



SHA-6 ECAM

Manuel d'utilisation

Hydroxide Technologies

Rédacteur(s)	Antoine Pichou Rodolphe Giamatteo
Date	18/09/2024
Version	1.5

A NOS CLIENTS

Notre intention est de fournir à nos clients la meilleure documentation possible pour garantir une utilisation réussie des produits Hydroxide Technologies. À cette fin, nous continuerons d'améliorer nos publications pour mieux répondre à vos besoins. Nos publications seront élaborées et améliorées au fur et à mesure que des mises à jour seront introduites. Si vous avez des questions ou des commentaires concernant cette publication, veuillez contacter le service technique par e-mail à contact@hydroxyde.fr. Vos commentaires sont les bienvenus.

1.4	19/05/2024	Rédaction
1.5	18/09/2024	Correction

Table des matières

Table des matières	3
Symboles utilisés dans le manuel d'utilisation	6
Sécurité générale	7
Sécurité électrique	7
Sécurité haute température	7
Sécurité des composants sous pression	7
Sécurité relative à l'asphyxie	7
Sécurité d'utilisation	7
Sécurité hydrogène	7
Présentation du banc d'essais pile à combustible	8
Public cible	8
Description du banc d'essais	9
Schéma général de la machine	9
P&ID système	10
Vue éclatée	11
Cathode	11
Anode	11
Refroidissement	12
Châssis	12
Caractéristiques techniques	13
Caractéristiques générales	13
Précisions de mesures	14
Intégration mécanique	15
Installation	16
Utilisation	17
Interface utilisateur	17
Démarrage	17
Initialisation	18
Panneau d'alerte	19
Interface principale IHM	20
Gestion des graphiques	21
Fenêtre de gestion des séquences	23
Modes de pilotage	24
Plage de réglage et autorisations	25
Procédure d'initialisation du banc	26
Procédure de démarrage	26

Préparation générale :	26
Préparation du banc d'essai	27
Procédure d'arrêt	28
Utilisation en fonctionnement	29
Mode paramètres automatiques.....	32
Pilotage en mode séquence.....	33
Création de séquences personnalisées :	33
Liste des paramètres utilisables :	34
Système d'enregistrement des CSV	35
Sécurité	37
Sécurités et erreurs.....	37
Procédures d'arrêt d'urgence	38
Comment réagir en cas d'arrêt d'urgence ?	39
Dépolarisation forcée	40
Liste des erreurs possibles	41
Avancée	42
Communication annexe	42
API CAN	42
Lecture des données sur le bus CAN	42
Fichier DBC	42
Envoi de paramètres sur le bus CAN.....	43
Connexion sur le bus CAN.....	45
Régulations	46
Liste des régulations :	46
Liste des régulations configurables	47
Consommation d'hydrogène	48
Entretien et maintenance.....	49
Ingrédients	49
Procédures de maintenance	49
Changement de cartouche dé-ionisante	49
Changement filtre de refroidissement.....	51
Changement filtre à air	52
Remplissage du circuit d'eau.....	52
Dépoussiérage.....	53
Changement de pile à combustible.....	53
Dépannage	54
SAV	54

Problèmes courants	54
Test de conductivité non valide.....	54
Le banc ne s'allume pas	54
Le système reste en mode « INIT ».....	54
L'IHM n'arrive pas à se connecter au banc.....	55
La balance s'éteint toute seule	55
Le système est instable	55
Ressources supplémentaires	56
Composants principaux.....	56
Pile à combustible.....	56
Charge électronique	57
Compresseur	58
Humidificateur.....	59
Ejecteur.....	60
CVM (Cell Voltage Monitoring)	62
Constante de purge.....	63
Noyage de la pile à combustible	64
Annexe 1 : Schéma électrique.....	65
Glossaire des termes techniques	69

Symboles utilisés dans le manuel d'utilisation



Les **AVERTISSEMENTS** dans ce manuel, indiquent des actions qui peuvent entraîner un accident, des blessures corporelles, la mort ou qui pourraient endommager l'équipement ou d'autres biens



Les **DANGERS ELECTRIQUES** dans ce manuel, indiquent des actions qui présentent un risque de haute tension ou de choc électrique pouvant entraîner un accident, des blessures corporelles, la mort ou qui pourraient endommager l'équipement ou d'autres biens



Les **SURFACES CHAUDES** dans ce manuel, indiquent les actions qui présentent un risque de température élevée ou de brûlure pouvant entraîner un accident, des blessures corporelles, la mort ou qui pourraient endommager l'équipement ou d'autres biens



Les **MATIERES INFLAMMABLES** dans ce manuel indiquent les actions qui présentent un risque d'incendie ou de combustion de matériaux pouvant entraîner un accident, des blessures corporelles, la mort ou qui pourraient endommager l'équipement ou d'autres biens



Les **RISQUES RESPIRATOIRES** dans ce manuel, indiquent les risques d'asphyxie pouvant entraîner un accident, des blessures corporelles ou la mort

Sécurité générale

Le but de cette section est d'informer et d'avertir les opérateurs du SHA-6 sur les consignes de sécurité. L'opérateur du SHA-6 doit être techniquement qualifié et formé pour faire fonctionner le système d'essai.

Sécurité électrique



- La tension générée par la pile peut atteindre 1V/cellule soit 30V. Bien que cette tension soit basse le courant de court-circuit peut être très important. Les cellules n'étant pas isolés il est très important de **ne pas approcher d'objets métalliques de la pile et celle-ci ne doit pas être griffée.**
- **Si la pile semble endommagée, n'essayez pas de démarrer le système**
- La source d'alimentation électrique provient du réseau électrique triphasé
- Le châssis du banc d'essais doit être reliée à la terre

L'ACCES AUX ARMOIRES ELECTRIQUES EST INTERDIT A TOUTE PERSONNE NON AUTORISEE

Sécurité haute température



- La pile à combustible génère de la chaleur pendant le fonctionnement, les températures peuvent atteindre 85°C.
- Les composants du banc d'essais génèrent de la chaleur pendant le fonctionnement, les températures des surfaces peuvent atteindre 140°C.

Sécurité des composants sous pression



- La pile à combustible et le système associé utilisent des gaz sous pression, qui peuvent être dangereux. Ne touchez pas la tuyauterie ou les raccords fluidiques.
- La pile à combustible est assemblée sous haute compression. N'essayez pas de démonter la pile.

Sécurité relative à l'asphyxie



- La pile à combustible consomme de l'O₂ pendant son fonctionnement. L'opération doit avoir lieu dans endroit bien ventilé.

Sécurité d'utilisation



- La surveillance constante par une personne formée est essentielle lors de l'utilisation d'un banc d'essai. Cela garantit la sécurité des opérations et permet une réaction rapide en cas de problème, minimisant ainsi les risques d'accidents.

Sécurité hydrogène



- Le système SHA6 utilise de l'hydrogène, gaz fortement inflammable. L'utilisation doit être exclusivement faite dans un environnement ventilé et sécurisé pour assurer le dézonage ATEX.

Présentation du banc d'essais pile à combustible

Le banc d'essais SHA-6 dont ce manuel traite est un système sophistiqué conçu pour analyser et comprendre le fonctionnement des piles à combustibles de type PEMFC (Proton Exchange Membrane Fuel Cell) refroidies à eau. Il vise à fournir une plateforme pédagogique et de recherche permettant aux utilisateurs de comprendre les concepts clés et d'explorer la technologie pile à combustible.

Doté d'une interface utilisateur conviviale, de capteurs de précision et d'une gamme de paramètres de contrôle, ce système d'essais offre une expérience d'apprentissage pratique. Les utilisateurs pourront non seulement exécuter des essais, mais aussi collecter des données en temps réel, analyser les résultats et affiner leurs connaissances théoriques en les confrontant à des applications pratiques.



Public cible

Ce manuel a été spécialement élaboré pour répondre aux besoins d'un large éventail d'utilisateurs. Il s'adresse principalement aux étudiants et aux enseignants engagés dans l'apprentissage et la recherche liés à l'énergie hydrogène, ainsi qu'à tous ceux qui souhaitent acquérir une compréhension approfondie des piles à hydrogène et de leurs applications. Même si vous n'avez aucune expérience préalable dans ce domaine, ce manuel vous accompagnera à chaque étape, vous guidant à travers les processus complexes avec des instructions et des illustrations explicatives.

Description du banc d'essais

La plateforme de test SHA-6 a été conçue afin de faciliter la compréhension et la visualisation des différents sous-systèmes et composants d'un système PEMFC.

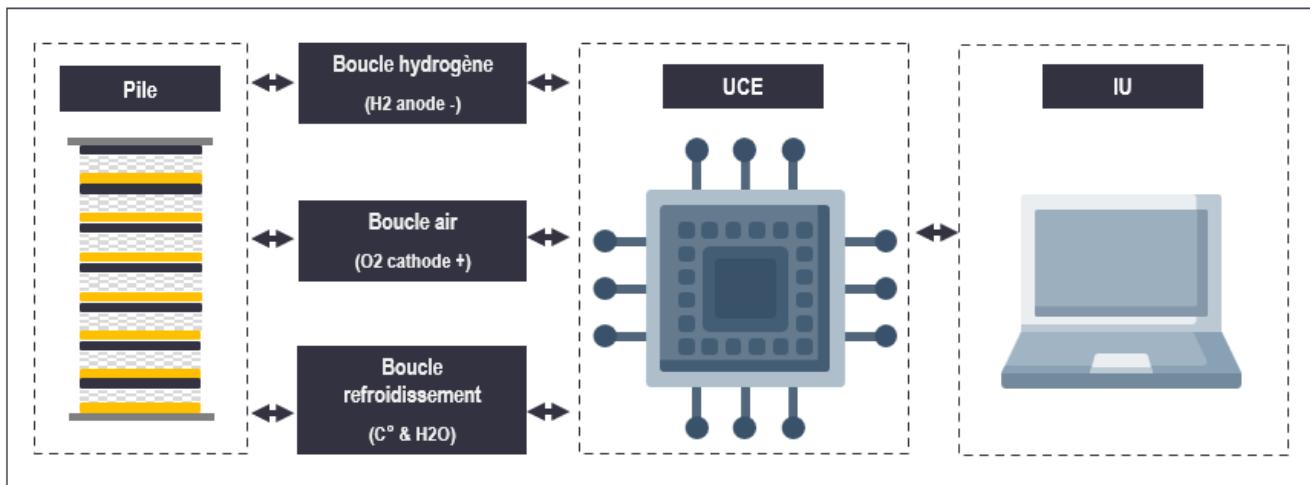
Celle-ci comprends :

- Une pile à combustible Ballard FCGen LCS
- Le système pile comprenant les boucles anodiques, cathodiques et refroidissement (capteurs, actionneurs et tuyauteries)
- L'Unité de Contrôle Electronique permettant le contrôle des différents paramètres systèmes
- Le boîtier de distribution de puissance électrique
- La charge électronique régénérative
- L'ordinateur hébergeant l'Interface Utilisateur permettant le suivi des paramètres et la modification de ceux-ci
- Le châssis du banc d'essais

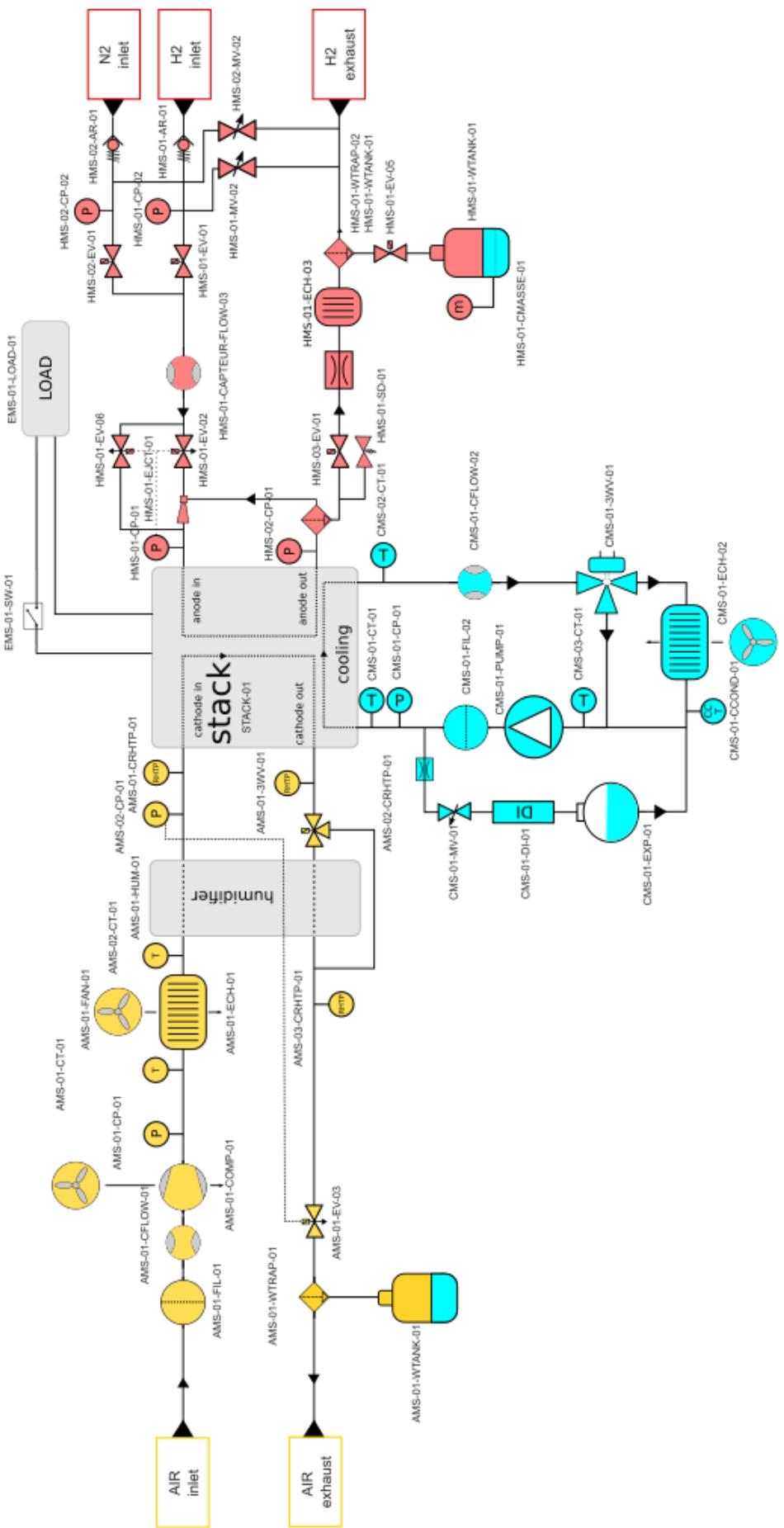
Schéma général de la machine

Cette section offre une vue d'ensemble détaillée de la configuration et de l'architecture du banc d'essais de pile à combustible. Cette illustration complète offre un aperçu précis des composants clés et de leur interconnexion, fournissant ainsi une compréhension approfondie du fonctionnement global de la machine. Du contrôle/commande à la surveillance en passant par les paramètres critiques du système, cette section vise à présenter de manière exhaustive la structure et le design sophistiqué du banc d'essais, soulignant ses capacités avancées et son adaptabilité aux divers besoins de test des piles à combustible.

Le système est alors composé des trois boucles du système pile (hydrogène, air et refroidissement), de l'Unité de Contrôle Electronique et du PC hébergeant l'interface utilisateur.

