

ENTREZ DANS LE MONDE DE L'HYDROGENE



Formez vos étudiants aux systèmes énergétiques de demain.

Manipulez des produits industriels et réalisez la **maintenance** de vos équipements.

Pilotez et programmez les systèmes



SOMMAIRE

ENJEUX DE L'HYDROGÈNE DÉCARBONNÉ

QUI SONT H2SYS ET ERM

CHAÎNE COMPLÈTE DU DÉMONSTRATEUR HYDROGÈNE VERT

PRODUCTION D'HYDROGÈNE

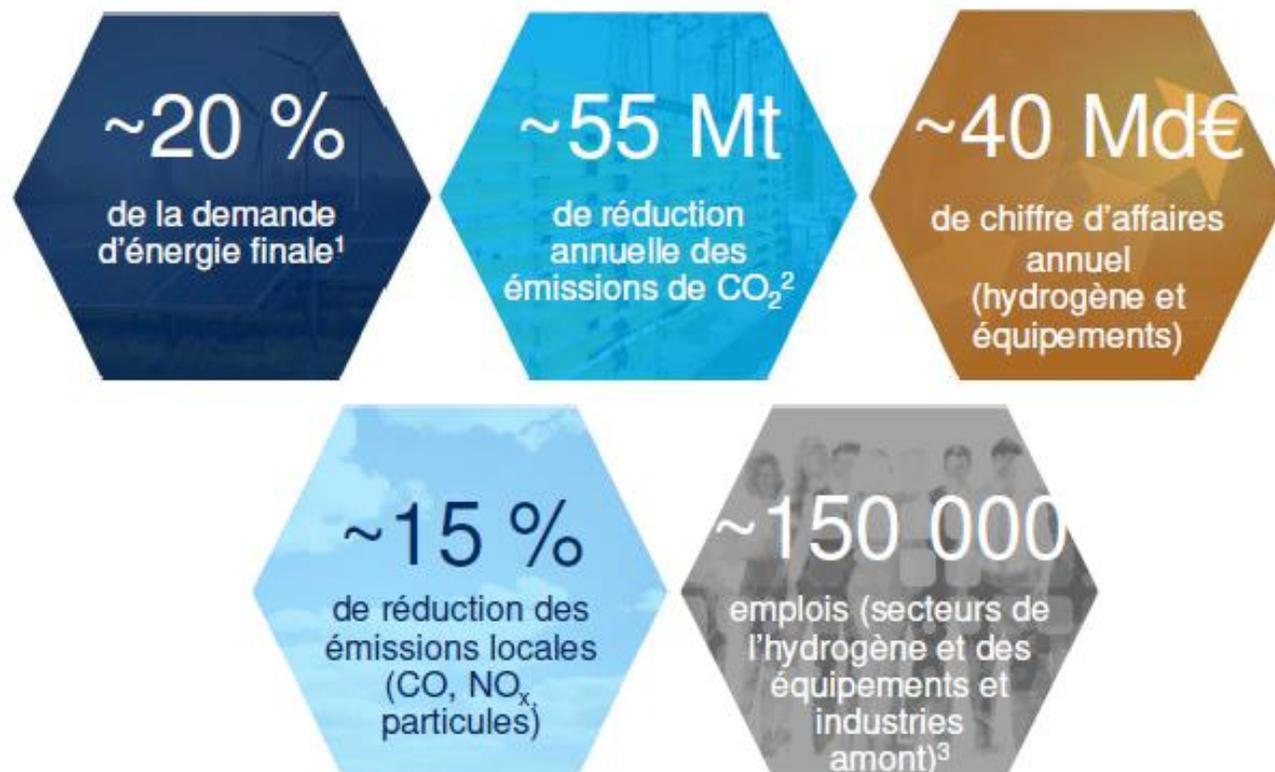
STOCKAGE D'HYDROGÈNE ET GESTION DES SÉCURITÉS

CONSOMMATION D'HYDROGÈNE: PILE À COMBUSTIBLE

ÉVOLUTION DES SYSTÈMES

INTRODUCTION

L'HYDROGÈNE D'ICI 2030-2050 EN FRANCE



Nécessité de former les futurs professionnels sur plusieurs niveaux:

- Ingénieurs
- Techniciens
- Opérateurs

et de leur faire manipuler les technologies et du matériel industriel pour développer les savoir-faire.

Source: France Hydrogène

PRESENTATION H2SYS

H2SYS



DÉVELOPPEMENT DE GROUPES ÉLECTRO-HYDROGÈNE



DÉVELOPPEMENT DE VÉHICULES ÉLECTRIQUES AVEC RANGE EXTENDER HYDROGÈNE



H₂SYS

- 2017**
Année de création
- 20**
Collaborateurs
- 1 Tonne**
CO₂ économisé par MWh électrique produit
- 30%**
Du CA à l'export
- 1 Million €**
Chiffre d'Affaires en 2020



PRESENTATION ERM

Solutions didactiques pour les formations technologiques et professionnelles.



www.erm-automatismes.com



Concepteur de solutions solaires, éoliennes et hybrides pour l'électrification des sites isolés et l'auto-consommation.



www.erm-energies.com



ENJEUX DE L'HYDROGÈNE DÉCARBONNÉ



L'hydrogène décarboné peut jouer 7 rôles dans la transition énergétique

Favoriser le développement des énergies renouvelables

« Décarboner » les usages énergétiques finaux

1 Permettre une intégration à grande échelle des énergies renouvelables dans la production d'électricité



2 Distribuer l'énergie dans tous les secteurs et toutes les régions



3 Stocker de l'énergie et accroître la résilience des systèmes

4

4 Décarboner le secteur des transports

5

5 Décarboner l'énergie dans l'industrie

6

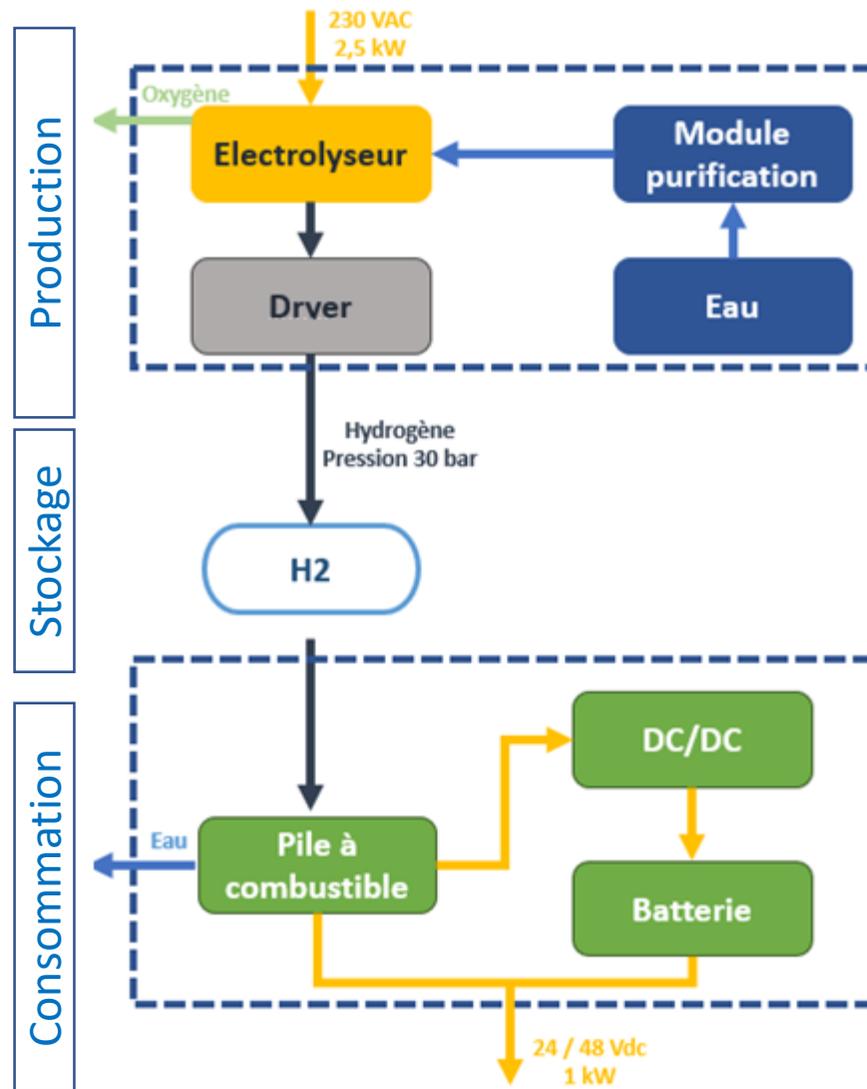
6 Contribuer à décarboner chaleur et électricité dans le résidentiel/tertiaire

