

## Appel d'offres - Banc d'essai et hottes de ventilation – 3 lots

### Lot n°1 : double banc d'essai piles à combustible PEM de puissance de 2 x 15 kW

### Cahier des clauses techniques particulières (CCTP)

Consultation n° CCAP n°25.017 du 10/09/2025

Pour plus de précisions, le candidat peut contacter le référent technique, porteur du projet :

#### **Responsables du suivi technique :**

**M. David BOUQUAIN, Mme. Marie-Cécile PERA, M. Daniel HISSEL, M. Philippe CHAMPOMIER**  
FEMTO-ST/FC-LAB  
13, rue Ernest Thierry-Mieg  
90000 BELFORT

**Téléphone :** 03.84.58.36.59

**Courrier électronique (e-mail) :** [david.bouquain@univ-fcomte.fr](mailto:david.bouquain@univ-fcomte.fr) ; [marie-cecile.pera@univ-fcomte.fr](mailto:marie-cecile.pera@univ-fcomte.fr)  
[daniel.hissel@univ-fcomte.fr](mailto:daniel.hissel@univ-fcomte.fr) ; [philippe.champomier@univ-fcomte.fr](mailto:philippe.champomier@univ-fcomte.fr)

## Table des matières

<b>1</b>	<b>OBJET DE LA CONSULTATION.....</b>	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>CARACTERISTIQUES TECHNIQUES .....</b>	<b>3</b>
2.1	INTRODUCTION.....	3
2.2	REGLES D'EXECUTION ET DOCUMENTS DE REFERENCE.....	4
2.3	PRINCIPE GENERAL DE FONCTIONNEMENT DES BANCS D'ESSAI.....	4
2.4	CONTROLE D'UN BANC : MESURE, SUPERVISION, GESTION DES DONNEES.....	5
2.4.1	<i>Fonctions de base.....</i>	5
2.4.2	<i>Traitement et enregistrement des signaux issus des capteurs du banc .....</i>	6
2.4.3	<i>Affichage .....</i>	6
2.5	ROBUSTESSE.....	6
2.6	NIVEAUX DE SECURITE.....	6
2.7	CONFIGURATIONS D'ESSAI DES BANCS INTERCONNECTES .....	6
2.7.1	<i>Interconnexions physiques .....</i>	7
2.7.2	<i>Interconnexions logicielles .....</i>	7
2.8	EXEMPLES D'ESSAIS QUI POURRONT ETRE REALISE .....	7
2.8.1	<i>Liste des paramètres modifiables lors des cycles automatiques .....</i>	7
2.9	EXEMPLES TYPIQUES D'ESSAIS .....	8
2.9.1	<i>Courbe de polarisation typique avec variation de plusieurs paramètres.....</i>	8
2.9.2	<i>Exemple de suivi de cycle de conduite WLTP.....</i>	9
2.9.3	<i>Cycles démarrage / arrêt .....</i>	9
2.9.4	<i>Pilotage en mode manuel. ....</i>	10
2.10	SPECIFICATION TECHNIQUE DES BANCS D'ESSAIS.....	11
2.10.1	<i>Caractéristiques des fluides disponibles dans les salles d'essai .....</i>	11
2.10.2	<i>Caractéristiques des fluides pour les Piles à Combustibles.....</i>	12
<b>3</b>	<b>CONDITIONS GENERALES .....</b>	<b>12</b>
3.1	PILOTAGE DU PROJET .....	12
3.2	DELAI DU PROJET .....	12
3.3	LIVRAISON, INSTALLATION ET MISE EN SERVICE .....	12
3.4	FORMATION DES UTILISATEURS.....	13
<b>4</b>	<b>GARANTIE, MAINTENANCE ET CONSOMMABLES ASSOCIES A L'EQUIPEMENT .....</b>	<b>13</b>
4.1	GARANTIE.....	13
4.3	LOGICIELS .....	13
4.1	DOCUMENTATION.....	13
	<b>ANNEXE 1 – VARIANTES D'INTERCONNEXION.....</b>	<b>15</b>

# 1 Objet de la consultation

La présente consultation concerne une prestation d'achat d'un système de bancs d'essai permettant le fonctionnement de 2 piles à combustibles de type PEM pouvant se partager tout ou une partie de leurs auxiliaires.

Ce système devra s'adapter aux configurations possibles de partage des auxiliaires, de mise en parallèle ou en série des Piles à Combustible (PAC) tout en assurant un haut niveau de sécurité.

Le système de banc intégrera un système de supervision et d'acquisition des données de l'instrumentation.

## 2 Caractéristiques techniques

### 2.1 Introduction

La plateforme Hydrogène énergie opérée par l'UAR FCLAB dispose de plusieurs bancs d'essais destinés aux tests de pile à combustibles à hydrogène (PAC). Les technologies testées sont de type PEM.

Aujourd'hui, ces bancs ne permettent pas d'étudier l'impact des différentes configurations possibles lorsque 2 piles à combustible de puissance identiques ou différentes fonctionnant en parallèle ou en série.

Le système de banc doit permettre de mettre en place diverses configurations de partage d'auxiliaires et/ou de mise en parallèle pour réaliser des essais de fonctionnement de 2 PAC tout en faisant varier les paramètres fluidiques, électriques et thermiques des bancs.

Le changement de configuration se fera hors ligne et hors tension. Une durée d'une ou deux journées est acceptable pour permettre le changement de configuration et la validation de la nouvelle.

Les 2 bancs d'essai pourront fonctionner indépendamment ou ensemble suivant les configurations retenues.

Le marché concerne donc :

- La fourniture de 2 bancs d'essai de Pile à Combustible (PAC) de puissance variant de 1 à 15 kW électrique incluant les charges de puissance électrique programmable pour chaque banc ;
- La fourniture des éléments nécessaires aux connexions pour réaliser les différentes configurations (Voir Annexe 1 – Variantes d'interconnexion) ;
- Un système d'acquisition (traitement des signaux de mesure issus des capteurs) et de contrôle (envoi des consignes bas niveau aux actionneurs du banc) assurant le bon fonctionnement et la sécurité du personnel et des équipements. Chaque banc aura son propre système et devra donc pouvoir fonctionner de façon autonome lorsque les bancs sont en configuration séparée. Lorsque les bancs sont interconnectés les logiciels devront interagir. L'utilisateur communiquera donc avec un seul banc « maître » lorsque les bancs seront interconnectés ;
- La fourniture du logiciel paramétrable de pilotage manuel et automatique du banc (incluant plusieurs régulateurs paramétrables), permettant l'exécution d'essais sur divers profils dynamiques et la gestion des sécurités du banc ;
- La fourniture d'un ordinateur et des écrans destinés à l'interface homme machine (IHM) pour chaque banc. L'ordinateur et les écrans seront installés dans une cellule de mesure distante de 15 à 20 mètres du banc d'essai et donc du système d'acquisition. La photo en Figure 1 illustre ce principe de commande à distance ;
- La mise en route des Bancs et la démonstration du fonctionnement de quelques configurations ;
- La formation de 6 personnes sur site à Belfort à l'utilisation du système et du logiciel de supervision.
- La documentation exhaustive de la prestation ;
- Les éléments documentaires nécessaires aux obligations réglementaires en exploitation et en maintenance.



Figure 1 : pilotage d'un banc d'essai à distance depuis une salle dédiée

## 2.2 Règles d'exécution et documents de référence

Le fournisseur devra se conformer aux lois, règlements normes en vigueur au moment des travaux. Les équipements fournis devront être marqués CE en conformité aux directives qui leur sont applicables.

Il conviendra notamment de se reporter :

- au code du travail
- au code de l'environnement
- aux Règles de l'Art
- aux spécifications, règles de normalisation et recommandations publiées par l'UTE dans leur édition la plus récente, et notamment à la norme française C 15-100
- aux normes CEI en vigueur
- à la directive Machine, si applicable ;
- à la Directives des équipements sous pression la DESP (par exemple pour les humidificateurs);
- aux Guides d'Analyse de Risque pour l'identification des risques liés à la sécurité des personnes et des équipements durant leur cycle de vie.
- Toutes autres normes ou guides que le fournisseur pourra identifier durant le projet.

