

Acheteur public : Centrale Lille Institut

Cahier des Clauses Techniques Particulières (CCTP)

Numéro de la consultation : PA2026-007

Objet de la consultation : Fourniture, installation et mise en service d'une unité de mesure des performances catalytiques équipée de deux réacteurs tubulaires à flux continu.

Procédure de passation : Procédure formalisée - appel d'offres ouvert

Date limite de retour des offres : 04 mai 2026 à 10h

Dans le cadre du projet PRINT4CAT, financé par le Fonds Européen de Développement Régional (FEDER) dans le cadre du programme Fonds de Transition Juste (FTJ), Centrale Lille Institut souhaite faire l'acquisition d'une unité de mesure des performances catalytiques équipée de deux réacteurs tubulaires à flux continu.

❖ Objet du marché

Le présent cahier des charges a pour objectif de préciser les besoins de Centrale Lille Institut en termes de fourniture, d'installation et de mise en service d'**une unité de mesure des performances catalytiques équipée de deux réacteurs tubulaires à flux continu** destinée à la mesure des performances de catalyseurs hétérogènes sous forme de poudres, d'extrudés, de billes, de granulés ou de monolithes.

❖ Spécifications techniques

L'unité de mesure des performances catalytiques équipée de deux réacteurs tubulaires à flux continu destinée à la réalisation de tests catalytiques sera composée des sous-ensembles suivants :

1. Un système d'alimentation en gaz et en liquide,
2. Un système comprenant deux réacteurs catalytiques tubulaires à flux continu pouvant travailler sous pression,
3. Deux systèmes de séparation gaz/liquide et de récupération des produits liquides en sortie de réacteur pour pouvoir en effectuer l'analyse hors-ligne,
4. Un système de contrôle et d'acquisition des données,
5. Des organes de sécurité.

Cette unité devra pouvoir être raccordée à un système d'analyse des produits en ligne déjà existant dans notre laboratoire.

1. **Système d'alimentation en gaz et en liquide**

Les deux réacteurs seront alimentés par un système de distribution de gaz ou d'un mélange de gaz et de liquide évaporé.

Le système de distribution sera équipé :

- De 5 lignes d'alimentation des gaz suivants : He, N₂, mélange CO₂/H₂, CH₄ et H₂ ;
- D'un mélangeur de ces gaz ;
- D'un système de dépressurisation automatique des mélanges de ces gaz placé en amont des réacteurs ;
- D'une ligne de transfert chauffée entre le mélangeur de gaz et l'entrée des réacteurs ;
- D'une ligne d'alimentation en liquide ;
- D'un évaporateur ;
- D'un système de répartition du débit de gaz ou de mélange gaz/liquide évaporé entre les 2 réacteurs.

Chacune des 5 lignes d'alimentation en gaz He, N₂, mélange CO₂/H₂, CO, CH₄ et H₂ sera équipée d'un indicateur de pression, d'une vanne d'arrêt pneumatique automatisée normalement fermée, d'un filtre, d'un régulateur de débit massique (ci-après désigné « MFC », Mass Flow Controller) et d'un clapet anti-retour :

- Le MFC N₂ sera étalonné pour 5 L/min STP (Standard Temperature and Pressure ou Conditions normales de température et de pression) d'azote à 100 bars de pression d'entrée et de 90 bars pour la pression de sortie ;
- Le MFC He sera étalonné pour 1 L/min STP (Standard Temperature and Pressure ou Conditions normales de température et de pression) d'hélium à 100 bars de pression d'entrée et de 90 bars pour la pression de sortie ;
- Le MFC CO₂/H₂ sera étalonné pour 3 L/min STP d'un mélange 33 vol.% de CO₂ et 67 vol. % de H₂ à 100 bars de pression d'entrée et de 90 bars pour la pression de sortie ;

- Le MFC CH_4 sera étalonné pour 3 L/min STP de méthane à 100 bars de pression d'entrée et de 90 bars pour la pression de sortie ;
- Le MFC H_2 sera étalonné pour 3 L/min STP de dihydrogène à 100 bars de pression d'entrée et de 90 bars pour la pression de sortie.

Note : ces débits sont donnés pour l'alimentation simultanée des 2 réacteurs.

Les 5 lignes d'alimentation de gaz seront connectées au mélangeur de gaz. La ligne de transfert de mélanges de gaz doit pouvoir être maintenue à une température constante, entre la température ambiante et 180°C.

