



IMT Mines Albi
École Mines-Télécom

**Cahier des Clauses Techniques
Particulières (CCTP)**

**Fourniture des équipements d'épuration de gaz
de synthèse**

***Lot n°1 : Unité de filtration à haute température
de gaz de synthèse***

Lot n°2 : Colonne de lavage de gaz de synthèse

Référence interne de la consultation : 2025ALB019M

Table des matières

1.	CONTEXTE	3
2.	IMPLANTATION ET INSTALLATION EXISTANTE	3
2.1.	Implantation.....	3
2.2.	Description de l'installation de gazéification actuelle.....	4
2.3.	Evolution prévue pour l'équipement	5
3.	Lot 1 : Unité de filtration à haute température de gaz de synthèse.....	6
3.1.	Courant de syngas	6
3.2.	Implantation et moyens annexes	6
3.3.	Construction	7
3.4.	Eléments filtrants.....	7
3.5.	Collecte des particules.....	7
3.6.	Système de nettoyage des éléments filtrants	7
3.7.	Instrumentation et contrôle commande	7
3.8.	Transport et Installation.....	8
3.9.	Documentation	8
3.10.	Informations requises dans l'offre.....	8
4.	Lot 2 : Colonne de lavage de gaz de synthèse	10
4.1.	Débit de syngas	10
4.2.	Objectif du lavage	10
4.3.	Solvants envisagés.....	10
4.4.	Implantation de l'équipement.....	10
4.5.	Construction	10
4.6.	Gestion de la cuve de solvant	11
4.7.	Pompage et refroidissement du solvant.....	11
4.8.	Instrumentation et contrôle.....	11
4.9.	Transport et Installation.....	12
4.10.	Documentation	12
4.11.	Informations requises dans l'offre.....	12

1. CONTEXTE

Le présent cahier des charges porte sur la fourniture de deux équipements majeurs d'une unité d'épuration de gaz de synthèse (aussi appelé syngas), à l'échelle pilote pour compléter un équipement pilote de gazéification déjà implanté sur la plateforme de recherche et développement VALTHERA. Cette plateforme fait partie du centre RAPSODEE, UMR CNRS 5302. La chaîne d'épuration est composée de trois étapes d'abattement des principaux polluants présents dans le gaz de synthèse. Dans cet ordre : les particules solides par filtration, les goudrons par condensation et absorption et des molécules présentes à plus faible concentration par adsorption. Le présent marché concerne les deux premières étapes. Le marché est divisé en deux lots :

- Lot 1 : Unité de filtration à haute température de gaz de synthèse. Cet équipement devra permettre de réduire les émissions de particules en maintenant la température du gaz de synthèse à 400°C pour éviter la condensation de goudrons.
- Lot 2 : Colonne de lavage de gaz de synthèse, permettant de refroidir le gaz de synthèse de 400°C à températures inférieures à 80°C, permettant la condensation des goudrons lourds et l'absorption de tout composé soluble dans le solvant sélectionné.

La plateforme VALTHERA dispose d'un arrêté d'autorisation pour la rubrique ICPE 2771.

Ce marché vise à fournir des briques essentielles pour construire un outil de recherche. Les équipements doivent permettre une opération souple, incluant une diversification des paramètres d'opération et une acceptation de gaz de synthèse de différentes compositions (en fonction de la nature du combustible gazéifié). Ce cahier des charges n'impose pas de spécifications en termes d'abattement ou de concentration de polluants en sortie, mais les candidats sont invités à fournir des niveaux d'abattements obtenus dans des expériences préalables.

2. IMPLANTATION ET INSTALLATION EXISTANTE

2.1. *Implantation*

L'équipement actuel occupe 33,6 m² au sol (6m x 5,6m) dans les locaux de la plateforme VALTHERA. Les deux équipements concernés par ce marché seront implantés sur l'espace identifié « Espace disponible pour la chaîne d'épuration » sur la Figure 1. La surface disponible est d'une dizaine de mètres carrés. Cette zone comporte l'extension de mezzanine décrite par la suite. La hauteur libre est de 6,40 m (hauteur sous crochet du palan sur rail). Le sol présente une inclinaison de 1.1° pour permettre la collecte de liquides.