Le lauréat devra être en mesure de fournir tous les documents justificatifs nécessaires afin que FCLAB puissent répondre aux sollicitations des organismes de contrôles qui visitent annuellement les installations.

## 2.3 Principe général de fonctionnement des bancs d'essai

Les bancs d'essai pile à combustible doivent être capables d'effectuer des séries d'expérimentations sur des piles à combustible de technologie PEM (dénommée PAC ou stack) d'une puissance électrique allant de 1 kW à 15 kW en fonction des PAC à tester.

Une PAC fonctionne à partir d'une réaction d'oxydoréduction entre deux gaz réactifs sous pression qui sont du dihydrogène et le dioxygène de l'air. La fourniture de ces deux gaz sera assurée par les équipements actuellement présents au sein de la plateforme hydrogène énergie. Une ligne de diazote sous pression sera également utilisée pour des fonctions de sécurité, d'arrêt démarrage des PAC (inertage des lignes de gaz réactifs).

Les gaz réactifs en entrée de la PAC sont régulés en débit à l'aide de régulateurs de débits massiques autonomes (régulateur PID intégré), on peut utiliser 2 régulateurs par voie afin d'étendre la plage de réglage de débit. Ensuite, les gaz sont régulés en température et hygrométrie par un système d'humidification. Ces deux dernières régulations sont assurées par des humidificateurs autonomes (technologie la plus adaptée à définir par le fournisseur) pilotés avec une consigne de température de gaz et une consigne de température de rosée ou d'HR. Les lignes d'alimentation de gaz réactifs sont ensuite contrôlées en température par des cordons tracés et des

flexibles chauffants afin de maintenir la température et l'hygrométrie jusqu'à l'entrée de la pile. Ces systèmes sont régulés par des régulateurs de température dont les consignes sont envoyées par le système de pilotage.

Les gaz en sortie de la PAC sont refroidis et condensés afin d'évacuer l'eau en phase liquide. Vient ensuite la régulation en pression sur les lignes de gaz réalisée grâce à des vannes de contrepression. La régulation est réalisée par un régulateur autonome. Les gaz secs sont ensuite rejetés par des événements prévus à cet effet.

Une régulation thermique est faite au niveau de la PAC. Cette dernière produisant de la chaleur, il faut évacuer cette puissance thermique via un circuit d'eau de refroidissement primaire (eau déminéralisée ou glycolée) échangeant avec un circuit secondaire disponible au sein de la plateforme. La boucle de refroidissement primaire est également équipée d'un réchauffeur. La régulation de température se fait en agissant sur une vanne trois voies de mélange via un régulateur PID (gains ajustables dans le logiciel de contrôle). On doit pouvoir agir également sur le débit de la pompe et sur la température du réchauffeur. Enfin le circuit primaire doit être équipé d'une mesure de conductivité et équipé d'une résine de déminéralisation.

L'électricité produite par la PAC sera consommée par une charge électronique pilotée en régulation de courant pour la majorité des essais, en tension ou en puissance pour certains essais. La charge électronique sera de la fourniture du prestataire. Elle doit communiquer avec le banc pour les consignes et retours de mesures ainsi que les ordres de marche et arrêt. On privilégiera un bus de communication numérique entre la charge et le système de contrôle.

Le système d'acquisition doit pouvoir mesurer les tensions de chaque cellule de la pile à combustible (max 100 voies, tension max 5 V par voie) ainsi que la tension totale de la pile. Les mesures peuvent se faire par un système déporté à proximité de la pile et communiquant par un bus numérique (CVM avec bus CAN par exemple).

Le synoptique général d'un banc d'essai est présenté en Figure 2. Les deux bancs qui font l'objet de ce marché seront conçus suivant le même schéma de principe.

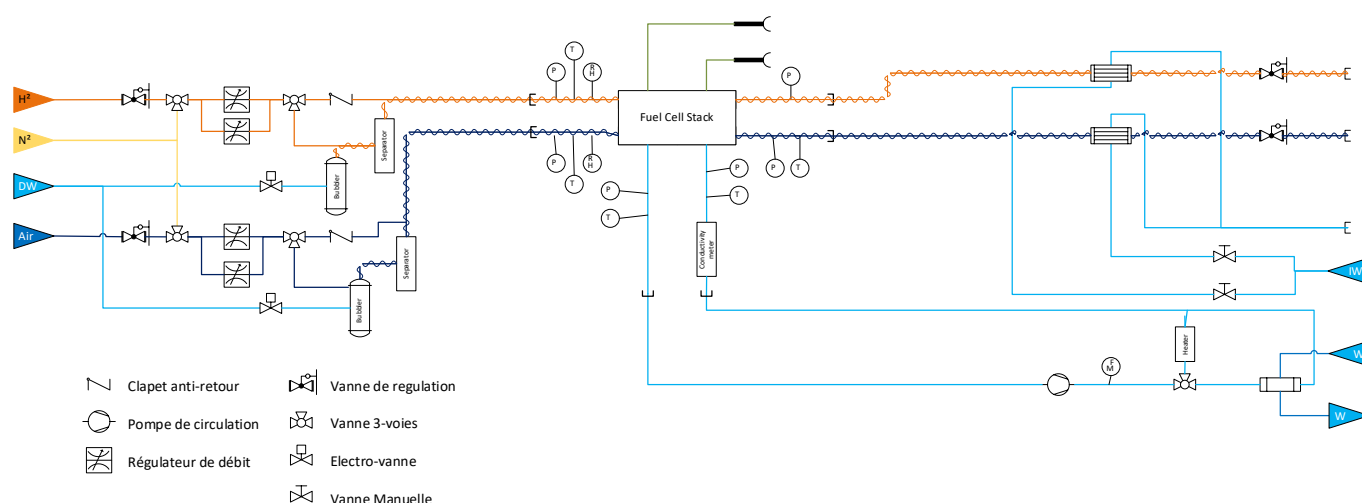


Figure 2 : synoptique général du banc d'essais de pile à combustible

Il est entendu que ce schéma de principe ne limite pas l'instrumentation, les actionneurs et les boucles logicielles que le fournisseur pourra juger nécessaire d'installer ou de contrôler pour le fonctionnement du et des bancs en toute sécurité pour le personnel et le matériel.

## 2.4 Contrôle d'un banc : Mesure, Supervision, Gestion des données

### 2.4.1 Fonctions de base

Les fonctions de base du système de contrôle commande sont :

- Traitement et enregistrement des signaux issus des capteurs du banc
- Affichage des données, consignes ...
- Paramétrage de la configuration de l'essai
- Pilotage des actionneurs du banc (vannes, régulateurs de débit massique, pompe ...)
- Gestion des sécurités
- Pilotage manuel : définition par l'utilisateur des consignes des actionneurs et à la charge électronique

- Suivi de profils de pilotage tels que des profils temporels de consignes et envoi de ce profil aux actionneurs et à la charge électronique.
- Régulations des sous-systèmes :
  - supervision des régulations déportées (débits gaz, température gaz et rosée, pression des gaz)
  - régulation de la température de la PAC (c'est-à-dire la température de sortie du circuit primaire de refroidissement en sortie de pile) et du débit de la pompe.

### 2.4.2 Traitement et enregistrement des signaux issus des capteurs du banc

Le superviseur principal permet d'acquérir toutes les grandeurs disponibles et horodatées à une fréquence d'acquisition paramétrable (10 Hz habituellement et plus élevée si possible pour une boucle d'acquisition circulaire stoppée en cas de défaut banc).

Le fichier d'acquisition est paramétrable avec un choix des voies enregistrées et de la fréquence d'acquisition associée par voie. Le fichier d'acquisition doit être exploitable en post traitement par un logiciel de type tableur Excel.

Pour les essais de longue durée, l'enregistrement sera divisé en plusieurs fichiers ; la taille des fichiers d'acquisition ou leur durée d'enregistrement devront être paramétrables.