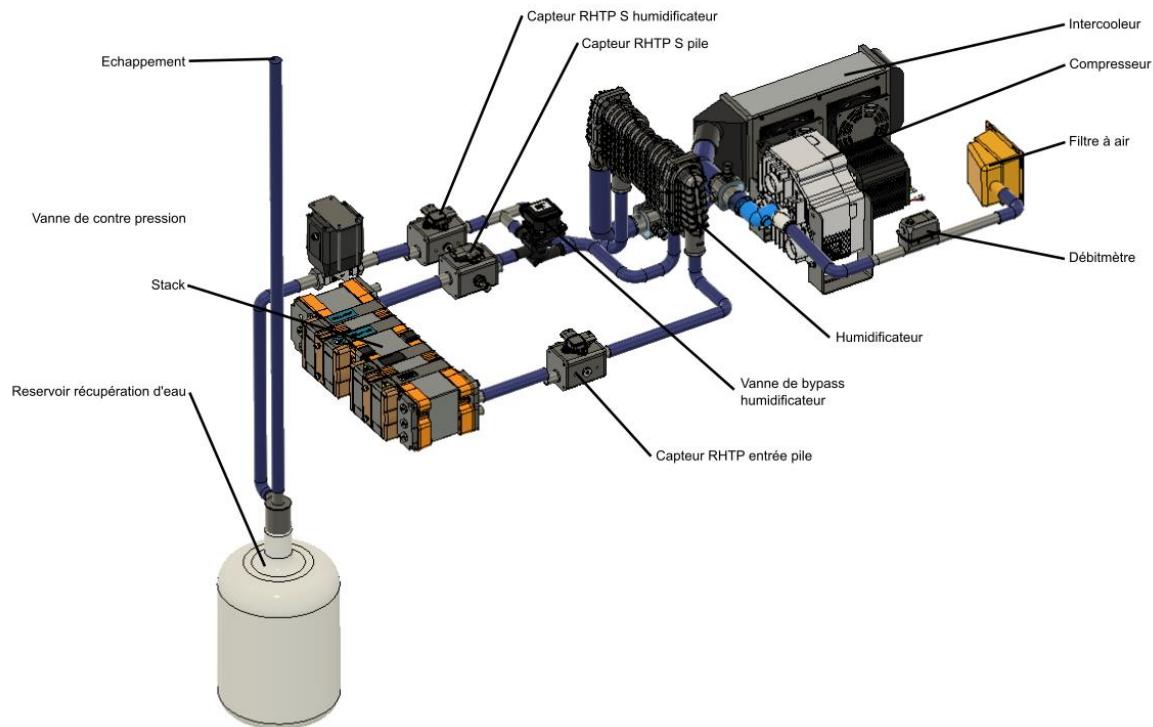


P&ID système

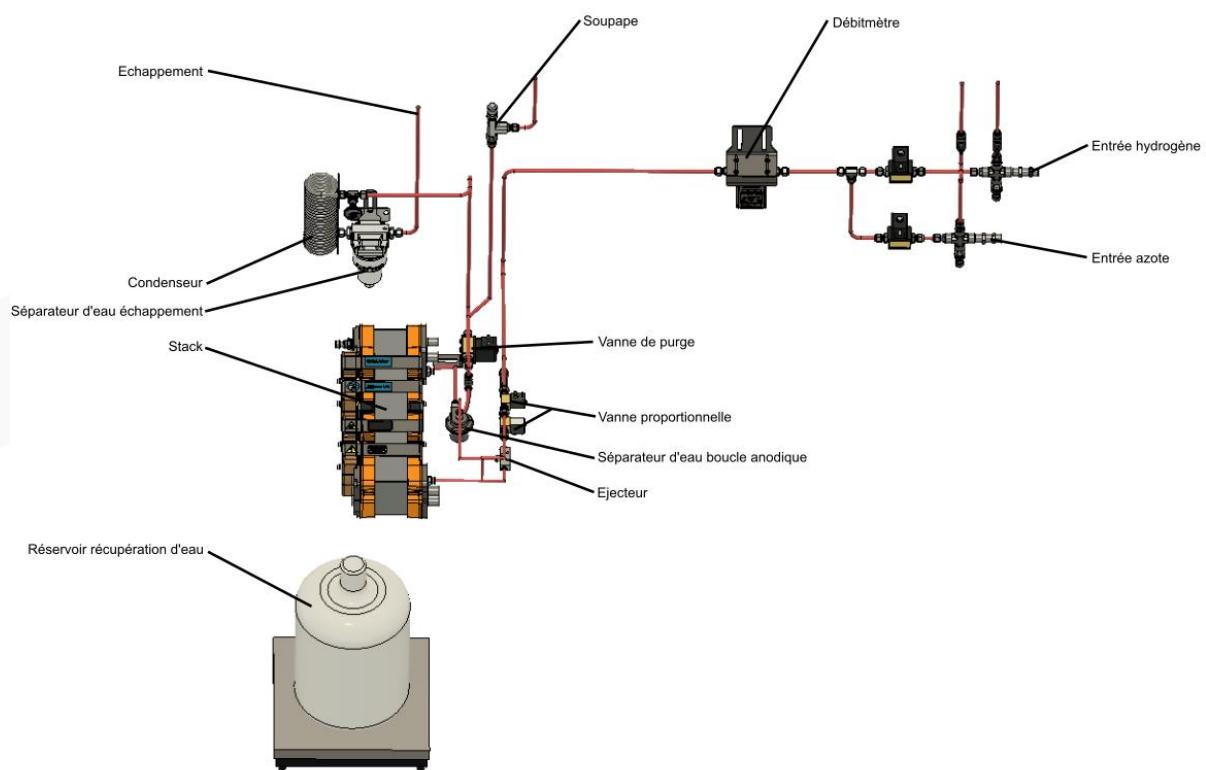


Vue éclatée

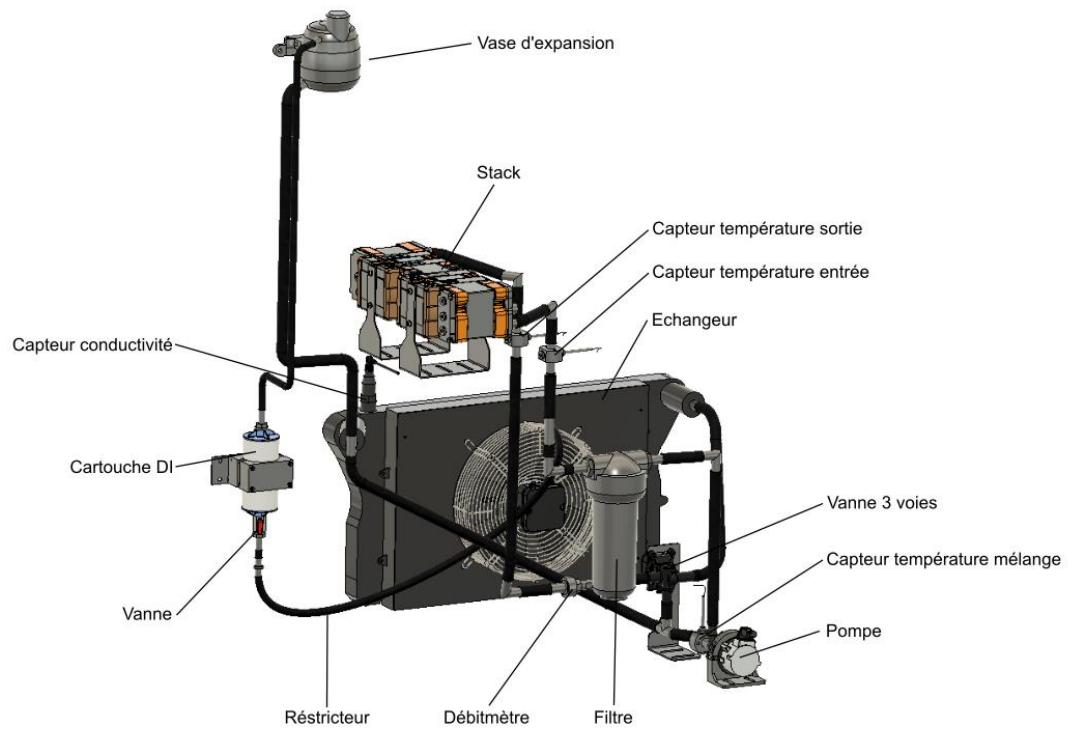
Cathode



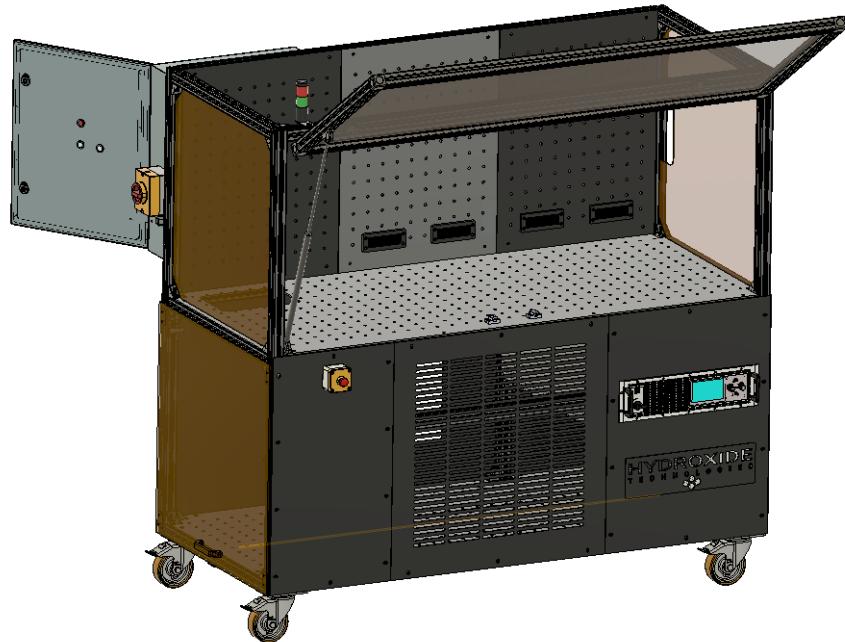
Anode



Refroidissement



Châssis



Caractéristiques techniques

L'objectif de cette section est de préciser les plages de fonctionnement des paramètres du système de pile à combustible. Pour toute information complémentaire ou personnalisation, merci de contacter le service technique.

Caractéristiques générales

Electrique		
Plage de puissance	0 – 6.5 kW	
Tension maximale charge	0 – 30 V	
Courant maximal charge	0 – 340 A	
Anode		
Plage de débit anode	0 – 100 sLPM	Mesure si I<315A hors purge
Plage de pression anode	1.2 – 2.2 bar abs	
Purge anode	Purge pulsée	
Recirculation	Ejecteur	
Cathode		
Capacité du compresseur	7 g/s @ 1bar gauge	Voir cartographie compresseur
Plage de pression cathode	1.2 – 2.0 bar abs.	
Pilotage de l'humidité	By-pass humidificateur	
Humidificateur	52% @ 400 sLPM	Voir cartographie humidificateur
Refroidissement		
Pilotage en température	50 - 70 °C	@ 20°C amb
Liquide refroidissement	Eau déionisée	

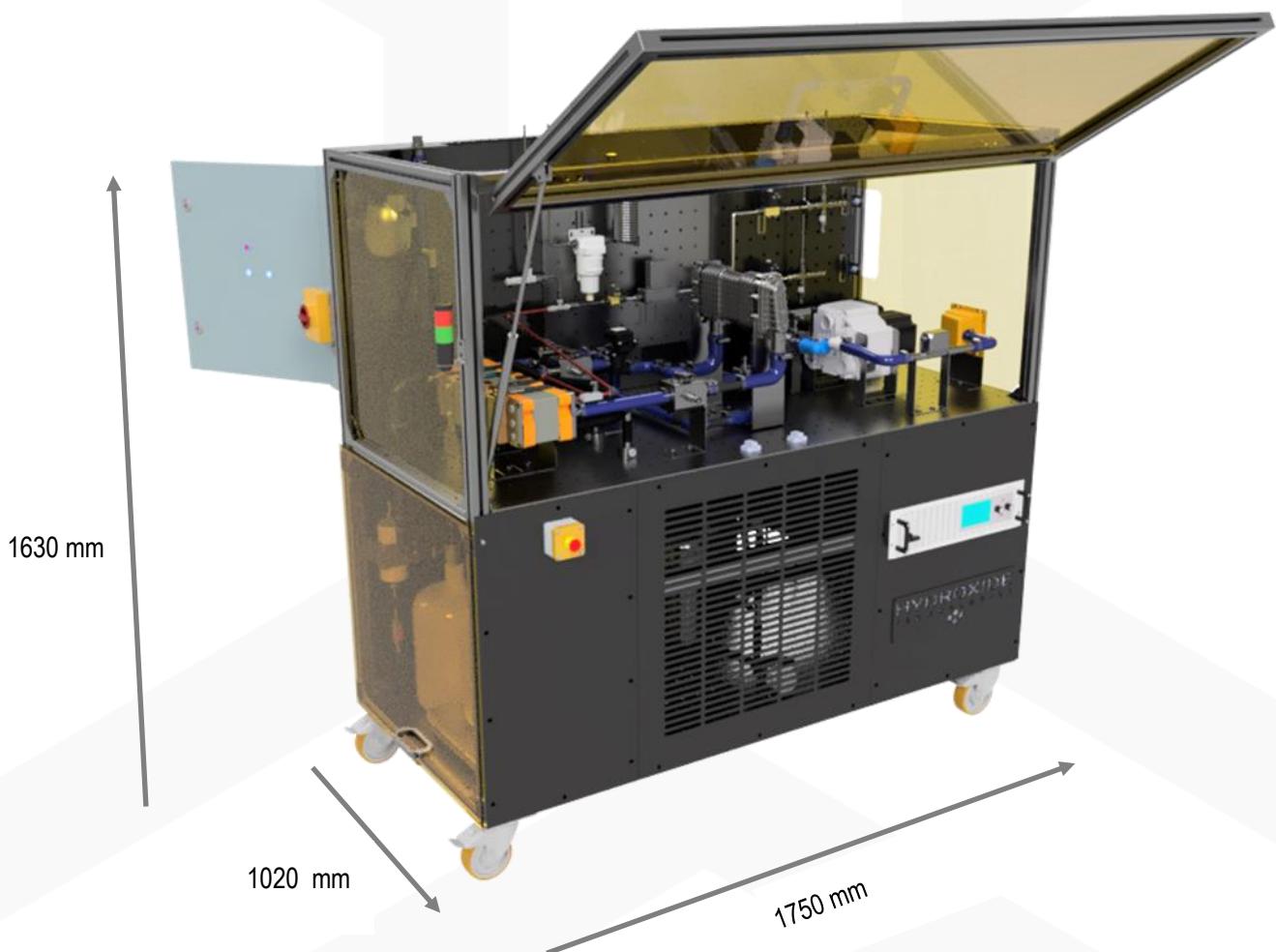
Précisions de mesures

La station d'essai piles à combustible SHA-6 intègre divers capteurs (température, pression, RH, ...) permettant la régulation de différents actionneurs grâce à des correcteurs numériques. Ci-dessous, un tableau récapitulant les plages de mesures et leur précision.

	Min	Max	Précision
Electrique			
Tension cellule	0	1000 mV	$\pm 5 \text{ mV FS}$
Courant charge	0	340 A	$\pm 0.4\% \text{ FS}$
Tension charge	0	80 V	$\pm 0.4\% \text{ FS}$
Cathode			
Températures	-20	250	$\pm 0.5^\circ\text{C FS}$
Pression	0 mbara	4000 mbara	$\pm 10 \text{ mbar FS}$
RH	0 %	100 %	$\pm 3\% \text{ FS}$
Débit d'air	0.25 Nm ³ /h	75 Nm ³ /h	2 % R + 0,5 % FS
Refroidissement			
Températures	-20	250	$\pm 0.5^\circ\text{C FS}$
Débit	0.9 L/min	15 L/min	$\pm 1\% \text{ FS}$
Conductivité	0 $\mu\text{S/cm}$	200 $\mu\text{S/cm}$	$\pm 0.5\% \text{ FS}$
Anode			
Températures	-20	250	$\pm 0.5^\circ\text{C FS}$
Pression	0 mbara	4000 mbara	$\pm 10 \text{ mbar FS}$
H ₂ débit	0.01 SLPM	100SLPM	$\pm 0.8\% \text{ R} \pm 0.2\% \text{ FS}$

Intégration mécanique

	TYPE	VALEUR
Connection électrique	Prise triphasée 3P+N+T 32A	16A max
Connexion fluidique hydrogène	Double bague sur tube PTFE	$\varnothing 8 \text{ mm } [6 ; 9] \text{ barg}$
Connexion fluidique azote	Double bague sur tube PTFE	$\varnothing 8 \text{ mm } [6 ; 9] \text{ barg}$



Installation

Le système d'essai SHA-6 utilise de l'hydrogène sous pression pour son fonctionnement. Son utilisation dans de mauvaises conditions peut mener à de forts risques pour l'utilisateur si l'installation a été mal effectuée. Pour ces raisons toutes modification est interdite et les branchements doivent être validés par le fabricant.

Installation et environnement :

- Le banc doit impérativement se trouver sous une hotte de ventilation dédiée, calculée pour assurer le dézonage ATEX.
- Une centrale de détection de gaz doit assurer la coupure de l'alimentation en gaz et en électricité du banc en cas de seuil dépassé.
- Le réseau d'hydrogène doit régulièrement être vérifié au détecteur de fuite.
- Les échappements, cathode et anode doivent être correctement raccordés au système d'extraction d'air.
- Le réseau électrique doit être prévu pour supporter de la réinjection d'énergie (voir Note sur la réinjection réseau).

Préparation avant utilisation :

- Les réseaux de gaz doivent avoir été purgés de tout contaminant avant démarrage. Des traces d'autres gaz ou d'impuretés pourraient endommager des composants.
- Les jarres de récupérations d'eau, cathode et anode doivent être installées et vidées avant tout démarrage du banc.



Utilisation

Interface utilisateur

Un PC dédié avec une interface utilisateur de contrôle/commande/surveillance sont intégrés avec le banc pile à combustible. Le contrôle et la surveillance du système sont réalisés à travers cette interface.

Plusieurs fenêtres et modes sont disponibles sur l'interface :

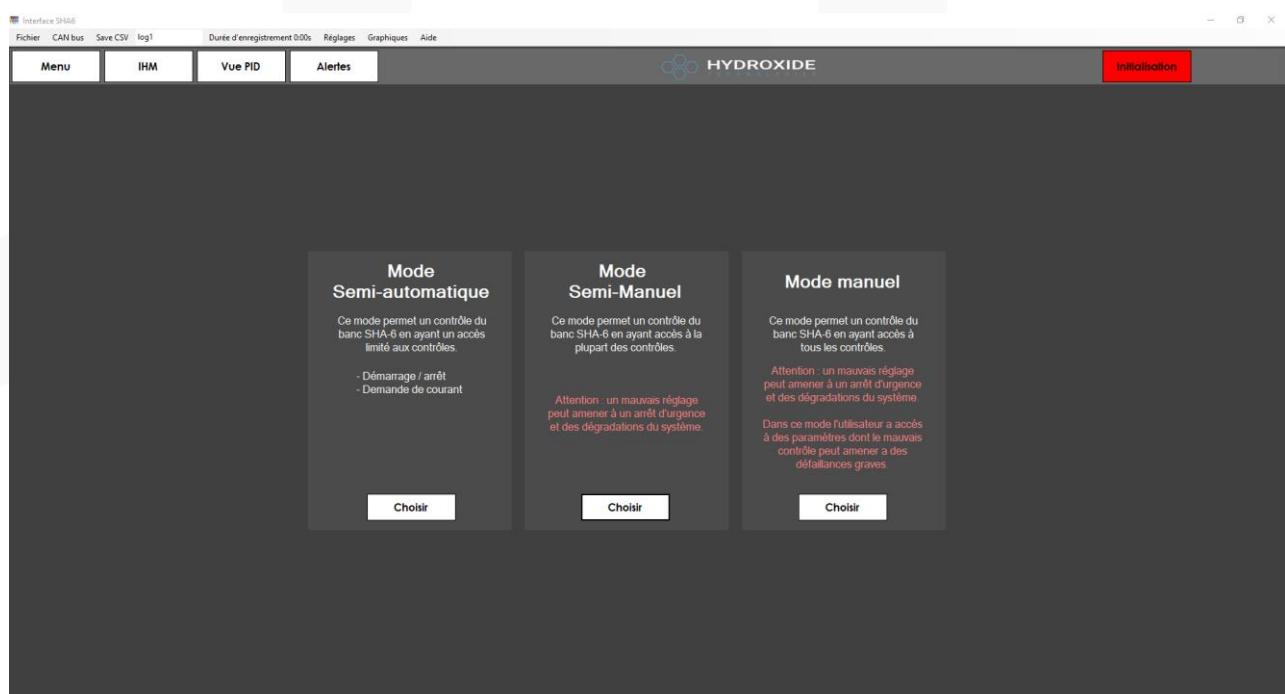


Démarrage

Cette fenêtre, accessible depuis l'onglet Menu, présente divers modes de pilotage (consultez la section Modes de pilotage pour plus de détails).

Avant de procéder, veuillez sélectionner un mode approprié. Vous pourrez revenir à cette fenêtre ultérieurement pour modifier le mode sélectionné.

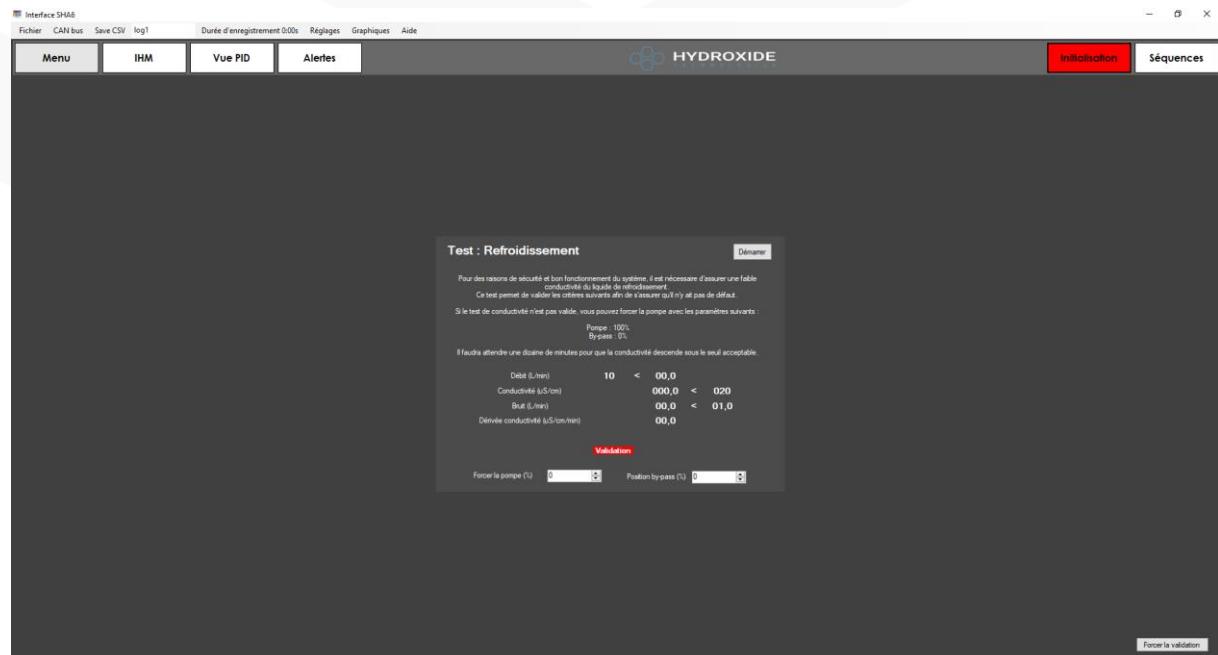
Notez que l'accès au mode manuel nécessite un mot de passe spécifique (voir la section Modes de pilotage).



Initialisation

Dans l'onglet "Initialisation", vous pouvez valider le processus d'initialisation du système lors du démarrage du banc. Cette étape doit être effectuée à chaque mise en marche du banc, mais elle n'est pas requise entre plusieurs démaragements successifs si le banc n'a pas été éteint. Pour obtenir des instructions détaillées sur la procédure d'initialisation du banc, veuillez consulter la section intitulée "Procédure d'initialisation du banc".

De plus, cet onglet offre la possibilité de contrôler manuellement la pompe pendant les phases de maintenance.



Panneau d'alerte

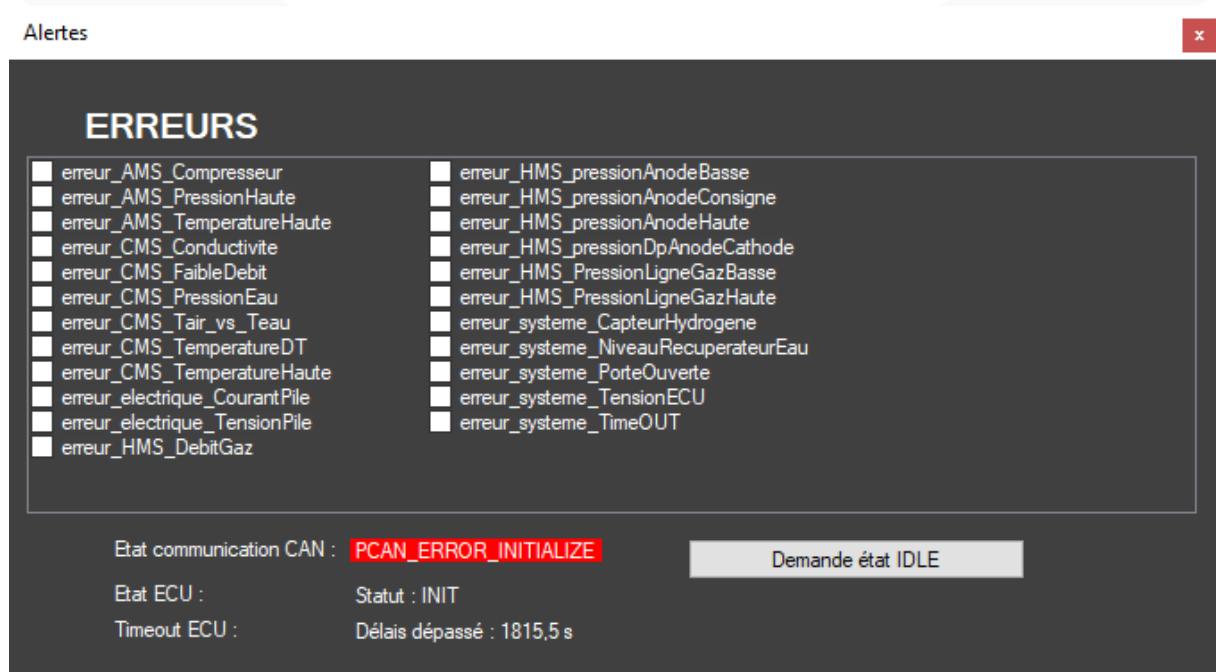
Le panneau d'alerte répertorie toutes les alertes émises par le système, notamment :

Erreurs ECU : Toutes les erreurs détectées par l'ECU. Si l'une d'elle est active le texte passe en rouge.
erreur_exemple

Une erreur peut apparaître sans que cela ne déclenche les sécurités. La réaction en cas d'erreur est indiquée par la coche adjacente. De plus il faut que l'erreur soit présente pendant un certain temps (voir Sécurité).

Erreurs IHM : L'IHM détecte les cas de mauvaise communication avec le système. Les informations affichées sont l'état de la passerelle peakCAN, le statut de l'ECU et la durée du timeout.

Si le système est en mode erreur il est possible de revenir en mode **IDLE** en appuyant sur **Demande état IDLE**.



En mode manuel des actions supplémentaires sont possibles depuis dans ce panneau.

- Il devient possible de désactiver certaines erreurs en cliquant sur la coche. Il est **fortement déconseillé** de le faire car cela peut avoir de graves conséquences sur la sécurité des personnes et du matériel. Cette opération est réservée à l'utilisateur avancé dans le but de faire des réglages sur système.
- Un nouveau bouton apparaît « Demande de réinitialisation de l'ECU » Ceci force un hard reboot du système de contrôle commande. Il est **fortement déconseillé** de l'utiliser. Cette opération est réservée à l'utilisateur avancé dans le but de faire des réglages sur système.

Interface principale IHM

Le panneau IHM regroupe les contrôles et retour nécessaires au pilotage du banc.

Zone supérieur gauche :

- État de l'ECU : Cette section indique l'état actuel de l'ECU (Unité de Contrôle Électronique).
- Séquences Automatiques d'Arrêt et de Démarrage : Cette fonctionnalité gère les séquences automatiques pour l'arrêt et le démarrage du système.

Mode Paramètres Automatiques : Consultez la section dédiée au «

- Mode paramètres automatique » pour plus de détails sur cette fonction.
- Demande d'Arrêt d'Urgence Logiciel : Cette option permet d'effectuer une demande d'arrêt d'urgence via le logiciel.