La ligne d'alimentation en He sera équipée d'une vanne d'arrêt pneumatique automatisée normalement fermée, d'un filtre, d'un régulateur de débit massique (MFC), d'un indicateur de pression, d'un clapet anti-retour et d'un système de vannes, permettant d'injecter l'hélium dans le mélangeur de gaz, soit en passant par un saturateur, soit en passant par un bypass. Ce saturateur sera doté d'une capacité de 150 mL et devra supporter une pression jusqu'à 100 bars. Équipé d'une double enveloppe, ce saturateur devra pouvoir être maintenu à une température constante comprise entre 0 et 100°C grâce un chiller (refroidisseur) qui devra également être fourni. En PSE n°1 (facultative), le soumissionnaire pourra proposer dans son offre un saturateur équipé d'un indicateur de niveau de remplissage.

La ligne de transfert entre le saturateur et le mélangeur de gaz devra être maintenue à une température constante comprise entre la température ambiante et 180°C.

La ligne d'alimentation liquide sera équipée d'une vanne d'arrêt pneumatique automatisée normalement fermée, d'un filtre, d'une pompe HPLC (« High Performance Liquid Chromatography » ou Chromatographie en phase liquide à haute performance) étalonnée à 5 mL/min de liquide, d'un clapet anti-retour et d'un système de pressurisation de la réserve de liquide par de l'azote.

La zone entre l'évaporateur et le système de répartition du débit de gaz ou de gaz et de liquide évaporé entre les 2 réacteurs devra être maintenue à une température constante, comprise entre la température ambiante et 180°C.

Le soumissionnaire pourra proposer, **en solution alternative**, des contrôleurs de débit placés en aval du mélangeur de gaz et en amont de chaque réacteur pour pouvoir travailler à des GHSV (« Gas Hourly Space Velocity » ou Vitesse spatiale horaire des gaz) différentes (Variante n°1). Cette alternative devra être détaillée dans l'offre.

En PSE n°2 (facultative), le soumissionnaire pourra proposer dans son offre un système pour effectuer la vérification et la calibration des MFC des 5 lignes d'alimentation en gaz (He , N_2 , CO_2/H_2 , CH_4 et H_2) et de la pompe HPLC.

2. Système comprenant deux réacteurs catalytiques tubulaires à flux continu pouvant travailler sous pression

L'unité de mesure des performances catalytiques sera équipée de deux réacteurs tubulaires à flux continu. Ceux-ci devront pouvoir être utilisés simultanément en parallèle. Chaque réacteur sera prévu pour une utilisation jusqu'à 50 bars et 800°C. L'instrument devra être équipé d'un système de contrôle de la pression qui assure un contrôle de pression stable et précis pour les flux en phase gazeuse.

Les réacteurs tubulaires devront être interchangeables, d'une longueur minimale de 20 cm avec une zone isotherme minimale de 7 cm et d'un diamètre interne compris entre 7 et 15 mm. Le soumissionnaire pourra proposer dans son offre des réacteurs avec un diamètre interne d'une tolérance de plus ou moins 3 mm par rapport à la taille indiquée.

En PSE n°3 (obligatoire), le soumissionnaire pourra proposer dans son offre des réacteurs de différents diamètres internes et de différents matériaux.

Les réacteurs devront être équipé des éléments suivants :

- Un contrôleur de température de gamme 50 à 800°C avec un rampe comprise entre 0,1 et 10°C/min, pour assurer le chauffage homogène d'une longueur minimale de 7 cm de réacteur à 800°C (zone isotherme) ;
- Un thermocouple de contrôle externe sur la paroi extérieure du réacteur ;
- Un contrôleur de pression entre 1 et 50 bars ;
- Un manomètre 50 bars ;
- Un puit thermométrique pour le contrôle de température axial du lit catalytique (de 1 à 5 points de mesures dans la zone isotherme).

Des volumes de 1 à 3 mL de catalyseur pourront être chargés et testés dans les réacteurs tubulaires.

Les 2 réacteurs devront pouvoir être utilisés selon différents modes de fonctionnement :

- Réaction conduite seulement dans un des 2 réacteurs,
- Réaction dans les 2 réacteurs en série,
- Réaction 1 dans le réacteur 1 ET Réaction 2 dans le réacteur 2, avec Réactions 1 et 2 ayant des compositions d'alimentation, des températures, des débits, des pressions à la fois différentes et indépendantes les unes des autres.