### 2.4.3 Affichage

Le superviseur proposera une IHM conviviale permettant l'affichage et le paramétrage sur plusieurs onglets, plusieurs fenêtres des grandeurs mesurées et contrôlées (consignes, seuils...) ainsi que les messages de diagnostic et de sécurité. Un synoptique général (inspiré de la Figure 2 par exemple) devra être visible affichant les grandeurs principales mesurées. On utilisera 2 écrans.

## 2.5 Robustesse

Le support du logiciel superviseur doit être suffisamment robuste et performant pour assurer l'exécution fiable du logiciel sur de très longues durées sans interruption (plusieurs mois).

Un système d'autocontrôle (watchdog) doit être intégré. Il doit disposer d'une capacité de stockage adaptée aux besoins d'acquisition, les essais pouvant durer plusieurs centaines d'heures.

## 2.6 Niveaux de sécurité

Plusieurs niveaux de sécurité et d'alerte logiciel seront programmés en fonction des défauts constatés. Cette sécurité restera à définir. Des sécurités matérielles seront également à prendre en considération (à définir).

Le superviseur gère un niveau de « sécurité globale » :

- Paramétrage possible « réglables » des seuils de sécurités et d'alarmes
- Grandeurs physiques principales à « surveiller » :
  - Températures
  - Courant
  - Tension totale PAC
  - Pressions gaz et différentiel de pression
  - Humidités gaz
  - Débits gaz et fluide de refroidissement
  - Conductivité du circuit de refroidissement
- Tensions individuelles de cellules
- Gestion des différents types d'actions en fonction du niveau de sécurité
- Inhibition possible des sécurités ou modification des seuils de défaut
- Enregistrement d'un fichier journal de défauts
- Gestion d'un fichier d'enregistrement circulaire rapide pré/post défaut de toutes les grandeurs disponibles

## 2.7 Configurations d'essai des bancs interconnectés

Lorsque les bancs sont interconnectés, le dimensionnement des équipements et du contrôle doit permettre un fonctionnement en toute sécurité dans les configurations définies et les composées de celles-ci.

- Alimentation en hydrogène :

- Un banc alimente les 2 PACs en hydrogène en parallèle,
- Un banc alimente les 2 PACs en hydrogène en série ;
- Chaque banc alimente sa PAC en hydrogène.
- Alimentation en air :
  - Un banc alimente les 2 PACs en air en parallèle,
  - Un banc alimente les 2 PACs en air en série ;
  - Chaque banc alimente sa PAC en air.
- Refroidissement
  - Un banc refroidit les 2 PACs par un circuit en parallèle ;
  - Un banc refroidit les 2 PACs par un circuit en série ;
  - Chaque banc refroidit sa PAC.
- Sortie de puissance :
  - Les sorties de puissance sont en parallèle ;
  - Les sorties de puissance sont en série ;
  - Les sorties de puissances sont indépendantes ;

L'annexe 1 montre le principe que pourrait adopter le système complet.

### 2.7.1 Interconnexions physiques

Le fournisseur proposera la solution retenue pour permettre les interconnexions dans les différentes configurations en toute sécurité. Les adaptations devront être simples, réalisables par du personnel ayant des compétences basiques en mécanique, électricité, fluide et commande.

Des solutions telles que des connexions par flexible directement entre les bancs ou à travers un ou des modules dédiés sont acceptables tant que la sécurité et la simplicité des opérations sont assurées.

Le dimensionnement des équipements des auxiliaires ne doit pas limiter les performances des piles à combustible.

Il est tout à fait possible que le type et le nombre des équipements en fonctionnement suivant les configurations soient à adapter. Dans ce cas, ces adaptations ne doivent pas nécessiter des temps d'installation et des temps de recalibration et de réglage impactant le temps de modification demandé (1 ou 2 jours de travail).

### 2.7.2 Interconnexions logicielles

Lors des fonctionnements interconnectés, le contrôle des bancs devra se faire à partir d'un seul superviseur « maître ». Il pilotera les équipements des 2 bancs pour permettre les essais et les cycles demandés.

L'acquisition des données pourra se faire soit par un superviseur, soit par les 2 superviseurs. Cependant, la récupération des données se fera à partir du superviseur « maître ».

Un point d'attention est signalé sur la datation des données entre les 2 bancs. Les données des bancs pourront être mise en relation et comparées. Il est nécessaire que leur datation permette de l'analyse des événements et évolutions des grandeurs physiques.

## 2.8 Exemples d'essais qui pourront être réalisés

En plus des essais standards sur des stacks, les bancs doivent pouvoir reproduire des conditions d'essais systèmes et donc permettre de faire évoluer plusieurs paramètres sur des essais. Ces essais devront pouvoir être programmés pour exécuter des cycles d'essais automatisés et répétitifs.

### 2.8.1 Liste des paramètres modifiables lors des cycles automatiques

Les données ou états logiques (choix type de régulation débit gaz par exemple) seront fournis sous forme d'un fichier tableau structuré en lignes en fonction du pas de temps (qui peut être variable) avec une colonne par paramètre.

Le logiciel doit permettre aussi le changement de pas par un changement d'état d'une variable (par exemple consigne température PAC atteinte) et pas uniquement par la condition temporelle.

Les cycles pourront être joués un certain nombre de fois.

Ci-dessous sont présentés les paramètres qui devront être présents dans le fichier. Ils sont issus d'essais que nous réalisons actuellement à FCLAB sur d'autres bancs.

- Pas de temps (pas forcément constant) ou temps absolu ;

- Consignes pressions anode et cathode :
  - Choisir  $P_{in}$  (pression à l'entrée de la pile) ou  $P_{out}$  (pression à la sortie de la pile) des stack indépendamment et séparément sur les circuits anodiques et cathodiques ;
- Activation de la régulation de pression anode et cathode simultanément (gestion de l'écart de différence de pressions gaz à minimiser suivant une valeur maximale à ne pas dépasser)
- Consignes des débits gaz cathode et anode
  - Anode
    - H2 ou N2
  - Cathode
    - Air ou N2
  - Détermination des consignes :
    - Soit issue de la consigne de courant en fonction de la surface d'une cellule (depuis l'onglet paramètres) et stœchiométrie (paramètre onglet paramètres ou variable dans le cycle)
    - Soit indépendante : nécessaire souvent d'anticiper ou retarder l'arrivée des gaz → durée paramétrable ;
- Stœchiométrie anode et cathode (ratio de débits de gaz entrant par rapport au débit stœchiométrique)
- Consigne température de rosée anode et cathode (humidificateur)
- Consigne température gaz (humidificateur)
- Pilotage bypass humidificateur (gaz sec ou humidifié)
- Activation régulations de la température des fluides de refroidissement (primaire ou secondaire ?)
- Consigne température du fluide caloporteur du circuit primaire (circulant dans la pile)
  - Choisir  $T_{in}$  ou  $T_{out}$
- Consigne débit du circuit primaire de refroidissement (souvent imposé lors des essais)
  - Soit imposée en manuel
  - Soit imposée par la régulation de température
  - En option nous souhaitons pouvoir imposer le maintien d'un différentiel de température  $T_{out}-T_{in}$  par ajustement automatique du débit de la pompe
- Activation charge électronique
- Choix consigne charge (courant, puissance)
- Consigne courant charge ou consigne puissance charge
- Changement de fichier enregistrement automatique intégrant date et heure (1 fichier par jour pour les essais continus par exemple)
- Suivi de cycle (programmation d'un nombre de cycles à jouer)
- Eventuellement possibilité de mettre en pause le cycle automatique (puis reprise cycle où l'on s'est arrêté)