Zone inférieur gauche

Les quatre sections représentent les boucles principales anode, cathode, refroidissement et électriques. Les principales mesures y sont affichées et des contrôles permettent de piloter le système. Selon le mode utilisé, les contrôles peuvent être désactivé (voir Plage de réglage et autorisations).

Zone supérieur droite

Deux graphiques principaux permettent de garder à l'œil l'évolution des mesures sélectionnés.

Zone inférieur droite

Deux graphiques donnent l'état des tensions de cellules. Ces graphiques ne sont pas paramétrables.

- Barre Graphique des Cellules (à gauche) : Les tensions des cellules sont mesurées par paires et la moyenne est affichée. Ce graphique représente l'état général des tensions des cellules.
- Histogramme des Cellules (à droite) : Cet histogramme représente l'état des déviations des tensions des cellules par rapport à la médiane. Il offre une vue détaillée de la distribution des tensions des cellules.



Gestion des graphiques

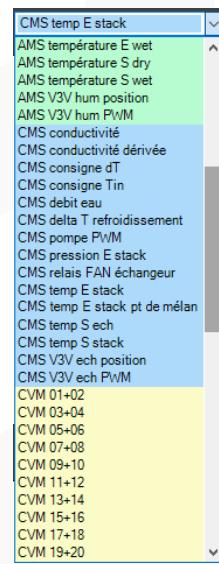
L'affichage interactif des graphiques permet plusieurs réglages.

Choix du graphique affiché

Toutes les mesures sont affichables dans les graphiques. Une liste déroulante permet de sélectionner le paramètre voulu. Ceux-ci sont rangés en plusieurs catégories :

- La cathode **AMS en vert**
- Le refroidissement **CMS en bleu**
- L'électrique **EMS et CVM en jaune**
- L'anode **HMS en rouge**
- Les paramètres systèmes **en jaune**

Le choix des affichages est enregistré entre chaque session pour l'IHM principale et les graphiques prédéfinis.



Réglage des axes :

Il est possible de régler l'axe du temps entre 20s et 3600s.

Par défaut, tous les graphiques sont synchronisés avec le graphique n°1 de l'IHM mais il est possible de les désynchroniser en décochant **syn x** et en choisissant une valeur pour **axe x(s)**.

Par défaut, l'axe Y est en mode automatique. Mais il est possible de régler une valeur manuelle en décochant **auto** et en renseignant des valeurs manuelles pour **yMin** et **yMax**.

Mode pause :

Le bouton pause sur l'interface IHM permet de figer les graphiques en cours et ainsi de pouvoir zoomer sur une valeur particulière (action molette ou clic souris).

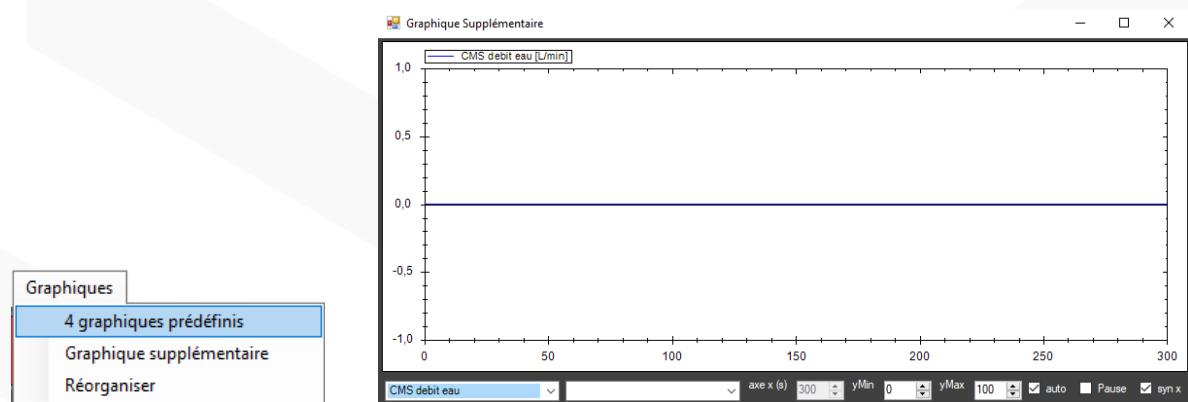
Dans le cas des graphiques pop-up, le bouton pause est individuel à chaque graphique.

Option supplémentaire :

Un clic droit sur un graphique donne accès à des options supplémentaires comme la capture d'écran ou la modification de l'échelle si l'on a utilisé le zoom.

Graphique supplémentaire :

Il est possible d'afficher des graphiques supplémentaires à partir du menu **Graphiques**.



Le choix des graphiques prédéfinis permet de garder en mémoire le choix des affichages, cependant ce n'est pas le cas si l'utilisateur ajoute des fenêtres à partir de **Graphique supplémentaire**.

Avertissement

Bien qu'il soit possible d'ouvrir un grand nombre de graphique, un trop grand nombre avec un axe de temps élevé peut amener à des problèmes de performances. Nous conseillons de limiter le nombre de graphique affichant un grand nombre de points.

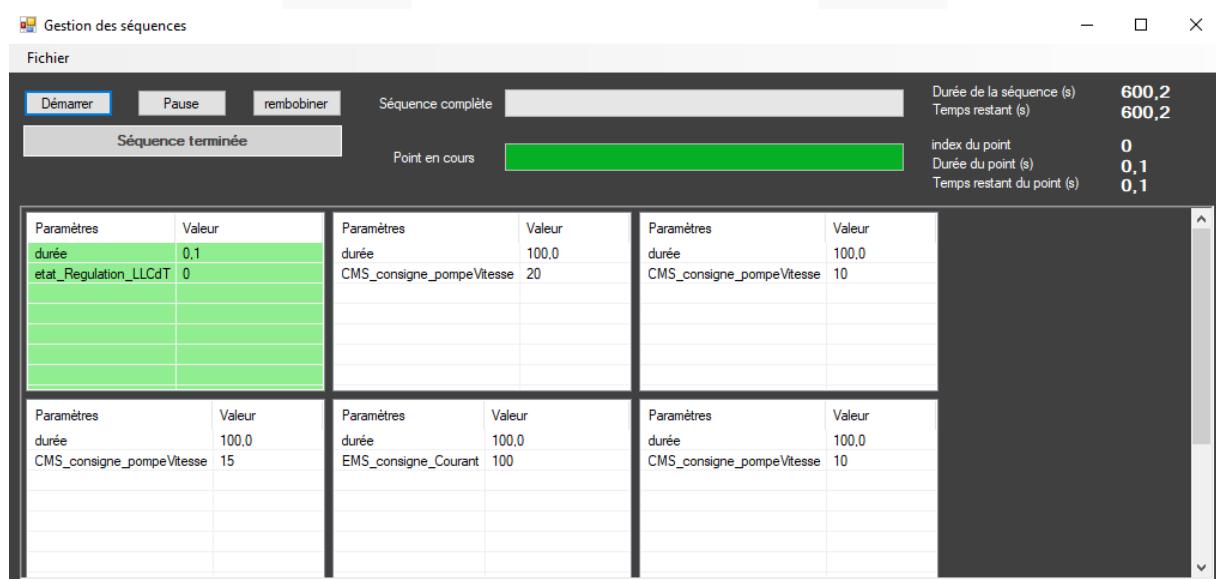
Fenêtre de gestion des séquences

Les séquences sont utilisées pour automatiser le pilotage du banc selon des séquences prédéfinies. L'utilisateur peut recourir à ce système lors des phases de démarrage et d'arrêt, ainsi que lors d'utilisations pour des campagnes d'essais complexes.

Arrêt – Démarrage : Dans ce mode, la séquence s'ouvre automatiquement et seule l'action de la lancer est disponible. Pendant le déroulement de la séquence, les contrôles restent accessibles, mais il est **fortement déconseillé de les modifier**, sous peine de perturber la séquence et de provoquer une défaillance du système.

Séquence Manuelle : L'utilisateur peut également choisir d'utiliser une séquence manuelle (voir la section Pilotage en mode séquence). Pour ouvrir une séquence, il suffit d'aller dans le menu "Fichier" et de sélectionner "Ouvrir une Séquence". En cas d'informations manquantes dans la séquence, un avertissement s'affichera. Une fois la séquence ouverte, l'utilisateur peut la démarrer, la mettre en pause et la rembobiner selon ses besoins. Les afficheurs dans la partie supérieure permettent de suivre l'évolution de la séquence.

Le panneau séquence n'est accessible qu'une fois le système démarré et dans les modes semi-manuel et manuel.



Modes de pilotage

Le démarrage et l'arrêt de la pile à combustible sont des phases critiques tout au long du cycle de vie du produit. Il est important de respecter des protocoles précis sous peine de dégradations sérieuses des performances et de la durabilité. Ces deux procédures seront codées de manière non modifiables par l'utilisateur. Cependant, à des fins éducatives, il reste intéressant de pouvoir modifier certains paramètres en fonctionnement afin d'analyser leur impact sur les performances du système. Pour cela trois modes de pilotage sont intégrés.

- Le mode « **semi-automatique** » (par défaut) permet une régulation automatique des paramètres du système. Dans ce mode, les séquences de démarrage/arrêt et le point de consigne du courant sont disponibles :
 - Démarrage / Arrêt
 - Consigne de courant
- Le mode « **semi-manuel** » permet de modifier la plupart des points de consigne du système pendant le fonctionnement.
- Le mode « **manuel** » ou administrateur permet de modifier tous les paramètres du système pendant le fonctionnement. Il donne aussi accès à des paramètres de réglages avancé qui permettent au fabricant d'effectuer les réglages du système.
L'utilisation de ce mode est **fortement déconseillée** car une mauvaise utilisation peut amener à des défaillances graves.

Mot de passe : 1tintin2



Attention, un mauvais couple de paramètres peut causer des dommages irréversibles aux composants et aux piles.

Plage de réglage et autorisations

Selon le mode d'IHM utilisé, tous les contrôleurs ne sont pas accessibles. Le tableau ci-dessous résume les autorisations accordées selon le mode en cours.

Plages de réglages IHM						
		MIN	MAX	semi-automatique	semi-manuel	manuel
ANODE						
Bouton	start			X	X	X
Bouton	stop			X	X	X
Bouton	EV Ligne H2					X
Bouton	EV ligne N2					X
Bouton	Régulation pression					X
Bouton	EV purge					X
Bouton	Purge auto					X
upDown	Constante de purge	1000	3000	A.s	X	X
upDown	durée de purge	500	1000	ms	X	X
upDown	Intervalle de purge max	5	60	s	X	X
upDown	dP anode - cathode	100	200	mbar	X	X
Cathode						
Bouton	Compresseur auto					X
upDown	vitesse compresseur	0	100	%		X
upDown	Stoechiométrie	1,6	3		X	X
upDown	Pression entrée pile	1000	2000	mbara	X	X
upDown	Bypass humidificateur	0	100	%	X	X
Refroidissement						
Bouton	Pompe					X
upDown	Delta T stack	1	14	°C	X	X
upDown	Température entrée stack	50	70	°C	X	X
Electrique						
upDown	courant stack	0	340	A	X	X
upDown	rampe	0	5	A/s	X	X
Bouton	pause				X	X
Panneau d'alerte						
Bouton	Demande état IDLE			X	X	X
Bouton	Demande de réinitialisation ECU					X
Bouton	All ON					X
Bouton	All OFF					X
Action	Activation / désactivation des erreurs					X
Option supplémentaires						
Régagements des PID						
Mode séquence						
Mode réglage autres (paramètres manuels sans limitations)						
Mode simulation interface						
X	autorisé					
	Non autorisé					

Procédure d'initialisation du banc

Pour des raisons de sécurité et bon fonctionnement du système, il est nécessaire d'assurer une faible conductivité du liquide de refroidissement. A chaque démarrage du système une procédure d'initialisation est donc nécessaire pour valider que les critères du circuit de refroidissement sont validés.

Les critères vérifiés sont les suivant

- La conductivité doit être en dessous du seuil définit. En effet le liquide de refroidissement est en contact avec les électrodes de la pile à combustible, il est donc impératif d'avoir un liquide non conducteur.
- Le débit d'eau doit être suffisant. Un débit inférieur au seuil peut être la conséquence d'une défaillance du circuit.
- Le débit d'eau doit être stable (bruit). Il est possible que des bulles d'air soient coincées dans le circuit. Cela peut avoir pour conséquence de mal refroidir la pile à combustible.

Ces tests permettent de valider que le refroidissement est exempt de défaut afin d'éviter tout emballement thermique.

Si le test n'est pas valide : voir Test de conductivité non valide



Il est important de rester vigilant aux dynamiques d'évolution de la conductivité durant les phases d'initialisation. Celle-ci est un indicateur clé du besoin de remplacer la cartouche dé-ionisante. En effet si temps requis pour atteindre le seuil de conductivité est de plus de 20 minutes, il est impératif de procéder au remplacement de la cartouche.

Procédure de démarrage

Préparation générale :

Sécurité

- Vérifier qu'il n'y ait pas d'objets pouvant gêner l'accès à des éléments d'intervention (extincteur, bouton d'arrêt d'urgence)
- Démarrer le système de ventilation

Azote

- Le stock d'azote doit être suffisant pour assurer l'étendu de l'essai (Consommation d'environ 10L pendant la procédure d'arrêt)
- Ouvrir l'alimentation : pression 7 bar gauge

Hydrogène

- Le stock d'hydrogène doit être suffisant pour assurer l'étendu de l'essai (Consommation d'environ 13LPM/KW)
- Ouvrir l'alimentation : pression 7 bar gauge

Préparation du banc d'essai

VERIFICATION

- Vérifier que le niveau de liquide de refroidissement se situe bien entre MIN et MAX
- Vérifier qu'il n'y ait pas d'opération en cours sur le système
(Check visuel : câble ou tube débranché, armoire électrique ouverte ...)
- Vérifier le niveau d'eau des jarres, les vider si le niveau est de plus de 1/3

ALIMENTATION

- Actionner le contacteur d'alimentation générale du banc
(A gauche sur l'armoire électrique)
- Maintenir appuyé 3s sur le bouton vert
- Si elle est éteinte, démarrer la charge électronique en actionnant son contacteur
- Démarrer la balance en appuyant sur le bouton ON

INTERFACE

- Démarrer l'interface IHM sur le PC.

En cas d'erreur

L'onglet « Alerte » doit être « Blanc » ou « orange » si ce n'est pas le cas veuillez ouvrir l'onglet pour vérifier quelle sécurité est déclenchée.

Pour faire un reset des erreurs, appuyer sur « demande IDLE ». Si le problème a été corrigé le système se remettra en attente d'instruction.

- Choisir un mode de pilotage

Les choix sont :

- Semi-automatique
- Semi-manuel
- Manuel

Voir « Modes de pilotage »

- Faire l'initialisation du système

Pour des raisons de sécurité et bon fonctionnement du système, il est nécessaire d'assurer une faible conductivité du liquide de refroidissement.

Ce test permet de valider les critères afin de s'assurer qu'il n'y ait pas de défaut.

Si le test de conductivité n'est pas valide, vous pouvez forcer la pompe avec les paramètres suivants :

Pompe : 100%
By-pass : 0%

Il faudra attendre une dizaine de minutes pour que la conductivité descende sous le seuil acceptable.

- Préparer l'affichage pour votre essai

Nous vous conseillons de préparer votre affichage en avance. Il est possible de choisir les graphiques affichés et d'en ajouter plus au besoin. Faites cela avant votre essai afin d'avoir toutes les informations pertinentes pendant le démarrage.

- Si vous avez besoin d'enregistrer les informations de l'essai. Ne pas oublier de lancer l'enregistrement du CSV
- Lorsque tout est prêt, vous pouvez ouvrir la séquence de start en appuyant sur « start » et la lancer.

Celle-ci dure environ 160 secondes

Ne changer aucun paramètre pendant la procédure

- Attendre la stabilisation de la température du système avant de changer les paramètres systèmes

(Environ 15 min)

Attention, si vous changez les paramètres avant la fin de la stabilisation en température le système pourrait être instable.

Procédure d'arrêt

INTERFACE

- Revenir à un courant modéré (entre 150 et 200A) en ayant l'option « **paramètres automatiques** » activée
- Appuyer sur « STOP » pour ouvrir la séquence d'arrêt.
- Lorsque vous êtes prêts, lancer la séquence de stop en appuyant sur « démarrer ». La séquence dure environ 100 secondes.
- Si l'enregistrement du CSV est toujours actif, n'oubliez pas de l'arrêter.

En cas d'erreur, aller à la section comment réagir en cas d'arrêt d'urgence.

BANC

- Fermer l'alimentation en hydrogène
- Fermer l'alimentation en azote
- Arrêter la hotte
- Couper l'alimentation en actionnant le contacteur du banc
- Vérifier le niveau d'eau des jarres, les vider si le niveau est de plus de 1/3

 Même après une dépolari-sation la tension de la pile peut remonter.

 Après l'arrêt les pièces du système peuvent encore être chaudes.

Utilisation en fonctionnement

Une fois que la procédure de démarrage est terminée et pour un fonctionnement optimal, il est nécessaire d'attendre quelques minutes que le système se stabilise. Pendant cette étape la température monte progressivement jusqu'à la consigne et les humidités s'équilibrent.

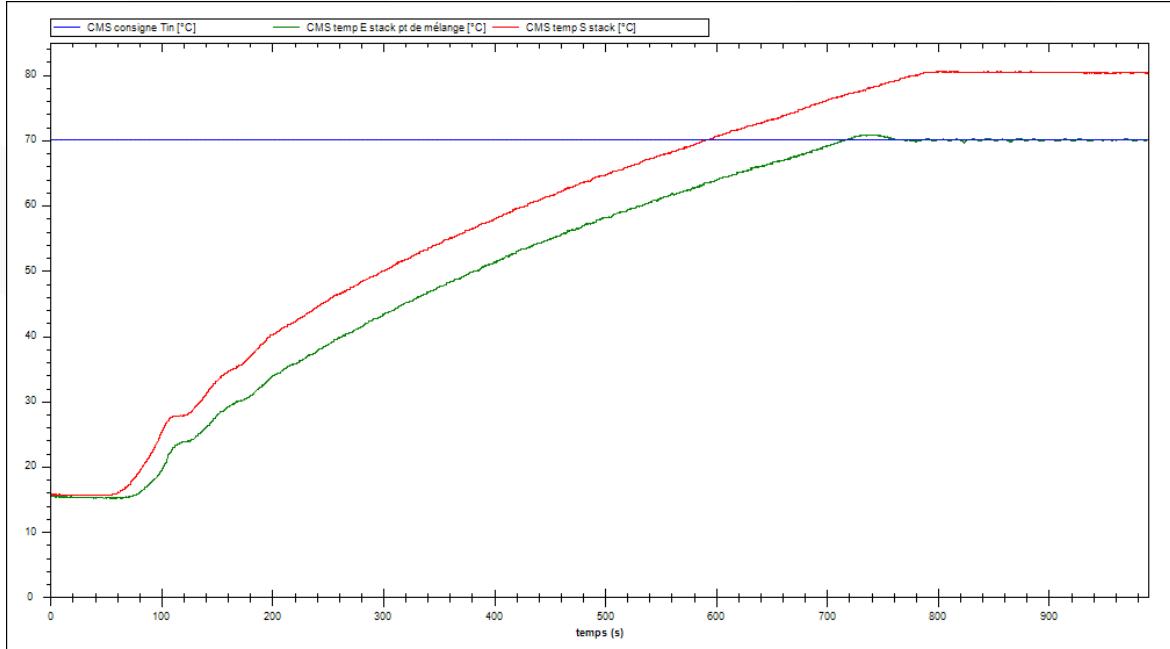


Figure 1 Montée en température après un démarrage de 15°C à 70°C en environ 12 min

Lorsque le système est prêt et selon votre mode de contrôle (voir Modes de pilotage) vous êtes prêt à piloter le système.

Attention, même si le système de contrôle limite les commandes avec des rampes, nous vous conseillons de ne pas changer les consignes avec des pas trop grands. En effet un changement trop rapide pourrait rendre le système instable.

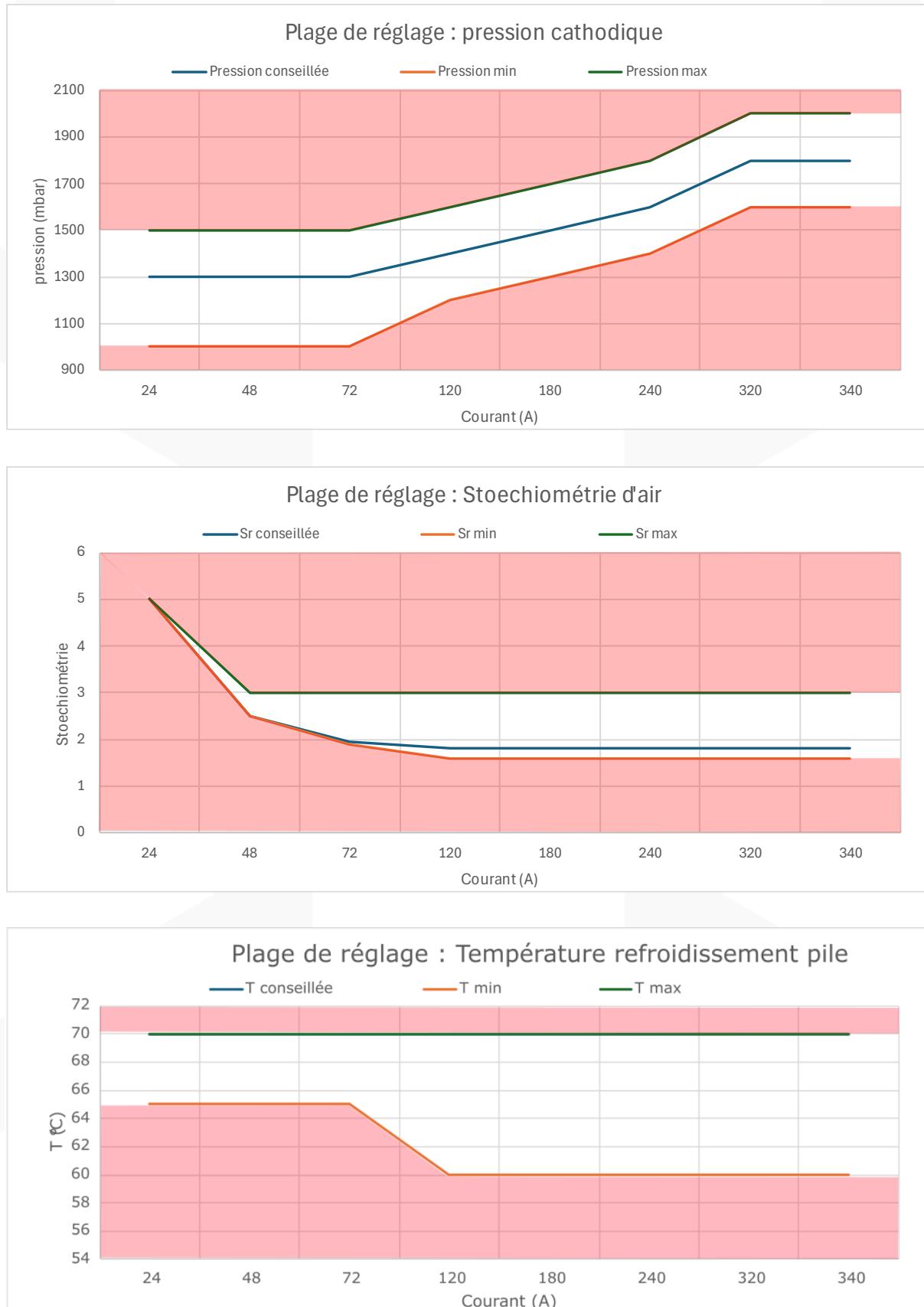
Les pas recommandés sont les suivants, les paramètres non indiqués n'ont pas de limite.