7

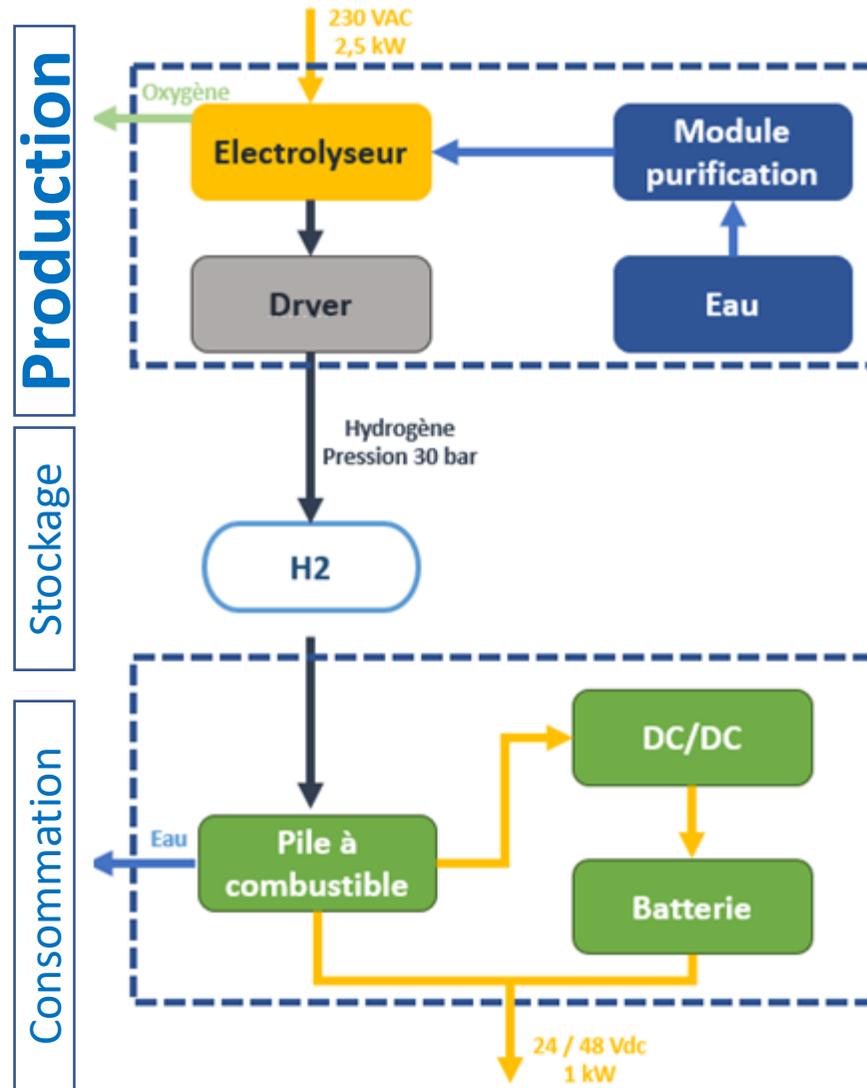
7 Fournir une matière première renouvelable

CHAINE COMPLETE DU DEMONSTRATEUR HYDROGENE VERT

Centrale photovoltaïque
3kWc en autoconsommation
(Sur toiture, au sol, en brise-soleil ou
en ombrière de parking)

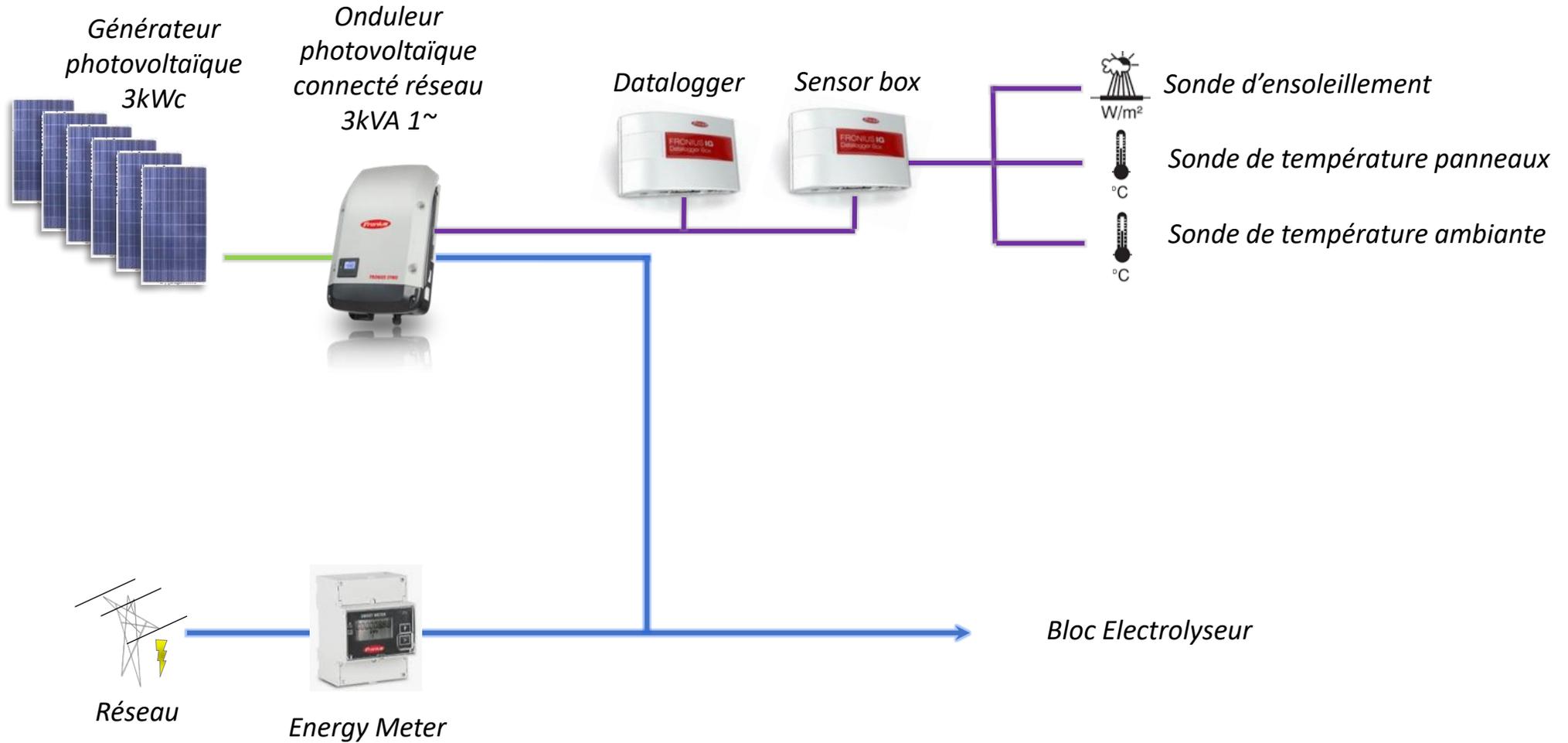


PRODUCTION D'HYDROGENE



Centrale photovoltaïque

En amont de l'électrolyseur



Ensemble Electrolyseur : Spécificités techniques

Élément	Caractéristiques
Onduleur photovoltaïque	3kVA monophasé communicant, pilotage des charges excédentaires
Générateur photovoltaïque	3kWc monocristallin 120 demi cellules
Tableauterie	Conforme UTE-712-1
Datalogger	Récupération des données sur serveur distant gratuit
Mesures météorologiques	<ul style="list-style-type: none">⌘ Mesure de l'ensoleillement dans le plan du panneau⌘ Mesure de la température panneau⌘ Mesure de la température ambiante

L'ensemble électrolyseur s'articule sur une **solution industrielle** utilisée principalement pour la production d'hydrogène **en site isolé** ou pour des **bâtiments autonomes**.

C'est une solution déployée en usage **stationnaire**, qui peut s'interfacer facilement avec un système de production d'électricité par Energies Renouvelables (Photovoltaïque ou Eolien).