## 2.9 Exemples typiques d'essais

### 2.9.1 Courbe de polarisation typique avec variation de plusieurs paramètres

	Step time	Current	Coolant stack inlet flow	Coolant temp. Stack Inlet	Coolant Stack Outlet	dT over stack	Nitrogen flow inlet		Hydrogen flow inlet		Pressure anode outlet	Temperature inlet	RH inlet based on stack coolant inlet temperature	Dew point inlet	Stoich Anode	Hydrogen concentration Anode	Air flow inlet	Pressure outlet	Temperature inlet	RH inlet based on stack coolant inlet temperature	Dew point inlet	Stoich Cathode	
Step	Step time s	I/A	FR_Si_CL l/min	T_Si_CL °C	T_So_CL °C	dT_CL K	FN_Si_N2 Nl/min	Fm_Si_N2 g/s	FN_Si_H2 Nl/min	Fm_Si_H2 g/s	p_So_A bara	T_Si_A °C	RH_Si_A %	DPT_A °C	STC_A -	CMP_A %	FN_Si_C Nl/min	Fm_Si_C g/s	p_So_C bara	T_Si_C °C	RH_Si_C %	DPT_C °C	STC_C -
1	600	300	-	65	70,87	5,87	26,88	0,560	62,72	0,094	2,22	70	40,0	45,8	1,5	70	180,1	3,862	2	70	51,2	50,8	1,8
2	30	0	12	65	65	0	16,13	0,336	37,63	0,056	1,43	70	79,5	59,9	-	70	106,5	2,285	1,2	70	72,2	57,9	-
3	120	15	-	65	65,29	0,29	16,13	0,336	37,63	0,056	1,43	70	79,5	59,9	18	70	106,5	2,285	1,2	70	72,2	57,9	21,3
4	120	30	-	65	65,59	0,59	16,13	0,336	37,63	0,056	1,43	70	76,8	59,2	9	70	106,5	2,285	1,2	70	71,0	57,6	10,65
5	120	45	-	65	65,88	0,88	16,13	0,336	37,63	0,060	1,43	70	74,2	58,5	6	70	106,5	2,285	1,2	70	70,0	57,2	7,1
6	360	60	-	65	66,17	1,17	16,13	0,336	37,63	0,056	1,50	70	71,5	57,7	4,5	70	106,5	2,285	1,26	70	68,8	56,9	5,325
7	360	90	-	65	66,76	1,76	16,13	0,336	37,63	0,056	1,59	70	66,2	56,1	3	70	106,5	2,285	1,36	70	66,6	56,2	3,55
8	360	150	-	65	67,93	2,93	16,13	0,336	37,63	0,056	1,79	70	55,6	52,4	1,8	70	106,5	2,285	1,54	70	62,2	54,8	2,13
9	360	210	-	65	69,11	4,11	18,82	0,392	43,91	0,066	1,97	70	45,0	48,2	1,5	70	126,0	2,704	1,73	70	57,8	53,2	1,8
10	360	300	-	65	70,87	5,87	26,88	0,560	62,72	0,094	2,22	70	40,0	45,8	1,5	70	180,1	3,862	2,0	70	51,2	50,8	1,8
11	360	360	-	65	72,04	7,04	32,26	0,672	75,27	0,113	2,24	70	40,0	45,8	1,5	70	216,1	4,635	2,0	70	46,8	49,0	1,8
12	360	450	-	65	73,80	8,80	40,32	0,840	94,08	0,141	2,28	70	40,0	45,8	1,5	70	270,1	5,793	2,0	70	40,2	46,0	1,8
13	360	360	-	65	72,04	7,04	32,26	0,672	75,27	0,113	2,24	70	40,0	45,8	1,5	70	216,1	4,635	2,0	70	46,8	49,0	1,8
14	360	300	-	65	70,87	5,87	26,88	0,560	62,72	0,094	2,22	70	40,0	45,8	1,5	70	180,1	3,862	2	70	51,2	50,8	1,8
15	360	210	-	65	69,11	4,11	18,82	0,392	43,91	0,066	1,97	70	45,0	48,2	1,5	70	126,0	2,704	1,73	70	57,8	53,2	1,8
16	360	150	-	65	67,93	2,93	16,13	0,336	37,63	0,056	1,79	70	55,6	52,4	1,8	70	106,5	2,285	1,54	70	62,2	54,8	2,13
17	360	90	-	65	66,76	1,76	16,13	0,336	37,63	0,056	1,59	70	66,2	56,1	3	70	106,5	2,285	1,36	70	66,6	56,2	3,55
18	360	60	-	65	66,17	1,17	16,13	0,336	37,63	0,056	1,50	70	71,5	57,7	4,5	70	106,5	2,285	1,26	70	68,8	56,9	5,325
19	120	45	-	65	65,88	0,88	16,13	0,336	37,63	0,060	1,43	70	74,2	58,5	6	70	106,5	2,285	1,2	70	70,0	57,2	7,1
20	120	30	-	65	65,59	0,59	16,13	0,336	37,63	0,056	1,43	70	76,8	59,2	9	70	106,5	2,285	1,2	70	71,0	57,6	10,65
21	120	15	-	65	65,29	0,29	16,13	0,336	37,63	0,056	1,43	70	79,5	59,9	18	70	106,5	2,285	1,2	70	72,2	57,9	21,3
22	30	0	12	65	65	0	16,13	0,336	37,63	0,056	1,43	70	79,5	59,9	-	70	106,5	2,285	1,2	70	72,2	57,9	-

Figure 3 : exemple de cycle de courbe de polarisation



Cet essai peut être réalisé en mode manuel ou automatique.

### 2.9.2 Exemple de suivi de cycle de conduite WLTP

Cycles génériques : le superviseur propose la possibilité de générer des cycles programmés directement sur l'interface ou en relecture (import) de fichiers. Il doit être possible d'accéder à toutes les consignes des différents actionneurs.

Les cycles seront habituellement cadencés en fonction du temps mais une possibilité de changement d'étape sur des seuils d'état de mesures pas exemple sera un plus.

Exemple : Variation des pressions de gaz, débits gaz, températures et HR gaz, température du fluide de refroidissement, débit du fluide de refroidissement, courant (ou puissance) stack.

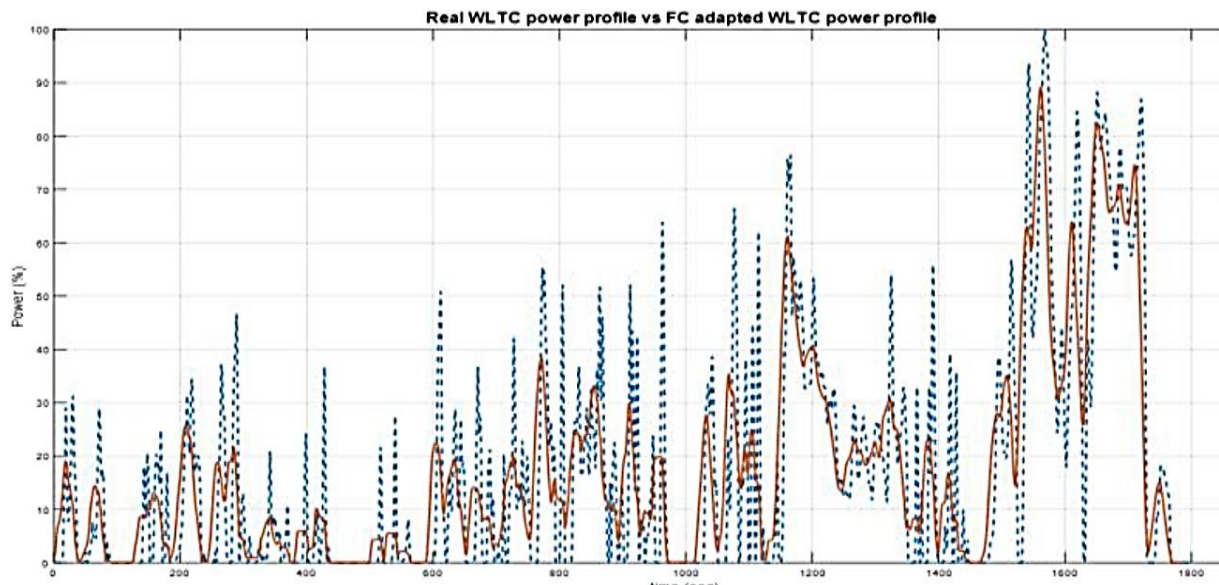


Figure 4 : exemple de cycle dynamique

### 2.9.3 Cycles démarrage / arrêt

FCLAB réalise régulièrement des essais de ce type visant à démarrer une pile à combustible, maintenir pendant quelques minutes un niveau de courant puis l'arrêter, tout cela suivant un protocole bien particulier. On doit pouvoir être en mesure de répéter plusieurs milliers de fois ce cycle afin d'identifier une dégradation de la pile.