Paramètre	Diminution	Augmentation	Commentaire
Stœchiométrie d'air	0.2	-	Risque de noyage
Température stack	5°C	-	Risque de noyage
Delta température stack	2°C	2°C	Risque de noyage
Courant stack (avec rampe de 2A/s)	100A	50A	Instabilité générale

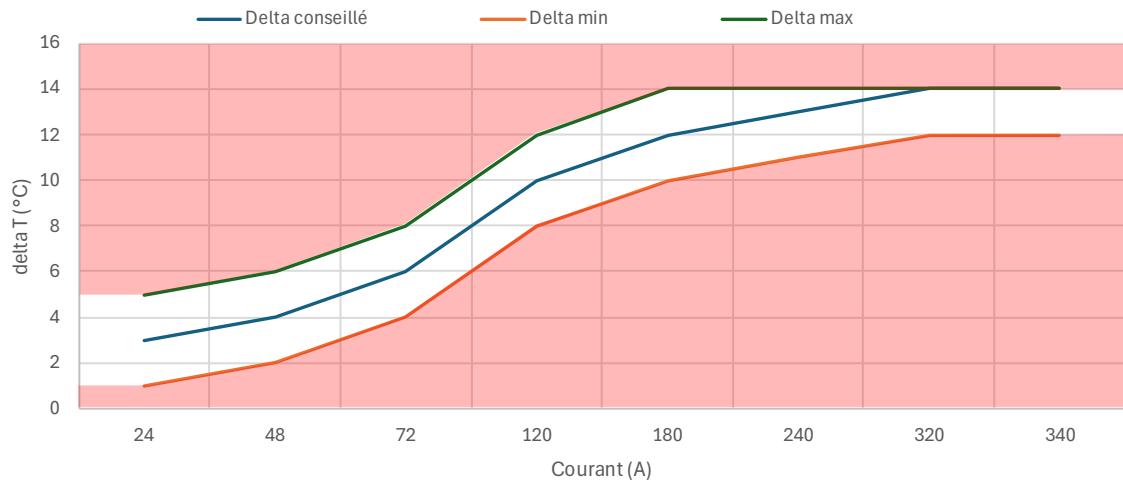
De façon générale, il est recommandé de ne pas trop s'écartez des paramètres recommandés. Le banc a été testé et validé avec les paramètres automatiques (voir Mode paramètres automatiques) et les combinaisons de réglages sont nombreuses. Il n'est donc pas possible de faire une cartographie totale des points de fonctionnement assurant un système stable.

La suite présente des plages de consignes conseillées en fonction du courant. Celles-ci ne garantissent pas un bon fonctionnement mais limiteront les instabilités.

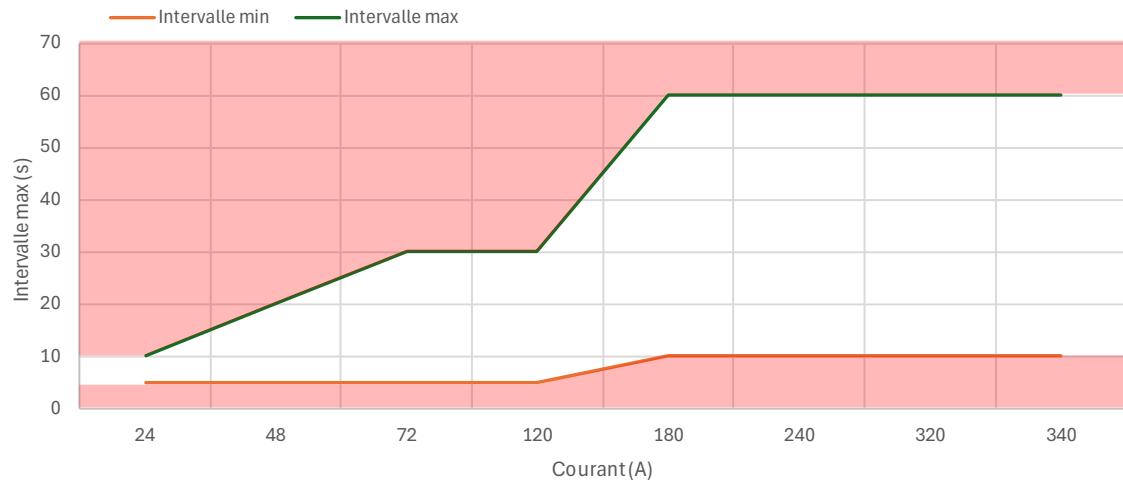
De façon générale, si vous observez un comportement instable, vous devez revenir vers les paramètres conseillés.



Plage de réglage : Delta température refroidissement pile



Plage de réglage : Intervalle de purge max



Mode paramètres automatiques

Après un démarrage le système passe en mode « **Paramètres auto** ». Ce mode permet d'envoyer automatiquement les consignes optimales en fonction du courant pour assurer le fonctionnement du système.



Nous recommandons vivement de rester dans ce mode lors des changements de courant. En effet, les paramètres varient fortement selon que le système fonctionne à bas ou à haut courant. Effectuer un changement du point de fonctionnement **sans un suivi adéquat des paramètres** pourrait entraîner une défaillance du système.

Si vous souhaitez changer de point de fonctionnement sans utiliser ce mode, vous devez principalement rester attentif à ne pas faire dévier trop fortement les paramètres suivants par rapport au tableau.

- La pression cathodique
- Le delta de température de la pile
- L'intervalle de purge anodique minimum (sous 100A)

Les paramètres envoyés sont les suivants, une interpolation linéaire est effectuée entre deux points de courants :

Courant (A)	Constante de purge	Durée de purge (ms)	Intervalle max de purge (s)	dP anode vs cathode	Sr cathode	Pression cathode	By-pass humidificateur (%)	dT refroidissement	Température pile
24	2500	500	10	200	3	1300	10	3	70
48	2500	500	20	200	2,1	1300	10	4	70
72	2500	500	30	200	1,95	1300	10	6	70
120	2500	500	30	200	1,8	1400	10	10	70
180	2500	500	60	200	1,8	1500	10	12	70
240	2500	500	60	200	1,8	1600	10	13	70
320	2500	500	60	200	1,8	1800	10	14	70
340	2500	500	60	200	1,8	1800	10	14	70

Pilotage en mode séquence

Le mode séquence permet à la fois d'effectuer les procédures de démarrage et d'arrêt, mais aussi de piloter le système avec des séquences prédéfinies, pour des campagnes d'essais par exemple.

Pour l'utilisation de ce mode sur l'IHM vous pouvez vous référer au chapitre Fenêtre de gestion des séquences.

Création de séquences personnalisées :

Deux formats sont possibles pour l'écriture de séquences. Selon le type de pilotage voulu, l'un ou l'autre peut être plus approprié.

Format .sequence : Ce format permet de définir uniquement les paramètres voulus à chaque pas de temps. Le formatage se fait de la façon suivante.

```
{ // on commence par le cooling
    duree = 10
    etat_Regulation_LLCdT = 1
    etat_Regulation_LL Cin = 1
    CMS_consigne_TLLCin = 70
    CMS_consigne_LL CdT = 0 // force un débit élevé pendant 10s
}

{ // DT cooling
    duree = 0.1

    CMS_consigne_LL CdT = 10
    securite_CMS_Conductivite = 1
}
```

Les règles sont les suivantes

- Chaque point de la séquence doit être encadré par des accolades
- Chaque point de la séquence doit contenir la durée du point (duree = 10 par exemple).
- Il doit y avoir une ou plusieurs consignes dans chaque point de la séquence
- On peut ajouter des commentaires en utilisant la balise « // »
- La séquence sera refusée si elle contient une erreur
 - Nom non reconnu
 - Caractère en trop
 - Accent en trop
 - Retour à la ligne non respecté

Si la séquence est refusée, vous pouvez regarder dans la console de l'interface pour comprendre quel élément a posé un problème.

Format .csv : Ce format peut être plus approprié si vous avez un grand nombre de points ou que vous voulez utiliser le tableur pour les calculer. Le format est le suivant.

duree	EMS_consigne_Courant	AMS_consigne_contrePression	...
25	200	1500	
25	200	1600	
20	150	1600	
20	150	1500	

Les délimiteurs utilisés pour le csv sont les points-virgules « ; »

Si la séquence est refusée, vous pouvez regarder dans la console de l'interface pour comprendre quel élément a posé un problème.

Remarques générales :

- Un trop grand nombre de points pourrait affecter les performances de l'interface.
- Le pas de temps minimum est de 0.1s mais son respect n'est pas garanti.
- Votre séquence sera ignorée si « paramètres auto » est activé.

Liste des paramètres utilisables :

Les paramètres possibles sont les suivants. Une liste plus exhaustive se trouve à la section «

Envoi de paramètres sur le bus CAN » mais il est fortement déconseillé de les utiliser sous peine de provoquer une défaillance grave du système.

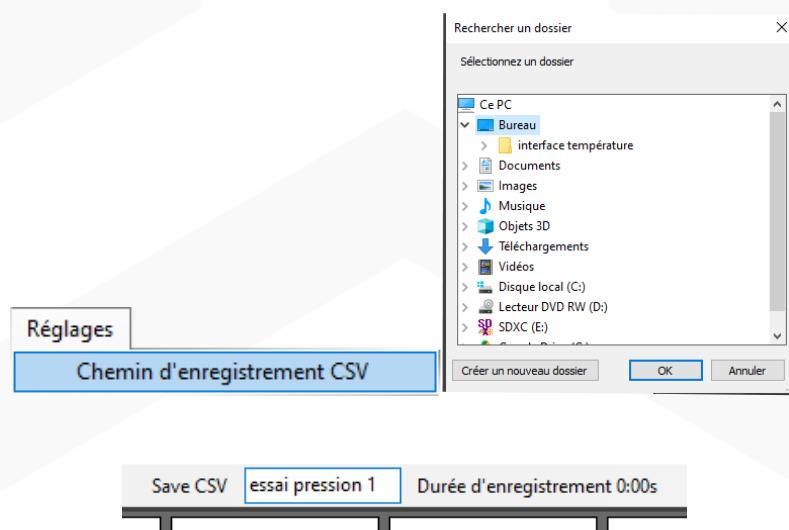
Il est important de ne pas faire de fautes lors de l'écriture du nom des paramètres, il ne doit pas y avoir d'accents ni d'espace. Les majuscules doivent être respectés.

Il est important de respecter les paramètres min / max, leur dépassement pourrait amener à une défaillance.

Nom	Description	min	max	unité
Cathode				
AMS_consigne_Sr	Consigne de stoechiométrie air	1,6	3	NA
AMS_consigne_Pos_V3VbyPass	Position de la vanne de bypass humidificateur	0	100	%
AMS_consigne_contrePression	Consigne de contre pression	1000	2000	mbara
Anode				
HMS_consigne_dPAnodeCathode	Consigne de dP anode vs cathode	100	200	mbara
HMS_consigne_purgeDuree	Consigne de durée de purge	500	1000	ms
HMS_consigne_purgeConstante	Consigne de constante de purge	1000	3000	A.s
HMS_consigne_intervalleMaxPurge	Consigne d'intervalle max de purge	5	60	s
Refroidissement				
CMS_consigne_TLLCin	Consigne de température d'entrée pile	50	70	°C
CMS_consigne_LLCdT	Consigne de delta température pile	1	14	°C
Electrique				
EMS_consigne_Courant	Consigne de courant	0	340	A
EMS_consigne_RampeCourant	Consigne de rampe de courant	0	5	A/s

Système d'enregistrement des CSV

L'interface offre la possibilité d'enregistrer les points de mesure afin de pouvoir les post-traiter ultérieurement. Tout d'abord, si cela n'a pas été fait, vous pouvez renseigner le dossier d'enregistrement du fichier. Celui-ci sera gardé en mémoire entre chaque session.



Choisissez ensuite le nom de votre essai. Votre fichier sera automatiquement formaté selon le format suivant :

« aammjj HHhMM nomDuFichier.csv »

« 240415 17h08 essai pression 1.csv »

Lorsque l'enregistrement est en cours le bouton « save csv » passe en rouge et change pour « stop csv ». Vous pouvez réappuyer dessus pour arrêter l'enregistrement.

Attention, si vous lancez deux enregistrements successivement en moins d'une minute le premier risque d'être écrasé car l'heure n'aura pas changé.

Le format du fichier enregistré sera la suivant, avec un pas de temps de 0.1s.

time epoch	time	AMS compresseur PWM [%]	AMS compresseur Sr []	AMS consigne contre pression [mBar]	AMS debit E cathode [g/s]	...
1712764532	212,981295	65,55	3	1400	4,82	...
1712764532	213,081898	65,58	3	1400	4,81	
1712764532	213,182899	65,59	3	1400	4,8	
1712764532	213,283898	65,65	3	1400	4,81	
1712764532	213,385898	65,66	3	1400	4,79	...

« time epoch » est l'horodatage absolu ; il s'agit du nombre de secondes depuis le 1^{er} Janvier 1970 au standard GMT. Sa précision est de 0.001s.

« time » est le nombre de millisecondes écoulé depuis le début de l'enregistrement.

Chaque colonne suivante représente ensuite les mesures, leurs unités sont indiquées dans le libellé entre crochets [unité].

Ouverture des fichiers CSV

Le format CSV est un universel mais il peut ne pas être évident à exploiter lorsque le nombre de lignes est important. Si le tableur a du mal à ouvrir les fichiers nous vous conseillons d'utiliser les langages python ou Matlab pour faire le traitement de donnés.

Pour un aperçu rapide, une application spécialement développée par Hydroxide Technologies est fournie sur le bureau du PC IHM.

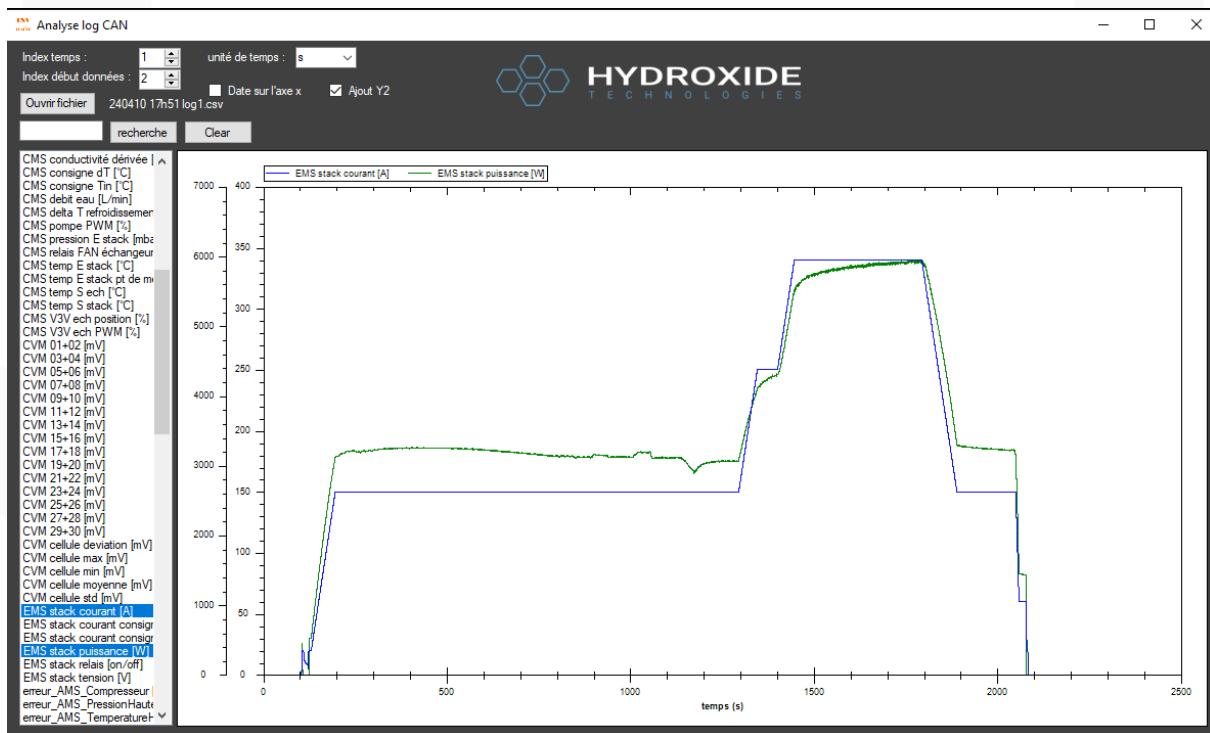


Figure 2 Exemple d'affichage avec l'outil d'ouverture de CSV

Liste des paramètres enregistrés.

L'ensemble des capteurs ainsi que les consignes et les états des actionneurs sont enregistrées dans le fichier csv.

Pour avoir la liste exhaustive, vous pouvez vous référer à la section (Fichier DBC).

Le nombre de mesure étant grand, celles-ci sont regroupées selon les attributs suivants :

AMS	Boucle cathodique
HMS	Boucle anodique
CMS	Boucle de refroidissement
EMS	Informations électriques sur la pile
CVM	Tensions de cellules
erreur	Etat des erreurs système
securite	Etat des sécurités système
système	Informations système

Sécurité

Le but de cette section est d'expliquer l'architecture du système de sécurité, ainsi que de décrire les actions en cas de problèmes.

Sécurités et erreurs

Les sécurités du système sont gérées par le contrôleur du banc. Le PC n'a pas de rôle dans ces actions et n'est là qu'en tant qu'observateur.

Le système fonctionne en combinant deux variables principales : l'état de sécurité et l'état d'erreur.

Erreur

L'erreur est l'état d'une variable par exemple la température par rapport à un critère donné. Si le critère d'erreur est validé, alors l'état est haut.

Sécurité

La sécurité détermine si une action doit être entreprise en cas d'erreur. Il est possible qu'une erreur soit à l'état haut sans nécessiter d'action. Par exemple, lors d'un démarrage, la tension est initialement basse, déclenchant ainsi l'erreur. Cependant, aucune action n'est déclenchée car la sécurité est désactivée à ce moment-là.

On trouve deux types de sécurités :

- **La sécurité non désactivable** : Celle-ci surveille un seuil critique pouvant mener à une défaillance grave. Il n'est pas possible de l'inhiber.
Ex : Pression trop importante ou température trop haute
- **La sécurité désactivable** : Celle-ci surveille un seuil uniquement lorsqu'on le demande. Il est nécessaire de la désactiver à certaines étapes du fonctionnement comme à l'arrêt par exemple.
Ex : Tension de pile basse à l'arrêt, ce qui est normal

À travers l'interface utilisateur, l'opérateur peut consulter à la fois l'état de la sécurité et de l'erreur (voir panneau d'alerte).

Déclenchement d'une action

Le déclenchement d'une action fonctionne comme suit : si une sécurité est active et qu'une erreur passe à l'état haut, un timer est alors déclenché. Si le temps de maintien est suffisant, l'erreur est considérée comme validée et un arrêt d'urgence est demandé pour mettre le système dans un état de sécurité.

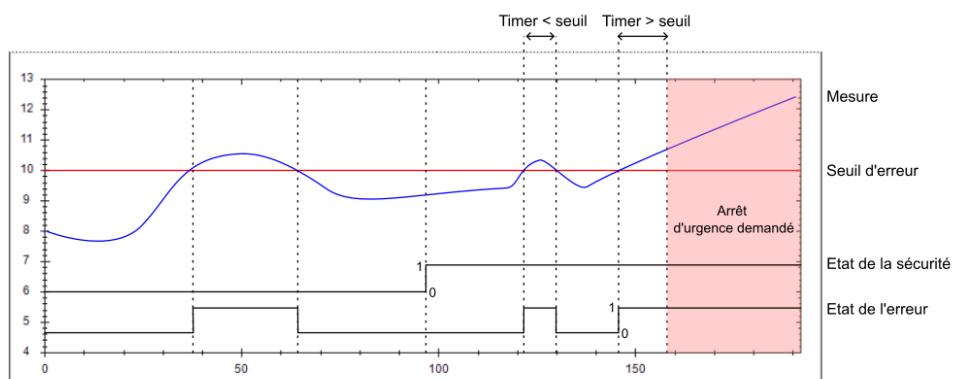


Figure 3 Chronogramme déclenchement d'une sécurité

Le tableau des paramètres avec la plage et la durée avant que la sécurité ne soit déclenchée se trouve à la section suivante (Liste des erreurs possibles).

Procédures d'arrêt d'urgence

Arrêt d'urgence logiciel

Lorsqu'une erreur est détectée par le système, un arrêt d'urgence est immédiatement demandé. Cette mesure vise à stopper rapidement toutes les opérations potentiellement dangereuses.