Bloc Electrolyseur : Composition

1 x Boîtier d'alimentation, incl. interrupteurs principaux et fusible machines pour l'accueil jusqu'à 6 modules système et prise pour alimentation externe



1 x réservoir d'eau (Water Tank Module)



Armoire H2 (42U – 800 x 2000 x 800 mm)



1x Electrolyseur Technologie AEM (Anion Exchange Membrane)



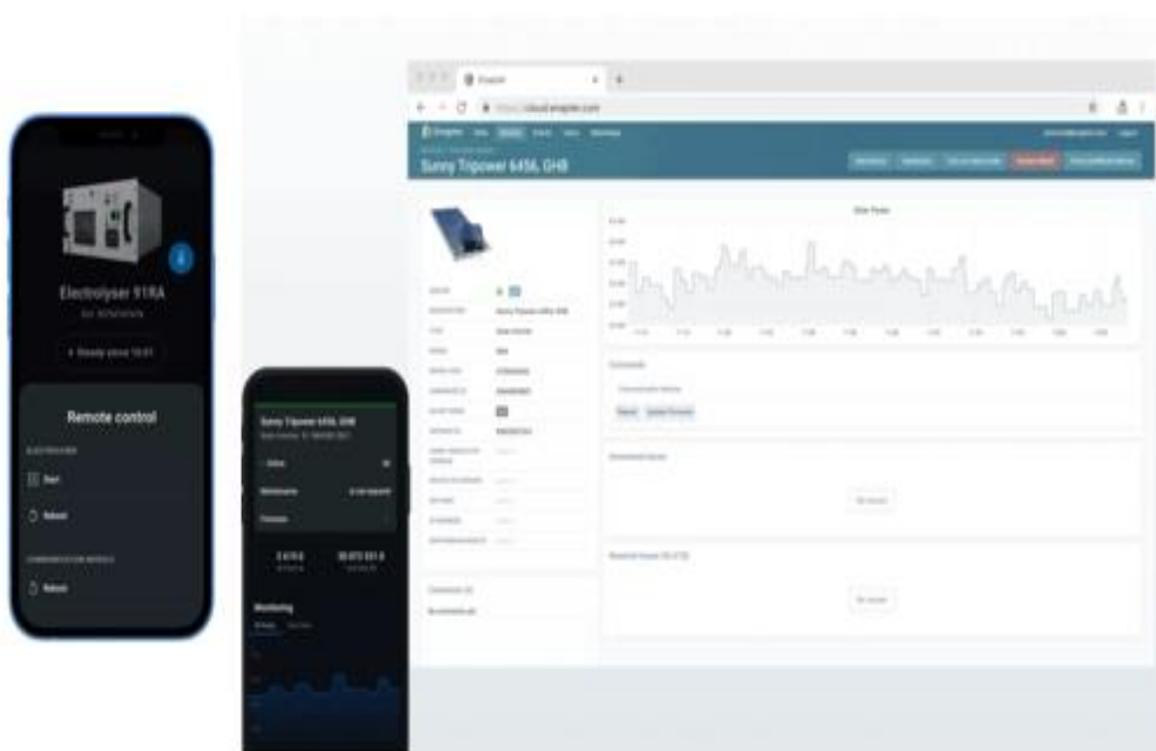
1 x Dryer

Bloc Electrolyseur : Synthèse technique

Élément	Caractéristiques
Technologie	AEM
Puissance	1x 2.4 kW
Pression	30 bar
Taux de production	500 NL/h
Consommation électrique nominale	4.8 kWh/Nm ³
Alimentation électrique	200-240 V, 50/60 Hz
Consommation d'eau	~400 ml/hr
Réservoir d'eau	38 L
Débit sortie max. (eau)	3.8 L/min
Puissance dryer	200W
Point de rosée moyen et impuretés	< -70°C, compliant with ISO14687 (H ₂ O < 5 ppm, O ₂ < 5 ppm)
Qualité hydrogène sortie électrolyseur	> 99.999% (en fraction molaire)

Bloc de pilotage de l'électrolyseur (EMS)

L'électrolyseur est fourni avec son module de supervision – son **EMS** – permettant de piloter le système à distance à partir de l'interface Modbus TCP/IP et de collecter les données de fonctionnement.



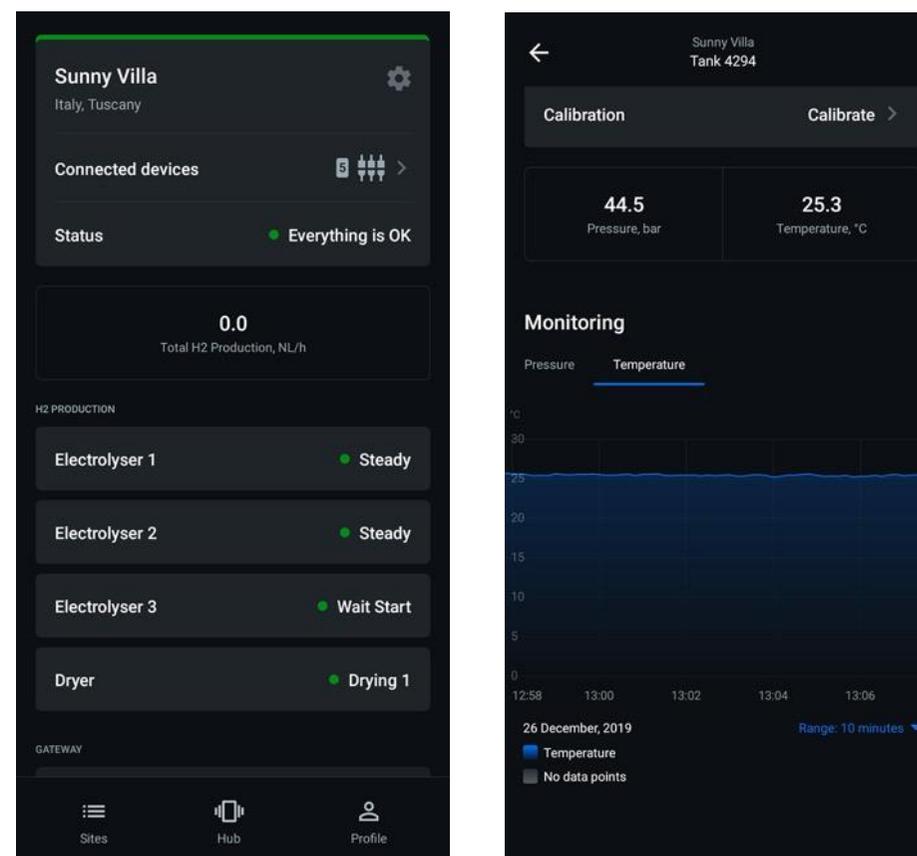
Interface en ligne pour le pilotage du système énergétique

L'utilisateur peut utiliser un tableau de bord **Web** et **mobile** complet offrant une vue d'ensemble des équipements et le contrôle de tous les appareils connectés.

Bloc de pilotage de l'électrolyseur (EMS)

L'utilisateur peut programmer des alertes personnalisables (SMS, e-mails ou appels) pour être tenu informé du fonctionnement du système.

Un système de gestion basé sur des règles d'utilisation permet de définir et modifier les paramètres de différents composants du système énergétique qui interagissent de manière automatisée.



Captures Ecran de l'application smartphone

Des modules de communication sont également disponibles pour apporter la connectivité sans fil aux panneaux solaires, aux réservoirs d'hydrogène, piles, capteurs numériques et analogiques qui peuvent venir en complément (architecture évolutive).