Le bâtiment est doté :

- d'un palan sur rail d'une capacité de charge maximale de 2 t.
- d'un réseau de fluides comprenant : air comprimé (8 bar), eau, azote, méthane, dioxyde de carbone et oxygène. Chaque fluide dispose de plusieurs points de raccordement répartis dans la halle.
- D'une série de 6 armoires électriques comprenant chacune : 1 ligne de 63 A (400 V), 2 lignes de 32 A (400 V), 1 ligne de 20 A (400 V) et 4 lignes de 16 A (230 V). L'ensemble de ces lignes sont affectées à des prises de courant en façade de l'armoire. Régime neutre TT, neutre distribué.

- d'une cheminée de 201 mm de diamètre interne (passage de fumées) avec un revêtement intérieur et béton réfractaire permettant l'évacuation de gaz jusqu'à 800 °C.
- d'une extension de la mezzanine du gazéifieur qui a été installée en annexe à l'existante sur une surface de 27,71 m² (5,2 m de longueur et 5,328 m de largeur). La hauteur du plancher est de 3,03m et la hauteur libre sous plancher est de 2,705 m. Le plancher est en caillebotis. La charge maximum admissible pour la mezzanine est de 430 kg/m². Les équipements concernés par ce marché seront installés dans cet espace (au sol ou sur la mezzanine). Il est possible de faire des modifications dans la mezzanine pour faciliter l'implantation des équipements.

