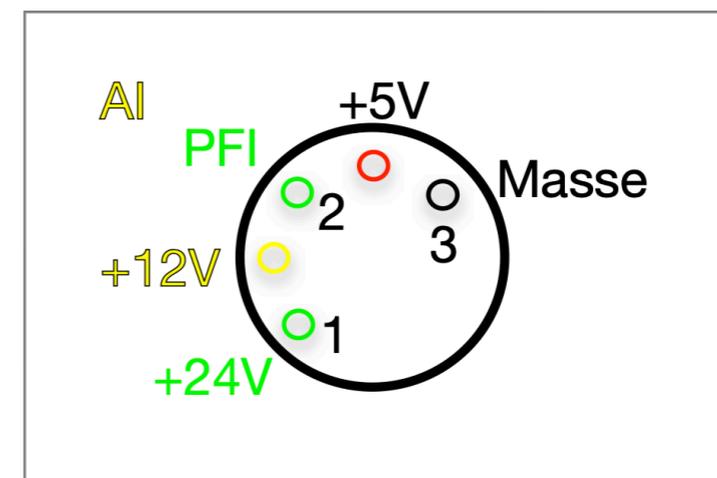
Il est monté avec le module suivant :

Numéro de châssis	Module		Nombre de voies utilisées
1	NI-9401	Module numérique de la Série C, 100 ns, 8 voies bidirectionnelles, 5 V/TTL	7
2	NI-9263	Module de sortie analogique, 4 voies, +/-10 V, 16 bits, 100 kéch./s/voie	4
3	NI 9205	Module d'entrée analogique 32 voies, + / 10V, 16 bits, 100 kéch./s/voie	20
4	NI-9213	Module d'entrée de température de la Série C, 16 voies, 75 éch./s total, ±78 mV	8
			<b>39</b>

La majorité des capteurs et actionneur sont reliés à ses modules via un standard de prise DIN 5 pin.