Bloc de pilotage de l'électrolyseur (EMS)

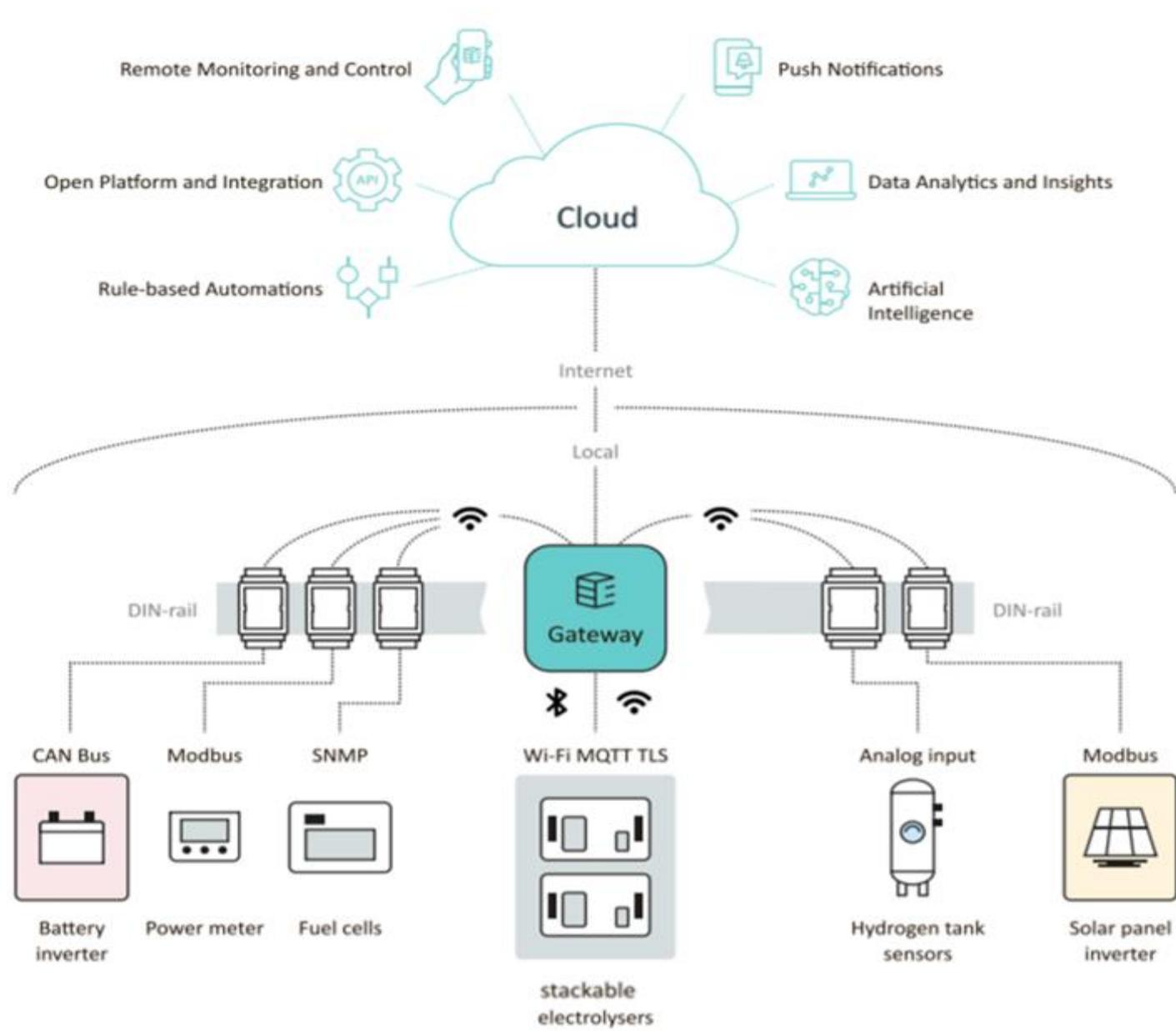


Schéma de fonctionnement de l'EMS associé à l'électrolyseur

Exemple TP et contenus pédagogiques

Bloc Electrolyseur - TP 1

Mise en route du système (installation)

Bloc Electrolyseur - TP 2

Compréhension des réactions chimiques et du fonctionnement

Bloc Electrolyseur - TP 3

Montage – Démontage - Remontage du système dans une armoire rackable

Bloc Electrolyseur - TP 4

Mise en place d'opérations de contrôle, tests de fuite, vérification des raccords

Bloc Electrolyseur - TP 5

Pilotage du système par l'intermédiaire de l'EMS

Bloc Electrolyseur - TP 6

Création d'espace de travail sur l'EMS

Bloc Electrolyseur - TP 7

Définition d'alertes concernant la maintenance

Bloc Electrolyseur - TP 8

Vérification de la conductivité de l'eau

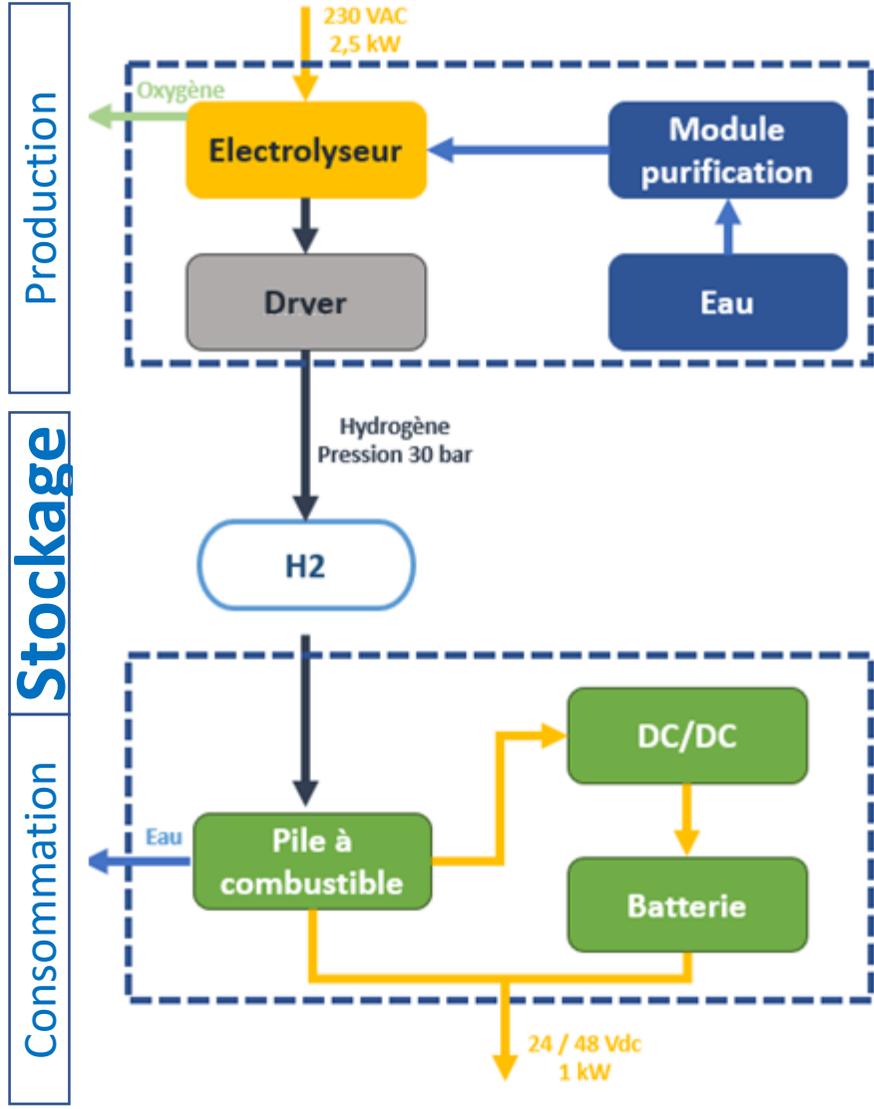
Bloc Electrolyseur - TP 9

Changement des filtres (eau déminéralisée)

Bloc Electrolyseur - TP 10

Détection et recherche de fuite

STOCKAGE D'HYDROGÈNE ET GESTION DES SÉCURITÉS



Conforme
NF M58-003

Armoire de contrôle commande

Alimentation des capteurs et des électrovannes

Commande des électrovannes via des relais

Communication avec le superviseur du système hybride

Traitement des signaux des capteurs de pression et du débitmètre

Sécurité du système via un relais de sécurité de type Préventa

Gestion automatique des modes par un automate PLC

- Mode 1 : Alimentation depuis B20 -H2
- Mode 2 : Alimentation depuis électrolyseur
- Mode 3 : Défaut (Passage automatique en N2)
- Mode 4 : Maintenance
- Mode 5 : Arrêt

Communication numérique vers le superviseur du système hybride.

Borniers de distribution.

Purge/ Détection H2 / Arrêt d'urgence

Bloc purge GN2



Clapets anti-retours en sortie électrolyseur, B20 H2 et B20 N2.

Soupapes de sécurité en sortie des détendeur bouteille.

Centrale de détection OLDHAM H2



raccordée à l'armoire de contrôle commande des circuits Gaz.

Vannes d'isolements



pour la purge et la maintenance des capteurs de pression et débitmètre.