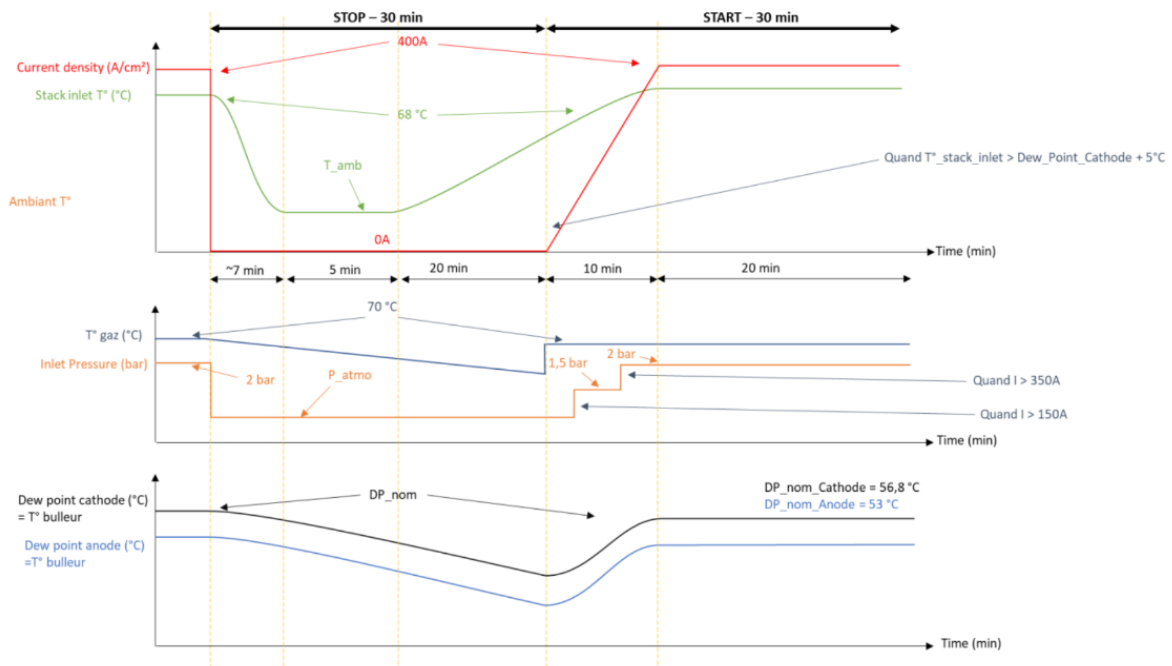


Figure 5 : exemple de cycle démarrage / arrêt répétitifs

#### **2.9.4 Pilotage en mode manuel.**

Il s'agit d'une procédure de conduite manuelle que nous faisons lors des tous premiers tests sur une nouvelle pile à combustible. Comme l'indique le logigramme présenté en Figure 6, l'idée est de laisser la main à l'opérateur sur les consignes et les changements d'étapes afin de pouvoir réagir à tout moment avant de déclencher les sécurités. Durant ce fonctionnement particulier les fonctions de régulation et de sécurité doivent être fonctionnelles.

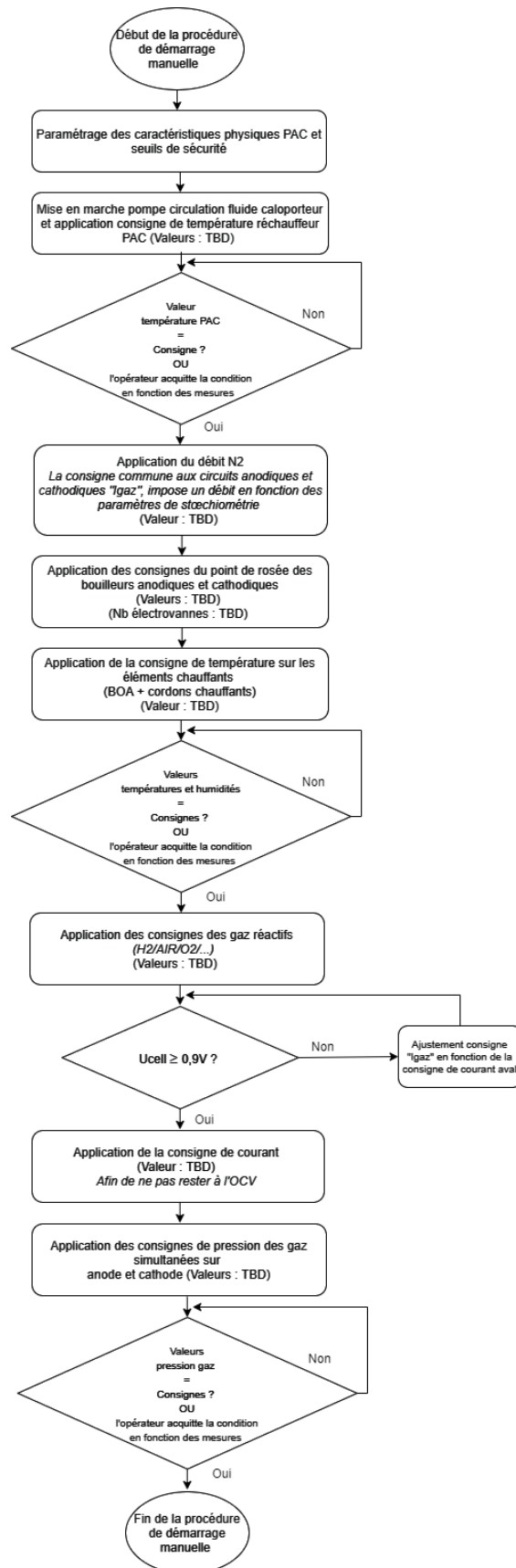


Figure 6 : exemple de procédure de fonctionnement en mode manuel

## 2.10 Spécification technique des bancs d'essais

### 2.10.1 Caractéristiques des fluides disponibles dans les salles d'essai

- Eau brute pour refroidissement stack : 20 – 60°C / 4 bar
- Eau glacée pour condenseurs bancs : 7 – 12 °C / 3 bar
- Pression air : 7 – 11 bar
- Pression H2 : 7 – 11 bar

### **2.10.2 Caractéristiques des fluides pour les Piles à Combustibles**

- température fluide caloporteur du circuit de refroidissement primaire : 20 à 90°C,
- température des gaz : 20 à 90°C +/- 1 °C
- hygrométrie des gaz → point de rosée : 10 à 90 °C +/- 2°C, temps de réponse 20 à 60 % RH < 10 min.
- débit de fluide caloporteur : 2 à 40 l/min
- débits d'air :
  - petits débits, gamme de puissance 1 à 5 kW : 3 à 400 NI/min
  - gros débits, gamme de puissance 3 à 15 kW : 10 à 1200 NI/min
- débit H2 :
  - petits débits, gamme de puissance 1 à 5 kW : 2 à 105 NI/min
  - gros débits, gamme de puissance 3 à 15 kW : 5 à 320 NI/min
- pressions des gaz : 0 à 3 bar relatif
- courant pile : 0 à 800 A
- tension pile : 0 à 200 V

## **3 Conditions Générales**

### **3.1 Pilotage du projet**

- Dès réception de l'ordre de service, une réunion de lancement aura lieu pour déterminer les dates clés, confirmer les données d'entrée et clarifier les, éventuels, derniers points techniques.
- Une réunion de validation de conception aura lieu avant les lancements en fabrication des équipements. Durant cette revue, les documents de concept et de détail et les spécifications de programmation seront revus et agréés par les intervenants.
- Si nécessaire, à l'initiative de n'importe quel intervenant, et à n'importe quelle étape du projet, des réunions de clarification pourront avoir lieu pour clarifier/ amender prendre position sur des hypothèse de dimensionnement, de fonctionnement.
- Une réception en usine sera organisée pour confirmer les modes de fonctionnement, les interconnexions entre les bancs. La méthodologie de cette réception sera agréée lors de la réunion de validation et pourra être amendée par les intervenants après accord de toutes les parties.