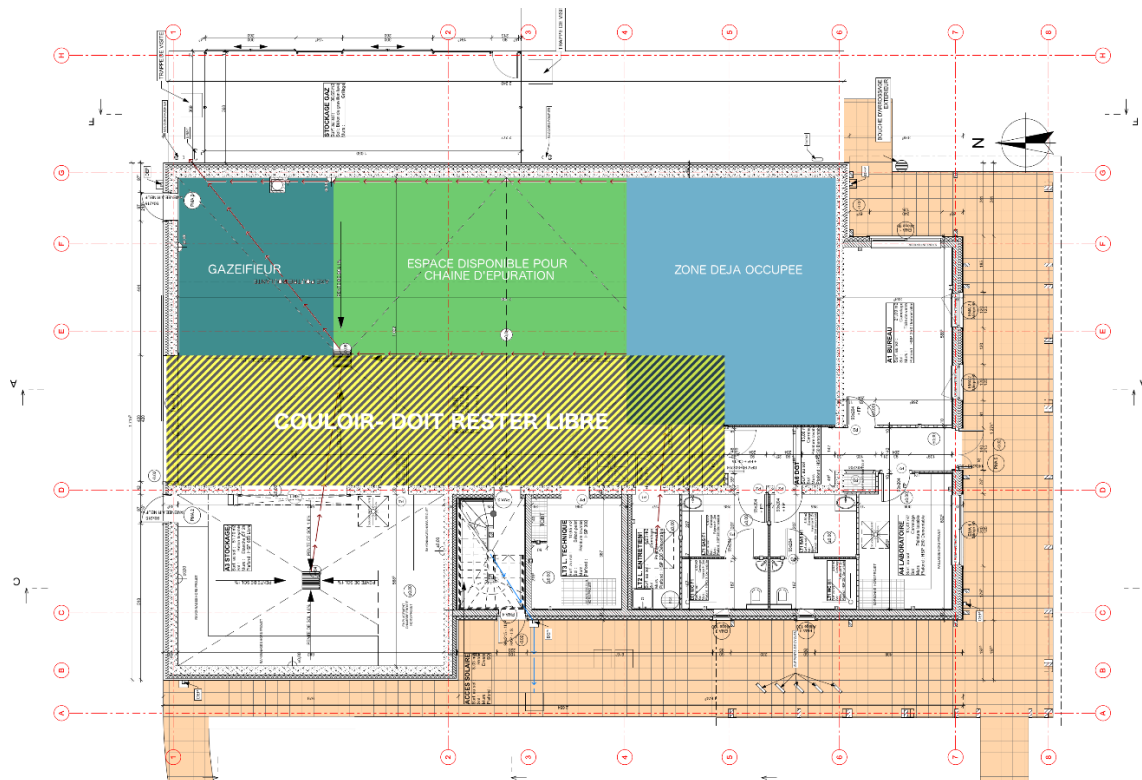


Figure 1. Plan du RDC de la plateforme

2.2. Description de l'installation de gazéification actuelle

Le pilote de gazéification est composé d'un silo d'environ 1 m³ qui alimente un réacteur à lit-fixe co-courant de 100 kW de puissance thermique PCI entrante et d'un cyclone installé avant l'extracteur assurant une légère dépression en tête du gazéifieur. Le débit de gaz (80 Nm³/h de débit nominal) sortant du gazéifieur est refroidi à l'air jusqu'à 400°C avec un échangeur à tubes concentriques refroidi. Ce niveau de température permet d'éviter la condensation de goudrons. Le gaz produit est finalement envoyé dans une chaudière équipée d'un brûleur bicom bustible (syngas, méthane) de 120 kWth. L'ensemble des équipements est piloté par un automate Siemens qui gère les actions de contrôle commande et la chaîne de sécurité.

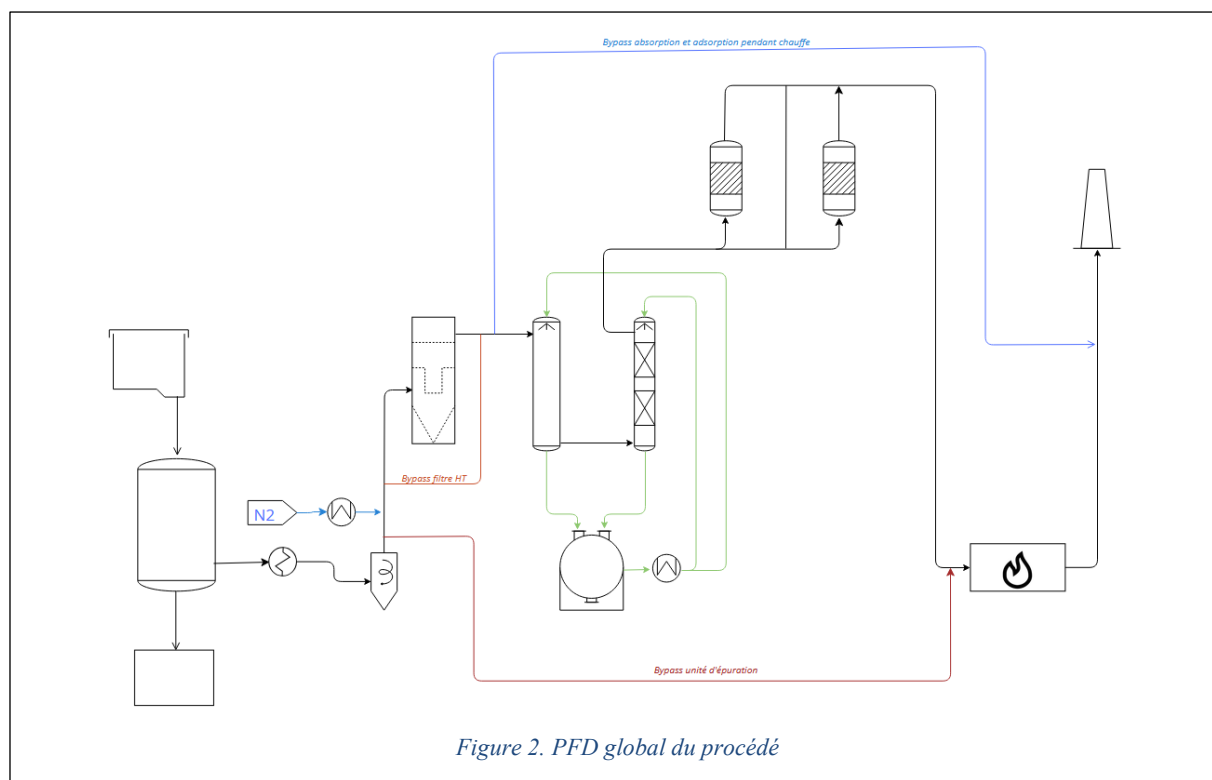
Il n'y a pas besoin de sélectionner des équipements ATEX. Les locaux sont fortement ventilés et une centrale de sécurité est placée à proximité de l'équipement avec plusieurs