Deux boutons d'arrêt d'urgence



du système installés en intérieur et extérieur

Stockage d'hydrogène et gestion des sécurités : application pédagogique

Exemples de TP et contenus pédagogiques

Sécurité - TP 1 Installation d'un détendeur sur une bouteille gaz

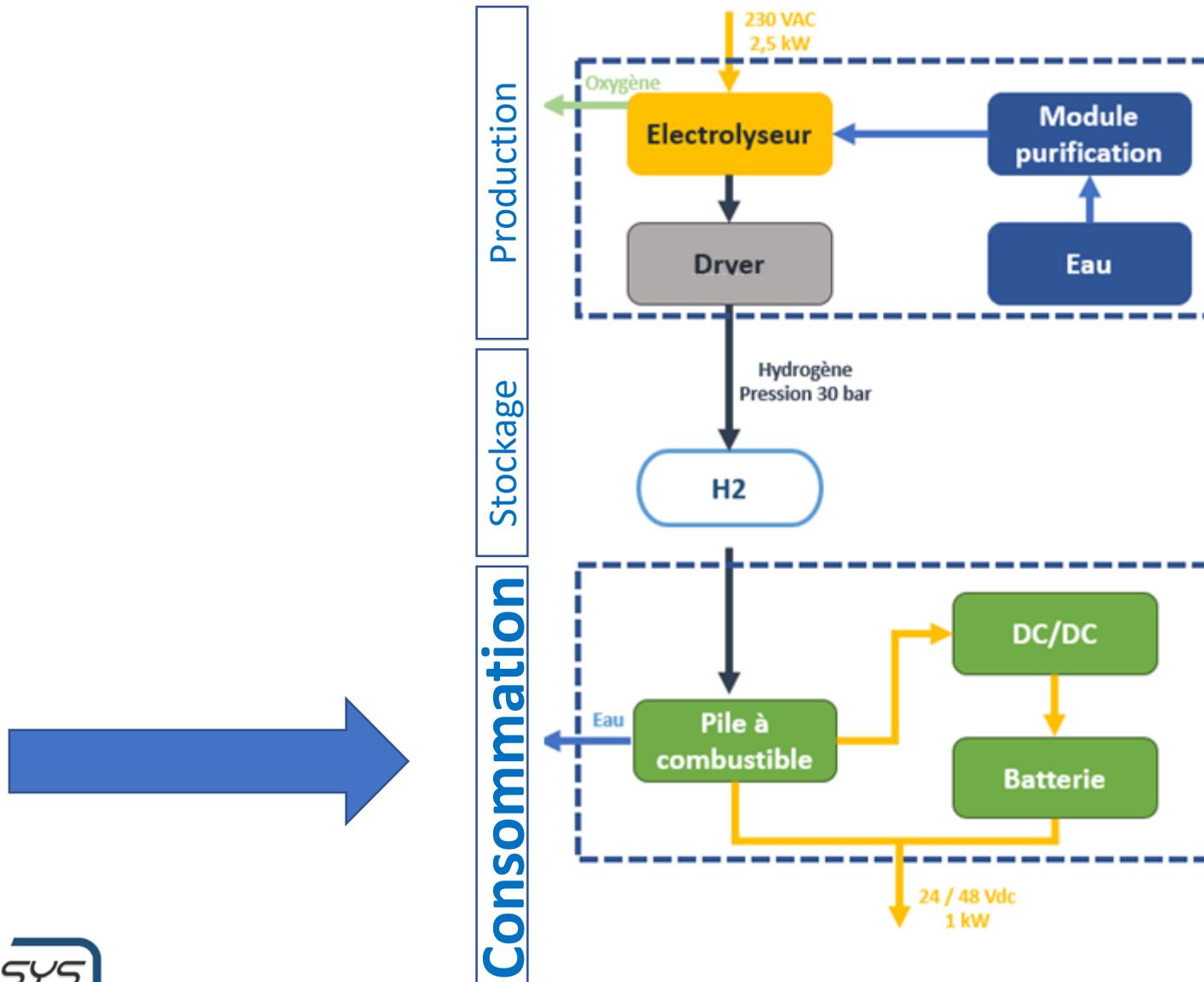
Sécurité - TP 2 Vérification d'une installation conformément à la norme NF M58-003

Sécurité - TP 3 Intervention en zone ATEX

Sécurité - TP 4 Recherche de fuite, vérification des raccords

Sécurité - TP 5 Purge d'un système avant intervention technique

CONSOMMATION D'HYDROGÈNE: PILE À COMBUSTIBLE



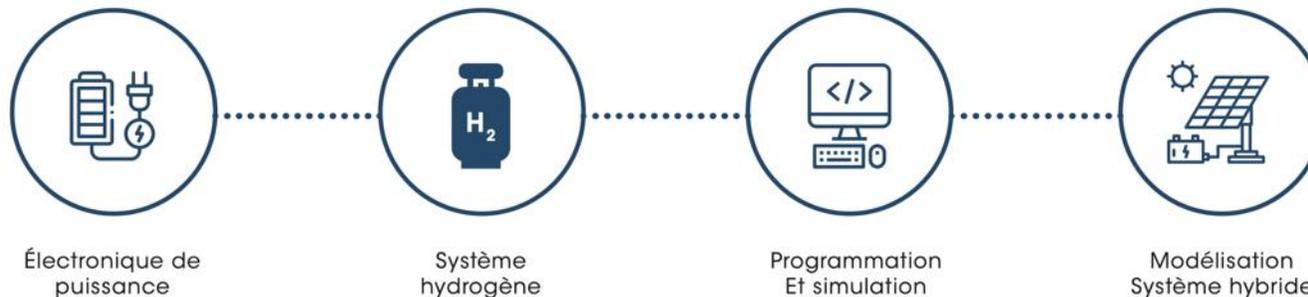
Système hybride Mothys : Composition

Dédié à l'apprentissage des systèmes hydrogène énergie pour le bloc hybride PAC/Batterie.



Mothys complet

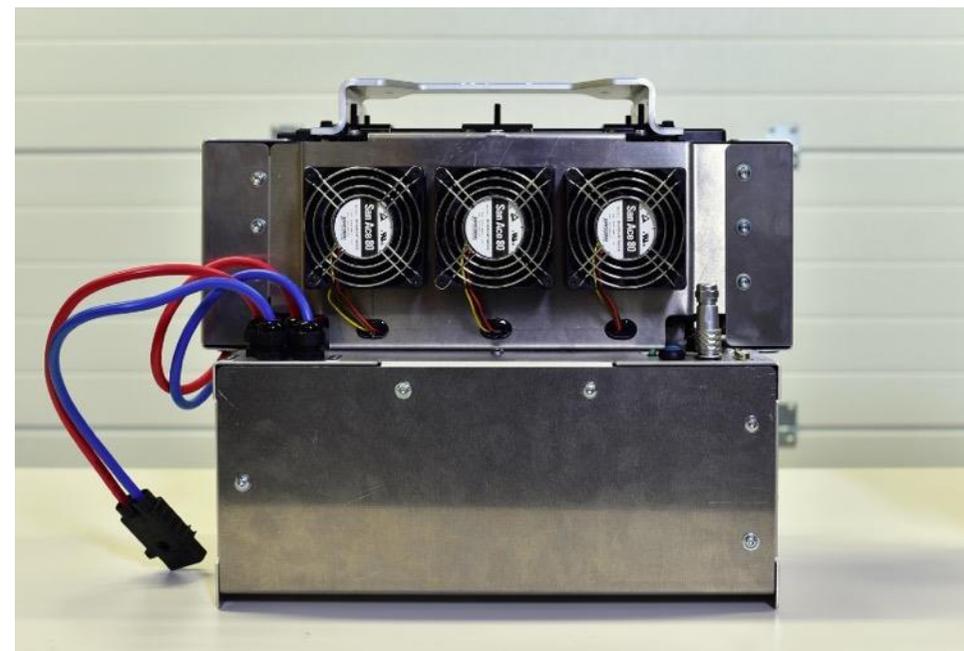
- Une **pile à combustible AIRCELL 500**
- Une **batterie** communicante et son BMS
- Module d'hybridation**
- Une carte de **pilotage Arduino Méga** (pilotage via Matlab)
- Un **convertisseur DC/DC Boost** sortie 48 Vdc régulé, communiquant CAN
- Sécurités électriques
- Un **capteur H2**
- Une **IHM**



