

		SPECIFICATION TECHNIQUE	Page 1/28
		Accord : XXX	
		Référence : DES/IRESNE/DTN/SMTA/LMCT-ST-DL- 2025-0115	
		Date : DATE D'EMISSION	Indice : A
CAHIER DES CHARGES POUR L'ENVIRONNEMENT PROCEDE DU RCM EN VUE DU TRAITEMENT DE GAZ EN MODE BATCH			

Direction des énergies
Institut de recherche sur les systèmes nucléaires pour la production d'énergie bas carbone
Département de technologie nucléaire
Service mesures et modélisation des transferts et accidents graves
Laboratoire de maîtrise de la contamination et de la chimie des caloporteurs et du tritium

CAHIER DES CHARGES POUR L'ENVIRONNEMENT PROCEDE DU RCM EN VUE DU TRAITEMENT DE GAZ EN MODE BATCH

Niveau de protection du marché

Cocher la case :

☒ Libre

☐ Sensible* ☐ sans enquête administrative ☐ avec enquête administrative

☐ Classifié* ☐ avec accès ☐ avec détention ☐ Secret ☐ Très Secret

Spécial France ☐ OUI ☒ NON

Intervention sur le périmètre du CEA/DAM ☐ OUI ☒ NON

MDS ☐ OUI ☒ NON

Protection des informations (application de l'IGI 1300 arrêté du 09 août 2021)

Cocher la case :

☒ Le présent cahier des charges / DCE ne contient aucune information sensible ; il peut être mis en ligne sur la plateforme dématérialisée du CEA

☐ Le présent cahier des charges / DCE contient des informations sensibles ou DR : sa mise en ligne sur la plateforme dématérialisée du CEA ne peut se faire qu'en utilisant des conteneurs ZED.

☐ Le présent cahier des charges / DCE contient des informations classifiées : sa mise en ligne sur la plateforme dématérialisée du CEA est interdite.

* Signature Correspondant Sécurité DTN

Visa :

IMBACH, Juliette
Signé numériquement
Le 29/04/2026



		SPECIFICATION TECHNIQUE	Page 2/28
		Accord : XXX	
		Référence : DES/IRESNE/DTN/SMTA/LMCT-ST-DL- 2025-0115	
		Date : DATE D'EMISSION	Indice : A
CAHIER DES CHARGES POUR L'ENVIRONNEMENT PROCEDE DU RCM EN VUE DU TRAITEMENT DE GAZ EN MODE BATCH			

NIVEAU DE CONFIDENTIALITE

Diffusion Limitée	Confidentiel	Diffusion Restreinte	Secret	Très Secret
X				

PARTENAIRES/CLIENTS	ACCORD	TYPE D'ACTION
DAM/DMNP	XXX	

REFERENCES INTERNES CEA

Direction pilote	Programme	Projet	e-OTP
		Défense	A-27200-03-00-30-C2
Jalon	Intitulé du jalon	Délai contractuel de confidentialité	Durée de conservation
	CDC implantation environnement procédé RCM		

HISTORIQUE DES MISES A JOUR

Indice	Date d'émission	Objet de la mise à jour
A	DATE D'EMISSION	Émission initiale

	NOM	UNITE	DATE / VISA
REDACTEUR(S)	T. Gilardi, F. Laval	DTN/SMTA/LMCT DAM/VALDUC	 Signature numérique de GILARDI Thierry Date : 2026.04.27 10:13:26 +02'00' C. Chambelland p.o. F. Laval Le 29/04/2026 
VERIFICATEURS	M. Troulay, C. Chambelland	DTN/SMTA/LMCT DAM/VALDUC	 Signature numérique de TROULAY Michèle Date : 2026.04.27 10:16:57 +02'00' TROULAY Michèle C. Chambelland, le 29/04/2026
APPROBATEUR	L. Vio	DTN/SMTA/LMCT	 Signature numérique de VIO Laurent 215351 Date : 2026.04.28 09:42:44 +02'00' VIO Laurent 215351
ÉMETTEUR	L. Diaz	DTN/SMTA	DIAZ, Laurent Signé numériquement Le 28/04/2026

Document propriété de CEA - Reproduction et utilisation extérieures du CEA reconnues à l'usage du personnel.

		SPECIFICATION TECHNIQUE	Page 3/28
		Accord : XXX	
		Référence : DES/IRESNE/DTN/SMTA/LMCT-ST-DL- 2025-0115	
		Date : DATE D'EMISSION	Indice : A
CAHIER DES CHARGES POUR L'ENVIRONNEMENT PROCEDE DU RCM EN VUE DU TRAITEMENT DE GAZ EN MODE BATCH			

MOTS CLES

Valotri, tritium, deutérium, détritiation, RCM, Cahier des charges, transfert de gaz

RESUME/CONCLUSIONS

Dans le cadre du projet VALOTRI, des modifications de l'environnement procédé du RCM (réacteur catalytique à membrane) sont programmées en 2026. L'objectif des modifications est de permettre l'étude du fonctionnement de ce procédé de valorisation du tritium en mode « batch », afin de se rapprocher des conditions d'utilisation prévues à l'échelle industrielle lors de campagnes de traitement de volumes d'effluents gazeux (contenant du HTO) générés puis entreposés.

Ce document constitue un cahier des charges pour décrire les modifications à apporter au banc d'essais existant et à ses équipements (baie de mélange, contrôle-commande) ainsi que les nouveaux équipements à intégrer.

Document propriété du CER - Reproduction et utilisation externes du CER reconnues à l'usage strictement interne.

		SPECIFICATION TECHNIQUE		Page 4/28
		Accord : XXX		
		Référence : DES/IRESNE/DTN/SMTA/LMCT-ST-DL- 2025-0115		
		Date : DATE D'EMISSION	Indice : A	
	CAHIER DES CHARGES POUR L'ENVIRONNEMENT PROCEDE DU RCM EN VUE DU TRAITEMENT DE GAZ EN MODE BATCH			

LISTE DE DIFFUSION

Destinataires CEA :

DAM/DTRI/SHDT	C. Laquerbe
DAM/DTRI/SHDT/LCEP	C. Chambelland, F. Laval
DAM/DMNP	M. Truffier
DES/ISAS/DRMP	J.D. Lulewicz
DES/IRESNE	J.M. Ruggieri, C. Dellis, I. Tkatschenko, P. Dumaz
DES/IRESNE/DTN	X. Averty, J. Imbach, V. Faucher
DES/IRESNE/DTN/SMTA	L. Diaz, G. Jomard, P. Fougéras
DES/IRESNE/DTN/SMTA/LMCT	L. Vio, T. Gilardi, M. Troulay
GED DTN	

Document propriété du CEA - Reproduction et diffusion externes au CEA soumises à l'autorisation de l'émetteur

		SPECIFICATION TECHNIQUE	Page 5/28
		Accord : XXX	
		Référence : DES/IRESNE/DTN/SMTA/LMCT-ST-DL- 2025-0115	
		Date : DATE D'EMISSION	Indice : A
CAHIER DES CHARGES POUR L'ENVIRONNEMENT PROCEDE DU RCM EN VUE DU TRAITEMENT DE GAZ EN MODE BATCH			

SOMMAIRE

1	INTRODUCTION	7
1.1	Objet du document	7
1.2	Glossaire.....	8
2	DESCRIPTION DU DISPOSITIF EXISTANT	8
2.1	Principe du RCM	8
2.2	Description du banc existant RCM-D1.....	8
3	PARTIE 1 : FOURNITURE DES EQUIPEMENTS ET REALISATION DES CIRCUITS POUR LES TRANSFERTS DE GAZ ENTRE CAPACITES	9
3.1	Objectifs et spécifications des portions de circuits à réaliser	9
3.1.1	Principe de réglage des débits gazeux	13
3.1.2	Principe de réglage de la pression	14
3.2	Schémas de circuit et d'implantation des équipements.....	14
3.3	Description des équipements à fournir	17
3.3.1	Adaptation de la baie de mélange de gaz actuelle ou fabrication d'une nouvelle baie	17
3.3.2	Information sur l'évaporateur/mélangeur de gaz et opérations à prévoir	18
3.3.3	Information sur les capacités de stockage des gaz	18
3.3.4	Régulateurs de pression – régulateurs de débits.....	19
3.3.5	Mesures de température	19
3.3.6	Tuyauteries et chauffages/calorifugeage des portions de lignes gaz	20
3.3.7	Description des équipements fournis par le CEA.....	20
3.4	Implantation des équipements dans le laboratoire.....	22
4	PARTIE 2 : FOURNITURE DU CONTROLE-COMMANDE	22
4.1	Description des fonctionnalités	22
4.2	Schéma fonctionnel du contrôle-commande.....	23
5	EXECUTION DE LA PRESTATION.....	24
5.1	Phases et jalons de la prestation	24
5.2	Tests d'étanchéité et de fonctionnement en usine	25
5.2.1	Tests d'étanchéité en usine.....	25
5.2.2	Tests de fonctionnement en usine	26
6	DOCUMENTATION A REMETTRE POUR LA PRESTATION	26
7	DELAIS SOUHAITES POUR L'EXECUTION DE LA PRESTATION	27
ANNEXE 1	DESCRIPTION DETAILLEE DES ELEMENTS DE LA BAIE DE MELANGE DE GAZ EXISTANTE	28

Document propriété de CEA - Reproduction et utilisation extérieures du CEA reconnues et autorisées par le CEA

		SPECIFICATION TECHNIQUE	Page 6/28
		Accord : XXX	
		Référence : DES/IRESNE/DTN/SMTA/LMCT-ST-DL- 2025-0115	
		Date : DATE D'EMISSION	Indice : A
CAHIER DES CHARGES POUR L'ENVIRONNEMENT PROCEDE DU RCM EN VUE DU TRAITEMENT DE GAZ EN MODE BATCH			

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Schéma fonctionnel du banc d'essais actuellement en place au CEA Cadarache	9
Figure 2 : Schéma de principe du montage à réaliser	10
Figure 3 : Schéma fonctionnel pour les essais en conditions de balayage 1	12
Figure 4 : Plan des circuits fluides du banc RCM en phase d'essai	15
Figure 5 : Plan des circuits fluides du banc RCM en phase de dégazage	16
Figure 6 : Schéma fonctionnel simplifié du contrôle-commande	24

Document propriété du CEA - Reproduction et utilisation extérieures du CEA soumises à l'approbation du CEA

		SPECIFICATION TECHNIQUE	Page 7/28
		Accord : XXX	
		Référence : DES/IRESNE/DTN/SMTA/LMCT-ST-DL- 2025-0115	
		Date : DATE D'EMISSION	Indice : A
CAHIER DES CHARGES POUR L'ENVIRONNEMENT PROCEDE DU RCM EN VUE DU TRAITEMENT DE GAZ EN MODE BATCH			

1 INTRODUCTION

1.1 Objet du document

Dans le cadre du projet VALOTRI, un procédé de traitement de gaz tritiés est étudié dans le but de valoriser le tritium contenu (principalement sous forme d'eau tritiée HTO, de tritium gaz (HT) mais également sous d'autres formes comme des composés organiques tritiés) dans les effluents générés, notamment, par l'exploitation des réacteurs à fusion nucléaire.