détecteurs de CO, CH₄ et H₂. De plus le gazéifieur travaille en dépression par rapport à la pression atmosphérique ce qui limite fortement les risques de fuite.

2.3. Evolution prévue pour l'équipement

Une étude détaillée a été réalisée avec le bureau d'études Inovertis qui a permis de réaliser un design approfondi de l'installation et des modifications à apporter aux équipements actuels. Comme indiqué précédemment, le schéma retenu pour la partie épuration est composé de trois étapes : abattement de particules en suspension avec un filtre à haute température, un abattement de goudrons et autres molécules par absorption avec un solvant et adsorption d'autres molécules dans des lits fixes. Actuellement, le gaz de synthèse issu du réacteur passe par un cyclone qui piège les plus grosses particules, avant d'être envoyé dans une chaudière. Cette configuration doit être gardée opérationnelle. Elle correspond à la ligne inférieure du PFD (Figure 3). Afin d'intégrer la ligne d'épuration, sans perdre la configuration actuelle, une dérivation est prévue à la sortie du cyclone pour alimenter le filtre à haute température, la colonne de lavage et deux lits d'adsorbants (qui peuvent travailler en parallèle ou en série). Des bypass du filtre HT et de l'ensemble absorption et adsorption sont prévus pour gérer les phases transitoires et d'opérations spécifiques.

Au démarrage du gazéifieur, l'unité d'épuration sera bypassée et le gaz envoyé en combustion directement pour permettre d'atteindre le régime nominal et la température de 400°C du syngas (configuration actuelle). En attendant ce niveau le filtre chauffé, et les conduits en amont, devront être préchauffés.



Le Tableau 1 donne les spécifications obtenues aujourd'hui dans le syngas en fonction de la nature de l'agent gazéifiant (air ou mélange H₂O/O₂) ainsi que celles qui seraient attendues en sortie d'unité d'épuration pour une valorisation du gaz de synthèse en biométhane. Cette

information (cible après épuration) est donnée à titre indicatif et elle ne doit en aucun cas être considérée comme une contrainte.

Tableau 1 : Compositions actuelles du syngas en fonction de l'agent gazéifiant et cible après passage dans l'unité d'épuration.

Composé	Unité	Compositions syngas		
		Gazéification air	Gazéification H ₂ O/O ₂	Cible après épuration (non contraignante)
H ₂	%v/v db	11-16	20-35	Non concerné
CO	%v/v db	13-18	28-42	Non concerné
CO ₂	%v/v db	20-26	12-26	Non concerné
CH ₄	%v/v db	1-3	2-5	Non concerné
H ₂ O	%v/v	5-12	30-50	Non concerné
N ₂	%v/v db	45-60	0-4	Non concerné
C1-C4	%v/v db	0,1-2		Non concerné
Goudrons	g/Nm ³	6 - 15		<0.01
H ₂ S	ppmv	100-300		< 1
HCl	mg/Nm ³ db	50-150		< 2
NH ₃	mg/Nm ³ db	50-150		< 50
HCN	mg/Nm ³ db	50-150		< 50
Particules	g/Nm ³ db	5-30		< 0,05