Système hybride Mothys : spécificités techniques

PILE À COMBUSTIBLE

Modèle - puissance	AIRCELL 500 / Puissance nominale 500 W
Technologie	PEM à cathode ouverte
Pression d'hydrogène	1-5 bar
Consommation hydrogène (NI/min)	6 NI/min
Courant / tension	0-50A (max 65A) / 12-18 Vdc non régulé



Pile AIRCELL 500 – Puissance nominale 500 W

COMMUNICATION

Pile à combustible	Communication Canbus intégrée Protocole Canbus standard - ISO 11989
Module Mothys	Interface USB-B mâle SUB-D9 SUBD-D25

Système hybride Mothys : spécificités techniques

BATTERIE / CONVERTISSEUR

Batterie	LG – chem . MG1
Tension / Capacité	50V / 22 Ah
Convertisseur	Convertisseur Boost Élévation de tension régulée (max 29 Vdc) Limitation de courant (30 A)



Batterie LG-chem. MG1

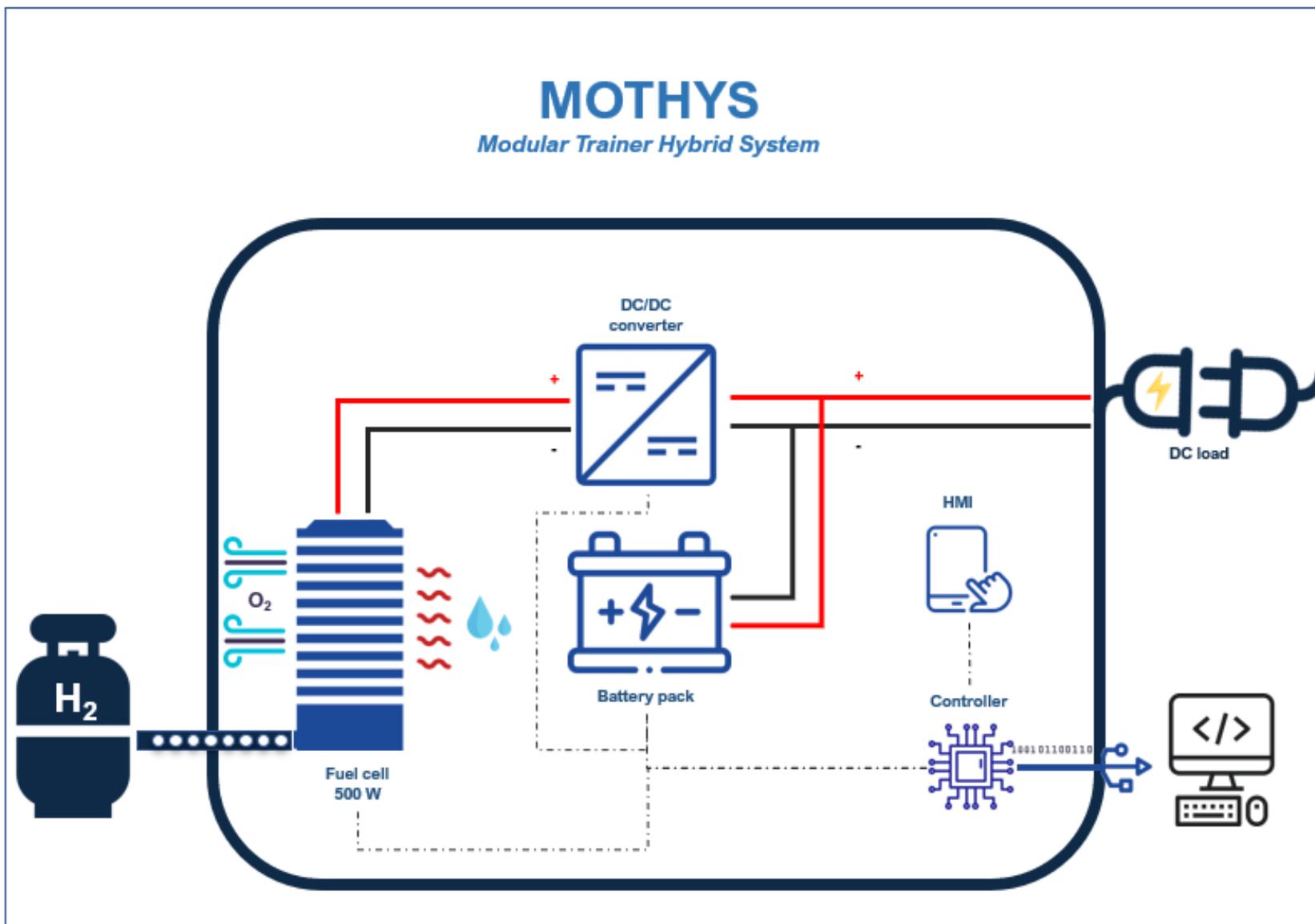
INTERFAÇAGE

Application d'accompagnement **ION LENS**



Capture d'écran ION LENS

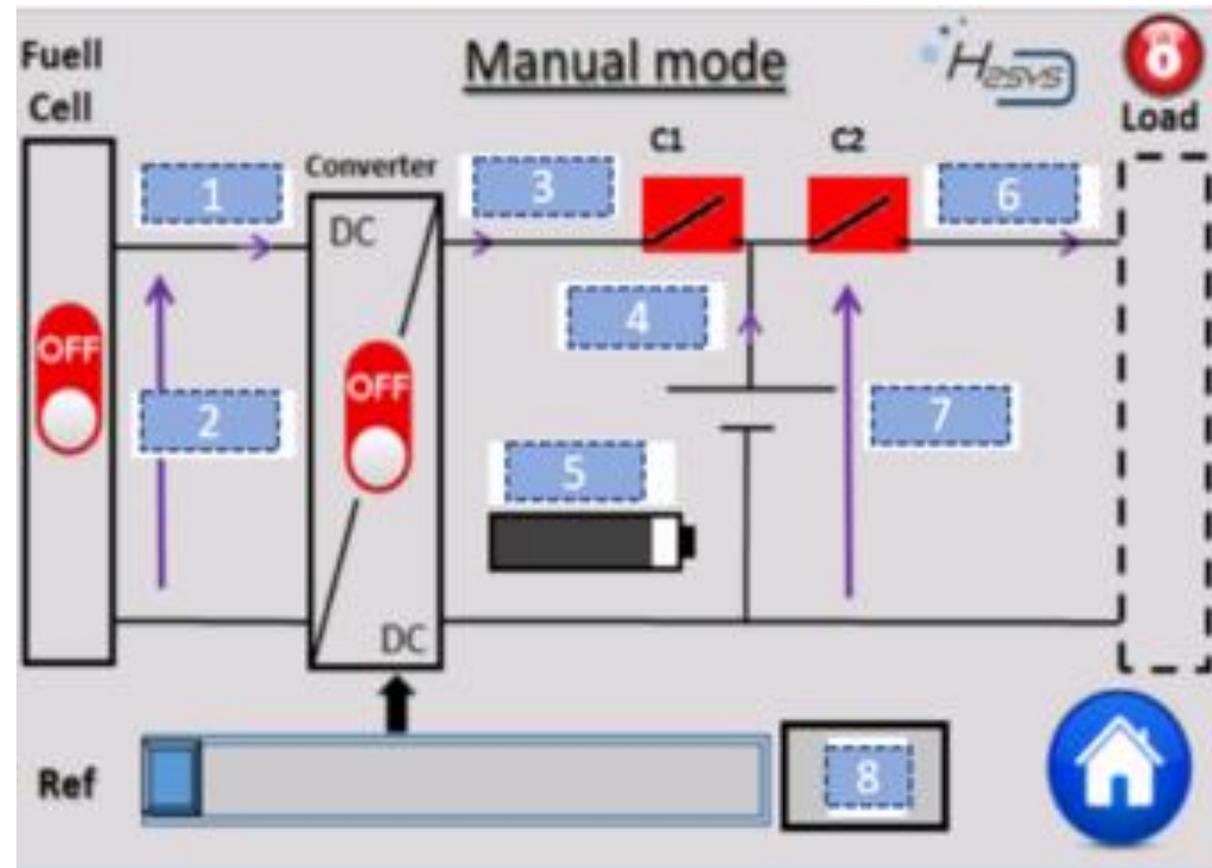
Système hybride Mothys : spécificités techniques



Mothys - Schéma de principe

Système hybride Mothys : IHM

Mothys comprend une **IHM** sous forme d'écran tactile permettant aux étudiants de **contrôler manuellement le système** et de **définir la stratégie d'hybridation** associée au système.