Ce procédé, basé sur l'utilisation d'un Réacteur Catalytique à Membrane (RCM), combine perméation et réaction catalytique de conversion pour récupérer le tritium sous une forme Q₂ exploitable (Q représentant l'un des 3 isotopes de l'hydrogène à savoir le protium H, le deutérium D ou le tritium T). Un banc d'essai, nommé RCM-D1 (RCM en présence de deutérium), installé actuellement au CEA Cadarache en P116B du bâtiment 208, a été utilisé pour des essais paramétriques sur un RCM monotube. Pour des raisons de simplification, ces essais ont eu lieu avec du deutérium simulant le tritium, le deutérium n'étant pas radioactif.

Suite à ces essais, un prototype multitube a été dimensionné. Ce prototype sera utilisé pour les essais prévus dans le cadre de nouvelles études, dans des conditions plus représentatives des traitements à l'échelle industrielle. Les essais réalisés jusqu'à présent pour la qualification de ces composants ont été conduits en conditions idéales de circulation continue des gaz (alimentation du gaz à purifier et balayage en H₂ pour permettre l'échange isotopique avec le deutérium).

Afin de se rapprocher des conditions d'utilisation prévues à l'échelle industrielle, lors de campagnes de traitement de volumes d'effluents gazeux (contenant du HTO) générés puis entreposés, il est nécessaire d'étudier le fonctionnement de ce procédé en mode « batch », en vue de sa qualification par rapport aux performances attendues.

Dans la suite de ce document, à l'exception de certains schémas, il ne sera plus discuté de tritium mais uniquement de deutérium, qui servira de simulant pour les essais. Le présent cahier des charges vise à décrire les spécifications du banc d'essais à réaliser et de ses équipements (contrôle-commande) ainsi que des nouveaux équipements à intégrer. Il précise également les spécifications à prendre en compte vis-à-vis du fonctionnement et des contraintes d'implantation.

Après une description du RCM et du banc d'essais existant, l'expression des besoins présentée dans ce cahier des charges est divisée en deux parties :

- Partie 1 : la description de la fourniture des équipements et de la réalisation des circuits
- Partie 2 : la description de la fourniture du contrôle-commande.

Les nouvelles portions de procédé, constitutive du banc, seront réalisées dans le cadre de cette prestation et seront approvisionnées dans **les locaux du centre CEA de Valduc**.

Le prestataire qui sera retenu pourra prévoir des sous-traitants éventuels pour prendre en charge une partie des besoins (par exemple la programmation du contrôle-commande).

Document propriété du CEA - Reproduction et utilisation extérieures au CEA interdites à l'exception des notes

		SPECIFICATION TECHNIQUE	Page 8/28
		Accord : XXX	
		Référence : DES/IRESNE/DTN/SMTA/LMCT-ST-DL- 2025-0115	
		Date : DATE D'EMISSION	Indice : A
CAHIER DES CHARGES POUR L'ENVIRONNEMENT PROCEDE DU RCM EN VUE DU TRAITEMENT DE GAZ EN MODE BATCH			

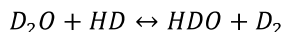
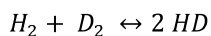
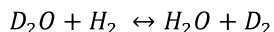
1.2 Glossaire

Terme / sigle	Définition
CEA	Commissariat à l'Énergie Atomique et aux Énergies Alternatives
DES	Direction des énergies
IRESNE	Institut de recherche sur les systèmes nucléaires pour la production d'énergie bas carbone
DTN	Département de Technologie Nucléaire
SMTA	Service de Mesure et modélisation des Transferts et des Accidents Graves
LMCT	Laboratoire de Maîtrise de la contamination et de la chimie des Caloporteurs et du Tritium
RCM	Réacteur Catalytique à Membrane
CEM	Controlled Evaporation Mixing

2 DESCRIPTION DU DISPOSITIF EXISTANT

2.1 Principe du RCM

Le réacteur catalytique à membrane (RCM) est un système associant, d'une part, les propriétés de conversion catalytique d'un réacteur à lit fixe gaz-solide et, d'autre part, les qualités de perméation sélective d'une membrane dense perméable aux isotopologues du dihydrogène sous forme Q₂ gaz (Q = H ou D). Dans le cadre des études menées au laboratoire, il permet la conversion de l'eau lourde (D₂O) en hydrogène deutéré (HD, D₂) puis l'extraction de l'hydrogène deutéré du flux principal. Plusieurs réactions d'échange isotopique favorisées par le catalyseur ont lieu entre les différentes espèces et conduisent à la formation de D₂ et de HD.



Le deutérium extrait sous forme HD ou D₂ peut alors être revalorisé.

2.2 Description du banc existant RCM-D1

Le RCM constitue le composant central du banc d'essais existant et concerné par les perspectives d'études associées à ce cahier des charges. Deux autres composants (R01 et R02 représentés sur les schémas du banc d'essai) sont également en place mais ne feront pas partie du futur banc.

Comme cela est représenté sur le schéma fonctionnel (Figure 1) ci-dessous, plusieurs dispositifs sont raccordés à ce composant central :

- une baie de mélange pour la préparation et l'admission du mélange gazeux à traiter,
- des points d'échantillonnage en entrée et en sortie du RCM permettant d'analyser en continu la composition chimique grâce à un spectromètre de masse,
- un système de contrôle-commande pour le pilotage des divers éléments du circuit et l'acquisition des données
- un système dédié pour la régulation du chauffage et de la température du RCM.

Document propriété de CEA - Reproduction et utilisation interdites de CEA soumise à l'approbation de son titulaire.

		SPECIFICATION TECHNIQUE	Page 9/28
		Accord : XXX	
		Référence : DES/IRESNE/DTN/SMTA/LMCT-ST-DL- 2025-0115	
		Date : DATE D'EMISSION	Indice : A
CAHIER DES CHARGES POUR L'ENVIRONNEMENT PROCEDE DU RCM EN VUE DU TRAITEMENT DE GAZ EN MODE BATCH			

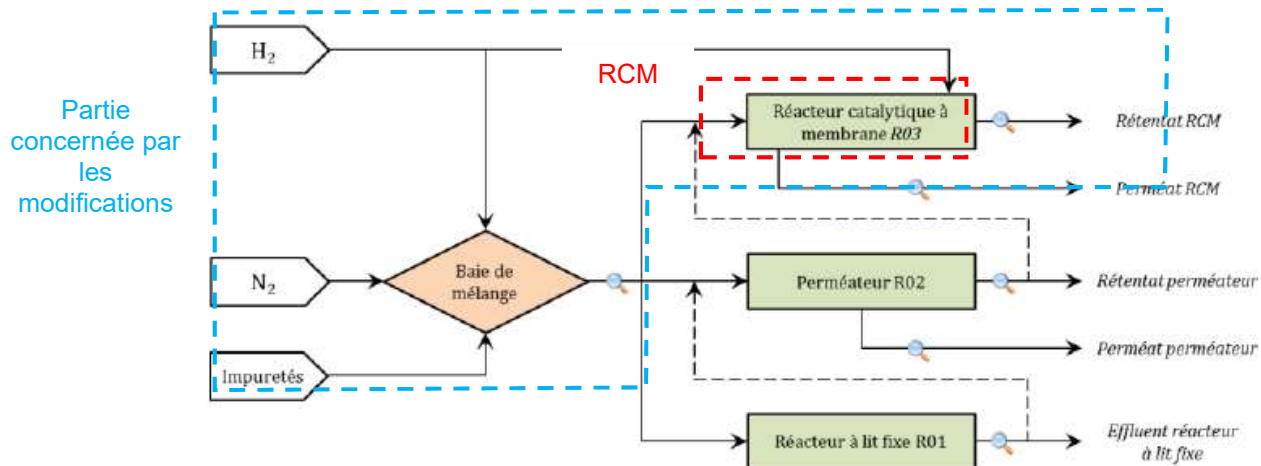


Figure 1 : Schéma fonctionnel du banc d'essais actuellement en place au CEA Cadarache

Une régulation de température des tuyauteries et des composants du circuit est assurée par un calorifugeage et un chauffage externe (cordons chauffants) piloté par un système de contrôle indépendant afin d'éviter toute condensation de l'eau ou ses isotopologues (H_2O , D_2O ou HDO). Ce type de maintien en température devra être mis en place sur toutes les sections de circuit véhiculant de l'eau ou ses isotopologues (H_2O , D_2O ou HDO) afin d'éviter toute condensation (cf. §3.3.6). Cette régulation de température sera gérée par le même type de coffrets spécifiques déjà en place (coffrets « Vulcanic ») assurant l'alimentation des cordons de chauffage destinés aux circuits gaz et aux capacités. En revanche, la ligne balayage / perméat ne nécessite pas d'être chauffée car elle ne renfermera que des gaz (H_2 , HD , D_2).

3 PARTIE 1 : FOURNITURE DES EQUIPEMENTS ET REALISATION DES CIRCUITS POUR LES TRANSFERTS DE GAZ ENTRE CAPACITES

3.1 Objectifs et spécifications des portions de circuits à réaliser

Le montage à réaliser, représenté de manière simplifiée sur la Figure 2, a pour objectif de réaliser le traitement d'un volume de gaz donné, initialement contenu dans une capacité d'alimentation, et de procéder à une conversion et à une séparation au niveau du RCM, avant de récupérer deux mélanges gazeux distincts dans deux autres capacités différentes :

- Côté perméat : une phase gazeuse enrichie en deutérium gaz, récupérée dans une capacité « perméat »,
- Côté rétentat : une phase gazeuse appauvrie en eau lourde (D_2O), récupérée dans une capacité « rétentat ».

Les trois capacités (d'un volume utile de 200 L chacune) ne sont pas à fournir dans le cadre du présent marché, en revanche les circuits à réaliser dans le cadre de la prestation devront permettre leur raccordement.

Convention pour les valeurs de pression : Pour éviter les éventuelles erreurs d'interprétation, il est précisé que toutes les valeurs de pression utilisées dans le cadre de ce projet seront par défaut des valeurs de **pression absolue**.