### **3.2 Délai du projet**

La livraison des équipement devra avoir lieu pour le **1<sup>er</sup> juin 2026**.

Le fournisseur proposera un planning de réalisation qui présentera les différentes périodes d'étude, d'approvisionnement des éléments principaux, de la fabrication et des essais en usine. Il intégrera également les étapes clés et les jalons de validation.

Le fournisseur devra informer au plus tôt l'UMLP de tout retard ou de tout décalage du planning. L'installation et la mise en route se fera dans le mois qui suit la livraison. En cas de période fermeture des bâtiments, la période sera étendue de la même durée.

### **3.3 Livraison, installation et mise en service**

Les prestations de livraison, d'installation, et de mise en service sur le site sont comprises dans le prix global de l'équipement. Elles devront être détaillées dans la proposition et seront assurées en totalité par le fournisseur. Ce dernier est réputé connaître les contraintes liées à la livraison.

### 3.4 Formation des utilisateurs

Le fournisseur proposera une formation destinée aux utilisateurs sur site à l'utilisation et l'entretien des bancs et des systèmes de supervision. Le fournisseur précisera dans son offre le coût de la formation pour 5 personnes et les frais de déplacements s'il y a lieu.

## 4 Garantie, maintenance et consommables associés à l'équipement

### 4.1 Garantie

La garantie initiale sera de 24 mois minimum.

Le fournisseur chiffrera en option des extensions de garantie pour aller jusqu'à 36 ou 48 mois de garantie au total :

#### **PSE - Prestations supplémentaires éventuelles - n° 4 et 5 :**

*En cas d'absence de chiffrage l'offre ne sera pas analysée. L'Université Marie & Louis Pasteur se réserve le droit de retenir ou non ces PSE. Le candidat en sera informé lors de l'attribution du marché.*

**PSE n°1** : Le candidat devra chiffrer une année de garantie supplémentaire, portant la durée totale de la garantie à 3 ans. Les conditions de cette garantie seront identiques à la garantie de base du matériel

**PSE n°2** : Le candidat devra chiffrer deux années de garantie supplémentaires portant la durée totale de la garantie à 4 ans. Les conditions de cette garantie seront identiques à la garantie de base du matériel.

### 4.2 Maintenance, consommables

Le fournisseur précisera et chiffrera le coût, la nature et la fréquence de remplacement des consommables. Le manuel devra intégrer un plan de maintenance indiquant la planification, le niveau de maintenance, les compétences et les habilitations requises.

### 4.3 Logiciels

Dans la mesure où des logiciels sont fournis par le fournisseur, ce dernier s'engage à informer l'UMLP des éventuelles modifications, mises à jour ou extensions du ou des logiciels et à en faire bénéficier gratuitement l'UMLP pendant une durée minimale de 2 ans.

### 4.4 Intervention

L'offre devra explicitement comprendre les conditions d'intervention en cas de panne avec délais et estimation des coûts afférents.

En cas de panne, le délai d'intervention ne devra pas excéder un mois.

### 4.1 Documentation

Selon la réglementation, l'équipement sera livré avec une notice d'instructions complète rédigée en langue française ou anglaise comprenant en particulier, conformément à la norme NF EN 292-2, les indications relatives à l'équipement de travail, à sa mise en service, à son environnement et à son utilisation ainsi que les indications nécessaires pour la maintenance (plan de la machine, enceinte, moyen de chauffage, accessoires, schémas d'installation électrique, etc.).

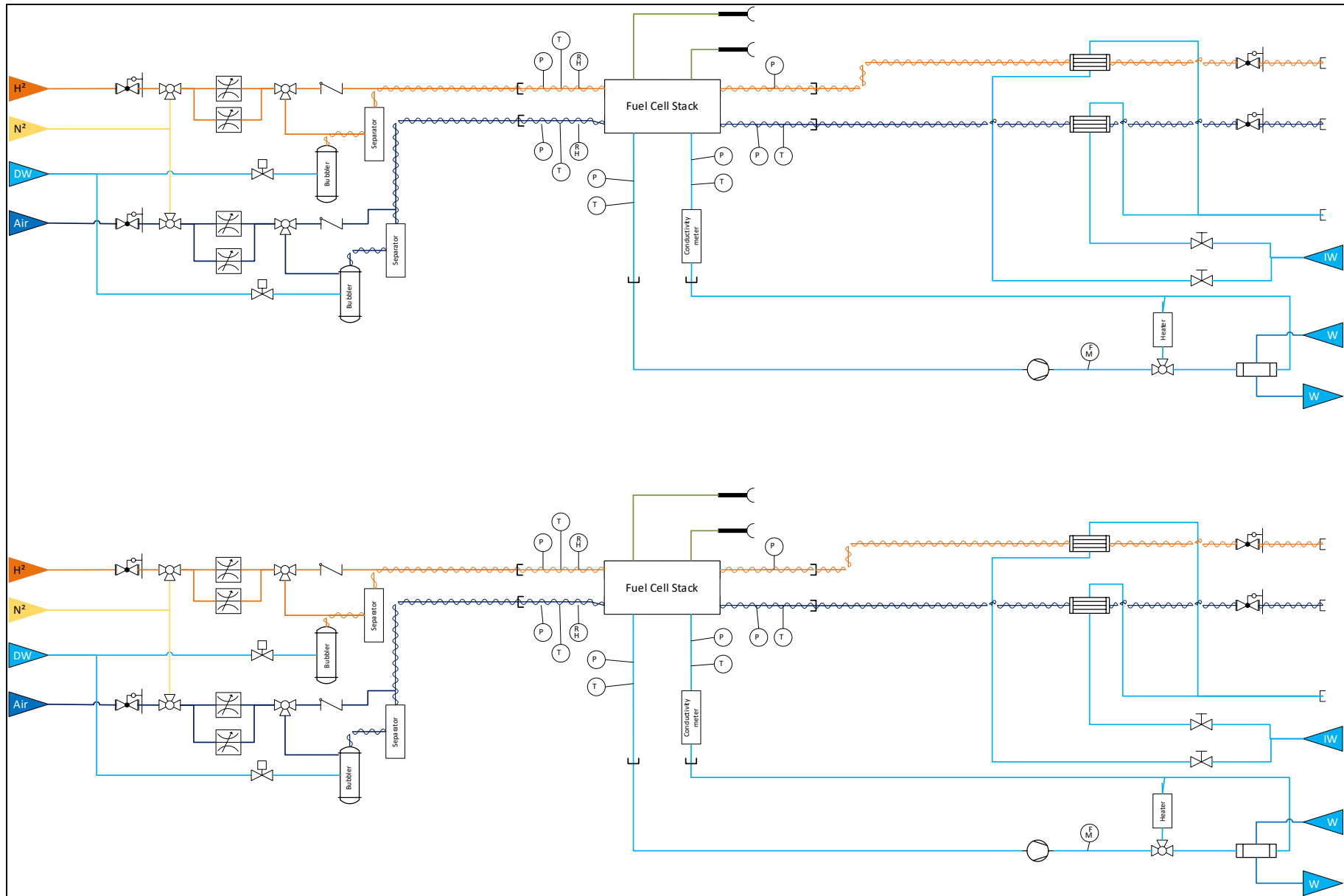
La documentation ci-dessous devra notamment être fournie en cours d'études et à la fin du projet en tant que « Tel que Construit » :

- Plan mécanique ;
- Schémas électriques développés ;
- P&ID des circuits ;
- Note de réglage des protections ;
- Liste d'instrumentation et réglages ;
- Certificat de calibration ou de réglage (pour les équipements de sécurité) ;
- Back-up des logiciels ;
- Liste des risques résiduels ;
- Liste des contraintes d'installation ;
- Manuel d'exploitation et de maintenance ;
- Dossier technique nécessaire aux exigences réglementaires applicables aux équipements (par exemple : Equipement sous pression, Conformité électrique...).