3. Lot 1 : Unité de filtration à haute température de gaz de synthèse

3.1. Courant de syngas

Le débit maximal de gaz de synthèse arrivant à l'équipement est de 80 Nm³/h à 400°C contenant jusqu'à 30 g de particules/Nm³. Les particules correspondent essentiellement à du char dont la masse volumique est relativement faible (la littérature donne des valeurs inférieures à 1,6 g/cm³) en raison de sa forte porosité. La distribution de taille de particules n'est pas connue (non déterminée).

3.2. Implantation et moyens annexes

De l'azote ou du dioxyde de carbone à 10 bar maximum est disponible pour les processus de nettoyage par back-flash. La pression peut être régulée en fonction des préconisations du constructeurs.

La mezzanine installée (voir 2.1 pour plus de détail) peut porter jusqu'à 430 kg/m². Le filtre sera par conséquent autoporté. Il reposera donc sur le sol et non sur la structure de la mezzanine. Des zones convenables d'accessibilités seront prévues à chaque étage pour les opérations dont entretien et maintenance.

3.3. Construction

Les connexions seront sous la forme de brides en DN80. Deux configurations sont envisagées pour les brides d'entrée et sortie : sur la même face ou sur deux faces adjacentes (90° entre les deux faces).

Le filtre sera tracé électriquement à l'extérieur pour permettre une chauffe de l'ensemble de 20 à 400°C en deux heures. Le traçage, étant extérieur, n'a pas besoin d'être ATEX. Un petit flux d'azote préchauffée (à 400°C) sera injecté en amont pour préchauffer les conduits en amont et en aval du caisson. Le filtre disposera d'une isolation assurant une température en surface inférieure à 60°C en permanence.

3.4. Eléments filtrants

Les éléments filtrants auront initialement un rôle de filtration. Dans un deuxième temps, il sera envisagé l'utilisation d'éléments filtrants avec capacités catalytiques. Les éléments filtrants permettront la réalisation du nettoyage avec un gaz neutre injecté à température ambiante sans risque majeur de fissuration ou casse des éléments, en particulier en fonctionnement à 400°C.

3.5. Collecte des particules

Les particules seront collectées dans un réceptacle démontable, placé en parti basse du caisson. Le pot disposera de poignées pour faciliter la manutention. Il sera isolé thermiquement et disposera de deux piquages pour pouvoir injecter un courant d'azote afin d'inertiser le volume.

Prestation supplémentaire éventuelle : Idéalement une vanne guillotine ou papillon doit permettre d'isoler le pot de collecte pour pouvoir le remplacer. L'offre proposera, en prestation supplémentaire éventuelle, l'achat d'un deuxième pot.

3.6. Système de nettoyage des éléments filtrants

Un système de nettoyage des éléments filtrants (décolmatage) sera proposé. Le système d'injection d'un gaz neutre à haute vitesse a été retenu dans les conclusions du bureau d'études mais les candidats peuvent proposer un autre système. Des réseaux d'azote et de CO₂ sont disponibles comme indiqué précédemment. Le système de nettoyage devra perturber le minimum possible l'écoulement de gaz de synthèse.

3.7. Instrumentation et contrôle commande

L'équipement disposera, a minima, d'une mesure de perte de charge et de deux mesures de température de gaz en amont et en aval des éléments filtrants. Une mesure de contrôle de la température de traçage est également nécessaire. La pression du gaz de nettoyage sera également mesurée et contrôlée.

Prestation supplémentaire éventuelle : Idéalement, deux points de prélèvement permettraient de collecter du gaz directement à l'intérieur de deux éléments filtrants différents.