Numéro	Informations affichées
1	Pile : courant délivré en sortie de stack (A)
2	Pile : tension en sortie de stack (V) + puissance pile (W) + température stack (°C)
3	Convertisseur : courant en sortie de DC/DC (A)
4	Batterie : courant délivré par la batterie (A) - valeur positive ou négative
5	Batterie : état du SOC batterie (%) + température batterie (°C)
6	MOTHYS : courant délivré en sortie (A)
7	Batterie : tension du pack batterie + puissance délivrée par la batterie (W)
8	Convertisseur : valeur du courant en sortie de DC/DC

Système hybride Mothys : Différents modes

AUTOMATIQUE

- **Mode automatique** – géré par la loi d'énergie H2SYS. La pile démarre en fonction de l'état du SOC batterie.

MANUEL

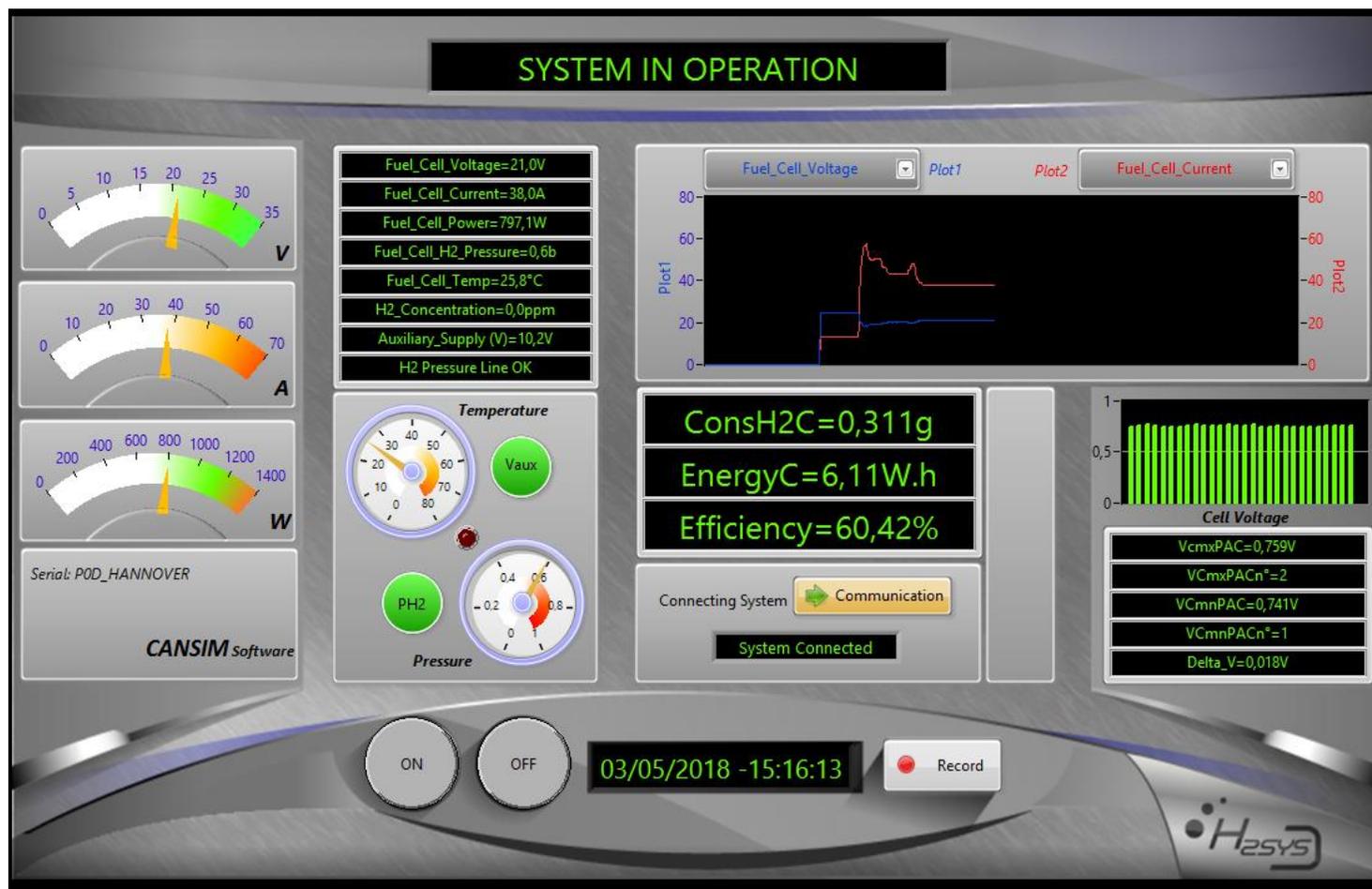
- **Mode Manuel** - Le système est équipé de contacteurs pilotables manuellement et d'une stratégie de limitation de courant associée au convertisseur . L'utilisateur utilise l'interface tactile pour actionner les contacteurs et piloter le système.

OPEN

- **Mode Open** - Pour les utilisateurs plus expérimentés, il est possible de programmer et tester ses propres lois de gestion d'énergie via l'utilisation du logiciel Matlab/Simulink.

Pile Aircell utilisée séparément

Le système **Aircell** est livré avec un exécutable sous **LabVIEW** permettant d'acquérir les données de fonctionnement propre à la pile à combustible, utilisable principalement dans le cadre des travaux pratiques sur la pile



Exécutable Labview de pilotage de la pile à combustible Aircell

MOTHYS : Exemples de TP

Possibilité d'utiliser le système Mothys complet ou uniquement la pile

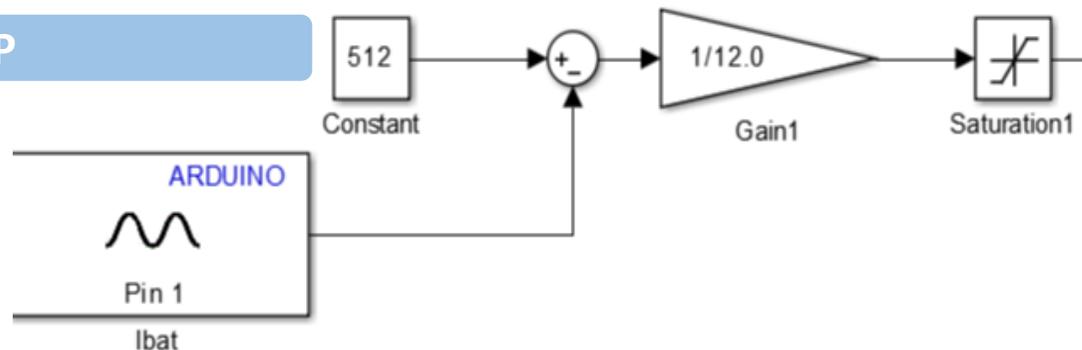
MOTHYS - TP 1 **Faire fonctionner un système hybride pile/batterie**

MOTHYS - TP 2 **Mettre en œuvre des lois de gestion d'énergie et d'hybridation**

MOTHYS - TP 3 **Comprendre les rendements et les équations de fonctionnement d'une pile, d'un convertisseur DC/DC, d'une batterie**

MOTHYS - TP 4 **Programmer un système avec Matlab Simulink**

MOTHYS - Exemple de TP



TP4 - Extrait du manuel Mothys, exemple de programmation sous Matlab Simulink

Il permet de récupérer la valeur physique du courant (en A).