Boîtier d'acquisition



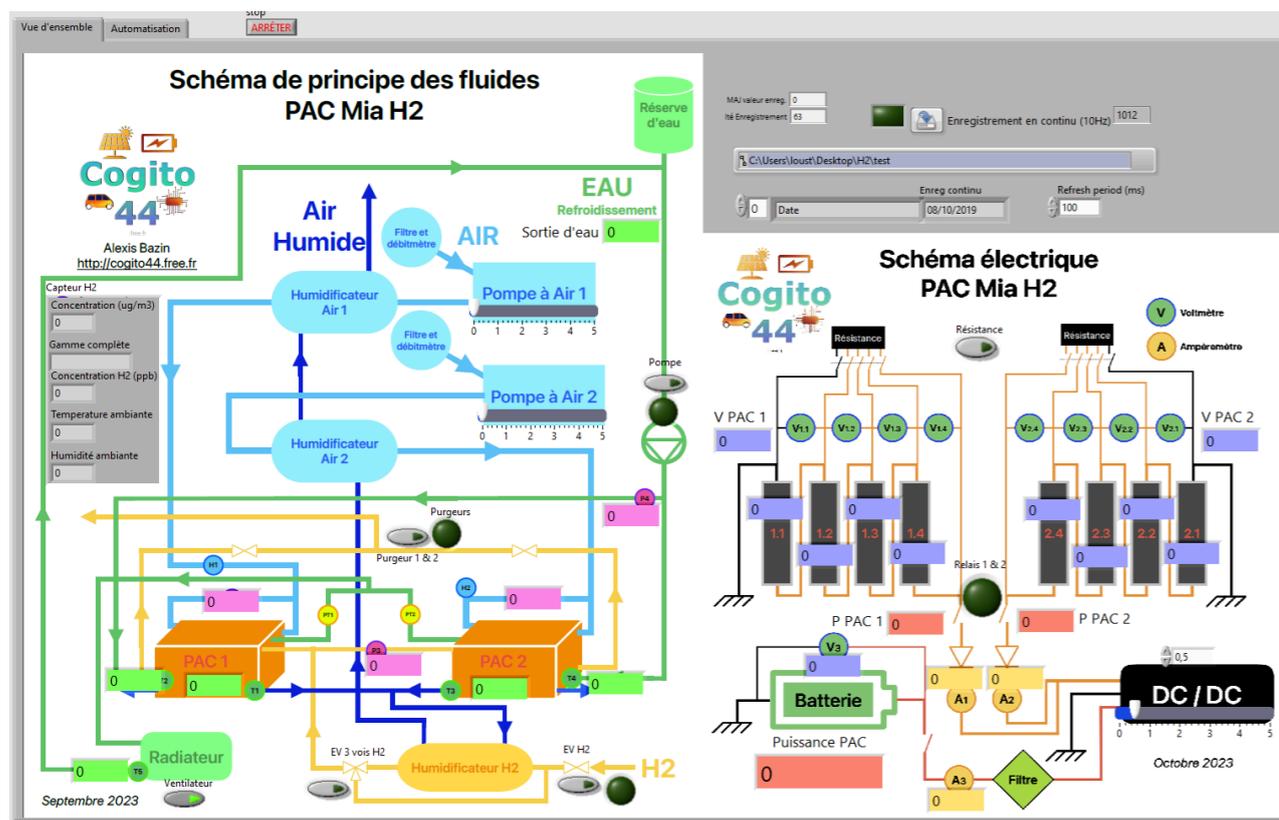
Connecteur DIN 5 pin mesure et contrôle

# Programmation

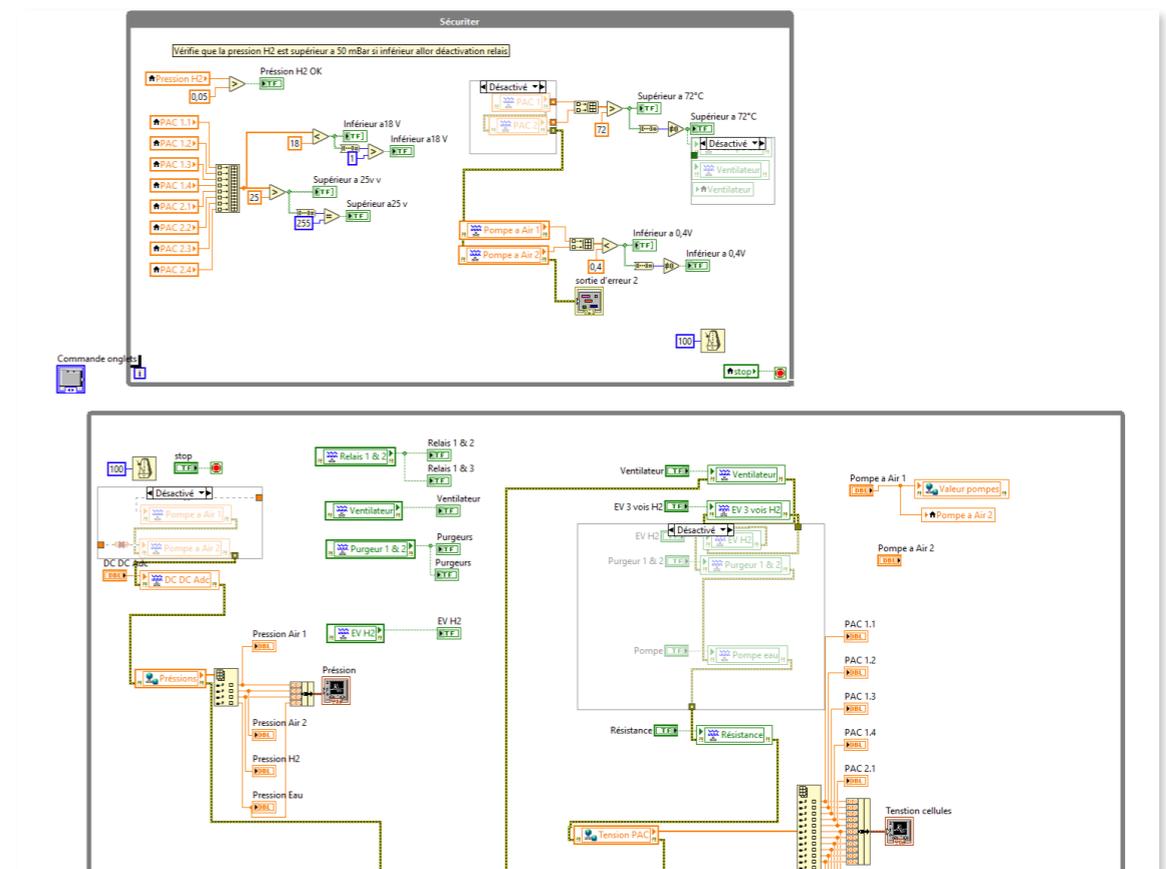
## LabView

Le système a été programmé via **LabView**. Il y a 2 programmes principaux, un directement injecté dans le CompactRIO programmer en **temps réel**. Et une interface utilisateur qui tourne sur un ordinateur pour contrôler l'état de la pile et la démarrer.

Le programme en temps réel et autogéré, il permet de mettre en sécurité la PAC automatiquement en cas de problème. Il dispose également d'un système d'enregistrement des données.



Face avant du programme IHM



Une partie du programme IHM