L'équipement disposera de son propre système de contrôle commande, lui permettant d'opérer de façon indépendante. Le système permettra de régler la fréquence minimale de décolmatage, le seuil de perte de charge déclenchant celui-ci, le traçage électrique et la température de fonctionnement. Le candidat indiquera si la séquence de décolmatage (ordre des séries d'éléments filtrants) peut être modifiée. Le système disposera d'une gestion d'alarmes

permettant d'éviter une opération en conditions dégradées. Le candidat spécifiera les alarmes prévues et leurs effets sur le système.

Le système de contrôle commande pourra communiquer avec un système de contrôle commande global, permettant de gérer la préchauffe, les critères de déclenchement de nettoyage et les alarmes. Le candidat indiquera le type de signaux et/ou les protocoles disponibles.

3.8. Transport et Installation

L'installation et mise en service n'est pas prévue avant 2027. Le matériel devra être livrée en 2026, il pourra être positionné et raccordé électriquement, mais le raccordement global et l'intégration dans le système de contrôle commande global ne seront pas réalisés avant 2027.

Le candidat détaillera séparément les coûts de transport, d'installation et de mise en service. Il détaillera également les besoins en termes de matériels de manutention pour l'installation.

3.9. Documentation

A la livraison, l'unité sera accompagnée d'une documentation complète, incluant a minima la notice d'utilisation, maintenance, les plans détaillés de montage, et les schémas électriques.

3.10. Informations requises dans l'offre

Le candidat fournira, a minima, les informations suivantes :

Caractéristiques

- Débit maximal de gaz admissible
- Vitesse de filtration
- Surface de filtration
- Perte de charge à vide
- Perte de charge admissible
- Niveaux d'émissions de particules estimés
- Masse
- Dimensions détaillées, dont emprise au sol

Construction

- Plan (s)
- Matériel(s) de construction pour les différentes parties
- Type de support /structure
- Type de joints utilisés et fournisseurs potentiels

Eléments de filtration

- Forme (dimensions) et matière
- Conditions d'utilisation (T max, risques de corrosion connus...)
- Seuil de coupure
- Nombre d'éléments
- Type de joints
- Durée de vie prévue pour un usage en continu et contraintes d'évacuation en fin de vie

Système de nettoyage par backflash (si proposé)

- Nombre de lignes d'injection
- Pression de gaz requise
- Volume de gaz utilisé par injection et durée de l'injection
- Fréquence minimale et maximale d'injection
- Consommation de gaz
- Niveaux de bruit engendré par le nettoyage (préciser la distance de référence)

Traçage et isolation

- Type de traçage
- Puissance nécessaire et raccordement électrique nécessaire

Collecte de particules

- Volume du pot de collecte
- Dimension des brides
- Isolation du pot
- Présence ou absence de vanne d'isolement
- Possibilité d'inertage du pot

Instrumentation et Contrôle commande

- Eléments de mesure et contrôle
- Type de système contrôle commande
- Nombre d'entrées et sorties et leur type. Indiquer le/les protocoles de communication
- Alarmes programmées et programmables

Raccordement électrique

- Tension et intensité nécessaires

Pièces de rechange (indiquer prix unitaire et taille de lot minimum)

- Types de pièces de rechange disponibles et tarif
- Eléments filtrants proposés
- Joints

Le candidat précisera également les limites de fourniture, la durée et les conditions de garantie.

Le candidat donnera une indication de son expérience dans la gestion de mélanges gazeux proches du gaz de synthèse décrit. Il décrira son expérience par des exemples de réalisation.

4. Lot 2 : Colonne de lavage de gaz de synthèse

4.1. Débit de syngas

Le débit de gaz de synthèse arrivant à l'équipement est de 80 Nm³/h (à 400°C et pression légèrement en dessous de la pression atmosphérique) contenant jusqu'à 15 g de goudrons/Nm³. Les essais réalisés jusqu'ici ont permis de quantifier 3 g de goudrons/Nm³. Les goudrons peuvent être décrits par un modèle simplifié composé de benzène (45%v), toluène (7%v), styrène (6% v), naphtalène (33%v), biphenyl (6%v) et flourene et molécules plus lourdes (3%v).