Procédure d'arrêt d'urgence :

L'arrêt d'urgence implique les actions suivantes :

- Arrêt du courant de la pile.
- Coupure des arrivées de gaz et ouverture de la purge pour évacuer toute surpression résiduelle.
- Coupure du compresseur pour interrompre tout apport supplémentaire de gaz.
- Maintien de l'activation du circuit de refroidissement pour prévenir tout risque d'emballage thermique.

Ces mesures combinées garantissent un arrêt rapide et sécurisé du système en cas de détection d'une erreur critique.

Dans le cas particulier d'une détection par le capteur d'hydrogène interne au banc, la procédure d'arrêt d'urgence est complétée par une action supplémentaire :

- Après l'application de la procédure standard d'arrêt d'urgence, la coupure de l'alimentation générale est initiée à partir du système de watchdog.

Cette action renforce la sécurité en garantissant une interruption totale de l'alimentation électrique du système, offrant ainsi une protection supplémentaire en cas de détection d'hydrogène.

Arrêt d'urgence physique

Deux boutons d'arrêt d'urgence physiques sont intégrés au banc d'essai pour une réaction rapide en cas de situation critique.

- Le premier bouton est situé sur la façade avant du banc, offrant ainsi un accès immédiat à l'utilisateur en cas d'urgence.
- Le deuxième bouton est filaire et doit être positionné au poste de contrôle du système pour une accessibilité optimale.

L'appui sur l'un de ces boutons entraîne la coupure de l'alimentation électrique principale du banc. Tous les éléments critiques étant monostables, ceux-ci retournent dans un état assurant la sécurité du système.

Conséquences d'un arrêt d'urgence

Il est important de noter que l'arrêt d'urgence vise à garantir la sécurité de l'utilisateur. Cependant, cette opération peut entraîner des dommages au matériel, notamment à la pile à combustible, qui reste dans un état pouvant accélérer sa dégradation.

Malgré cette considération, la priorité demeure la sécurité de tous les intervenants, et l'arrêt d'urgence reste un moyen essentiel pour prévenir les risques.



Après un arrêt d'urgence en fonctionnement la pile reste sous tension.

Comment réagir en cas d'arrêt d'urgence ?

Un arrêt d'urgence peut être déclenché dans diverses situations critiques pour garantir la sécurité du système et de ses utilisateurs :

Déclencheurs d'arrêt d'urgence :

- Appui sur l'un des boutons physiques dédiés à l'arrêt d'urgence.
- Déclenchement manuel via l'IHM.
- Déclenchement automatique à la suite d'une détection d'erreur par le système.

Situations courantes entraînant un arrêt d'urgence :

- Timeout d'un des éléments :
Si la communication entre les différents systèmes du banc, tels que l'IHM, la balance ou la charge électronique, est interrompue, un arrêt d'urgence est automatiquement initié pour prévenir tout risque potentiel.
- Erreur de manipulation du banc :
Un mauvais couplage des paramètres pendant le fonctionnement peut entraîner une instabilité excessive du système, nécessitant un arrêt d'urgence pour limiter les dommages à la pile à combustible.
- Porte ouverte :
L'ouverture de la porte du système pendant son fonctionnement déclenche automatiquement son arrêt afin de prévenir tout accident potentiel.

Ces mesures d'arrêt d'urgence sont conçues pour garantir la sécurité des opérations et minimiser les risques pour les utilisateurs et le matériel.

Le banc est en erreur, que faire ?

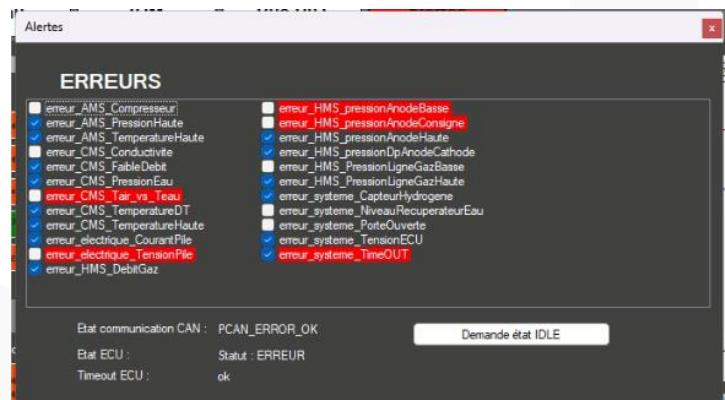
Dans une situation d'arrêt d'urgence logiciel, le gyrophare du système clignote en rouge indiquant ainsi un problème. Dans cette situation il n'est alors plus possible d'envoyer des consignes au système. Avant toute manipulation il est important de déterminer l'origine de l'erreur, une fois celle-ci corrigé, vous pouvez alors demander un retour à la normal (voir Panneau d'alerte).

Si la demande de retour à l'état normal n'a pas d'effet, cela veut dire qu'une erreur est toujours présente.

Ex : Si la balance est éteinte le système restera en erreur car le timeout n'est pas résolu.

Dans l'exemple ci-contre, un arrêt d'urgence s'est produit et le système est actuellement en état d'erreur. Plusieurs erreurs sont actives, cependant, leurs sécurités ne sont pas engagées ; ce sont simplement des conditions inhérentes à l'état du système. Seule l'erreur de timeout est active, accompagnée de sa sécurité. Ainsi, la cause de l'arrêt est attribuée à un timeout.

Il peut arriver que plusieurs sécurités aient été déclenchées simultanément. Dans une telle situation, la recherche de la cause initiale de l'arrêt d'urgence devient plus complexe, nécessitant une analyse approfondie pour déterminer les facteurs ayant contribué à cet événement.



Dépolarisation forcée

Lors d'un arrêt d'urgence en fonctionnement, il est important de noter que la pile à combustible reste sous tension et que les canalisations ne sont pas purgées. Dans cette situation, il faut compter quelques minutes pour que la tension redescende, tandis que l'hydrogène peut demeurer dans les canalisations pendant plusieurs jours. Cette situation peut accélérer les dégradations de la pile et représenter un risque dans les manipulations de l'utilisateur. Pour revenir à un état arrêté plus sécurisant, deux options sont disponibles :

- Redémarrage suivi d'un arrêt normal : Cette méthode implique de redémarrer le système puis de procéder à un arrêt normal, garantissant ainsi une mise en sécurité complète.
- Dépolarisation uniquement : Une alternative consiste à effectuer une dépolarisation uniquement, ce qui peut être réalisé en utilisant la procédure spéciale disponible dans le menu Réglages sous l'option Dépolarisation forcée. Il est important de noter que cette procédure est soumise aux mêmes conditions de préparation qu'un démarrage normal, comme détaillé dans la procédure de démarrage. La seule différence étant la procédure (Procédure de démarrage).

Liste des erreurs possibles

Le tableau suivant recense toutes les erreurs possibles ainsi que leurs seuils critiques et leurs temporisations.

ID	Type	Nom	Condition	Délais de maintient ms	Commentaires
Système					
0	Désactivable sécurité	Systeme_PorteOuverte	porte ouverte	500	Ouverture pendant le fonctionnement interdit
1	Désactivable sécurité	Systeme_NiveauRecuperateurEau	balance anode > 8kg => 10 % lf ou =<-1%	1000	Risque de débordement des réservoirs
2	Toujours ON sécurité	Systeme_CapteurHydrogene	Uecu <= 11V ou >= 14V	100	Fuite hydrogène
3	Toujours ON sécurité	Systeme_TensionECU	timeout HIM	2000	Erreurs ECU
4	Toujours ON sécurité	Systeme_TimeOUT	timeout PT100_1	2000	Erreur de communication
			timeout PT100_2	2000	
			timeout TRI-CAN in stack	2000	
			timeout TRI-CAN out stack	2000	
			timeout CVM1	2000	
			timeout CVM2	2000	
			timeoutCharge	2000	
			timeoutBalance	5000	
Refroidissement					
5	Toujours ON sécurité	CMS_TemperatureHaute	(Tin >= 75°C OU Tout >= 87°C => 17°C)	ou ou ou	<= 0°C <= 0°C Surchauffe
6	Toujours ON sécurité	CMS_TemperatureDT	Qdompe >= 0.5J/min	1000	Problème de conductivité
7	Désactivable sécurité	CMS_Conductivite	=> 45 μs/cm => 0.5J/min	1000	Débit de liquide faible
8	Toujours ON sécurité	CMS_FaibleDebit	et => 0.5J/min => 1 barg	1000 100	problème pertes de charges cooling (colmatage,etc) problème de conductivité
9	Toujours ON sécurité	CMS_PressionEau	relais stack == 1 ou => 800 bar	100	Défaillance du refroidissement
22	Désactivable sécurité	CMS_Tair_vs_Teau	Tair_out >= T cool_out + 10°C	5000	
10	Toujours ON sécurité	AMS_TemperatureHaute	(outComp >= 110°C OU (out intercooler >= 75°C out comp >= 1.2 barg OU (in stack >= 1.2 barg => 0.15g/s OU (<= -0.1g/s	1000 100 100 1000 1000	Surchauffe Surchauffe ou erreur capteur Surchauffe Surchauffe Surchauffe
11	Toujours ON sécurité	AMS_PressionHaute	<= 0°C ou <= 0.8bara <= 0.8bara)	100	Suppression
12	Désactivable sécurité	AMS_Compreseur	>= 12g/s	1000	problème contrôle compresseur
13	Toujours ON sécurité	HIVS_PressionLigneGazHaute	P H2>=10 barg OU (P N2>=10 barg => 5 barg)	100	Surpression arrivée de gaz
14	Désactivable sécurité	HIVS_PressionLigneGazBasse	OU (=> 5 barg)	500	manque de pression pour le fonctionnement
15	Toujours ON sécurité	HIVS_DebitGaz	Sr H2 > 1A et >2500mbarra	4000	manque de pression pour le fonctionnement
16	Toujours ON sécurité	HIVS_pressAnodeHaute	ou <100mbarra	100	Fuite potentielle
17	Désactivable sécurité	HIVS_pressAnodeConsigne	P anode in - P anode consigne in > 50mbarra	3000	Problème de pression anode
18	Désactivable sécurité	HIVS_pressAnodeBasse	IN<10mbarra	100	Erreur de suivi de consigne
19	Toujours ON sécurité	HIVS_pressDpAnodeCathode	OUT<1100 mbarra PinH2 - Pin air > 500	300	Mancue d'hydrogène
			Pin air > Pin H2	et	Défaut trop grand
Electrique					
20	Toujours ON sécurité	electrique_CourantPile	>35A	ou	<-0.5A
21	Désactivable sécurité	electrique_TensionPile	Urecu > 1.1V	ou	Ucell < 0.5V
					ou_max - min > 200mV
					500
					Tension de cellule normale

Avancée

Communication annexe

API CAN

Le système communique sur un bus de CAN. Les différentes valeurs échangées sont décrites dans un fichier DBC ainsi que dans les compléments suivants.

Pour tous les échanges sur le bus CAN, la vitesse de transmission est la suivante.

Baud rate	250 kbit/s
-----------	------------

Lecture des données sur le bus CAN

Il est possible de se brancher directement sur le bus CAN pour récupérer les signaux via une interface tierce. Pour ce faire, vous pouvez utiliser votre propre interface et décoder les signaux avec les informations suivantes.

Fichier DBC

Le fichier DBC contient une description détaillée des messages et signaux qui peuvent être échangés sur un bus CAN. Il comprend des informations telles que le nom des messages, les identifiants de messages, les noms et les valeurs des signaux, ainsi que d'autres informations de configuration importantes.

Messages CAN : Chaque message est identifié par un identifiant unique. Le fichier DBC spécifie le nom du message, son identifiant, sa fréquence d'émission, etc.

Signaux : Les messages CAN peuvent contenir plusieurs signaux, qui représentent des données spécifiques transmises à l'intérieur du message. Ces signaux ont des noms, des valeurs, des unités de mesure et des limites de valeurs définies dans le fichier DBC.

Attributs : Le fichier DBC peut également spécifier différents attributs pour les messages et les signaux, tels que l'ordre d'octets (little-endian ou big-endian), le facteur d'échelle pour convertir les valeurs brutes en valeurs d'ingénierie, etc.

Commentaires : Les fichiers DBC peuvent également inclure des commentaires pour documenter le fonctionnement des messages et des signaux, ce qui est particulièrement utile pour les développeurs qui travaillent sur les systèmes CAN.

Ce fichier vous est fourni avec ce manuel et une copie sur trouve dans les fichiers du logiciel IHM.

Envoi de paramètres sur le bus CAN



Veuillez contacter le fabricant si vous voulez utiliser ce mode d'utilisation. Certaines procédures indispensables sont gérées par l'IHM et des conflits de communications risquent d'apparaître.

Le système est fait de telle manière qu'un unique message multiplexé permet d'envoyer toutes les commandes possibles.

La structure d'envoi des informations n'est pas décrite dans le fichier DBC, voici son format :

Type de message	Standard
Adresse	0x550
Ordre des bits	Motorola

Bit :	DATA byte	DATA 0	DATA 1	DATA 2
	7 6 5 4 3 2 1 0	7 6 5 4 3 2 1 0	7 6 5 4 3 2 1 0	7 6 5 4 3 2 1 0
Signal name	ID multiplexeur uint8 [0-255]		Valeur int16 gain / offset variable	
Adress bit	0 1 2 3 4 5 6 7	8 9 10 11 12 13 14 15	16 17 18 19 20 21 22 23	

Les paramètres suivants sont pilotables via la communication CAN. Cependant certains sont pilotés par les régulations et seront donc réécrit directement.

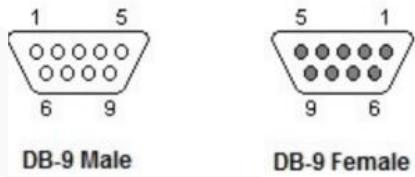
Les paramètres suivants ne sont pas utilisables par l'utilisateur :

- AMS_consigne_VentilateurIntercooler
- HMS_consigne_pos_EVejecteur
- HMS_etat_EV_purgeEau
- CMS_etat_ventilateurRadiateur
- AMS_etat_VentilateurCompresseur
- HMS_consigne_pos_EVejecteur2

ID (10)	Nom	Description	min	max	gain	offset	unité
0	systeme_demandeARU	ETAT SYSTEME INIT = 0 IDLE = 1 START = 2 RUN = 3 STOP = 4 ERREUR = 5 MANUEL = 6 RESET = 7 SEQUENCE = 8	0	1	1	0	NA
1	systeme_demandeEtat		0	255	1	0	NA
2	AMS_consigne_CompresseurVitesse	Vitesse du compresseur	0	100	0,01	0	%
3	AMS_consigne_Sr	Consigne de stoechiométrie air	1	3	0,01	0	NA
4	AMS_consigne_VentilateurIntercooler	Pilotage de la vitesse du ventilateur intercooler	0	100	0,01	0	%
5	AMS_consigne_Pos_V3VbyPass	Position de la vanne de bypass humidificateur	0	100	0,01	0	%
7	AMS_consigne_Pos_EV_contrePression	Position de la vanne de contre pression	0	100	0,01	0	%
8	AMS_consigne_contrePression	Consigne de contre pression	1000	2000	1	0	mbara
9	HMS_etat_EV_entreeH2	Etat de la vanne d'entrée hydrogène	0	1	1	0	on/off
10	HMS_etat_EV_entreeN2	Etat de la vanne d'entrée azote	0	1	1	0	on/off
11	HMS_consigne_pos_EVejecteur	Position de la vanne proportionnelle anodique	0	100	0,01	0	%
12	HMS_consigne_dPAnodeCathode	Consigne de dP anode vs cathode	0	2000	1	0	mbara
13	HMS_etat_EV_purgeStack	Etat de la vanne de purge anodique	0	1	1	0	on/off
14	HMS_consigne_purgeDuree	Consigne de durée de purge	100	5000	1	0	ms
15	HMS_consigne_purgeConstante	Consigne de constante de purge	100	10000	1	0	A.s
16	HMS_etat_EV_purgeEau	Etat de la vanne de purge séparateur d'eau	0	1	1	0	on/off
17	CMS_consigne_pos_V3VbyPass	Position de la vanne de bypass échangeur de refroidissement	0	100	0,01	0	%
18	CMS_consigne_TLClm	Consigne de température d'entrée pile	0	70	0,01	0	°C
19	CMS_etat_ventilateurRadiateur	Etat du ventilateur de refroidissement	0	1	1	0	on/off
20	CMS_consigne_pompeVitesse	Pilotage de la vitesse pompe	0	100	0,01	0	%
21	CMS_consigne_LLCdT	Consigne de delta température pile	0	14	0,01	0	°C
22	EMS_consigne_Courant	Consigne de courant	0	340	0,01	0	A
23	EMS_etat_relaistStack	Etat du relais pile	0	1	1	0	on/off
24	AMS_etat_VentilateurCompresseur	Etat du ventilateur compresseur	0	1	1	0	on/off
25	EMS_consigne_RampeCourant	Consigne de rampe de courant	0	20	0,01	0	A/s
26	etat_Regulation_SrCathode	Etat de la régulation de stoechiométrie d'air	0	1	1	0	on/off
27	etat_Regulation_LLCdT	Etat de la régulation de delta T pile	0	1	1	0	on/off
28	etat_Regulation_LLCin	Etat de la régulation de T entrée pile	0	1	1	0	on/off
29	etat_Regulation_pressionAnode	Etat de la régulation de pression anodique	0	1	1	0	on/off
30	etat_Regulation_pressionCathode	Etat de la régulation de pression cathodique	0	1	1	0	on/off
31	etat_Regulation_purgeAnode	Etat de la régulation de purge	0	1	1	0	on/off
32	HMS_consigne_pos_EVejecteur2	Position de la vanne proportionnelle anodique n°2	0	100	0,01	0	%
33	HMS_consigne_intervalleMaxPurge	Consigne d'intervalle max de purge	1	200	1	0	s
100	securite_systeme_PorteOuverte	pilotage de la sécurité	0	1	1	0	on/off
101	securite_systeme_NiveauRecuperateurEau	pilotage de la sécurité	0	1	1	0	on/off
102	securite_systeme_CapteurHydrogene	pilotage de la sécurité	0	1	1	0	on/off
103	securite_systeme_TensionECU	pilotage de la sécurité	0	1	1	0	on/off
104	securite_systeme_TimeOUT	pilotage de la sécurité	0	1	1	0	on/off
105	securite_CMS_TemperatureHaute	pilotage de la sécurité	0	1	1	0	on/off
106	securite_CMS_TemperatureDT	pilotage de la sécurité	0	1	1	0	on/off
107	securite_CMS_Conductivite	pilotage de la sécurité	0	1	1	0	on/off
108	securite_CMS_FaibleDebit	pilotage de la sécurité	0	1	1	0	on/off
109	securite_CMS_PressionEau	pilotage de la sécurité	0	1	1	0	on/off
110	securite_AMS_TemperatureHaute	pilotage de la sécurité	0	1	1	0	on/off
111	securite_AMS_PressionHaute	pilotage de la sécurité	0	1	1	0	on/off
112	securite_AMS_Compresseur	pilotage de la sécurité	0	1	1	0	on/off
113	securite_HMS_PressionLigneGazHaute	pilotage de la sécurité	0	1	1	0	on/off
114	securite_HMS_PressionLigneGazBasse	pilotage de la sécurité	0	1	1	0	on/off
115	securite_HMS_DebitGaz	pilotage de la sécurité	0	1	1	0	on/off
116	securite_HMS_pressionAnodeHaute	pilotage de la sécurité	0	1	1	0	on/off
117	securite_HMS_pressionAnodeConsigne	pilotage de la sécurité	0	1	1	0	on/off
118	securite_HMS_pressionAnodeBasse	pilotage de la sécurité	0	1	1	0	on/off
119	securite_HMS_pressionDpAnodeCathode	pilotage de la sécurité	0	1	1	0	on/off
120	securite_electrique_CourantPile	pilotage de la sécurité	0	1	1	0	on/off
121	securite_electrique_TensionPile	pilotage de la sécurité	0	1	1	0	on/off
122	securite_CMS_Tair_vs_Teau	pilotage de la sécurité	0	1	1	0	on/off
132	securite_allONOFF	pilotage de toutes les sécurités	0	1	1	0	on/off
255	watchdog	watchdog de timeout communication	0	1	1	0	on/off

Connexion sur le bus CAN

Le bus CAN du système est partagé par plusieurs éléments. Pour faciliter la connexion de chacun, un panneau de distribution est intégré à l'armoire électrique principale. Celui-ci dispose de 4 x 4 emplacements sur la façade extérieure. Une partie de ces emplacements est laissée libre afin de permettre des évolutions futures.



Pinout des connecteurs DB-9



PIN	1	2	3	6	7	9
Signal	5V 0.2A	CAN L	GND	GND	CAN H	12V 0.2A

Attention, les nœuds du réseau CAN doivent être disposés de façon chaînée pour limiter les perturbations. Si vous ajoutez des éléments sur le bus, veillez à ne pas avoir de trop grandes longueurs de câbles.

Il est également possible de changer les emplacements des résistances de terminaisons. Pour cette opération, veuillez vous adresser au fabricant.

Régulations

Le système comprend un certain nombre de régulations avec des stratégies de contrôle commandé plus ou moins complexes.

Certaines de ces régulations sont hard codées et ne sont modifiables qu'en reflashant l'ECU (Veuillez contacter le fabricant en cas de demande spécifique).

D'autres sont paramétrables à partir de l'IHM et les valeurs des réglages sont enregistrés dans un fichier de configuration. Ces modifications sont disponibles uniquement en mode manuel et **il est fortement recommandé de ne pas les toucher**. En effet certaines de ces régulations sont critiques et peuvent amener à une défaillance du système.