- Sélectionner dans la bibliothèque MATLAB – *Simulink Support Package* le block « Analog input »
- Se référer au tableau page 22 [Entrées analogiques Arduino](#)

Grandeur	Entrée Arduino	Analogique Formule	Numérique Formule
Tension batterie « Vbat »	AN0	$V_{bat} = V_{mes} \times 6.55$	$V_{bat} = (val_num \times 32) / 1000$
Courant batterie « Ibat »	AN1	$I_{bat} = (V_{mes} - 2.5) \times 17$	$I_{bat} = (val_num - 512) / 12$
« SOC »	AN2	$SOC = (V_{mes} \times 20)$	$SOC = (Val_num \times 100) / 1023$
Courant DC/DC « Ie »	AN3	$I_e = V_{mes} \times 8.18$	$I_e = (val_num \times 4) / 100$
Tension SPAC « Vspac »	AN4	$V_{spac} = V_{mes} \times 6.55$	$V_{spac} = (val_num \times 32) / 1000$
Courant SPAC « Ispac »	AN5	$I_e = V_{mes} \times 8.18$	$I_{spac} = (val_num \times 4) / 100$
Consigne Afficheur Mode open	AN6	0 - 5V	0 - 1023

- Définir les paramètres PIN (ici 1 – correspondant à la grandeur courant batterie souhaitée)
- Sélectionner l'outil mathématique « Sum » dans *Math Operation*
- La formule numérique indique « $val_num - 512$ »

AIRCELL - Exemples de TP

Possibilité d' utiliser le système Mothys complet ou uniquement la pile

AIRCELL - TP 1

Tracer la courbe de polarisation et comprendre les phénomènes physiques et chimiques dédiés

AIRCELL - TP 2

Observer l'impact de la température et le lien courant cellule/température

AIRCELL - TP 3

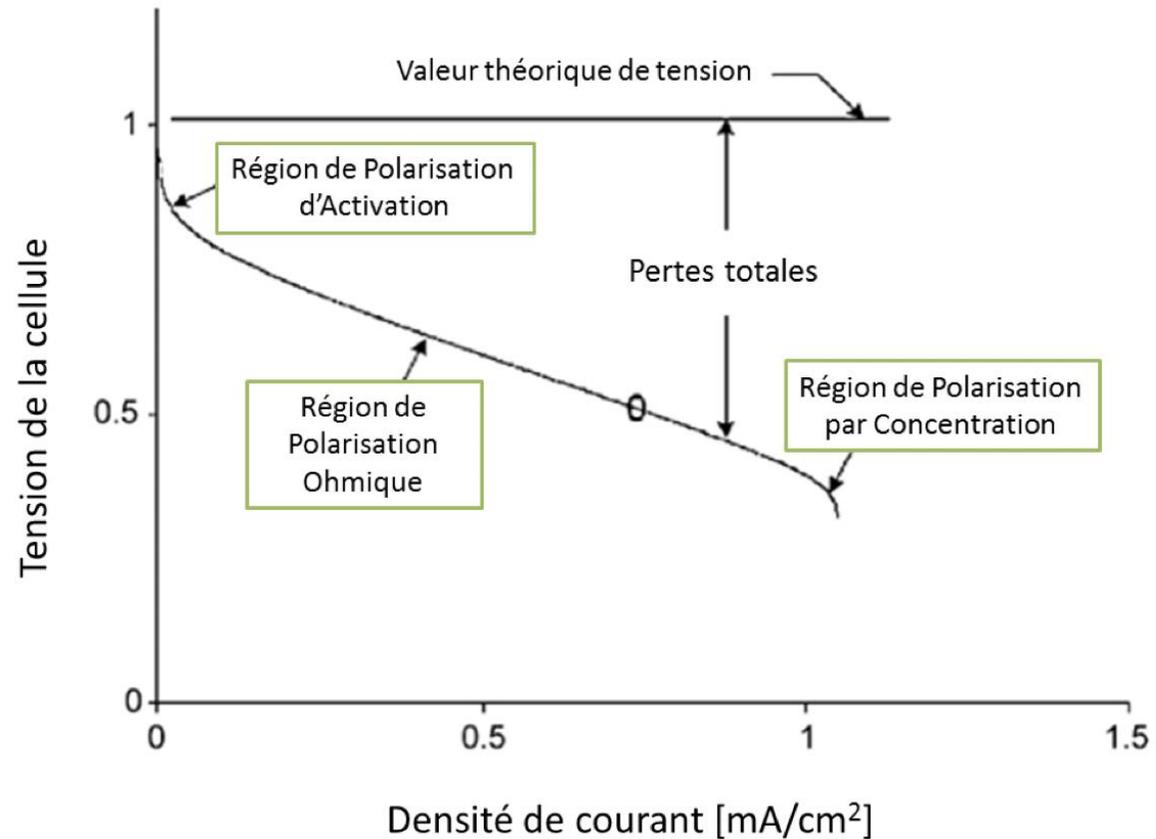
Utilisation des équations caractéristiques et étude des coefficients d'utilisation

AIRCELL - TP 4

Développement d'une interface de communication à partir des trames CANBUS (et Labview)

AIRCELL - Exemple de TP

TP1 Exemple de courbe de polarisation



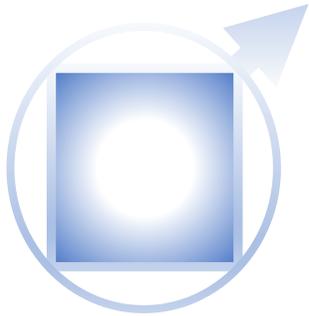
AIRCELL : Exemple d'utilisation pédagogique

Utilisation de la pile pour une intégration véhicule



Exemple: Eco Shell Marathon - Véhicule Polyjoule

ÉVOLUTION DES SYSTÈMES



Dans l'hypothèse où le client souhaite faire évoluer son installation, il pourra, par exemple:

- Augmenter le nombre d'électrolyseurs pour avoir une quantité d'hydrogène stockée plus importante
- Travailler sur un compresseur hydrogène pour venir charger des réservoirs automobiles
- Implanter un moteur électrique directement en sortie du module Mothys
- ...

NORMES ET SÉCURITÉ POUR LES SYSTÈMES À HYDROGÈNE

Norme NF M58-003



L'installation du système hydrogène (électrolyseur + stockage + pile) doit se faire en conformité avec la **norme NF M58-003 « Installation des systèmes mettant en œuvre l'hydrogène »**.

Cette norme fixe les exigences quant à l'installation des équipements fonctionnant à l'hydrogène, des équipements de distribution d'hydrogène et des récipients de stockage.



MAINTENANCE DU SYSTÈME

La maintenance du système doit être prévue 1 fois par an. Elle peut s'intégrer aux modules pédagogiques de formation.

Equipement	Vérification
Bouteille hydrogène	Quantité d'hydrogène restant, état des raccords, contrôle d'étanchéité.
Flexible hydrogène	Inspection visuelle de la tuyauterie, tests d'étanchéité, changement si date limite atteinte
Détendeur hydrogène	Changement des joints, vérification de l'étanchéité, vérification des pressions de fonctionnement
Centrale de détection de gaz	Test
Batterie	Vérification des tensions cellules, des capteurs, du serrage des connexions électriques, et des sécurités de l'état de charge
Extincteur	Vérification de la date de péremption
Système Mothys	Test de fonctionnement, vérification des rendements et des sécurités

Cette maintenance permet de garantir la fiabilité du système lors de la reprise et prévenir les risques de fuite d'hydrogène.

561, allée Bellecour
84200 CARPENTRAS
FRANCE
Tel : +33 (0)4 90 60 05 68
Fax : + 33 (0)4 90 60 66 26
contact@erm-automatismes.com
www.erm-automatismes.com



VOS INTERLOCUTEURS COMMERCIAUX

France : Lycées des régions Bourgogne-Franche-Comté, Centre-Val-de-Loire, Grand-Est, Hauts-de-France, Ile-de-France :

Hugo Jouhanneau

✉ h.jouhanneau@erm-automatismes.com
☎ +33 (0)6 76 87 13 32

France : Lycées des régions Bretagne, Normandie, Nouvelle-Aquitaine, Pays-De-La-Loire :

Lionel Penisson

✉ l.penisson@erm-automatismes.com
☎ +33 (0)6 72 14 98 55

France : Lycées des régions Auvergne-Rhône-Alpes, Corse, Occitanie, Provence-Alpes-Côte-D'Azur, Outremer :

Laurence Moulac

✉ l.moulac@erm-automatismes.com
☎ +33 (0)6 88 74 07 39

France : Enseignement supérieur :

Pascal Torsiello

✉ p.torsiello@erm-automatismes.com
☎ +33 (0)6 45 35 63 38

International :

Patrick Mestre

✉ p.mestre@erm-automatismes.com
☎ +33 (0)6 84 72 41 17

N'HÉSITÉZ PAS À NOUS CONTACTER

Théophile HABERMACHER

Responsable commercial

 theophile.habermacher@h2sys.fr

 +33 (0)3 39 03 40 93

 +33 (0)6 88 79 65 90



H2SYS

Bâtiment F – FCLAB

13 rue Ernest Thierry Mieg

90 000 Belfort

info@h2sys.fr

+33 (0)3 84 58 36 14