		SPECIFICATION TECHNIQUE	Page 10/28
		Accord : XXX	
		Référence : DES/IRESNE/DTN/SMTA/LMCT-ST-DL- 2025-0115	
		Date : DATE D'EMISSION	Indice : A
CAHIER DES CHARGES POUR L'ENVIRONNEMENT PROCEDE DU RCM EN VUE DU TRAITEMENT DE GAZ EN MODE BATCH			

Contraintes:

$P \leq 900$ mbar dans les 4 capacités
Pression procédé (hors capacités) $\leq 2,5$ bar
taux de fuite maximal : 10^{-7} Pa.m³/s

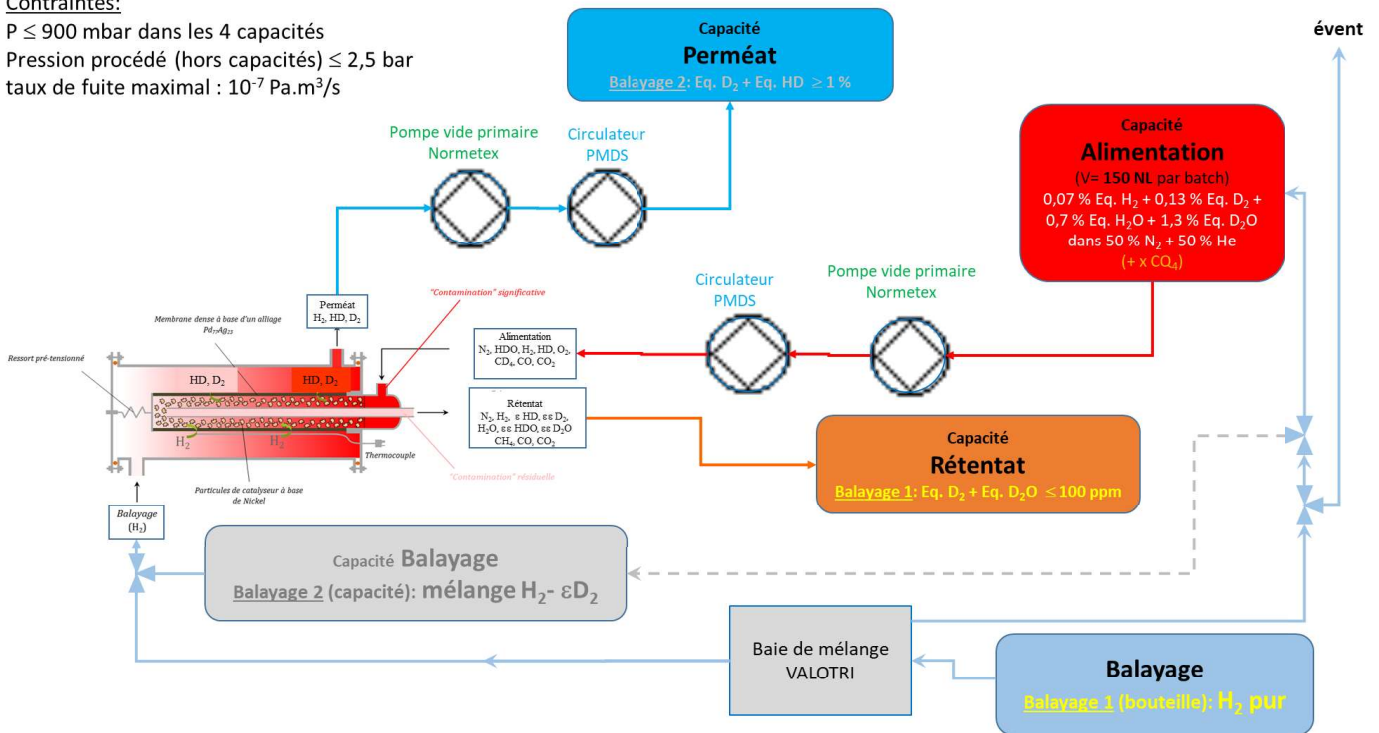


Figure 2 : Schéma de principe du montage à réaliser

Deux conditions de balayage, décrites ci-après, sont envisagées. La première est retenue pour les spécifications du présent cahier des charges, tandis que la seconde représente une perspective d'évolution à plus long terme :

- **Balayage 1** : un balayage en H₂ pur depuis une bouteille commerciale sous pression de 7 bar après détendeur,
- **Balayage 2** : un balayage avec un mélange H₂-εD₂ (10 à 1000 ppmv Eq. D₂ en équivalent de fraction volumique sous la forme D₂ pour la somme des contributions des diverses espèces deutérées à savoir D₂ et HD) déjà constitué contenu dans une capacité (sous une pression initiale maximale de 900 mbar).

La première condition (balayage 1) sera étudiée en priorité et servira de référence pour la conception du dispositif et la définition des modifications.

Pour la seconde condition (balayage 2), correspondant à un balayage à partir d'une capacité de volume donné, les équipements nécessaires spécifiques à ce fonctionnement (la capacité « Balayage » et ses lignes de raccordement) ne sont pas à fournir ni à chiffrer.

Cependant, les raccords nécessaires et les emplacements à réserver pour ces équipements liés à la future capacité (« balayage 2 ») seront montés sur les portions de circuits dès cette première phase . C'est pourquoi, l'installation future de la capacité « balayage 2 » sera préparée en installant notamment :

- **un té muni de deux vannes d'arrêt** qui sera installé en entrée du régulateur de débit « DIR 2 » (cf. Figure 3) pour permettre la sélection de l'un des deux modes de balayage (bouteille de H₂ pur « balayage 1 » ou future capacité « balayage 2 »). Un **bouchon sera de plus rajouté** à l'entrée de la seconde vanne d'arrêt pour garantir l'étanchéité du circuit en cas d'ouverture accidentelle de la vanne installée.

Document propriété du CEA - Reproduction et diffusion extérieures au CEA interdites à l'exception des notices

		SPECIFICATION TECHNIQUE	Page 11/28
		Accord : XXX	
		Référence : DES/IRESNE/DTN/SMTA/LMCT-ST-DL- 2025-0115	
		Date : DATE D'EMISSION	Indice : A
CAHIER DES CHARGES POUR L'ENVIRONNEMENT PROCEDE DU RCM EN VUE DU TRAITEMENT DE GAZ EN MODE BATCH			

- **un té muni de deux vannes d'arrêt et d'un bouchon** en sortie de la baie de mélange de gaz pour alimenter soit la capacité d'alimentation soit la future capacité « balayage 2 » lors des phases de remplissage.

Pour réaliser le traitement de gaz dans les conditions de balayage 1, l'objectif des essais prévus par le CEA sera de permettre le traitement d'un volume de gaz d'alimentation dans les conditions suivantes :

- en minimisant le volume total de gaz de balayage utilisé, sans dépasser une concentration maximale en deutérium dans le rétentat final récupéré dans la capacité correspondante. Cette concentration maximale en deutérium est fixée à une valeur totale de 100 ppmv ($\text{Eq.D}_2 + \text{Eq.D}_2\text{O}$) en équivalent de concentration volumique sous la forme D_2 pour la somme des contributions des diverses espèces deutérées à savoir D_2 , HD, D_2O et HDO.
- en contrôlant les divers paramètres de fonctionnement (débits, pressions, températures...) de manière à limiter la durée de traitement de tout le volume de gaz initial (capacité alimentation) à une durée de 8 h maximum .

Cet objectif de fonctionnement sera l'objet des réglages des différents paramètres du procédé qui seront réalisés par le CEA (principalement les débits gazeux et les pressions dans chacun des deux compartiments du RCM). Les ordres de grandeur évalués pour ces différents paramètres ont servi à définir les spécifications techniques de ce cahier des charges.

Un schéma fonctionnel du système à réaliser à partir du banc existant pour un traitement de gaz dans les conditions de balayage 1 est représenté sur la Figure 3.

L'ajustement du débit de balayage se fera à partir de plusieurs tests distincts via le contrôle-commande du procédé.

En outre, le débit d'alimentation sera ajusté de manière à permettre un compromis entre le traitement d'une quantité maximale de gaz introduite initialement dans la capacité « alimentation » sur la durée d'une journée de travail (environ 8h) et d'autre part l'objectif de performance du traitement favorisé par des débits d'alimentation plus faibles. Le volume de gaz initial à traiter étant de 150 NL (ou Normaux Litres) maximum par batch, le débit dans le circuit alimentation / rétentat sera régulé à une valeur nominale de l'ordre de 20 NL/h ($150\text{NL}/8\text{h} = 18,75 \text{ NL/h}$), soit de l'ordre de 300 NmL/min (ou Normaux milliLitres par minute), mais pourra également être régulé à des valeurs différentes (plus faibles ou plus élevées) pouvant varier entre 0 et 60 NL/h (soit entre 0 et 1000 NmL/min).

La gamme de fonctionnement du régulateur de débit d'alimentation fourni par le titulaire devra donc couvrir ce domaine de variation.

Document propriété de CEA - Reproduction et utilisation extérieures de CEA soumises à autorisation préalable.

		SPECIFICATION TECHNIQUE		Page 12/28
		Accord : XXX		
		Référence : DES/IRESNE/DTN/SMTA/LMCT-ST-DL-2025-0115		
		Date : DATE D'EMISSION	Indice : A	
CAHIER DES CHARGES POUR L'ENVIRONNEMENT PROCEDE DU RCM EN VUE DU TRAITEMENT DE GAZ EN MODE BATCH				

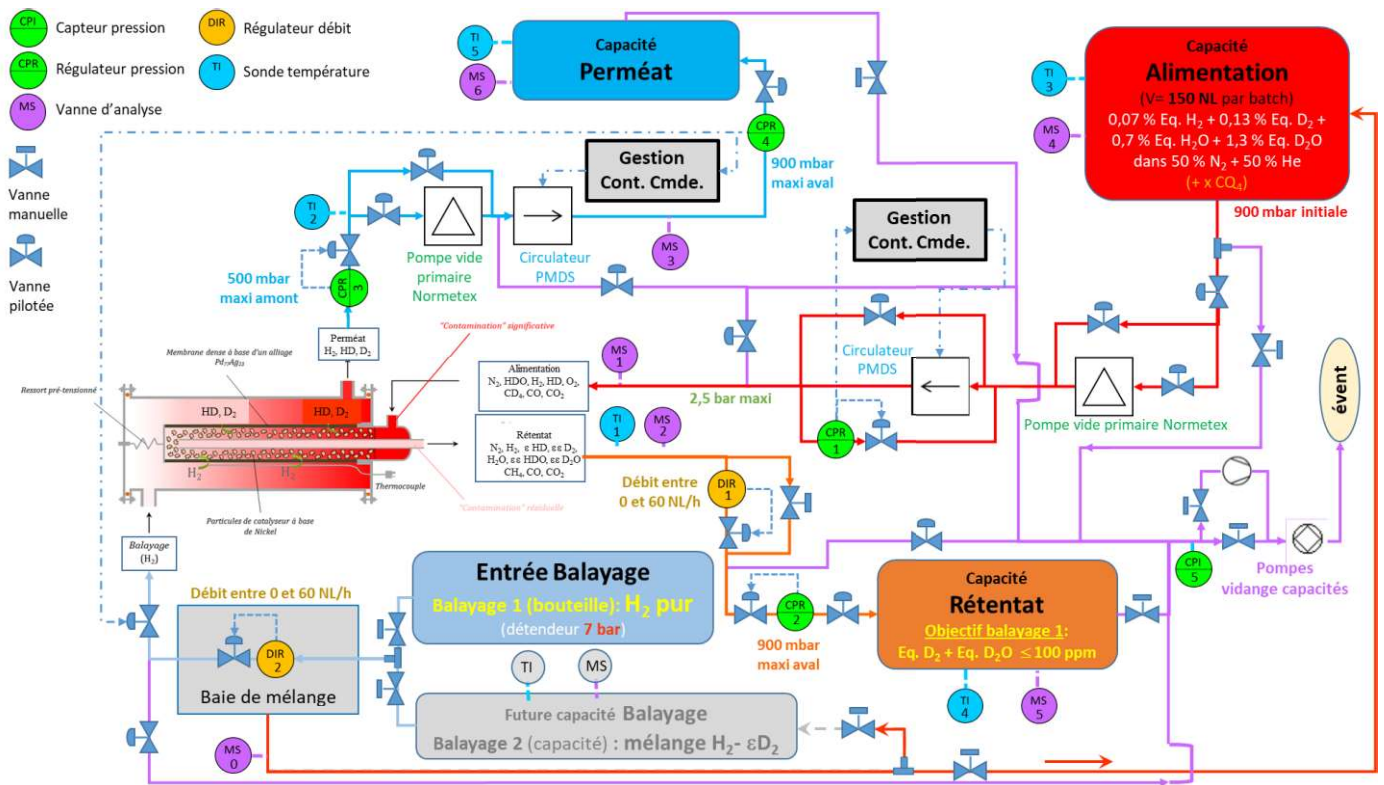


Figure 3 : Schéma fonctionnel pour les essais en conditions de balayage 1

La pression gazeuse est également un autre paramètre important à contrôler pour ne pas dépasser certains seuils dans les différentes capacités mais aussi dans chacun des deux compartiments du RCM :