## **Annexe 1 – Variantes d'interconnexion**

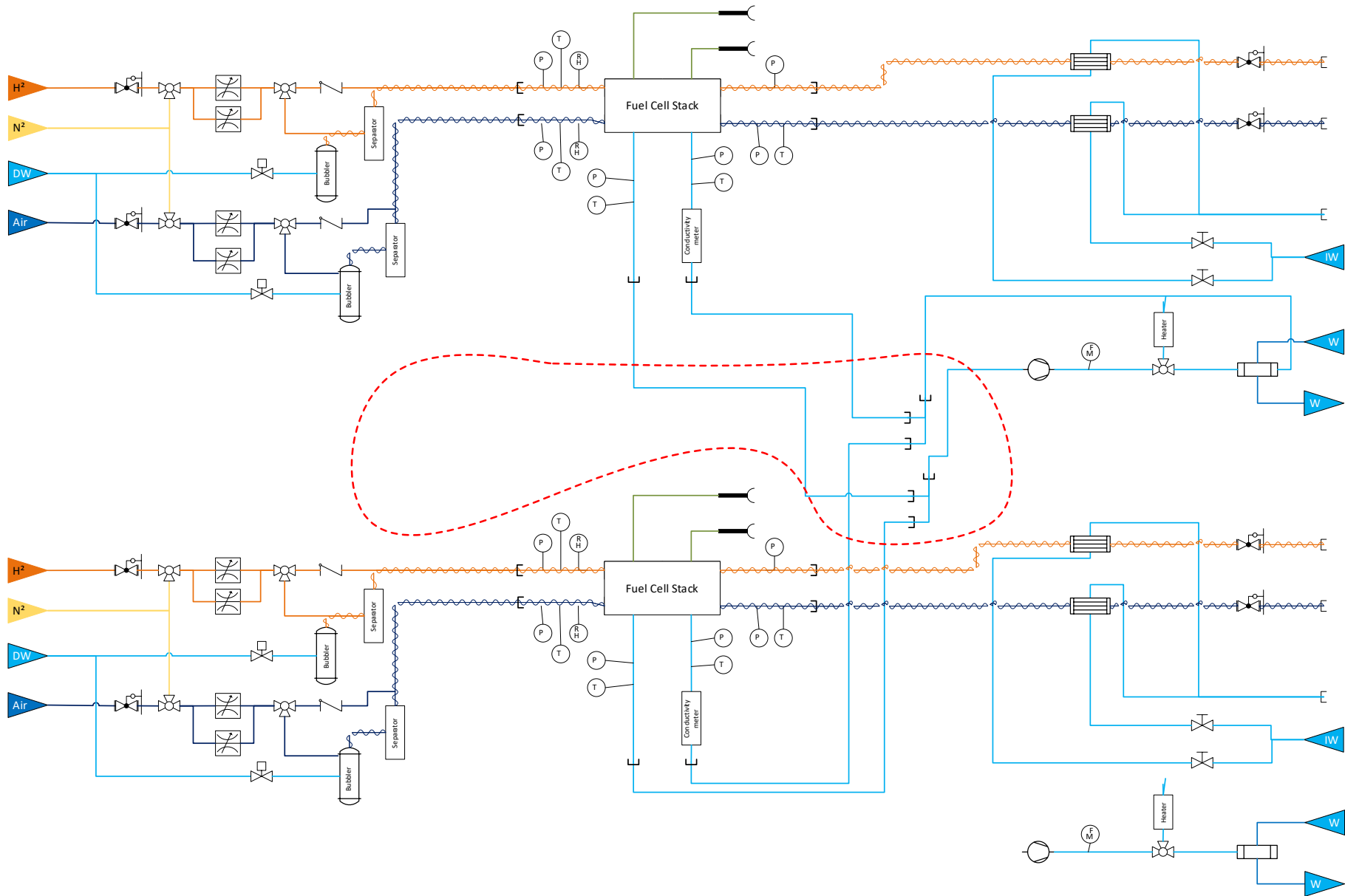
Cette annexe présente quelques variantes de connexions possibles des 2 bancs. Des composés de ces configurations pourront être utilisés pendant l'utilisation de ces bancs par l'UMLP.

Les configurations non compatibles par les bancs devront être signifiées.

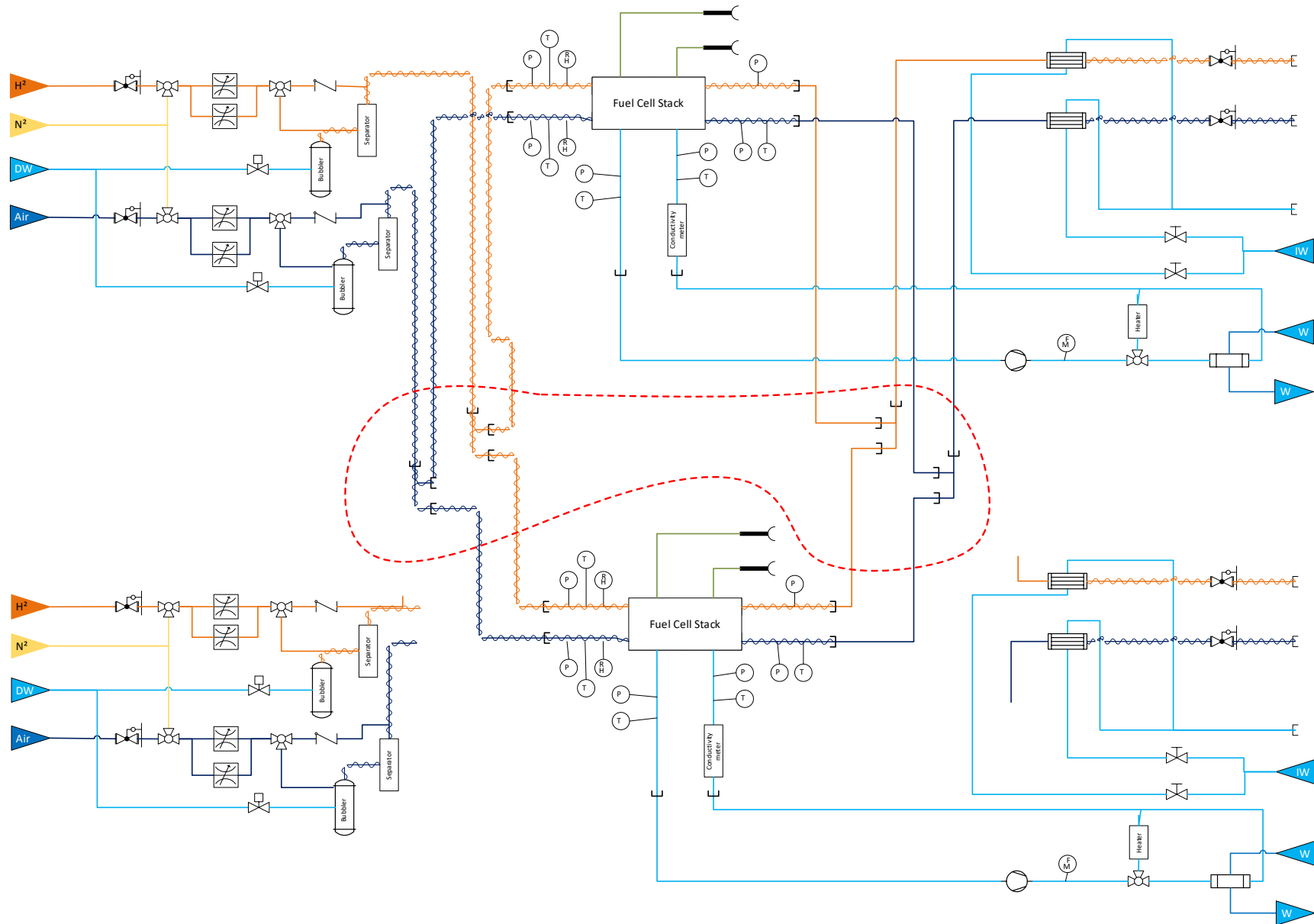


2 bancs : Auxiliaires fluidiques indépendants, Sorties Puissance en série ou parallèle.