4.2. Objectif du lavage

L'objectif de cette étape est d'abattre fortement la concentration de goudrons, et particulièrement les goudrons les plus lourds qui génèrent des problèmes de bouchage de conduits si la température descend en dessous de 400°C. L'opération sera réalisée à une pression légèrement en dessous de la pression atmosphérique.

4.3. Solvants envisagés

L'objectif principal étant le retrait de goudrons lourds et légers, les solvants privilégiés seront des hydrocarbures avec des températures d'ébullition au-delà de 300°C comme les esters méthyliques de longues chaînes (C16 à C22) tel le biodiesel.

Les candidats indiqueront la compatibilité des matériaux, joints et autres pièces avec l'usage de solutions aqueuses alcalines et acides.

4.4. Implantation de l'équipement

Le système de lavage peut être autoportant ou supporté dans la mezzanine disponible si la masse totale respecte les contraintes de charge de la mezzanine. Néanmoins la solution autoportée est préférable. La mezzanine installée (voir 2.1 pour plus de détail) peut porter jusqu'à 430 kg/m².

4.5. Construction

La connexion d'arrivé de syngas sera réalisée via une bride en DN80, la connexion de sortie sera de préférence en DN50.

Le système de lavage sera composé de deux zones, la première permettra de refroidir le gaz de synthèse en dessous de 100°C et de condenser les goudrons « lourds ». Ceux-ci ayant tendance à se coller sur toute paroi, il est préférable d'éviter l'usage d'éléments de garnissage, car ils pourraient générer un blocage de cette première colonne. Les gaz peuvent ensuite être amenés à une deuxième colonne mettant en œuvre un contact intime entre gaz et solvant générant des interactions d'absorption. L'offre détaillera les éléments de garnissage inclus, et ses spécifications ainsi que les contraintes à respecter en cas de remplacement de ceux-ci. A la sortie de gaz de la deuxième colonne un séparateur de gouttelettes (demister) sera implanté afin de minimiser la sortie de gouttelettes de liquide avec le flux gazeux.

Les deux colonnes seront complétées par un réservoir commun ou deux réservoirs distincts de solvant avec un ou deux systèmes de pompe en cycle fermé.

Les surfaces pouvant se trouver à plus de 60°C seront isolées pour des raisons de sécurité.

Un échangeur interne ou externe (au réservoir) sera intégré pour permettre le refroidissement du solvant en dessous de 60°C (de préférence de 40°C). Un échangeur externe sera préféré pour réduire l'impact du colmatage et l'encrassement. L'échangeur doit être facilement démontable pour faciliter son nettoyage.

La cuve de solvant sera posée au sol. Idéalement on pourra prévoir une cuve de rétention.

4.6. *Gestion de la cuve de solvant*

Le volume de la cuve devrait être a minima de 300 l. L'accueil du volume de condensat (eau, goudrons et autre), implique une augmentation progressive du volume stocké dans la cuve. Le candidat indiquera la solution préconisée pour gérer cette accumulation sans augmentation de pression dans le réservoir (extraction en continu, remplissage partiel de la cuve...). Dans le cas d'un remplissage partiel, un point d'injection d'azote et un évent doivent être prévus afin de purger le ciel gazeux la cuve. Un point bas de vidange, un point d'alimentation en solvant et un point de prélèvement doivent être également prévus.

Le nettoyage de la cuve doit être facilité par un accès de taille suffisante.

Les points d'installation des instruments de mesure doivent être également prévus.

4.7. *Pompage et refroidissement du solvant*

L'unité disposera d'une pompe ou deux pompes respectant les contraintes en termes de débit et perte de charge nécessaire. Le choix du type de pompe reste au choix des candidats, néanmoins une configuration de pompe auto-amorçante pour des fluides relativement visqueux est préférable.