Liste des régulations :

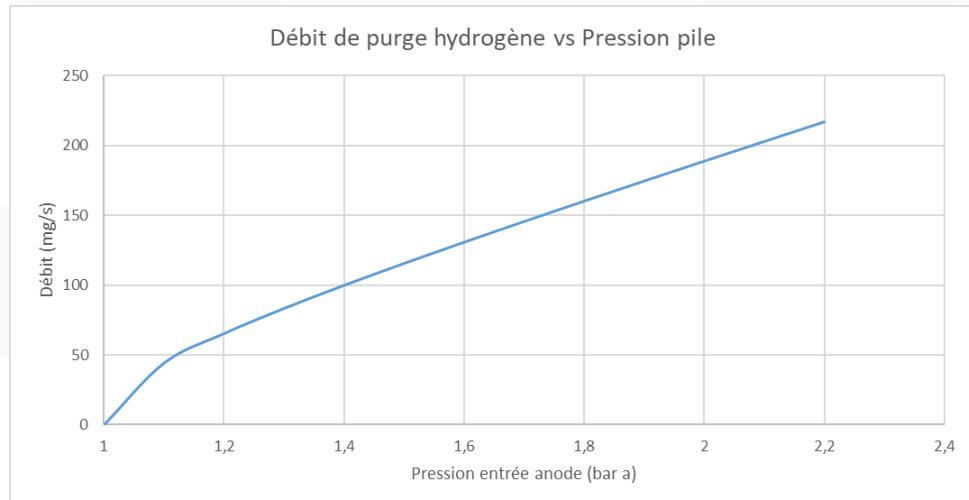
Electrique		
Rampe de courant	Consigne de courant charge électrique	
Refroidissement		
Température échangeur à eau	On/Off du ventilateur	Hystérésis
Température échangeur cathode	PWM sur le ventilateur	Proportionnel
Température compresseur	On/Off du ventilateur	Au démarrage
Position de la vanne 3 voies de bypass échangeur à eau	PWM sur le moteur de la vanne	Proportionnel
Delta température pile	Commande de débit d'eau	PID + Smith
Débit d'eau	PWM sur la pompe	PID
Cathode		
Stœchiométrie d'air	PWM sur le compresseur	PID
Pression des gaz en entrée pile cathode	Position de vanne de contre pression	PID
Position de la vanne 3 voies de bypass humidificateur	PWM sur le moteur de la vanne	Proportionnel
Anode		
Pression des gaz en entrée pile anode	PWM sur les vannes proportionnelles	PID + prédicteur
Purge anodique	On/Off de la vanne	Algorithme
Purge du séparateur d'eau	On/Off de la vanne	Algorithme

Liste des régulations configurables :

ID boucle		ID paramètre		
0	Sr_cathode Pilotage vitesse compresseur en fonction du courant de la stoechio demandée.	0	Kp	Proportionnel
		1	Ki	Intégrale
		2	Kd	Dérivée
		3	Kf	Filtre dérivée
1	TLLCin Pilotage de la vanne 3 voies de bypass échangeur.	0	Kp	Proportionnel
		1	Ki	Intégrale
		2	Kd	Dérivée
		3	Kf	Filtre dérivée
2	TLLC_Qeau Asservissement en débit de la pompe Le débit est calculé avec le dT et la Pthermique calculée	0	Kp	Proportionnel
		1	Ki	Intégrale
		2	Kd	Dérivée
		3	Kf	Filtre dérivée
4	contrePression_cathode Pilotage de la vanne de contre pression anodique	0	Kp	Proportionnel
		1	Ki	Intégrale
		2	Kd	Dérivée
		3	Kf	Filtre dérivée
5	pressionAnode Pilotage des deux vannes proportionnelle entrée anode	0	Kp	Proportionnel
		1	Ki	Intégrale
		2	Kd	Dérivée
		3	Kf	Filtre dérivée
		4	Ka	Override de la valeur intégrale au front d'ouverture de la purge
		5	Kb	Override de la valeur intégrale au front de fermeture de la purge
6	TLLCdT2 pilotage du débit de pompe avec prédicteur de smith	0	Kp2	Proportionnel
		1	Ki2	Intégrale
		2	Kd2	Dérivée
		3	Kf2	Filtre dérivée
		4	Ka2	

Consommation d'hydrogène

Le banc d'essai consomme de l'hydrogène pour la réaction mais aussi pour la purge. Cette purge n'est pas mesurée par le capteur car son débit est trop important. Cette valeur est donc estimée grâce au K_v de la boucle de purge anodique.

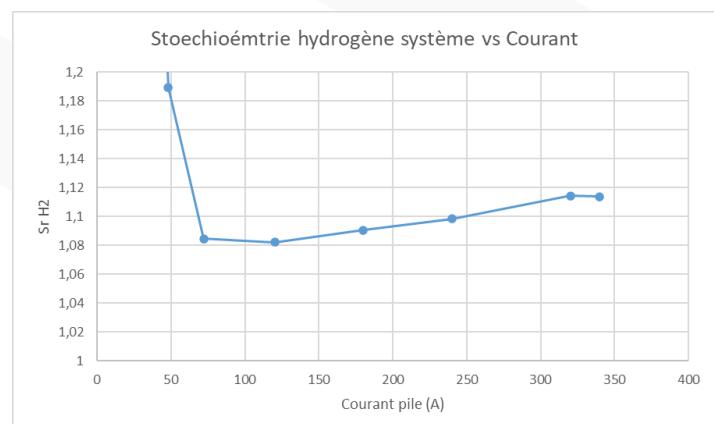
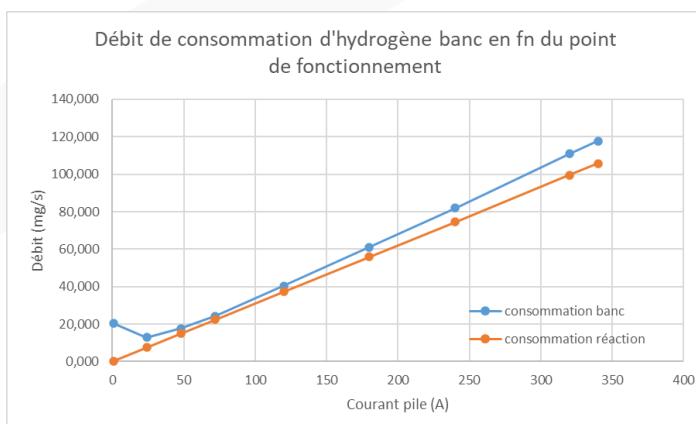


Cette courbe étant un modèle, celle-ci ne représente pas parfaitement la réalité et des variations peuvent apparaître.

Les points impactant cette réponse en débits sont nombreux :

- Présence d'eau dans le circuit
- Quantité d'azote à purger
- Durée de purge à cause de dynamiques différentes
- ...

À partir de ces données et des paramètres de purge (valeurs des paramètres automatiques), il est possible de calculer la consommation totale du banc ainsi que la stœchiométrie en hydrogène du système. Les valeurs de Sr_{H_2} sont maintenues relativement élevées pour garantir un fonctionnement optimal du système lors des changements de configuration par l'utilisateur. Bien qu'il soit envisageable d'optimiser ces valeurs pour les réduire, cela limiterait la marge de manœuvre lors de l'exploration des plages de réglage.



Entretien et maintenance

Ingrédients

Préconisation

- Liquide de refroidissement : eau osmosée < 5 uS/cm
- Cartouche dé-ionisante : Mann Hummel i6-3 omniflow
- Filtre à eau : Cartouche filtrante 50µm 9"3/4.
- Filtre à air : Freudenberg FC F-0314-N

Capacité

- Liquide de refroidissement : ~ 10.3 L

Procédures de maintenance



Pour éviter les potentiels dangers, il est impératif de suivre les procédures de maintenance en coupant l'alimentation en gaz et en électricité. En cas de dommage d'un élément ou d'un doute, ne tentez pas de relancer le système et contactez plutôt le service après-vente (SAV) pour obtenir de l'aide.

Changement de cartouche dé-ionisante

La cartouche fonctionne selon le principe des résines échangeuses d'ions, ce qui signifie que sa capacité d'absorption est limitée dans le temps. Ainsi, dès que la cartouche perd en efficacité et ne parvient plus à atteindre les niveaux de purification requis, il est nécessaire de la remplacer pour garantir un fonctionnement optimal du système.



Fermer la vanne du circuit de déionisation



Enlever les vis et la mâchoire de maintien de la cartouche

 <p>Desserrer le collier de serrage du raccord cannelé supérieur pour libérer la rotation. Attention, n'essayez pas de désemmancher le tuyau (risque de casse du raccord)</p>	 <p>Dévisser la vanne inférieure en faisant tourner la cartouche</p>
 <p>Dévisser le raccord supérieur</p>	 <p>Installer la nouvelle cartouche en procédant dans l'ordre inverse</p>
 <p>Veillez à serrer suffisamment les raccords pour que les joints soient en contact, mais pas trop au risque de voir le joint sortir N'oubliez pas de resserrer le collier de serrage</p>	 <p>Réajuster le niveau de liquide de refroidissement en suivant la procédure « Remplissage du circuit d'eau »</p>

Tips :

Pour cette opération munissez vous d'un aspirateur à eau pour récupérer le fluide de refroidissement.

Changement filtre de refroidissement

Le filtre de refroidissement est prévu pour fonctionner sur toute la durée de vie du banc. Cependant si un changement s'impose, voici la procédure.

 <p>Démonter la façade avant en enlevant les 10 vis de maintien.</p>	 <p>Utiliser une bassine sous le filtre pour recueillir l'eau.</p>
 <p>Nous déconseillons de vider le circuit de refroidissement car il est relativement difficile d'évacuer les bulles d'air. Utilisez des pinces à durite pour isoler l'élément du circuit afin de ne pas vider tout le liquide.</p>	 <p>Dévisser la bague de verrouillage du filtre à l'aide de la clé à filtre. Celle-ci maintient plaqué le corps et la partie supérieur.</p>
 <p>Nettoyer les éléments du filtre et remplacer l'élément filtrant par un nouveau. Procéder ensuite dans l'ordre inverse. Attention le joint du corps de filtre doit être bien plaqué et serré suffisamment pour ne pas fuir.</p>	 <p>Réajuster le niveau de liquide de refroidissement en suivant la procédure « Remplissage du circuit d'eau »</p>

Changement filtre à air

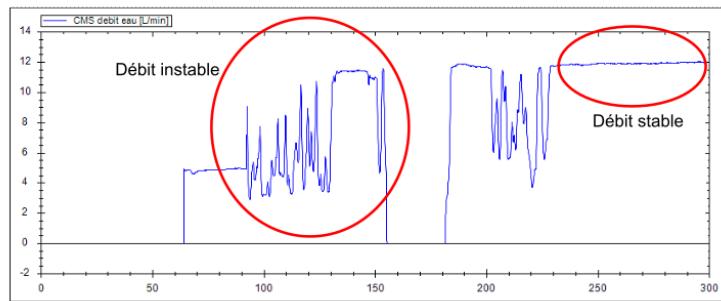
Le filtre à air est prévu pour fonctionner sur toute la durée de vie du banc. Cependant si un changement s'impose, voici la procédure.

 <p>Desserrer le collier de serrage pour libérer le tube d'aspiration.</p>	 <p>Enlever les 4 vis de maintien du filtre puis le retirer</p>
 <p>Installer le nouveau filtre et le fixer en procédant dans l'ordre inverse.</p>	

Remplissage du circuit d'eau

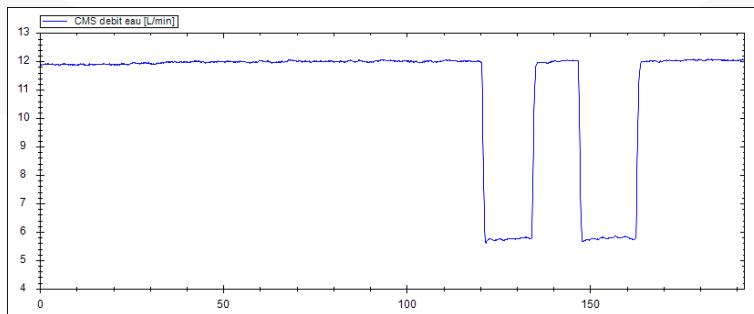
Il peut être nécessaire de réajuster en remplir le circuit de refroidissement. Cette procédure nécessite quelques précautions pour être fait correctement, notamment pour évacuer les bulles d'air.

 <p>Le remplissage se fait par le vase d'expansion du banc. Veillez à utiliser le matériel approprié pour ne pas renverser de liquide sur les composants du système. Le niveau doit se situer entre les indicateurs « MIN » et « MAX »</p>	 <p>Sur l'interface IHM, aller dans la procédure d'initialisation pour piloter la pompe manuellement et ouvrez un graphique pour afficher le débit de pompe (Graphiques → Graphique supplémentaire → CMS débit eau).</p>
---	--



Forcer la pompe à 50% et vérifier que le débit soit stable.
Le niveau d'eau risque de descendre, faites l'appoint si nécessaire.

Alterner le by-pass entre 0 et 100% pour que l'eau passe dans tous les circuits.



Alterner la pompe entre 50% et 100% pour évacuer les bulles d'air. Il peut être nécessaire de laisser le débit à 100% quelques minutes.



Ne faites pas fonctionner la pompe à sec au risque de la dégrader.

Dépoussiérage

Il est essentiel de procéder régulièrement au dépoussiérage du système. Tout d'abord, la présence de poussière peut obstruer les échangeurs à air, réduisant ainsi leur efficacité. Un colmatage de ces échangeurs peut entraîner une diminution significative des performances du système de ventilation ou de refroidissement, compromettant ainsi le suivi des consignes. De plus, une accumulation excessive de poussière peut provoquer une surchauffe du système, augmentant ainsi le risque de pannes et de dysfonctionnements. En maintenant un environnement propre et en veillant à ce que les composants du système soient dépourvus de poussière, on garantit son bon fonctionnement et sa durabilité à long terme.

Les éléments peuvent être nettoyés à l'aide d'un aspirateur et d'une brosse à poil souple. Les échangeurs (intercooler d'air et échangeur d'eau) peuvent être dépoussiérés à l'aide d'air comprimé non huileux.



Le stack est un élément sensible et fragile. Le graphite et les membranes ne doivent pas être griffés. Aucun élément ou particule métallique doit être en son contact sous peine de court-circuit.

Changement de pile à combustible.

Cette opération étant relativement complexe, veuillez-vous rapprocher du constructeur pour en savoir plus.

Dépannage

SAV

En cas d'anomalie ou de dysfonctionnement survenant lors de l'utilisation du banc d'essai, il est impératif de ne pas tenter de réaliser soi-même des réparations. Cette démarche peut non seulement aggraver le problème, mais également mettre en danger l'intégrité du matériel ainsi que la sécurité de l'utilisateur. Il est vivement recommandé de contacter le service après-vente (SAV) compétent, qui dispose de l'expertise nécessaire pour diagnostiquer et guider efficacement la réparation. Il convient de rappeler que de nombreux éléments constitutifs du banc d'essai sont fragiles ou peuvent comporter des risques, tels que des pressions ou des tensions électriques potentiellement dangereuses. En suivant cette procédure, on garantit non seulement la sûreté des opérations, mais aussi la préservation du matériel et la protection de l'utilisateur.

Problèmes courants

Test de conductivité non valide

Si le test de conductivité n'est pas valide, vous pouvez forcer la pompe avec les paramètres suivants :

Pompe : 100%

By-pass : 0%

Il faudra attendre une dizaine de minutes pour que la conductivité descende sous le seuil acceptable.



Il est important de rester vigilant aux dynamiques d'évolution de la conductivité durant les phases d'initialisation. Celle-ci est un indicateur clé du besoin de remplacer la cartouche dé-ionisante. En effet si temps requis pour atteindre le seuil de conductivité est de plus de 20 minutes, il est impératif de procéder au remplacement de la cartouche.

Le banc ne s'allume pas

Vérifier qu'aucun bouton d'arrêt d'urgence n'est enclenché

Le système reste en mode « INIT »

Le système fait son initialisation au moment de la mise sous tension. Les actions de ce mode sont de réapprendre la position des différents actionneurs et d'attendre la réponse de tous les éléments.

Peut-être êtes-vous allé trop vite : La procédure dure environ 20s.

Vérifier que tout soit bien allumé (charge électronique, balance, IHM).

L'IHM n'arrive pas à se connecter au banc

Il arrive que la communication CAN n'arrive pas à s'initialiser.

- Vérifiez le câble de connexion entre l'ordinateur et le banc.
- Tenter de forcer l'initialisation de l'interface CAN en débranchant et en rebranchant le port USB
- Redémarrer l'IHM
- Redémarrer le banc en actionnant le contacteur



La balance s'éteint toute seule

Il est possible que la balance se réinitialise et que le mode économiseur de batterie repasse en mode actif, il faut la mettre sur OFF

- Démarrer la balance en appuyant sur ON
- Attendre que l'écran affiche « 0 »
- Appuyer sur « print » jusqu'à ce que « UNIT » apparaisse
- Chercher « AF » en appuyant sur « mode »
- Appuyer sur « SET »
- Changer pour mettre « OFF » avec le bouton « MODE »
- Appuyer sur « SET »
- Redémarrer la balance

Le système est instable

Un système instable vient dans la majeure partie des cas d'une mauvaise gestion de l'eau. En effet des canaux bouchés par de l'eau liquide résultent en une forte déviation qui peut aller jusqu'à une défaillance du système. Vérifier les paramètres et les rampes que vous avez appliqués. Vous pouvez aussi voir la note « Noyage de la pile à combustible).

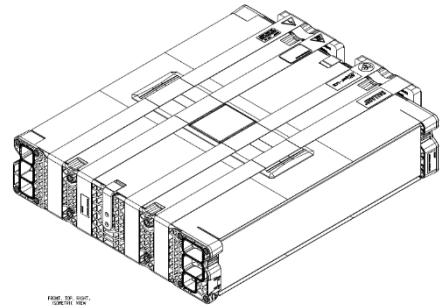
Ressources supplémentaires

Composants principaux

Pile à combustible

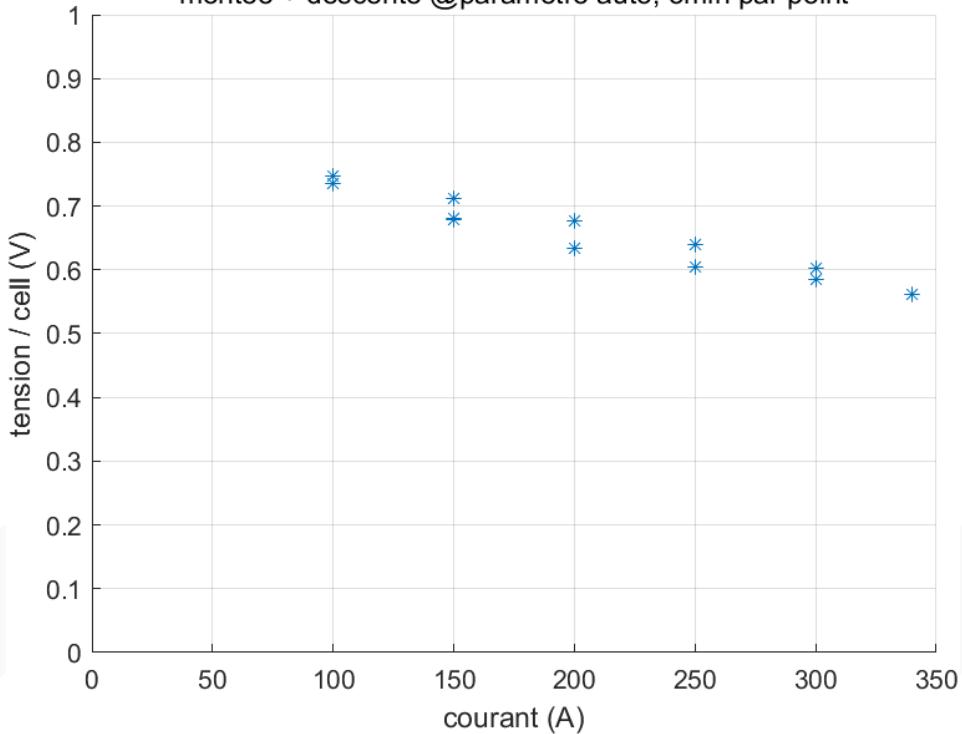
Un des éléments les plus critiques du SHA-6 est la pile combustible. Celle-ci provient du constructeur Ballard, modèle FCGen LCS montée en 30 cellules.

Pour plus d'informations quant à la pile à combustible, veuillez-vous référer à votre fournisseur.



Courbe de polarisation SHA6

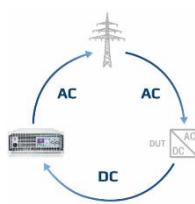
montée + descente @paramètre auto, 5min par point



Charge électronique

Le SHA-6 intègre une charge électronique à réinjection réseau. Cette charge est contrôlée par l'interface utilisateur hébergée sur le PC de surveillance via un bus CAN. Seul le mode de contrôle du courant est implémenté.

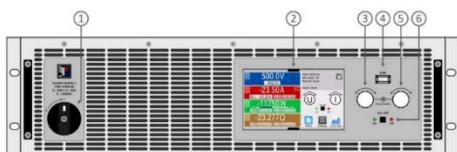
Grâce à cette charge et au système de séquence, il est possible de simuler n'importe quel cycle de courant (ex WLTP, modèle simulé, modèle mesuré ...)