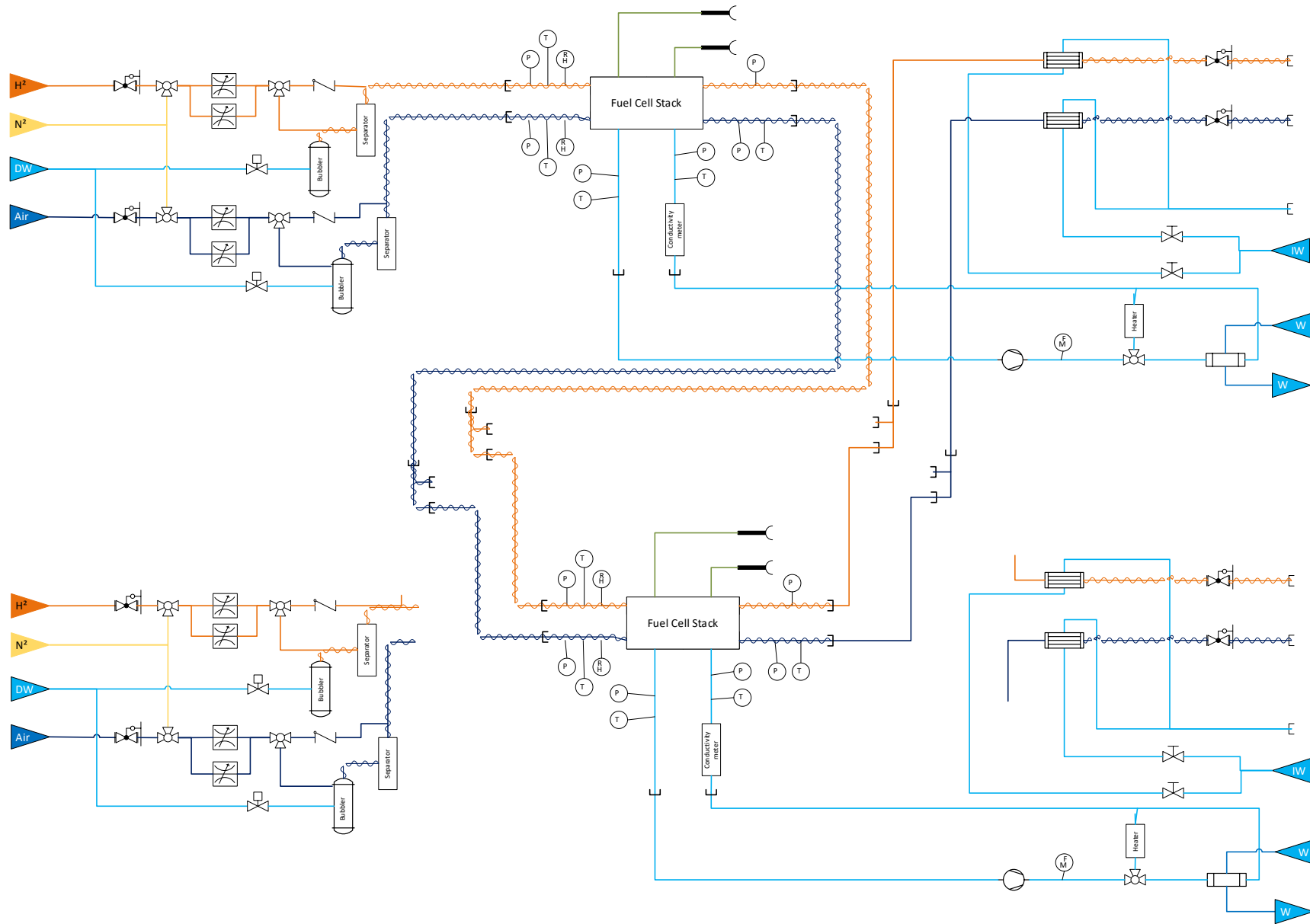




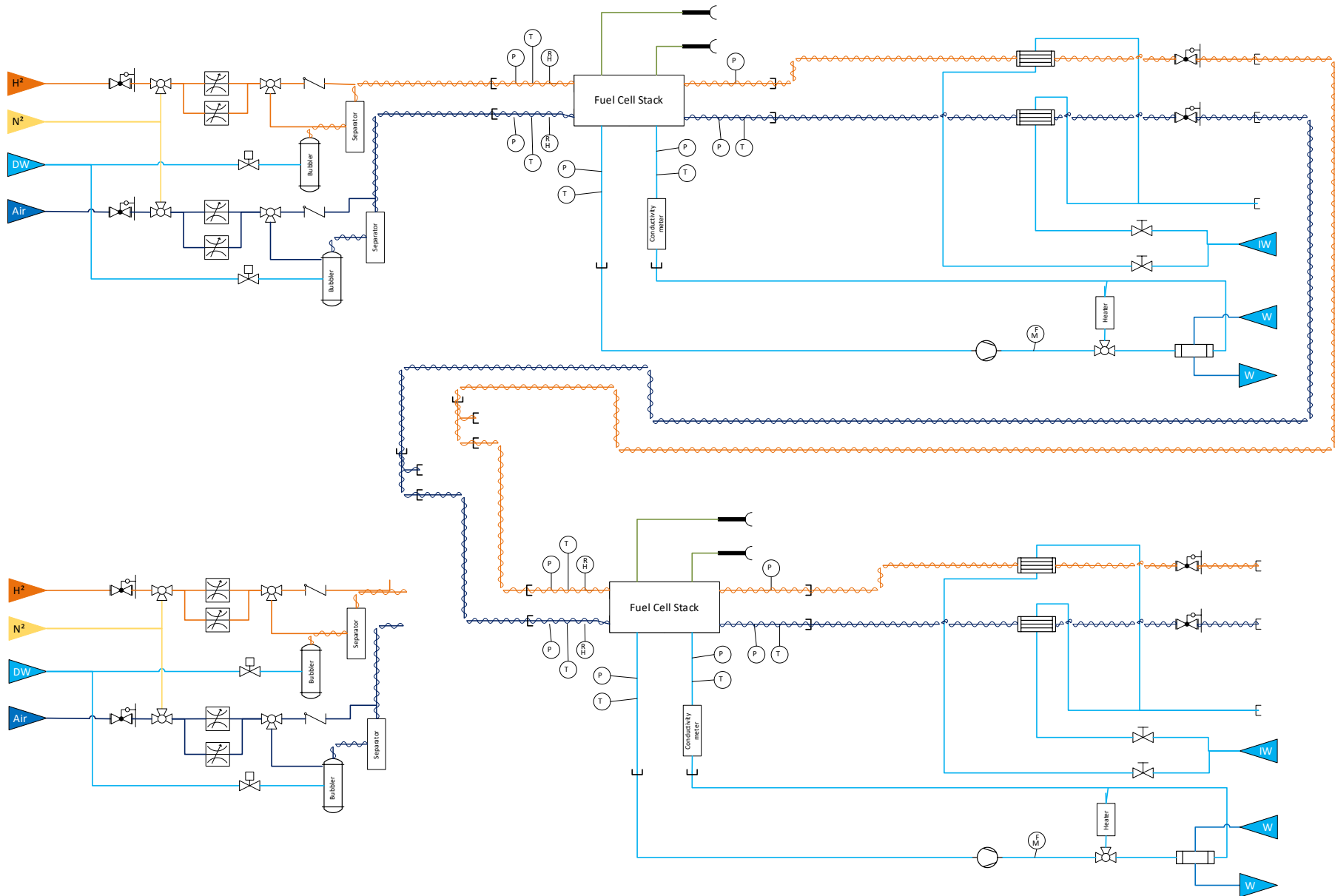
2 bancs : Refroidissement commun, Autres auxiliaires fluidiques indépendants, Sorties Puissance en série ou parallèle.



2 bancs : Refroidissement indépendant, Autres auxiliaires fluidiques en parallèle, Sorties Puissance en série ou parallèle.



2 bancs : Refroidissement indépendant, Autres auxiliaires fluidiques en série, Sorties Puissance en série ou parallèle.



2 bancs : Refroidissement indépendant, Autres auxiliaires fluidiques en série, Sorties Puissance en série ou parallèle.