Afin de dimensionner l'échangeur, le candidat pourra considérer une température d'entrée d'eau de 50°C et une température de départ de 80°C maximum. Le débit sera fixé par les candidats. Une configuration d'échangeur à calandre et tubes sera priorisée pour faciliter le nettoyage de l'échangeur. Néanmoins, les candidats peuvent proposer d'autres configurations d'échangeur.

4.8. *Instrumentation et contrôle*

Les mesures et moyens de détection suivants seront intégrés dans l'offre :

- Débit de solvant alimenté pour chaque colonne ;
- Pression du gaz à la sortie gaz de chaque colonne et dans le réservoir ;
- Température du solvant dans le réservoir, en sortie de l'échangeur et en sortie des deux colonnes ;
- Température du gaz en entrée de l'unité et en sortie de chaque colonne ;
- Détecteur de niveau avec, a minima, un seuil de détection de niveau haut et de niveau bas.

Les candidats préciseront les technologies sélectionnées et la précision de mesure.

En termes de régulation, l'offre devra, a minima, intégrer la régulation du débit des deux colonnes et de la température de sortie de l'échangeur.

Le système disposera idéalement d'une unité de contrôle propre qui pourra être déportée sur un PLC global de l'ensemble de l'unité (qui est exclu de ce marché). Le système disposera

également d'alarmes configurables sur les paramètres mesurés, qui pourraient dans le cas où l'unité est reliée à un PLC global, déclencher l'arrêt de sécurité de l'unité ou arrêter l'unité si un arrêt de sécurité est déclenché sur un autre point de l'installation.

Le candidat précisera les protocoles de communication de l'ensemble des instruments de mesure ainsi que le celui de l'unité de contrôle avec le PLC de l'unité globale.

4.9. Transport et Installation

L'installation et la mise en service ne sont pas prévues avant 2027. Le matériel devra être livré courant 2026. Il pourra être positionné et raccordé électriquement, mais le raccordement global et l'intégration dans le système de contrôle commande global ne pourra avoir lieu avant 2027.

Le candidat détaillera séparément les coûts de transport, d'installation et de mise en service. Il détaillera également les besoins en termes de matériels de manutention pour l'installation.

4.10. Documentation

A la livraison, l'unité sera accompagnée d'une documentation complète, incluant a minima la notice d'utilisation, de maintenance, les plans détaillés de montage et les schémas électriques.

4.11. Informations requises dans l'offre

Le candidat fournira a minima les informations suivantes :

Caractéristiques

- Débit maximal de gaz admissible ;
- Débit de solvant dans chaque colonne ;
- Température estimée de sortie de gaz de chaque colonne ;
- Perte de charge à vide (avec garniture) ;
- Perte (ou gain) de charge estimée.
- Masse
- Dimensions détaillées, dont emprise au sol

Construction

- Plan (s) ;
- Matériaux de construction pour les différentes parties ;
- Type de support /structure ;
- Type de joints utilisés et fournisseurs potentiels ;
- Isolation (si nécessaire) – zones isolées, matériaux, épaisseur...

Pompe

- Nombre
- Types
- Caractéristiques

Echangeur

- Type
- Configuration proposée : externe ou interne ;
- Puissance de refroidissement recommandée ;

- Débit de solvant minimal ;
- Perte de charge coté solvant et coté eau dans l'échangeur.

Instrumentation et Contrôle commande

- Eléments de mesure et contrôle ;
- Type de système contrôle commande ;
- Nombre d'entrées et sorties et leur type. Indiquer le/les protocoles de communication ;
- Alarmes programmées et programmables.

Raccordement électrique

- Tension et intensité nécessaires.

Pièces de rechange (indiquer prix unitaire et taille de lot minimum)

- Types de pièces de rechange disponibles et tarifs ;

Le candidat précisera également les limites de fourniture, la durée et les conditions de garantie.

Le candidat donnera une indication de son expérience dans la gestion de mélanges gazeux proches du gaz de synthèse décrit. Il décrira son expérience par des exemples de réalisation.