- Dans toutes les capacités (alimentation, rétentat, perméat) la pression ne doit pas dépasser 900 mbar.
- Toutes les capacités (y compris la capacité balayage proposée en option) ainsi que les différentes lignes du banc (perméat, alimentation et rétentat) seront également raccordées à l'évent pour pouvoir être vidangées via un système de pompage composé d'une pompe primaire complétée par une pompe moléculaire permettant de descendre à un vide de 10^{-4} à 10^{-5} mbar. Les deux pompes seront fournies par le CEA.
- Dans le tube central (c'est-à-dire la membrane) du RCM renfermant les particules de catalyseur la **pression du gaz d'alimentation traversant le lit de particules sera réglée à une valeur réglable jusqu'à un maximum de 2,5 bar.**
- Dans le compartiment périphérique du RCM en contact avec la calandre, la **pression du gaz de balayage sera également réglée à une valeur réglable jusqu'à un maximum de 500 mbar.**
- Dans tous les cas, la **différence de pression de part et d'autre de la membrane** (entre CPR1 et CPR3) **ne devra pas dépasser 2,5 bar** pour éviter d'endommager celle-ci : cette contrainte sera assurée en respectant toujours cet écart maximum entre les consignes de pression des deux régulateurs de pression CPR1 et CPR3.

Pour assurer ces spécifications, plusieurs composants sont à prévoir. Une proposition de schéma fonctionnel intégrant les groupes de pompage, l'instrumentation (mesure et/ou régulation de paramètres), les principales vannes, la gestion des données de contrôle-commande est représentée sur la Figure 3. **Cette proposition de schéma devra être analysée par le prestataire par rapport aux objectifs de nos essais, aux spécifications**

Document propriété du CEA - Reproduction et utilisation externes du CEA soumises à l'accord préalable du CEA

		SPECIFICATION TECHNIQUE	Page 13/28
		Accord : XXX	
		Référence : DES/IRESNE/DTN/SMTA/LMCT-ST-DL- 2025-0115	
		Date : DATE D'EMISSION	Indice : A
CAHIER DES CHARGES POUR L'ENVIRONNEMENT PROCEDE DU RCM EN VUE DU TRAITEMENT DE GAZ EN MODE BATCH			

énoncées précédemment et aux caractéristiques des composants qui seront intégrés dans les circuits. Toutes les modifications nécessaires seront apportées et justifiées par le prestataire qui sera responsable de la conception des circuits (choix des équipements et positionnement dans les circuits) pour répondre aux besoins exprimés dans le présent cahier des charges.

Ces composants seront installés pour remplir les fonctions suivantes :

- Ligne alimentation / rétentat :
 - un groupe de pompage composé d'un circulateur et d'une pompe primaire (pour aider le circulateur à aspirer le gaz à traiter en fin de transfert lorsque la pression devient inférieure à quelques dizaines de mbar),
 - un capteur / régulateur de pression placé entre le circulateur et le RCM,
 - un capteur / régulateur de débit placé en sortie du RCM permettant de réguler le débit à sa valeur de consigne,
 - Un capteur de pression sera placé juste avant la capacité « rétentat ». Ce capteur sera alarmé et asservi (2 seuils : 850 mbar et 900 mbar qui entraîne un arrêt des groupes de pompage) afin de ne pas passer 900 mbar dans la capacité.
- Ligne balayage / perméat :
 - un capteur / régulateur de débit en entrée du RCM,
 - un capteur / régulateur de pression placé en sortie du RCM et juste avant le groupe de pompage (l'ouverture de la vanne permet de régler la pression grâce au groupe de pompage en aval),
 - un groupe de pompage composé d'un circulateur et d'une pompe primaire,
 - Un capteur de pression sera placé juste avant la capacité « perméat ». Ce capteur sera alarmé et asservi (2 seuils : 850 mbar et 900 mbar qui entraîne un arrêt des groupes de pompage) afin de ne pas passer 900 mbar dans la capacité.

3.1.1 Principe de réglage des débits gazeux

Pour assurer les objectifs de fonctionnement, les débits de balayage et d'alimentation devront être contrôlés et réglés par l'opérateur à partir de l'interface du contrôle-commande. Ce dernier permettra, d'une part de récupérer et afficher à l'écran toutes les mesures physiques réalisées sur les circuits (températures, pressions, débits) et d'autre part de piloter le fonctionnement du procédé (en particulier les vannes, les régulateurs de débit et de pression).

Le réglage du débit de balayage en H₂ pur se fera par ajustements successifs réalisés par l'opérateur dans une gamme comprise entre 0 et 60 NL/h également (soit entre 0 et 1000 NmL/min).

Le débit de balayage sera réglé par un régulateur de débit placé en amont du RCM. Toutefois le groupe de pompage (pompe primaire + circulateur) placé en aval du RCM pour contrôler la pression dans la calandre du RCM, aura également un impact sur le débit. C'est pourquoi le régulateur de débit adaptera l'ouverture de sa vanne pour ramener le débit à sa valeur de consigne en fonction des conditions de fonctionnement du groupe de pompage et de leur impact sur le débit. L'action conjointe de ces deux composants devra permettre de maintenir un débit de balayage relativement stable pendant la durée du transfert.

Par ailleurs, le débit d'alimentation sera réglé également à l'aide de deux composants du même type mais leur positionnement par rapport au RCM sera inversé par rapport à la ligne de balayage. D'une part le groupe de pompage sera placé en amont du RCM pour permettre de régler une surpression dans le RCM de l'ordre de 2 à

Document propriété du CEA - Reproduction et utilisation externes du CEA soumises à l'approbation du CEA

		SPECIFICATION TECHNIQUE	Page 14/28
		Accord : XXX	
		Référence : DES/IRESNE/DTN/SMTA/LMCT-ST-DL- 2025-0115	
		Date : DATE D'EMISSION	Indice : A
CAHIER DES CHARGES POUR L'ENVIRONNEMENT PROCEDE DU RCM EN VUE DU TRAITEMENT DE GAZ EN MODE BATCH			

2,5 bar et d'autre part le régulateur de débit placé en aval du RCM ajustera le débit à une consigne de l'ordre de 20 NL/h comme cela a été justifié plus haut.

Afin d'autoriser des ajustements de débits en fonction de l'efficacité du procédé, les régulateurs de débit devront permettre un réglage dans une gamme suffisante autour des valeurs de consigne prévues. En pratique, le débit de balayage ainsi que le débit d'alimentation devront permettre de couvrir une gamme de 0 à 60 NL/h (ou 1000 NmL/min) environ. Si la précision du débit régulé ne peut être maintenue en-dessous d'un niveau suffisant (a priori de l'ordre de $\pm 1\%$ de la pleine échelle soit ± 10 NmL/min) dans tout ce domaine nécessaire, il pourra être proposé de les doubler (en utilisant 2 lignes en parallèle) pour couvrir 2 gammes de réglages si besoin. Dans tous les cas, le choix exact du type de régulateurs de débit devra être validé par le CEA.

3.1.2 Principe de réglage de la pression

Pour respecter les spécifications de pressions dans les différentes sections du circuit (notamment dans les capacités de gaz et dans les deux compartiments du RCM), des régulateurs de pression seront utilisés et les débits de circulation instaurés par les groupes de pompage seront également asservis à la pression de sortie grâce au contrôle-commande. En effet, comme cela a été évoqué dans le paragraphe précédent (§3.3.1), les groupes de pompage contribueront à régler la pression dans certaines parties du circuit (dans le RCM et dans la capacité « perméat » pour la ligne balayage / perméat).

Pour la ligne alimentation / rétentat, la pression dans le RCM (dans le compartiment à l'intérieur de la membrane renfermant les grains de catalyseur) ne devra pas dépasser 2,5 bar et devra pouvoir être régulée de deux manières qui seront évaluées indépendamment : soit par une électrovanne de rétro-alimentation du circulateur PMDS (celui-ci étant réglé à une vitesse de rotation fixe mais réglable), soit par un réglage automatisé (par le contrôle-commande) de la vitesse de rotation du circulateur PMDS sans rétro-alimentation. De plus **un écart relatif de 2,5 bar maximum** par rapport à la pression dans la calandre du RCM sera également toujours respecté. Le fonctionnement du groupe de pompage sera également asservi (par l'intermédiaire du contrôle-commande) à la pression (CPR2) dans la capacité « rétentat » pour arrêter la circulation lorsque celle-ci atteint un maximum de 900 mbar.

Pour la ligne balayage / perméat, le groupe de pompage placé en aval du RCM assurera l'aspiration du gaz sortant du RCM pour limiter la pression à 500 mbar maximum côté calandre. Le fonctionnement du groupe de pompage sera également asservi (par l'intermédiaire du contrôle-commande) à la pression (CPR4) dans la capacité « perméat » pour arrêter le groupe de pompage en fin de transfert lorsque celle-ci atteint un maximum de 900 mbar.

La pression dans les capacités de gaz et en particulier dans les capacités en aval du RCM (capacités rétentat et perméat) sera limitée à 900 mbar maximum à l'aide de régulateurs de pression placés avant l'entrée de ces capacités. En outre, sur la ligne balayage / perméat il est proposé (si cette solution est retenue par le prestataire) de déporter la vanne de régulation de pression (celle asservie à la mesure CPR4) en amont du RCM pour agir directement au niveau de son entrée gaz et ainsi éviter un dépassement de la pression maximale admissible.

Remarque : S'il doit y avoir un choix entre dépasser les 900 mbar dans les capacités et dépasser les pressions maximales dans le RCM, **la priorité doit être de protéger le RCM** en assurant une différence de pression maximale de 2,5 bar de part et d'autre de sa membrane.