Le modèle intégré est la PSB 10080-340

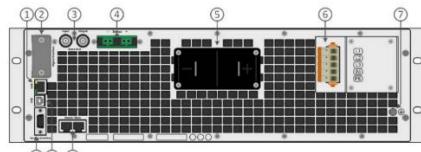
Technical specifications	PSB 10010-340	PSB 10060-340	PSB 10080-340
DC output			
Voltage range	0 - 10 V	0 - 60 V	0 - 80 V
Ripple in CV (rms)	≤10 mV (BW 300 kHz)	≤10 mV (BW 300 kHz)	≤10 mV (BW 300 kHz)
Ripple in CV (pp)	≤100 mV (BW 20 MHz)	≤100 mV (BW 20 MHz)	≤100 mV (BW 20 MHz)
U_{Min} for I_{Max} (sink)	0.5 V	0.5 V	0.5 V
Current range	0 - 340 A	0 - 340 A	0 - 340 A
Power range	0 - 3400 W (0 - 6000 W) *2	0 - 10000 W (0 - 6000 W) *2	0 - 10000 W (0 - 6000 W) *2
Resistance range	0.008 Ω - 13 Ω	0.008 Ω - 13 Ω	0.008 Ω - 13 Ω
Output capacitance	15980 μF	15980 μF	15980 μF
Efficiency (up to)	93.5% *1	94.5% *1	94.5% *1
Insulation			
Negative DC pole <> PE	±600 V DC	±600 V DC	±600 V DC
Positive DC pole <> PE	+600 V DC	+600 V DC	+600 V DC
Article number	30000743	30000744	30000745

Front panel description PSB 10000 3U



1. Power switch
2. TFT control interface, interactive operation and display
3. Rotary knobs with push-button action, for settings and control
4. USB host, uses USB sticks for data logging and sequencing
5. Rotary knobs with push-button action, for settings and control
6. On / Off push-button with LED status display

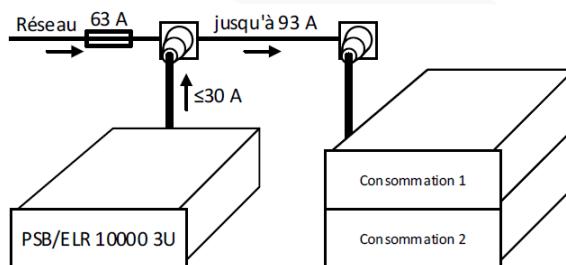
Rear panel description PSB 10000 3U



1. Ethernet interface
2. Slot for interfaces
3. Share bus connector to set up a system for parallel connection
4. Parallel master-slave connectors
5. CC input terminal (copper blades)
6. AC input connector
7. Grounding connection screw (PE)
8. Connector (DB15 female) for isolated analog programming, monitor and other functions
9. USB interface
10. Master-Slave bus connectors to set up a system for parallel connection

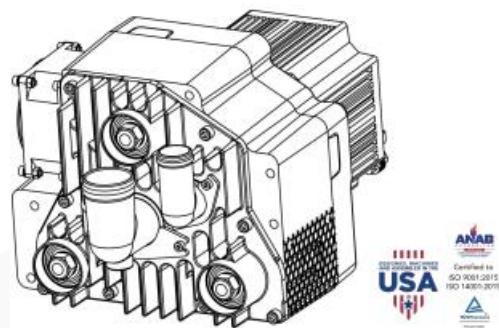
Note sur la réinjection réseau

Un dispositif PSB récupère de l'énergie pour la réinjecter dans le réseau local d'une entreprise ou d'une centrale électrique. Cette énergie récupérée s'ajoute au courant déjà présent dans le réseau, ce qui peut potentiellement surcharger l'installation électrique existante. Dans la plupart des cas, même s'il y a deux prises distinctes, il n'y a pas de fusible supplémentaire entre elles. En cas de problème sur la partie AC (par exemple, un court-circuit) d'un appareil ou lorsque plusieurs appareils connectés consomment une puissance élevée, le courant total pourrait circuler à travers des câbles qui ne sont pas conçus pour supporter un tel courant élevé, risquant ainsi d'endommager ou même de provoquer un incendie aux câbles ou aux points de connexion. Avant d'installer de tels dispositifs de récupération, il est essentiel de prendre en compte la configuration électrique existante pour éviter tout dommage ou accident.

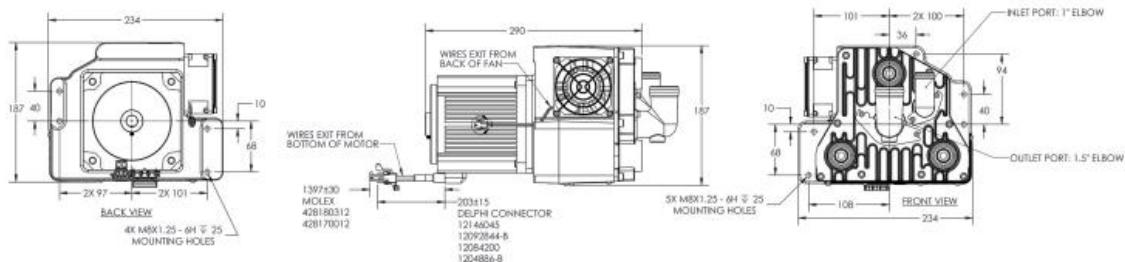


Comresseur

Le compresseur est l'actionneur principal de la boucle cathodique, permettant l'alimentation en air de la pile à combustible. L'architecture du compresseur est de type scroll, limite les risques de dommages liés au phénomène de pompage.



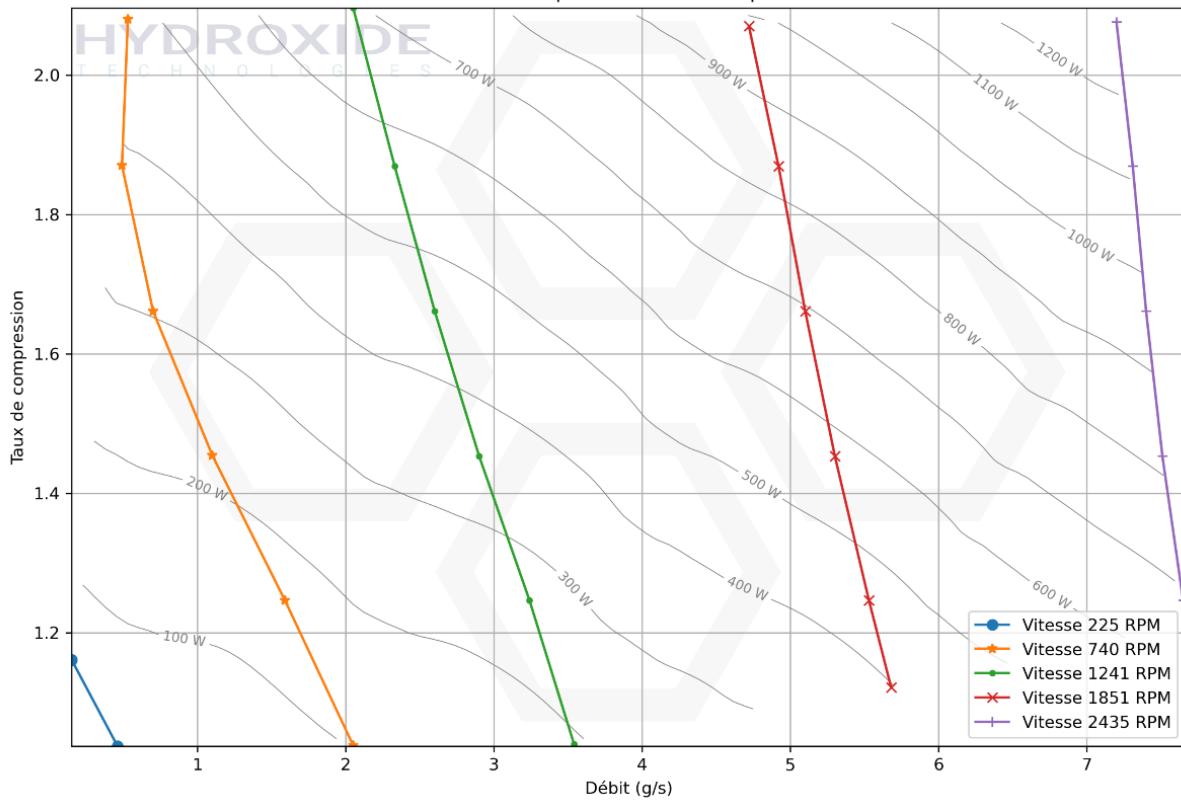
Dimensions



Dimensions in millimeters unless otherwise stated.

Ci-dessous, la cartographie du compresseur.

Air squared P22H060A-BLDC @36V
Débit massique VS taux de compression



Humidificateur

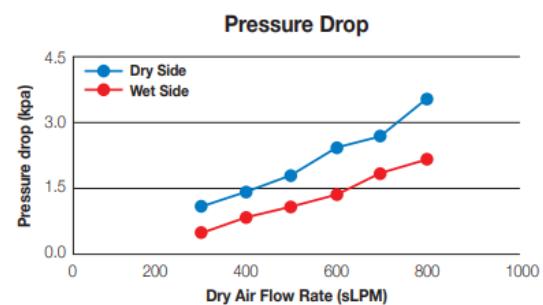
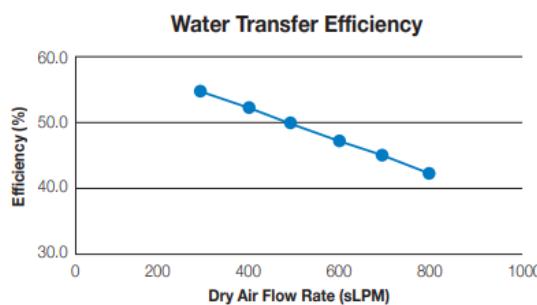
L'humidificateur est un composant passif de la boucle cathodique, qui permet le transfert d'eau entre deux flux.

Ci-dessous, les spécifications techniques du composant dimensionné pour le système d'essai pile à combustible.

Hydroxide Technologies peut fournir un modèle théorique simplifié de l'humidificateur.



PERFORMANCE



Gas to Gas	Dry Inlet Flow rate (sLPM)	Water Transfer Efficiency (%)	Approach Dew Temperature (°C)	Pressure Drop (Dry side, kPa)	Pressure Drop (Wet side, kPa)
	600	47.0	13.8	2.3	1.3

* Water Transfer Efficiency(%) = $m_{H_2O_vap}(\text{dry out})/m_{H_2O_vap}(\text{wet in})$

The individual specifications of our humidifier depend on operation conditions.

Ejecteur

Dans le domaine des piles à combustible, l'efficacité et la fiabilité du système de gestion des fluides sont cruciaux pour optimiser la performance et la durabilité de la pile. Un composant essentiel dans ce système est l'éjecteur, qui joue un rôle vital dans la recirculation de l'hydrogène. L'éjecteur est un dispositif sans pièces mobiles, utilisant la dynamique des fluides pour mélanger et transporter des gaz ou des liquides. Son principe de fonctionnement repose sur la conversion de l'énergie de pression en énergie cinétique.

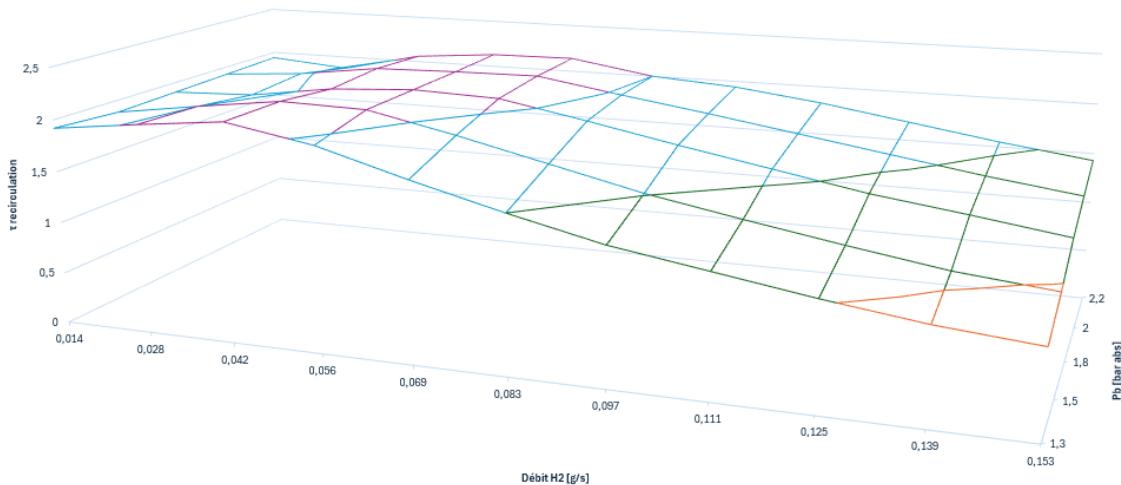
L'éjecteur dans une application de recirculation d'hydrogène fonctionne de la manière suivante : un flux primaire d'hydrogène sous haute pression est accéléré à travers une buse convergente, augmentant ainsi son énergie cinétique aux dépens de son énergie potentielle de pression. Lorsque ce jet à haute vitesse entre dans la chambre de mélange de l'éjecteur, il crée une zone de basse pression qui aspire un flux secondaire d'hydrogène - généralement l'hydrogène non consommé dans la réaction électrochimique de la pile à combustible. Le mélange des deux flux se fait dans la chambre de mélange, puis le flux combiné est ralenti dans une buse divergente, où l'énergie cinétique est reconvertie en énergie de pression, permettant au mélange d'hydrogène de circuler à travers la pile à combustible pour une réutilisation.

L'utilisation d'un éjecteur pour la recirculation de l'hydrogène présente plusieurs avantages par rapport aux systèmes mécaniques traditionnels, notamment une plus grande simplicité, une fiabilité accrue, l'absence de pièces mobiles, et une intégration facilitée au système de gestion de l'hydrogène de la pile à combustible. De plus, l'éjecteur peut contribuer à améliorer l'efficacité globale de la pile à combustible en assurant une distribution homogène de l'hydrogène, ce qui est essentiel pour une réaction électrochimique efficace et uniforme.

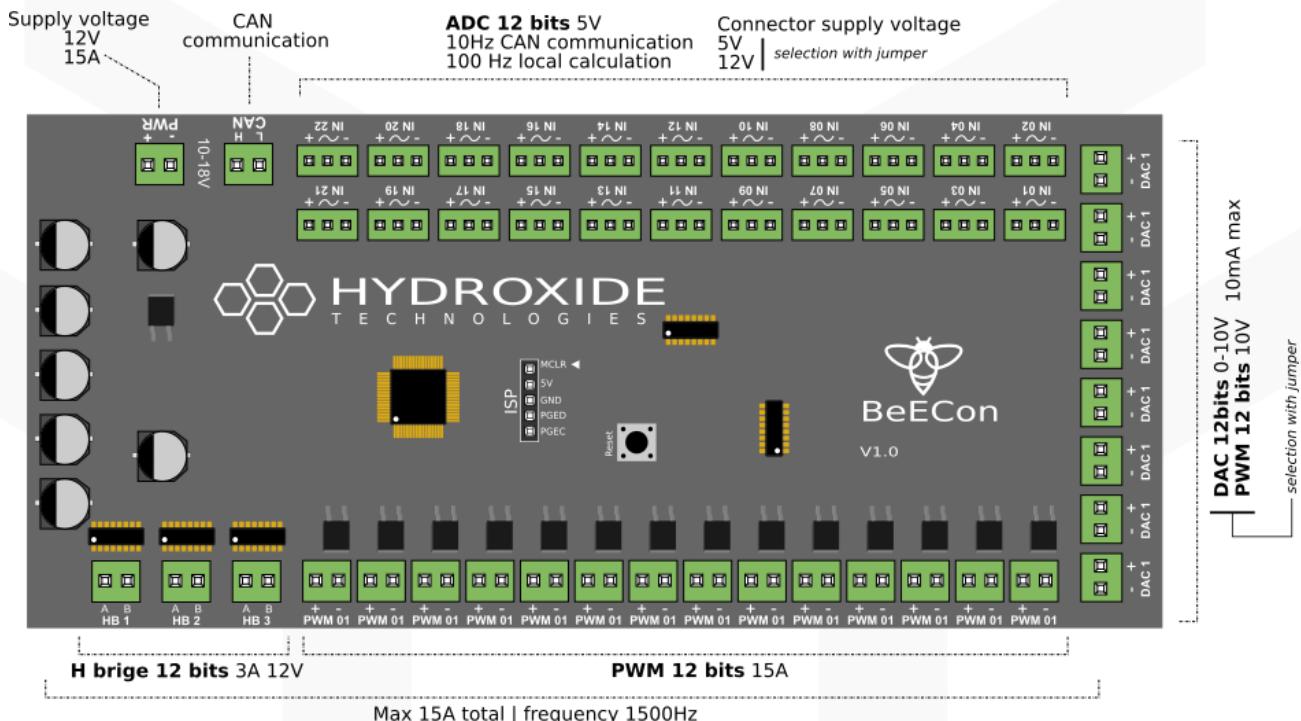
Ci-dessous la cartographie de l'éjecteur intégré au banc : le VL06T de PIAB.



Cartographie PIAB VL06T



Unité de Contrôle Electronique



Electronic Control Unit Contrôle commande		
Entrées analogiques	22	Entrées
	12	Bits
	0-5	V
Sorties PWM	14	Sorties
	12	V
	10	A (max 15A total)
	20-1500	Hz
	12	Bits
Sorties H bridge	3	Sorties
	12	V
	1	A
	20-1500	Hz
	13	Bits
Sorties DAC	8	Sorties DAC ou PWM
	0-10	V
	10	mA
	20-1500	Hz
	12	Bits

CVM (Cell Voltage Monitoring)

La mesure et le suivi des tensions de cellule de la pile est d'une importance cruciale pour le contrôle et le bon fonctionnement de celle-ci. Le CVM (Cell Voltage Monitoring) de Hydroxide Technologies permet d'effectuer ces mesures de façon précise et robuste afin d'assurer un suivi efficace.

Ci-dessous les spécifications techniques du module CVM.



CVM		
Nombre d'entrées	8	Entrées
ADC résolution	12	Bits
Plage de fonctionnement	0-1 ou 0-2	V
Bruit RMS	5	mV
Isolation galvanique	500	V
Communication		CAN

Constante de purge

Pendant les opérations, des impuretés et de l'eau s'accumulent à l'anode. Le taux d'azote anodique augmente en raison de la perméation de la membrane, entraînant l'inertage de la cellule. L'accumulation d'eau peut entraîner un risque d'asphyxie de la cellule.

Ces phénomènes conduisent à une baisse des performances. Il est nécessaire et obligatoire de purger régulièrement l'anode. Plusieurs méthodes sont disponibles : une purge continue (une vanne proportionnelle qui régule un débit de purge) ou une purge pulsée (ouverture cyclique de la vanne de sortie). Seule la purge pulsée sera étudiée ici.

Comme ces phénomènes dépendent du point de consigne du courant, cette purge dépend du courant. Plus le courant est élevé, plus nous devons purger l'anode. Cette purge peut être contrôlée avec deux paramètres : la fréquence d'ouverture de la vanne électromagnétique et le temps d'ouverture de la vanne électromagnétique.

Une méthode pour calculer l'intervalle entre deux purges consiste à utiliser une constante de purge en ampère-seconde (A.s). Nous calculons l'intégrale temporelle du courant, et lorsque celle-ci atteint la constante de purge, il est nécessaire de procéder à la purge.

Ex :

Courant I = 150A

Constante de purge = 2500

→ La purge doit être effectuée toutes les

$$2500/150 = 16.7\text{s}$$

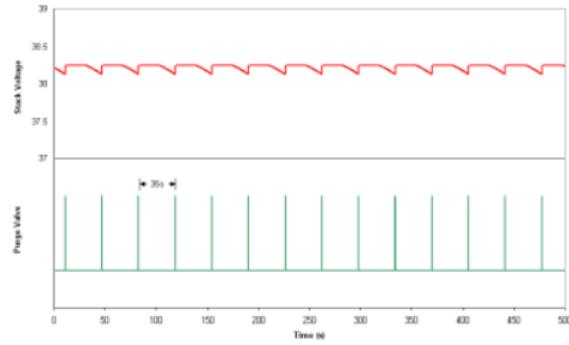


Figure 4 Chute de tension avant la purge

La méthode pour calculer le deuxième paramètre (temps d'ouverture) consiste à pouvoir purger deux fois le volume anodique (modèle simplifié du volume purgé = f(temps d'ouverture) avec le volume anodique connu).

Noyage de la pile à combustible

La principale source d'instabilité dans le fonctionnement de la pile à combustible réside dans le phénomène du noyage. Lorsque la quantité d'eau liquide présente dans la pile devient excessive, elle entrave la circulation des gaz vers les sites actifs, entraînant ainsi une baisse des performances. Ce problème n'est pas uniforme et l'eau a tendance à se concentrer dans une cellule spécifique. Si cette cellule est obstruée, cela se traduit par une forte chute de tension, comme illustré dans la Figure 6 Exemple d'une cellule qui est en train de noyer.

Ce phénomène peut se produire du côté cathodique, mais il est plus fréquent du côté anodique. Un bon moyen d'identifier l'emplacement du noyage est d'observer le comportement des tensions des cellules lors de la purge. Si une cellule montre une hausse de tension à ce moment-là, cela indique probablement que le noyage se situe au niveau de l'anode et qu'il a été évacué par le flux d'hydrogène frais.

Risques liés au noyage

En cas de noyage prolongés ou répétés, la cellule concernée est exposée à un risque accru de dégradation irréversibles en raison d'un phénomène lié au manque d'hydrogène.

De plus, si les seuils de déviance sont dépassés, le système pourra déclencher un arrêt d'urgence. Cela peut se produire si les conditions de fonctionnement s'écartent trop des paramètres prévus.

Comment réagir face à un noyage ?

Comme expliqué précédemment, le noyage est généralement dû à une trop forte accumulation d'eau à l'anode. Les actions suivantes peuvent améliorer la stabilité du système :

- Augmenter la purge hydrogène (diminuer la constante de purge).
- Augmenter la stœchiométrie d'air, cela aura pour incidence d'assécher la pile à combustible et de limiter les accumulations d'eau en l'emportant.
- Augmenter la température.
- Augmenter le bypass humidificateur.

La difficulté de ce réglage concise à trouver le bon équilibre entre la bonne humidité des membranes et une trop forte accumulation de l'eau.