3.2 Schémas de circuit et d'implantation des équipements

Les schémas de circuit ci-dessous représente l'ensemble du banc attendu associé à la baie de mélange, après raccordement des différentes portions de circuit à réaliser en usine et qui seront livrées au CEA Valduc. Sur la Figure 4, l'ensemble du schéma de circuits est représenté avec la ligne alimentation / rétentat (en rouge) et la

Document propriété de CEA - Reproduction et utilisation extérieures du CEA reconnues et autorisées par le CEA

		SPECIFICATION TECHNIQUE	Page 15/28
		Accord : XXX	
		Référence : DES/IRESNE/DTN/SMTA/LMCT-ST-DL- 2025-0115	
		Date : DATE D'EMISSION	Indice : A
CAHIER DES CHARGES POUR L'ENVIRONNEMENT PROCEDE DU RCM EN VUE DU TRAITEMENT DE GAZ EN MODE BATCH			

ligne balayage / perméat (en bleu), ainsi que le détail des circuits gaz de la baie de mélange (à l'exception de la nouvelle ligne hélium à rajouter). Sur la Figure 5 sont représentés (en jaune) les circuits utilisés en phase de dégazage.

La baie de mélange existante pourra être réutilisée après l'ajout d'une ligne d'alimentation d'hélium. La future capacité de balayage (5130) ne fait pas partie de la fourniture attendue et sera approvisionnée par le CEA Valduc dans un second temps.

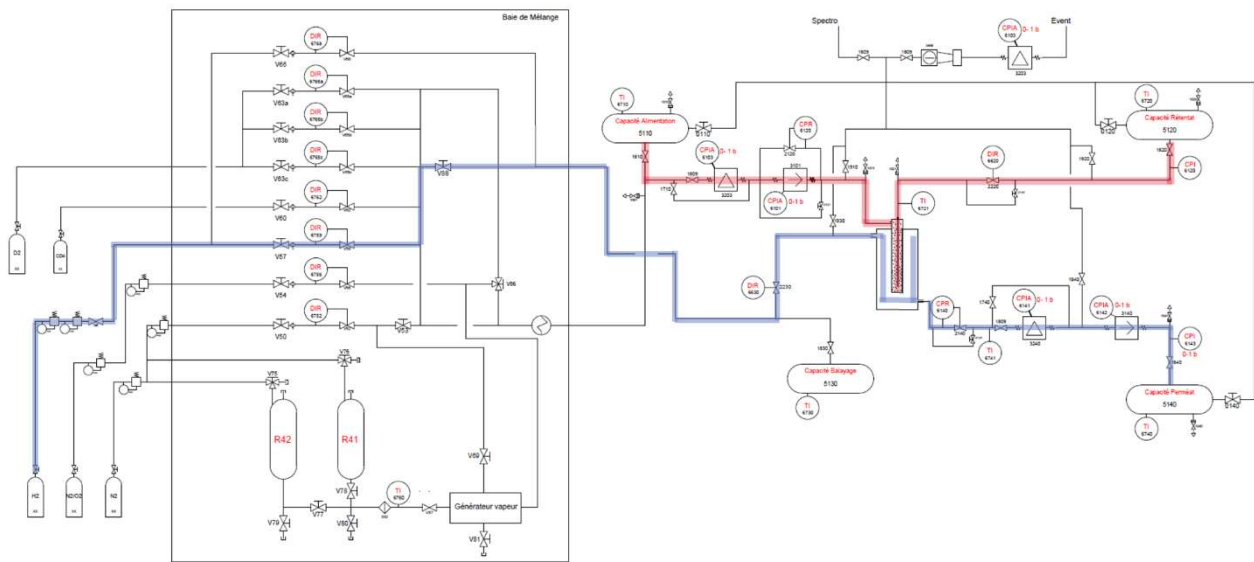


Figure 4 : Plan des circuits fluides du banc RCM en phase d'essai



**CAHIER DES CHARGES POUR L'ENVIRONNEMENT PROCEDE DU RCM EN
VUE DU TRAITEMENT DE GAZ EN MODE BATCH**

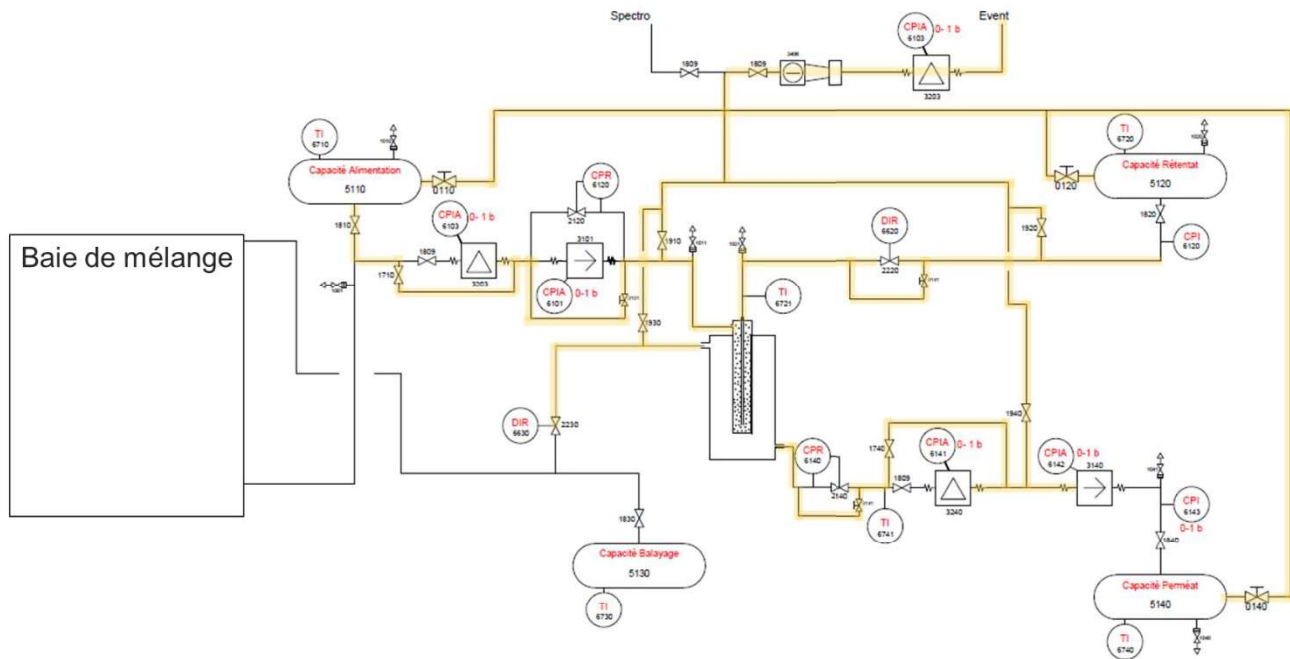
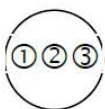


Figure 5 : Plan des circuits fluides du banc RCM en phase de dégazage

A titre indicatif, la nomenclature des circuits schématisés sur la Figure 4 et la Figure 5 est détaillée ci-dessous.

• Symbolisation des appareils de mesure :



Exemple de représentation :

Type d'appareil ①		Etat de la mesure ②		Alarme ③	
CP	Capteur de pression	E	Enregistreur	A-	Alarme basse
D	Débitmètre	I	Indication	A+	Alarme haute
Hy	Hygromètre	R	Régulé		
H ₂	Hydrogène				
JP	Jauge Primaire				
Type d'appareil ①		Etat de la mesure ②		Alarme ③	
JS	Jauge Secondaire				
MP	Manomètre Pression				
MD	Manomètre Pression Différentiel				
O ₂	Oxygène				
T	Température				
T ₂	Tritium				
DF	Détection Fumée				

Document propriété du CEA - Reproduction et utilisation extérieures au CEA interdites à l'exception des notes

		SPECIFICATION TECHNIQUE	Page 17/28
		Accord : XXX	
		Référence : DES/IRESNE/DTN/SMTA/LMCT-ST-DL- 2025-0115	
		Date : DATE D'EMISSION	Indice : A
CAHIER DES CHARGES POUR L'ENVIRONNEMENT PROCEDE DU RCM EN VUE DU TRAITEMENT DE GAZ EN MODE BATCH			

• Symbolisation des vannes :

	Vanne d'analyse
	Vanne de régulation
	Vanne à clapet de décharge
	Vanne pneumatique
	Vanne manuelle
	Vanne pointeau
	Clapet de non-retour
	Détendeur

• Symbolisation des pompes :

	Pompe turbo moléculaire (Avec cône et quadripôle)
	Pompe PMDS
	Pompe Normetex (N15, N8, PTM15...)

3.3 Description des équipements à fournir

3.3.1 Adaptation de la baie de mélange de gaz actuelle ou fabrication d'une nouvelle baie

La baie actuelle est alimentée par 5 lignes de gaz, trois bouteilles sont à l'extérieur (azote, azote + 4% d'oxygène, hydrogène) et deux bouteilles sont à l'intérieur du bâtiment dans une armoire de sécurité gaz (deutérium et méthane deutéré). **Un nouveau gaz, l'hélium, sera utilisé dans le cadre de nos futurs essais et sera mélangé aux autres gaz déjà disponibles dans des compositions variables.**

L'hélium entrera en effet dans la composition du gaz vecteur constitué de 50% N₂ + 50% He.

Tous les éléments nécessaires au transport de ce gaz entre les bouteilles de gaz correspondantes (fournies par le CEA) et la baie de mélange de gaz sont déjà en place et ne nécessitent pas de modification. **En revanche, les éléments nécessaires au transport de gaz dans les nouvelles lignes décrites dans ce document (et en particulier sur la Figure 3 et sur la Figure 4) devront être fournis et assemblés en usine par le titulaire.** Ils comprendront notamment les équipements nécessaires au contrôle de la pression et du débit d'alimentation de chaque gaz (ou mélange de gaz) comme indiqué dans la liste ci-dessous :

- régulateur de débit adapté aux spécifications de débit décrites dans ce document : son domaine de fonctionnement devra être adapté aux débits de ce gaz (ou mélange de gaz),

Document propriété du CEA - Reproduction et utilisation externes du CEA soumises à l'approbation du CEA

		SPECIFICATION TECHNIQUE	Page 18/28
		Accord : XXX	
		Référence : DES/IRESNE/DTN/SMTA/LMCT-ST-DL- 2025-0115	
		Date : DATE D'EMISSION	Indice : A
CAHIER DES CHARGES POUR L'ENVIRONNEMENT PROCEDE DU RCM EN VUE DU TRAITEMENT DE GAZ EN MODE BATCH			

- raccords, vannes et tuyauteries,
- filtres.

Les matériaux des éléments de circuits en contact avec les gaz devront être compatibles avec les gaz véhiculés et les conditions de température et de pression. Par défaut, le matériau à utiliser sera de l'acier inoxydable 316, sauf justification contraire du titulaire.