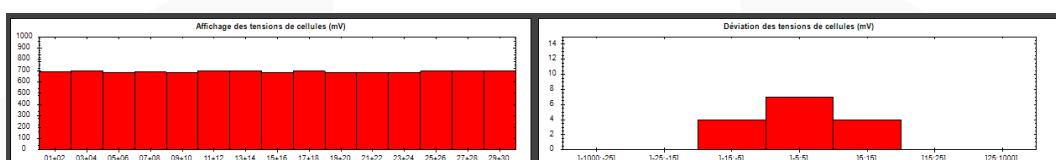


Figure 5 Exemple de CVM sans problème

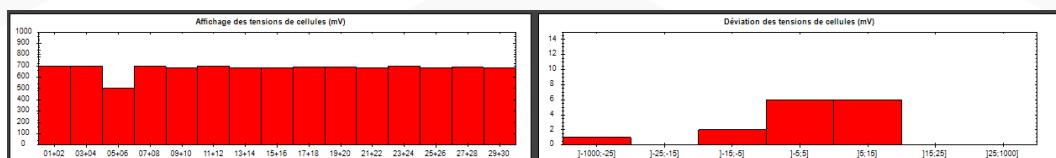


Figure 6 Exemple d'une cellule qui est en train de noyer

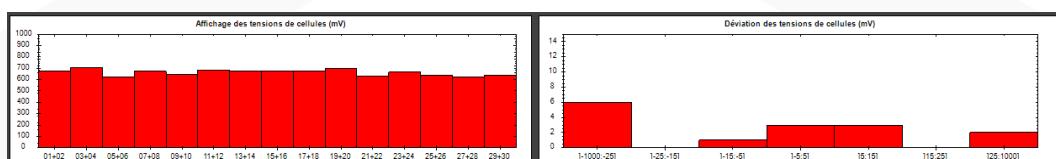
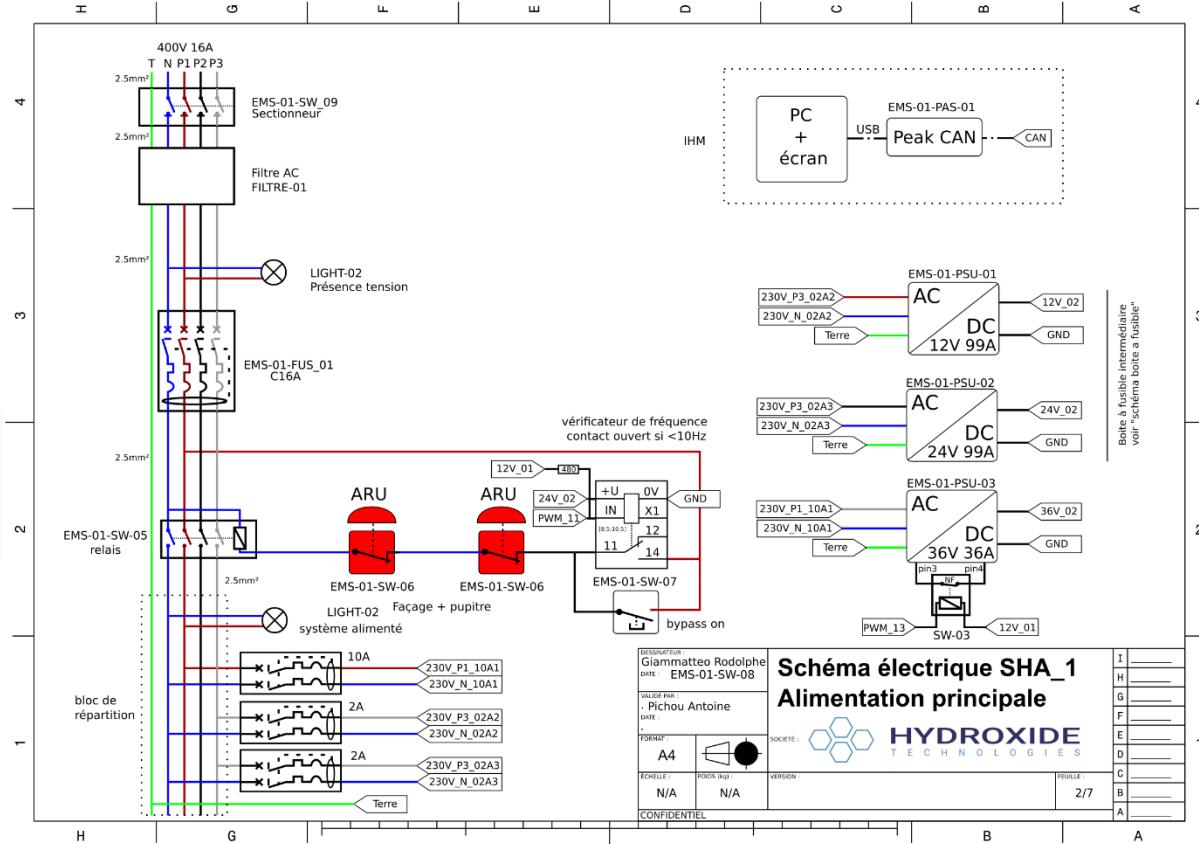
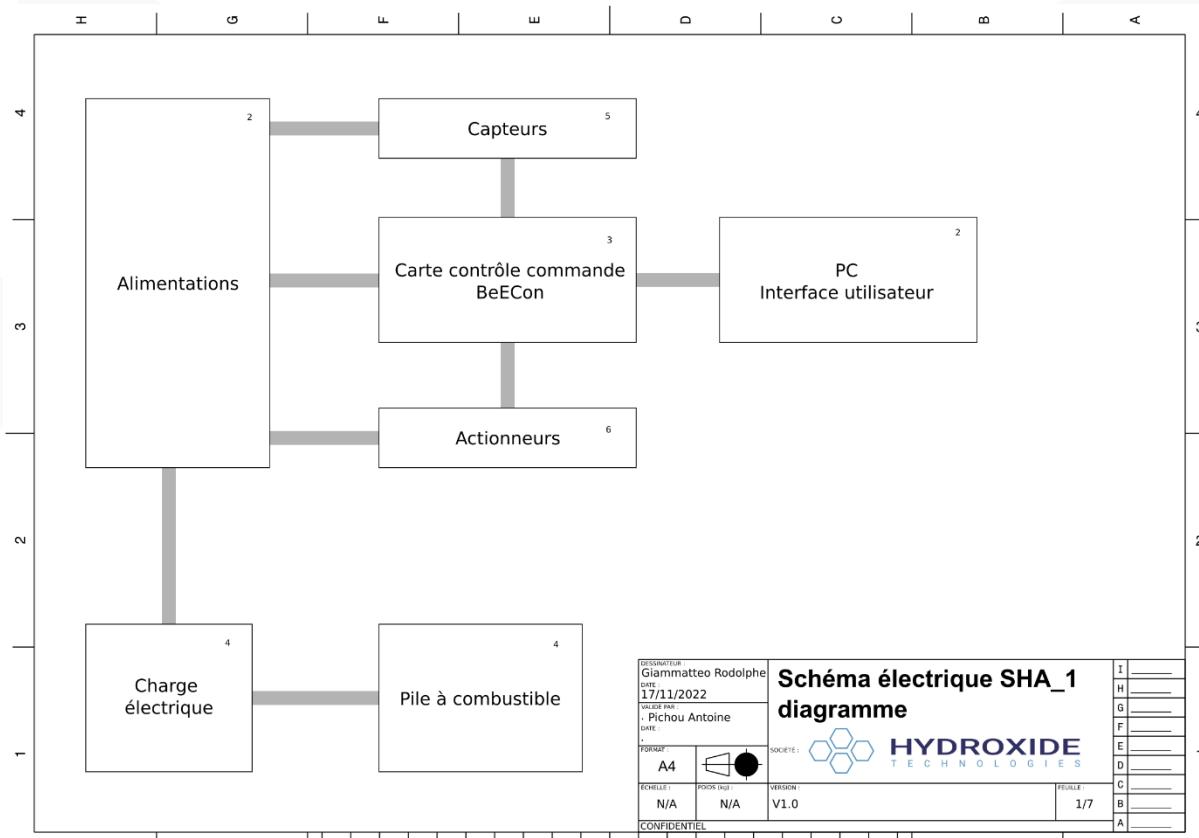
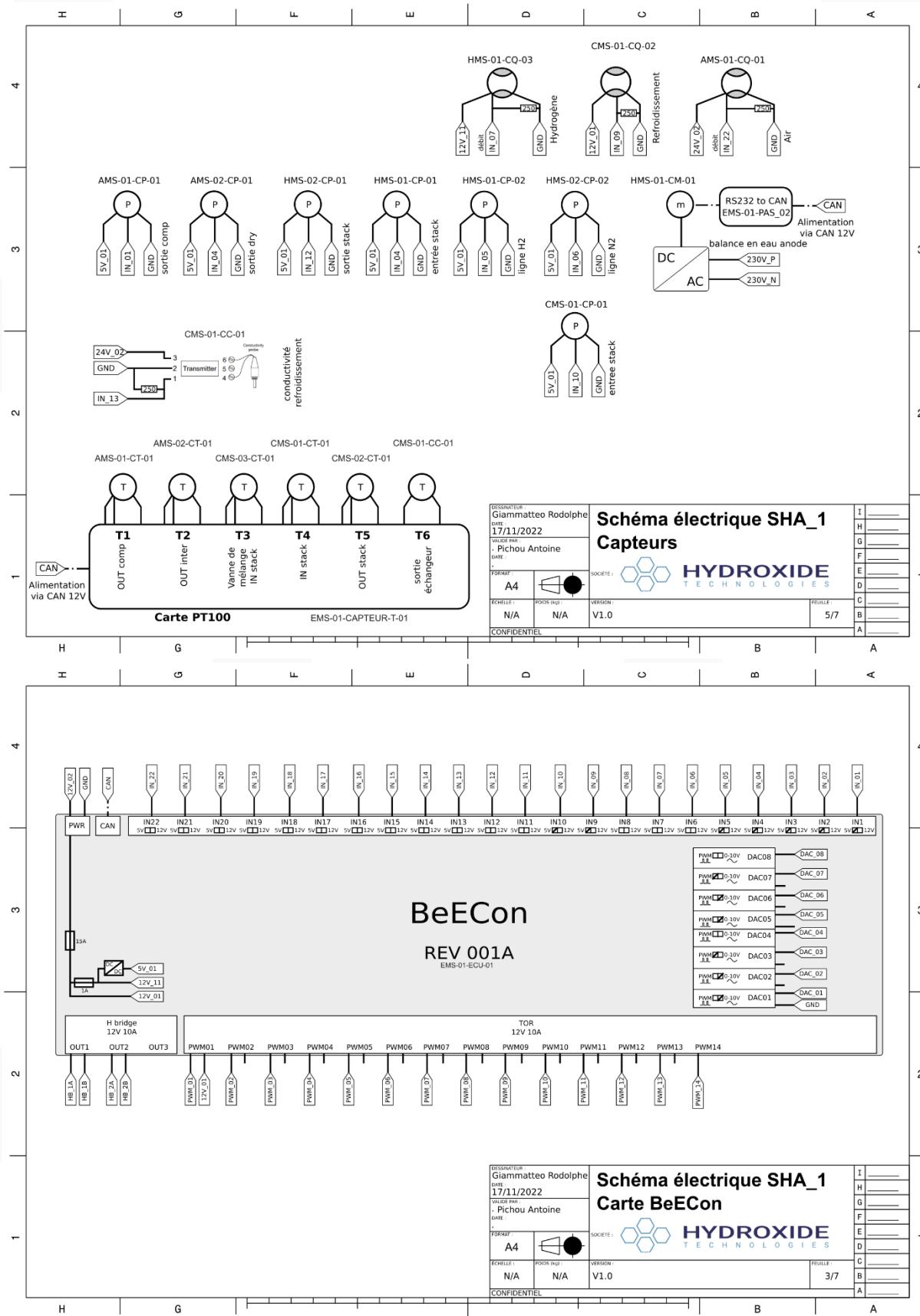
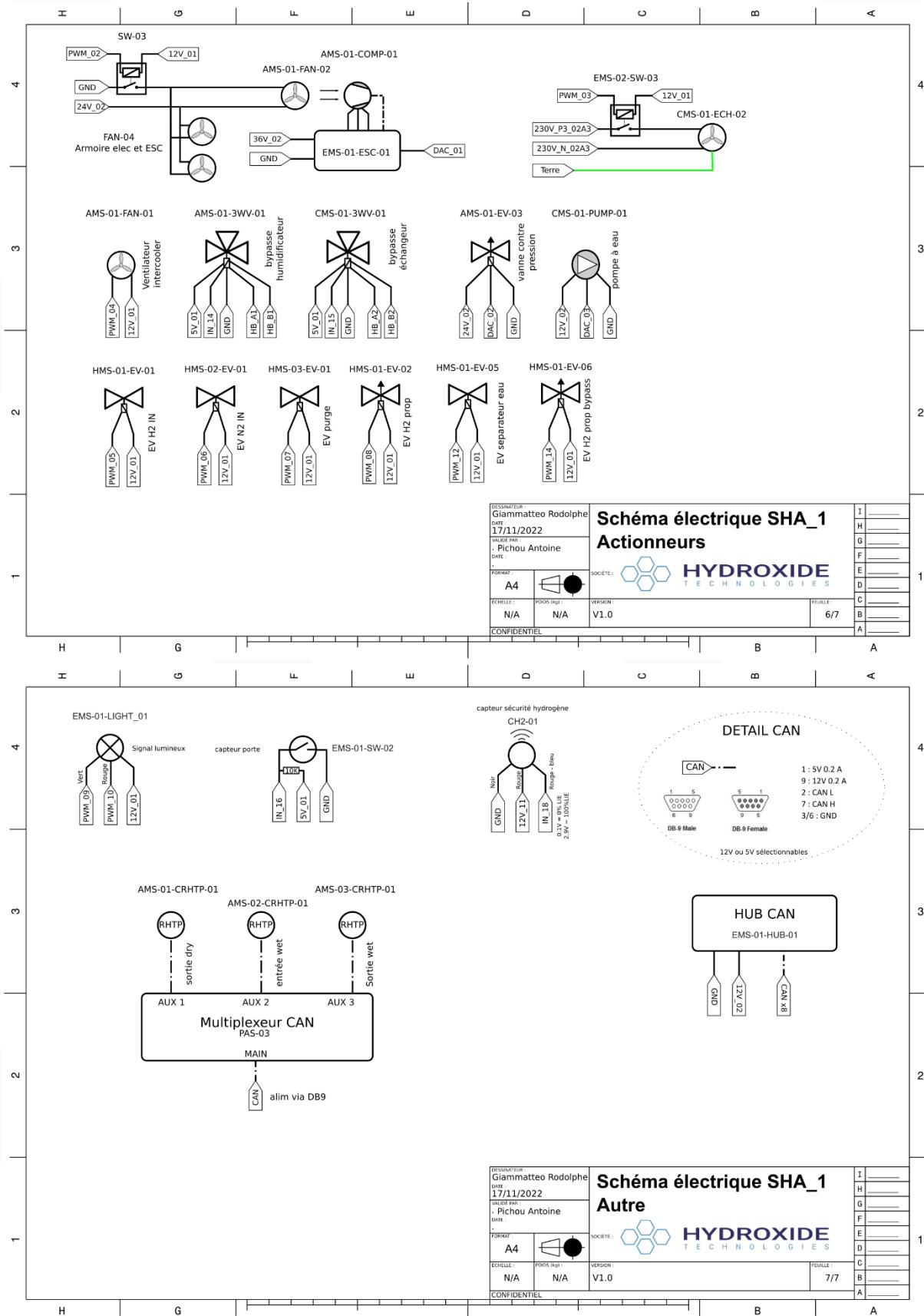


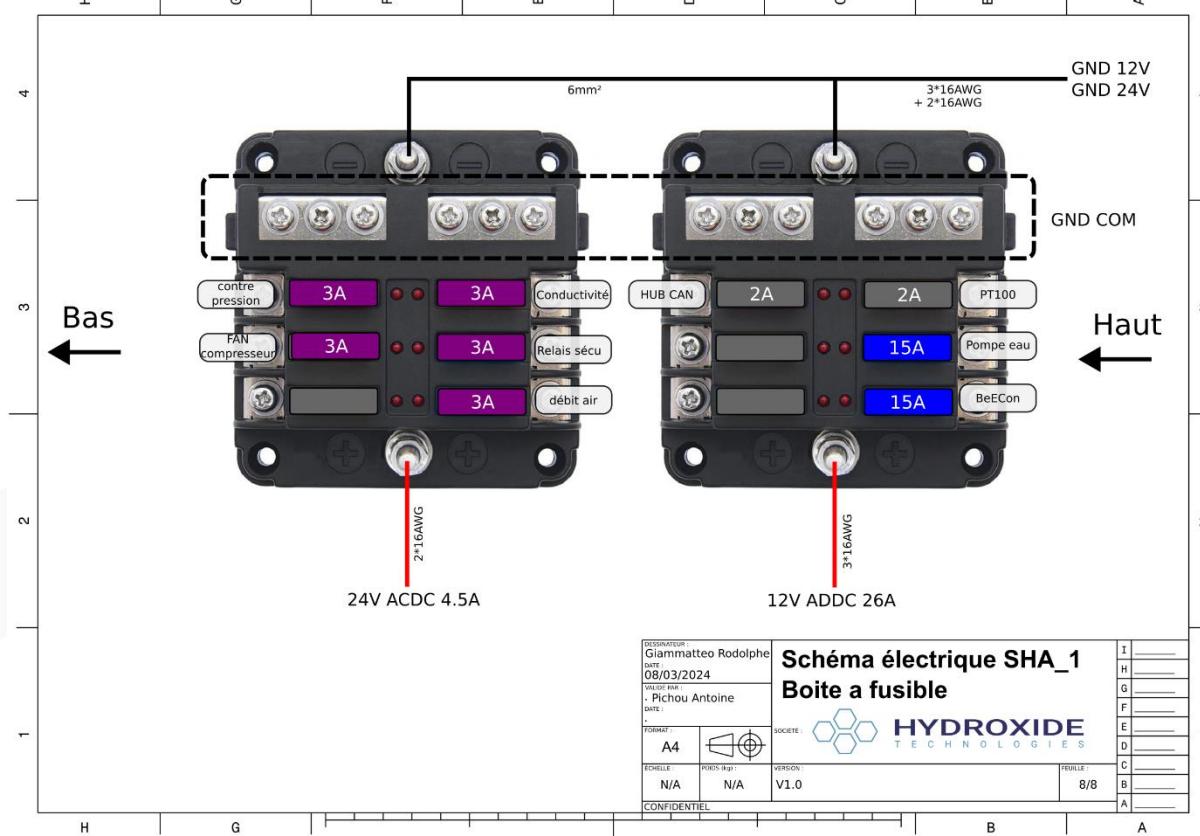
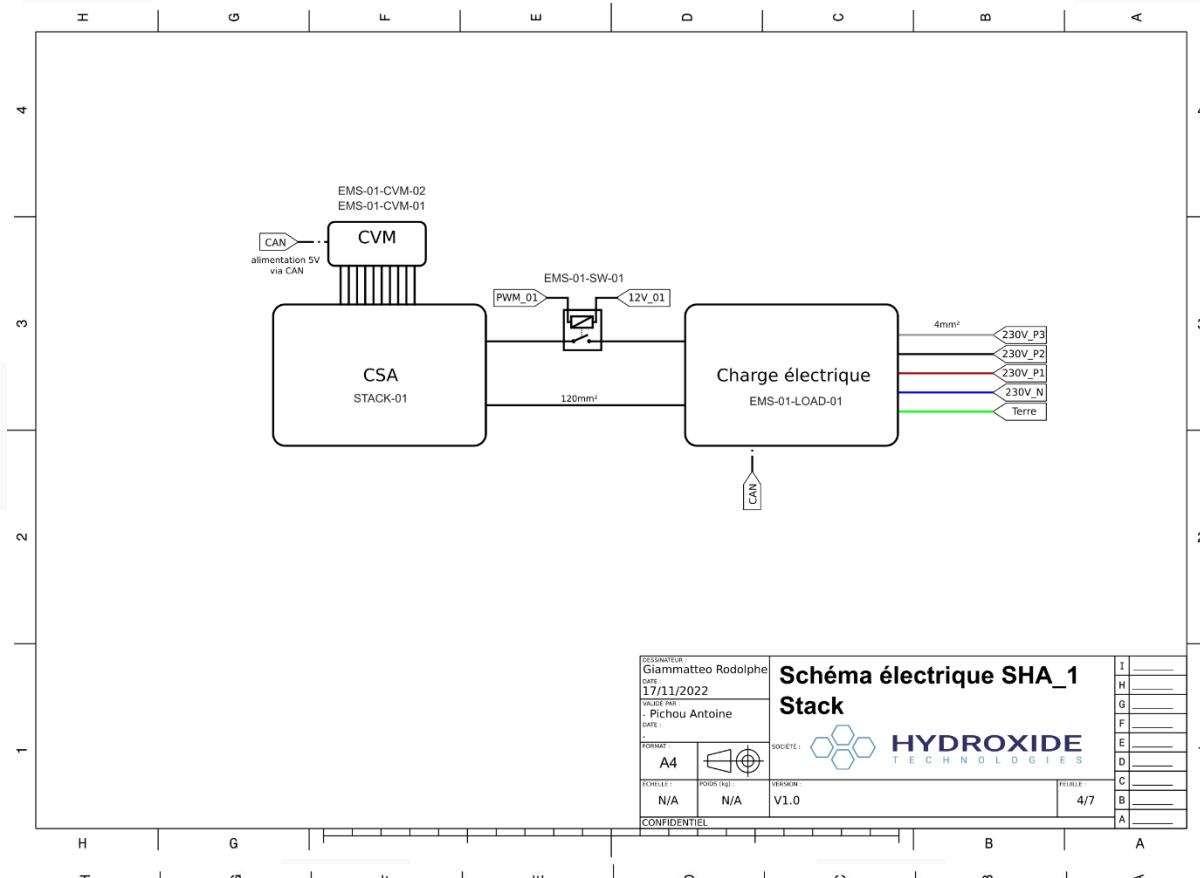
Figure 7 Exemple d'une forte déviance

Annexe 1 : Schéma électrique









Glossaire des termes techniques

PEMFC	Proton Exchange Membrane Fuel Cell (Pile à Combustible à Membrane échangeuse de protons)
ECU	Unité de Contrôle Electronique
IHM / UI	Interface Utilisateur
sLPM	Standard Liter Per Minute
bara / bar abs	bar absolu
barg	bar gauge / relatif
A.s	Ampères secondes (unité constante de purge)
V3V	Vanne 3 voies
3WV	Vanne 3 voies
CVM	Mesure de tension de cellule
AMS	Boucle cathodique (Air Management System)
EMS	Boucle électrique (Electrical Management System)
CMS	Boucle de refroidissement (Cooling Management System)
HMS	Boucle anodique (Hydrogen Management System)
Sr	Stoechiométrie
E ...	Entrée
S ...	Sortie
$\mu\text{S}/\text{cm}$	Microsiemens par centimètre