NB1 : Les caractéristiques des débitmètres actuellement présents dans la baie sont détaillées en annexe 1. **Le titulaire sera responsable du choix de conserver ou pas, tout ou partie des équipements et de l'instrumentation déjà en place dans la baie de mélange de gaz actuelle et des tests réalisés sur ces matériels pour décider de les conserver le cas échéant. De plus, le bon fonctionnement global de l'ensemble de la baie gaz sera vérifié après ces modifications, à l'occasion des tests de fonctionnement du banc d'essai modifié.**

NB2 : Les modifications à apporter sur les circuits de la baie de mélange de gaz devront s'efforcer de réduire leur encombrement pour se loger si possible dans le coffret existant. **L'adaptation de la baie existante reste la solution à privilégier, toutefois, si cet objectif n'est pas réalisable ou au détriment de l'accessibilité des autres équipements, une extension du coffret de la baie sera installée ou la baie sera éventuellement changée.**

3.3.2 Information sur l'évaporateur/mélangeur de gaz et opérations à prévoir

Afin d'introduire une fraction de vapeur d'eau ou d'eau lourde (ou d'un mélange de ces deux eaux) dans les mélanges gazeux utilisés, un dispositif est implanté dans la baie de mélange pour évaporer de l'eau pure (contenue dans un réservoir) et ajuster le débit d'eau vapeur adapté dans le mélange de gaz produit par la baie. Il est à noter que pour l'introduction d'un mélange de ces deux eaux, il est nécessaire de préparer à l'avance le mélange liquide de ces deux eaux qui est à verser dans un seul réservoir.

Cet évaporateur/mélangeur est actuellement un dispositif de fabrication Bronkhorst et de type CEM (Controlled Evaporation Mixing). Cet équipement devra être remplacé par le prestataire, par un équipement neuf du même type ou par un matériel similaire assurant les mêmes fonctions.

En particulier, les mêmes gammes de débit d'injection de H₂O ou de D₂O ou d'un mélange des deux eaux, (cf. description de la baie de mélange de gaz existante en Annexe 1) devront être assurées pour préparer des mélanges gazeux renfermant des teneurs comprises entre 0 et quelques % molaires (pour couvrir un domaine de variation autour d'une valeur repère de 2% molaire en H₂O ou D₂O).

3.3.3 Information sur les capacités de stockage des gaz

Trois capacités de stockage de gaz seront disponibles et déjà installées (fourniture CEA) : « alimentation », « rétentat » et « perméat ». Ces capacités seront équipées chacune d'une sonde de température au platine de type Pt 100 (fournies par le CEA et insérées dans un doigt de gant plongeant dans le volume interne des capacités).

A titre d'information, pour chaque capacité, les opérations suivantes seront réalisées par le CEA Valduc (et ne seront donc pas à la charge du prestataire) :

- raccordement des 2 tuyauteries (entrée balayage + sortie balayage vers les pompes de vidange des capacités (évent)) par un raccord Swagelok VCR Ø 1/2" de type femelle (la sortie des piquages sur les capacités est de type VCR Ø 1/2" mâle)

Document propriété du CEA - Reproduction et diffusion extérieures au CEA interdites à l'exception des notes

		SPECIFICATION TECHNIQUE	Page 19/28
		Accord : XXX	
		Référence : DES/IRESNE/DTN/SMTA/LMCT-ST-DL- 2025-0115	
		Date : DATE D'EMISSION	Indice : A
CAHIER DES CHARGES POUR L'ENVIRONNEMENT PROCEDE DU RCM EN VUE DU TRAITEMENT DE GAZ EN MODE BATCH			

- le branchement de la sonde de température à l'interface de contrôle et régulation des cordons chauffants qui assureront le chauffage des gaz contenus dans la capacité à une température de l'ordre de 50°C (cf. § 3.3.6)

Pour les **capacités « alimentation » et « rétentat »** uniquement, les opérations suivantes seront également réalisées par le CEA Valduc :

- le dimensionnement et la pose de **cordons chauffants (démontables)** permettant de chauffer les gaz contenus dans la capacité à une température de l'ordre de 50°C (cf. § 3.3.6)
- le **calorifugeage** de chacune de ces deux capacités et des différentes tuyauteries raccordées

N.B. : Ce dispositif destiné à éviter toute condensation d'eau dans la ligne « alimentation / rétentat » n'a pas lieu d'être mis en œuvre dans la ligne « balayage / perméat », cette dernière ne contenant pas de vapeur d'eau (ou de D₂O).

3.3.4 Régulateurs de pression – régulateurs de débits

Afin de respecter nos critères de qualité de fabrication et les spécifications requises par nos futurs essais, les régulateurs de débit et pression ne peuvent être approvisionnés que chez 2 fournisseurs : **Brooks** (Serv'Instrumentation) et **Bronkhorst**.

De plus, les modèles de régulateurs de pression et de débit devront être « tout métal ».

Pour la ligne alimentation / rétentat les modèles **Brooks 5866M** et **GF80** devront être utilisés. Dans la mesure du possible, ces mêmes modèles seront également employés sur la ligne balayage / perméat, mais d'autres pourront également être proposés.

En outre, comme tout le circuit gaz de la ligne alimentation / rétentat, la partie de ces régulateurs en contact avec les gaz en circulation devra être chauffée et calorifugée (cf. §3.3.6) pour éviter toute condensation d'eau ou de ses isotopologues (H₂O, D₂O ou HDO). Le chauffage se fera à une température de l'ordre de 50°C, mais cette consigne de température pourra être réglée entre 25°C et 70°C.

Comme indiqué dans le §3.1, d'après une première analyse du besoin les équipements suivants (représentés sur la Figure 3) ont été identifiés comme nécessaires pour assurer les fonctionnalités des transferts de gaz :

- Ligne alimentation / rétentat : un capteur / régulateur de pression CPR1 en amont du RCM et un capteur / régulateur de pression CPR2 avant l'entrée de la capacité rétentat.
- Ligne balayage / perméat : deux capteurs / régulateurs de pression, CPR3 en sortie du RCM et avant le groupe de pompage et CPR4 après le groupe de pompage et avant l'entrée de la capacité perméat.

3.3.5 Mesures de température

Du point de vue des besoins pour le fonctionnement du banc d'essais dans sa nouvelle configuration, cinq capteurs de température seront à prévoir a minima pour des mesures au niveau des points suivants :

- deux mesures de température TI1 et TI2 seront installées sur chacune des lignes de gaz (alimentation et balayage) en sortie du RCM pour contrôler la température des gaz après leur passage dans le RCM,
- trois mesures de températures TI3, TI4 et TI5 seront installées au niveau des capacités alimentation, rétentat et perméat afin de permettre des bilans matière en phase gaz et pour contrôler le chauffage de ces capacités dans le but d'éviter une condensation de la vapeur d'eau (ou d'eau deutérée) présente dans ces volumes.

Document propriété du CEA - Reproduction et diffusion extérieures au CEA interdites à l'exception des notes

		SPECIFICATION TECHNIQUE	Page 20/28
		Accord : XXX	
		Référence : DES/IRESNE/DTN/SMTA/LMCT-ST-DL- 2025-0115	
		Date : DATE D'EMISSION	Indice : A
CAHIER DES CHARGES POUR L'ENVIRONNEMENT PROCEDE DU RCM EN VUE DU TRAITEMENT DE GAZ EN MODE BATCH			

En outre d'autres capteurs de température seront à installer le long des lignes de gaz pour piloter le chauffage externe des tuyauteries à la température de consigne qui sera réglable entre 25°C et 70°C. Le nombre et l'emplacement de ces capteurs sera à définir par le prestataire.

Les capteurs de température seront soit des thermocouples Cr/Al (de type Chromel/Alumel), soit des sondes au platine (de type Pt100).

Les thermocouples Cr/AL seront utilisés pour mesurer des températures avec une précision de l'ordre du °C dans le cadre de régulation de chauffage ou d'alarme sur chauffage.

Les sondes au platine seront utilisées pour des mesures de températures plus précises à $\pm 0,1^{\circ}\text{C}$, dans le cadre de mesure de température de gaz stockés dans les capacités.

Les thermocouples seront fixés à la tuyauterie pour transmettre les informations par contact avec la paroi. Les sondes au platine seront logées dans une protection par doigt de gant inox leur permettant d'être immergées dans le fluide à contrôler.

3.3.6 Tuyauteries et chauffages/calorifugeage des portions de lignes gaz

Les tubes métalliques utilisés pour la réalisation des circuits seront par défaut en acier inoxydable 316 L, sauf justification contraire du soumissionnaire. Cette spécification de matériau sera également le choix par défaut pour les raccordements, sauf justification contraire du soumissionnaire, et tous les équipements comprenant des parties en contact avec les gaz comme les capteurs / régulateurs de débit et de pression.

Les raccords seront systématiquement de type VCR (Swagelok) en dimensions $\frac{1}{2}''$, $\frac{1}{4}''$.

Le choix des diamètres de tuyauteries sera défini par le prestataire en lien avec les gammes de débits et de pression prévues par les spécifications présentées dans ce document, sachant que les circuits du banc existant sont actuellement dimensionnés en pas américain avec des diamètres de tube de $\frac{1}{4}''$ généralement.

Afin d'éviter toute condensation d'eau (ou d'eau deutérée) dans les tuyauteries des lignes gaz, un chauffage associé à un calorifugeage de celles-ci sera réalisé par le prestataire. La température de consigne sera de l'ordre de 50°C, mais elle pourra être réglée entre 25°C et 70°C grâce à une interface de commande (équivalente aux coffrets Vulcanic utilisés précédemment) qui pourra être installée dans un coffret de régulation spécifique ou bien intégrée dans le contrôle-commande général du banc d'essai (cf §4).

Le prestataire prendra en charge la fourniture des cordons de chauffage électrique et les matelas de calorifuge sur les tuyauteries du banc d'essai ainsi que les thermocouples de contrôle, l'interface de commande et la régulation.

Le dispositif devra également garantir la mise à l'équipotentielle des tuyauteries et cordons chauffants.

Toutes les modifications et compléments apportés aux circuits seront intégrés dans le schéma détaillé des circuits fluides (dont la version actuelle est présentée sur la Figure 4 et la Figure 5) qui sera mis-à-jour à cette occasion. La version papier et la version informatique de cette mise-à-jour du schéma de circuit, seront fournies par le prestataire.

3.3.7 Description des équipements fournis par le CEA

En parallèle des équipements à fournir par le prestataire, le CEA assurera la fourniture des deux groupes de pompage à implanter sur les lignes alimentation / rétentat et balayage / perméat ainsi que d'un groupe de pompage de vidange. Les deux premiers groupes de pompage (à implanter sur les lignes opérationnelles du procédé) seront constitués de deux éléments, un circulateur PMDS et une pompe à vide primaire dont les caractéristiques sont décrites ci-dessous.

Document propriété du CEA - Reproduction et diffusion extérieures au CEA interdites à l'exception des notes

		SPECIFICATION TECHNIQUE	Page 21/28
		Accord : XXX	
		Référence : DES/IRESNE/DTN/SMTA/LMCT-ST-DL- 2025-0115	
		Date : DATE D'EMISSION	Indice : A
CAHIER DES CHARGES POUR L'ENVIRONNEMENT PROCEDE DU RCM EN VUE DU TRAITEMENT DE GAZ EN MODE BATCH			

- Circulateur PMDS :

Le circulateur PMDS qui sera utilisé est une pompe volumétrique, à piston monobloc à trois étages. Le pilotage s'effectue par un variateur de vitesse (600 à 1500 t/min).

Nom	Encombrement	Poids total	Moteur	Variateur	Pression maximale de refoulement	Pression maximale d'aspiration	Débit
Pompe PMDS 63 TR	L = 350 mm I = 156 mm H = 420 mm	20 Kg	LEROY-SOMMER V = 600 – 1500 tr/mn Puissance = 0,55 kW	Convertisseur de fréquence MOTEC : LENZE E82MV152 4B001 avec module E/S implication E82ZAFA001	3 bar absolus	1 bar absolu	5 m ³ /h

Le raccordement du circulateur au circuit des lignes gaz se fera en utilisant des raccords VCR (Swagelok de dimension ½", type mâle ou femelle à préciser).

- Pompe à vide primaire :

La pompe à vide primaire qui sera utilisée est une pompe volumétrique dont la fonction de pompage sec est totalement isolée des pièces lubrifiées et de l'atmosphère extérieure.

Nom	Vide limite	Débit volumétrique
PTM8	5.10 ⁻² pour 10 mbar au refoulement	8 m ³ /h

Caractéristiques techniques		Caractéristiques mécaniques	
Débit volume pour air à la Pa	8 m ³ / h	Pression de refoulement	200 mbar
Vitesse de rotation	1200 tr / mn	Rendement	/
Température de fonctionnement	Maximale : 40 °C	Moteur d'entraînement	220/380V : 50 Hz 380 V : 1,3 A 220 V : 2,3 A moteur ATEX
Vide limite	5.10 ⁻² mbar pour 10 mbar au refoulement	Poids	32 Kg

Le raccordement de la pompe au circuit des lignes gaz se fera en utilisant des raccords VCR (Swagelok) femelle ½", fournis par le soumissionnaire, et présents à l'aspiration et au refoulement.

Document propriété du CEA - Reproduction et utilisation extérieures au CEA interdites à l'exception des notes

		SPECIFICATION TECHNIQUE	Page 22/28
		Accord : XXX	
		Référence : DES/IRESNE/DTN/SMTA/LMCT-ST-DL- 2025-0115	
		Date : DATE D'EMISSION	Indice : A
CAHIER DES CHARGES POUR L'ENVIRONNEMENT PROCEDE DU RCM EN VUE DU TRAITEMENT DE GAZ EN MODE BATCH			

- Groupe de pompage de vidange :

De plus, le CEA fournira également les deux équipements d'un groupe de pompage qui sera utilisé pour vidanger les capacités et pour éliminer après chaque essai les traces d'eau résiduelle déposées dans les capacités et les circuits. Il s'agit des deux équipements suivants : un système de pompe secondaire et une pompe primaire. Ces équipements seront fournis et installés par le CEA.

Pour la phase de test en usine, le soumissionnaire doit s'assurer de mettre à disposition un groupe de pompage de dimensionnement suffisant (équivalent au groupe de pompage fourni par le CEA dont les caractéristiques pourront être communiquées sur demande) pour la réalisation des essais

Le raccordement du groupe de vidange au circuit des lignes gaz se fera au niveau de la vanne 1809 en utilisant des raccords VCR (Swagelok de dimension 1/2", type mâle ou femelle) fournis par le titulaire.

3.4 Implantation des équipements dans le laboratoire

L'implantation des portions de circuit et des équipements associés se fera sur le site du CEA Valduc et sera prise en charge par le CEA.

Une description de l'implantation envisagée pour ces éléments de circuit et des contraintes de dimensions hors tout sera communiquée au soumissionnaire pendant la visite de consultation sur le site du CEA Cadarache afin de compléter les informations de ce document.

4 PARTIE 2 : FOURNITURE DU CONTROLE-COMMANDE

4.1 Description des fonctionnalités

Le banc d'essais existant est piloté par un logiciel de supervision et d'acquisition développé sous LABVIEW 2013 (qui ne gère pas cependant le contrôle des éléments chauffants assuré par un système indépendant). Il communique via le réseau Modbus avec les instruments du dispositif. Le logiciel s'organise en trois fonctions principales :

- La visualisation et le contrôle des équipements :
 - Pilotage de la baie de mélange de gaz (régulateurs de débit et dispositif permettant d'obtenir un gaz humide), des régulateurs de débit et de pression depuis un synoptique (consignes et mesures en temps réel),
 - Affichage et mise à zéro des totalisateurs de gaz contenus dans les régulateurs de débits,
 - Traçage de graphes configurables (via des check-box) pour les valeurs de débits, températures et pressions,
 - Visualisation des débits, pressions et températures avec mise à l'échelle configurable.
- L'enregistrement des données :
 - Dans un fichier exploitable par Excel,
 - La période d'acquisition, le nom et la taille du fichier d'enregistrement sont configurables,
 - Le fichier comporte les données des voies sélectionnées (check-box), le temps (absolu et relatif) de chaque point d'acquisition,
 - Les valeurs à enregistrer sont moyennées entre chaque point d'acquisition.
- Avertissements et alarmes :

Document propriété du CEA - Reproduction et utilisation extérieures du CEA soumises à l'approbation de son titulaire.

		SPECIFICATION TECHNIQUE	Page 23/28
		Accord : XXX	
		Référence : DES/IRESNE/DTN/SMTA/LMCT-ST-DL- 2025-0115	
		Date : DATE D'EMISSION	Indice : A
CAHIER DES CHARGES POUR L'ENVIRONNEMENT PROCEDE DU RCM EN VUE DU TRAITEMENT DE GAZ EN MODE BATCH			

- Enregistrement de l'historique des messages dans un fichier texte,
- Enregistrement de commentaires pour chaque ligne d'alarme,
- Détection et visualisation de la défaillance des capteurs,
- Configuration de seuils hauts pour les pressions, les débits et les températures,
- Présence d'un bouton d'acquiescement des défauts.

Toutes ces fonctionnalités devront également être assurées par le contrôle-commande du nouveau banc d'essais après les modifications apportées décrites dans ce document.

Le banc existant disposant déjà d'un contrôle-commande développé sous LABVIEW 2013 (v13.0 – 32 bits), la possibilité d'utiliser cet environnement et d'étendre son champ d'application aux nouveaux éléments (circuits de transfert de gaz, modifications de la baie de mélange...) sera étudiée. Selon la complexité et les limites de cette adaptation et selon l'état de fonctionnement de l'outil existant, l'opportunité de remplacer le logiciel par une nouvelle version de LABVIEW sera à justifier et chiffrer par le soumissionnaire dans son offre.

En revanche le PC de supervision sera à remplacer obligatoirement, et sera équipé de 2 ports USB supplémentaires par rapport au PC actuel. La proposition commerciale devra justifier le choix de la solution retenue entre l'adaptation et l'extension du logiciel et la refonte totale du contrôle-commande.

En plus des équipements pris en charge indiqués plus haut, le contrôle-commande devra également gérer la commande du fonctionnement des groupes de pompages utilisés pour les transferts de gaz (circulateur PMDS et pompe primaire PTM8) :

- La mise en route et l'arrêt de chaque groupe de pompage sera commandée par le contrôle-commande en fonction des consignes de débit appliquées ou des automatismes programmés tels que l'arrêt du transfert lorsqu'un seuil de pression haute est atteint dans le RCM ou dans une capacité. La possibilité de mettre en route ou d'arrêter manuellement chacun des groupes de pompage (indépendamment des autres) devra être assurée.
- La consigne de débit enregistrée au niveau de la supervision du banc d'essai, sera transmise au boîtier de commande du circulateur concerné, qui la prendra en compte pour ajuster sa vitesse de rotation.
- Les mesures de pression assurées par certains capteurs / régulateurs de pression (CPR1 et CPR4 notamment) positionnés sur la ligne de chaque circulateur seront utilisées par la supervision pour piloter l'ajustement de la vitesse de rotation du circulateur concerné.

4.2 Schéma fonctionnel du contrôle-commande

Afin de visualiser la communication et les interactions de contrôle-commande entre la supervision et les différents équipements à contrôler, un schéma fonctionnel simplifié est représenté sur la Figure 6. Il montre les divers échanges de données (mesurées ou calculées) et de commandes entre la supervision du banc d'essai et les équipements :

- Capteurs / régulateurs de pression et de débit (lecture + commande de consigne),
- Capteurs de température (lecture),
- Vannes pilotées (commande ouverture / fermeture),
- Circulateurs PMDS (commande de consigne de vitesse de rotation, commande marche / arrêt),
- Pompes à vide primaire (commande marche / arrêt).

		SPECIFICATION TECHNIQUE		Page 24/28
		Accord : XXX		
		Référence : DES/IRESNE/DTN/SMTA/LMCT-ST-DL- 2025-0115		
		Date : DATE D'EMISSION	Indice : A	
	CAHIER DES CHARGES POUR L'ENVIRONNEMENT PROCEDE DU RCM EN VUE DU TRAITEMENT DE GAZ EN MODE BATCH			

En plus de ce contrôle-commande assuré par la supervision du banc, l'alimentation des cordons de chauffage destinés aux circuits gaz et aux capacités sera pilotée et gérée par des coffrets spécifiques (Type coffrets « Vulcanic »).

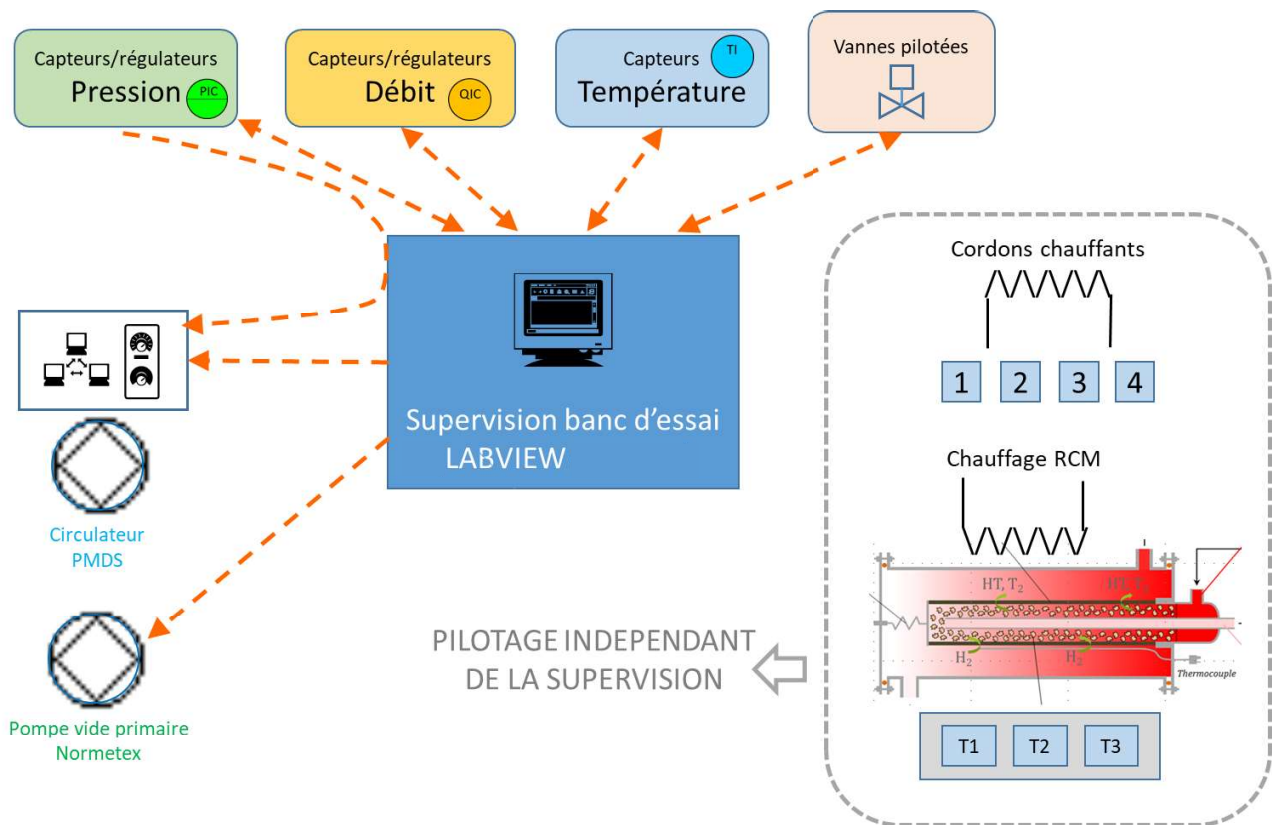


Figure 6 : Schéma fonctionnel simplifié du contrôle-commande

Un logigramme détaillé de la supervision (grafcet) devra être fourni par le prestataire pour décrire la communication des données et des commandes entre le PC de supervision et les divers équipements de l'ensemble du système.

Les schémas électriques de l'ensemble des raccordements réalisés, que ce soit au niveau de l'alimentation électrique des équipements ou au niveau de la communication avec la supervision ou les coffrets de commande spécifiques, seront fournis par le prestataire.

5 EXECUTION DE LA PRESTATION

5.1 Phases et jalons de la prestation

Pour résumer les principales étapes de la prestation attendue, un tableau récapitulatif est présenté ci-après en rappelant l'enchaînement des différentes phases et les points d'arrêt importants (ou jalons) prévus pour certaines étapes.

Document propriété du CEA - Reproduction et utilisation interdites du CEA soumise à l'approbation de son titulaire.

		SPECIFICATION TECHNIQUE	Page 25/28
		Accord : XXX	
		Référence : DES/IRESNE/DTN/SMTA/LMCT-ST-DL- 2025-0115	
		Date : DATE D'EMISSION	Indice : A
CAHIER DES CHARGES POUR L'ENVIRONNEMENT PROCEDE DU RCM EN VUE DU TRAITEMENT DE GAZ EN MODE BATCH			

Actions et phases de la prestation	Jalons avec point d'arrêt / Documents à fournir
Réunion d'enclenchement sur site et visite du laboratoire sur le centre du CEA Valduc pour prise de côtes et vérification de l'accessibilité dans le local	CR de la réunion d'enclenchement
Etude de conception : choix des équipements, design des circuits et de l'implantation de l'instrumentation	Documents descriptifs de la conception : schémas de circuits, liste et caractéristiques des équipements choisis, schémas d'implantation, puissances électriques requises
Réunion de présentation de l'étude de conception chez le titulaire	CR de la réunion de présentation de l'étude de conception
Approvisionnements	PV de réception chez le titulaire
Fabrication des portions de circuits et recette usine (avec phase d'essais pour valider la réception)	CR de la recette usine
Tests d'étanchéité en usine sur les différentes portions de circuit réalisées par le Titulaire : Tests d'étanchéité (par remontée de pression ou par détecteur de fuite hélium) sur l'ensemble du procédé pour vérifier un taux de fuite maximal de 10^{-7} Pa.m³/s	CR d'essais détaillés des tests d'étanchéité PV de validation conjoint
Tests de fonctionnement en usine : - Tests de fonctionnement de l'instrumentation et des équipements de gestion du procédé sur chaque portion de circuit réalisée et de leur communication avec la supervision - Test des différentes fonctions du contrôle commande sur les différentes portions de circuit réalisées par le Titulaire	CR d'essais détaillés des tests de fonctionnement PV de recette
Livraison du dispositif sur le site du CEA de Valduc	PV de livraison
Démonstration de l'utilisation du contrôle-commande et des divers équipements	Notices d'utilisation du contrôle-commande (en français) et des équipements
Réception complète de la commande	PV de réception complète Schéma de procédé détaillé avec nomenclature des équipements

5.2 Tests d'étanchéité et de fonctionnement en usine

5.2.1 Tests d'étanchéité en usine

Ces tests d'étanchéité concernent les portions de circuits réalisées chez le Titulaire. Ils seront réalisés en présence d'un représentant du CEA et donneront lieu à un PV de validation signé par le prestataire ainsi que le CEA. Ce PV conditionnera le démarrage des tests de fonctionnement.

Document propriété du CEA - Reproduction et utilisation interdites du CEA soumise à l'approbation de son titulaire.

		SPECIFICATION TECHNIQUE	Page 26/28
		Accord : XXX	
		Référence : DES/IRESNE/DTN/SMTA/LMCT-ST-DL- 2025-0115	
		Date : DATE D'EMISSION	Indice : A
CAHIER DES CHARGES POUR L'ENVIRONNEMENT PROCEDE DU RCM EN VUE DU TRAITEMENT DE GAZ EN MODE BATCH			

Ces tests d'étanchéité consisteront en une mesure de remontée en pression après mise sous vide du circuit ou bien en procédant à une détection de fuite par spectrométrie de masse en surpression selon les parties du circuit et les contraintes associées.

Le niveau d'étanchéité à atteindre pour les deux circuits et les deux conditions de température sera équivalent à un taux de fuite maximal de 10^{-7} Pa.m³/s.

5.2.2 Tests de fonctionnement en usine

Plusieurs tests de fonctionnement seront réalisés chez le Titulaire en présence de l'équipe CEA, sur les différentes portions de circuits réalisées et les équipements associés assurant la gestion du procédé (vannes, sondes de température, débitmètres et/ou régulateurs de débit, capteurs de pression et/ou régulateurs de pression).

En particulier il sera vérifié si les exigences de fonctionnement décrites dans le paragraphe 3.1 et mesurables sur les portions de circuits réalisées, sont bien satisfaites. Ces tests feront l'objet d'un compte-rendu rédigé par le prestataire pour permettre de valider la recette de la commande.

- Tests de fonctionnement de l'instrumentation et des équipements de gestion du procédé et de leur communication avec la supervision.
- Test des différentes fonctions du contrôle commande :
 - Test des actionneurs (le titulaire doit prévoir de l'air comprimé pour actionner les vannes)
 - Test des asservissements et sécurités
 - Réglage des PID de régulation

6 DOCUMENTATION A REMETTRE POUR LA PRESTATION

Les différents livrables à fournir sont rappelés ci-dessous :

- Livrable 1 : Documents descriptifs de la conception : schémas des circuits, liste et caractéristiques des équipements choisis, schémas d'implantation, puissances électriques requises
- Livrable 2.1 : Procès-verbal de réception des éléments de circuits chez le titulaire
- Livrable 2.2 : Compte-rendu d'essais détaillés des tests d'étanchéité avec PV de validation conjoint
- Livrable 2.3 : Compte-rendu d'essais détaillés des tests de fonctionnement
- Livrable 2.4 : Compte-rendu de la recette usine
- Livrable 3 : Procès-verbal de livraison sur site
- Livrable 3.1 : Notice d'utilisation du contrôle-commande (en français) et notices descriptives et d'utilisation de tous les équipements fournis par le titulaire (instrumentation, équipements divers)
- Livrable 4.1 : PV de réception complète
- Livrable 4.2 : Schéma de procédé détaillé avec nomenclature des équipements

Document propriété du CEA - Reproduction et utilisation extérieures du CEA reconnues à titre exceptionnel.

		SPECIFICATION TECHNIQUE		Page 27/28
		Accord : XXX		
		Référence : DES/IRESNE/DTN/SMTA/LMCT-ST-DL- 2025-0115		
		Date : DATE D'EMISSION	Indice : A	
CAHIER DES CHARGES POUR L'ENVIRONNEMENT PROCEDE DU RCM EN VUE DU TRAITEMENT DE GAZ EN MODE BATCH				

7 DELAIS SOUHAITES POUR L'EXECUTION DE LA PRESTATION

Un délai maximal de 6 mois est souhaité pour la réalisation de cette prestation :

Postes	Intitulé	Délai
Poste 1	Etudes et conception	T0 + 1 mois
T1 : Acceptation du poste 1 par le CEA		
Poste 2 - Sous-poste 2.1	Approvisionnements	T1 + 1 mois
Poste 2 - Sous-poste 2.2	Fabrication, tests (étanchéité et fonctionnement) et recette usine	T1 + 3 mois
T2 : Acceptation du poste 2 par le CEA		
Poste 3	Livraison sur le site du CEA Valduc	T2 + 1,5 mois
T3 : Acceptation du poste 3		
Poste 4	Réception et remise du dossier constructeur	T3 + 0,5 mois

Document propriété du CEA - Reproduction et diffusion extérieures au CEA interdites à l'exception des notes

		SPECIFICATION TECHNIQUE	Page 28/28
		Accord : XXX	
		Référence : DES/IRESNE/DTN/SMTA/LMCT-ST-DL- 2025-0115	
		Date : DATE D'EMISSION	Indice : A
CAHIER DES CHARGES POUR L'ENVIRONNEMENT PROCEDE DU RCM EN VUE DU TRAITEMENT DE GAZ EN MODE BATCH			

ANNEXE 1 DESCRIPTION DETAILLEE DES ELEMENTS DE LA BAIE DE MELANGE DE GAZ EXISTANTE

La baie comprend :

- Un débitmètre H₂ 0-1000 ml/min
- Un débitmètre H₂ 0-6 ml/min
- Un débitmètre D₂ 0-300 ml/min
- Un débitmètre D₂ 0-6 ml/min
- Un débitmètre D₂ 0-1 ml/min
- Un débitmètre N₂/ 4% O₂ 0-150 ml/min
- Un débitmètre CD₄ 0-0,7 ml/min
- Un débitmètre N₂ 0-1000 ml/min
- Un débitmètre liquide 0-150 mg/h (D₂O ou H₂O)
- Un débitmètre liquide 0-1500 mg/h (D₂O ou H₂O)
- Un dispositif de mélange (gaz + eau) et de chauffe pour obtenir un gaz humide (CEM)
- Deux réservoirs (H₂O et D₂O)