3. Système de séparation gaz/liquide et de récupération des produits pour analyse hors ligne

Les réacteurs seront équipés en aval d'un système de séparation gaz/liquide. Il permettra d'effectuer la récupération des produits liquides pour effectuer leur analyse hors-ligne et de diriger la phase gaz vers un système d'analyse en ligne déjà existant (micro-GC). Il sera équipé de :

- Un système de dépressurisation ;
- Un système de condensation/séparation des liquides et des gaz ;
- Un système de split permettant de véhiculer une partie de l'effluent du réacteur vers l'analytique déjà existante (micro-GC en ligne) et l'autre partie vers l'évent.

Les gaz et les vapeurs en sortie de chaque réacteur devront transiter par un système de dépressurisation maintenu à une température comprise entre 100 et 180°C.

Un système de vanne 1/8" devra être installé à la sortie de chaque système de dépressurisation. Il permettra de rediriger les gaz et les vapeurs vers le système de condensation/séparation liquide/gaz ou vers le système de split.

Le système de vannes devra pouvoir être maintenu à une température comprise entre 100 et 180°C.

Le système de split devra pouvoir être maintenu à une température comprise entre 100 et 180°C.

La ligne de transfert entre les systèmes de split et le GC en ligne devra être maintenue à une température comprise entre 100 et 180°C.

Le système de condensation/séparation liquide/gaz sera maintenu à une température comprise entre 5 et 80°C (un système par réacteur).

4. Système de contrôle et d'acquisition des données

L'équipement sera fourni avec un ordinateur, sous OS Windows 11, permettant le pilotage et le contrôle de l'unité de mesure des performances catalytiques.

L'ordinateur de contrôle de l'unité de mesure des performances catalytiques sera équipé d'un logiciel permettant les opérations suivantes :

- Contrôler et enregistrer des débits de gaz (MFC) et liquide (pompe HPLC) ;
- Contrôler et enregistrer des données de pression et de température ;
- Contrôler le chauffage des réacteurs, systèmes de distribution et de séparation gaz/liquide ;
- Piloter les vannes automatisées ;
- Piloter la pompes HPLC ;

- Effectuer la vérification et la calibration des MFC et des pompes HPLC avec le système proposé en PSE n°2 (facultative), le cas échéant.

L'ordinateur sera fourni avec une connexion Ethernet TCP/IP, un clavier QWERTY et un écran plat 27".

Le logiciel doit permettre de visualiser et de gérer des graphiques avec des données dynamiques et notamment les paramètres du processus en temps réel et des points de consigne définis par l'opérateur.

5. Organes de sécurité

Des alarmes de détection de hautes températures et de fortes pressions, réglables par l'utilisateur, seront liées à des verrouillages de sécurité qui stopperont automatiquement le four et les flux de réactif, et purgeront les réacteurs à l'aide d'un gaz inerte.

Un verrouillage de sécurité arrêtant automatiquement le four et les flux de réactif devra pouvoir être asservi à une détection d'ambiance de H₂, de CH₄ et de présence de ventilation dans le laboratoire.

Le système sera équipé d'un bouton d'arrêt d'urgence manuel.

Comme précisé ci-dessus, l'unité de mesure des performances catalytiques devra pouvoir être couplée à un système d'analyse des produits en ligne déjà existant dans notre laboratoire (chromatographe en phase gaz de type micro-GC) afin de mesurer la composition réelle du gaz dans les flux de sortie des réacteurs.

L'unité de mesure des performances catalytiques proposée sera équipée d'une vanne de sélection qui permettra d'analyser un effluent d'un réacteur sélectionné (un effluent de réacteur sera analysé à la fois).

L'unité doit être capable d'envoyer un signal au GC, trigger, pour débiter l'analyse.

❖ Consommables

L'unité de mesure des performances catalytiques sera fournie avec un ensemble de consommables et de pièces détachées permettant sa mise en œuvre immédiate.

Parmi ceux-ci figureront notamment :

- De 4 à 8 réacteurs tubulaires à flux continu de différents diamètres internes compris entre 7 et 15 mm. Le soumissionnaire pourra proposer dans son offre des réacteurs avec un diamètre interne d'une tolérance de plus ou moins 3 mm par rapport à la taille indiquée ;
- Un kit de démarrage pour l'unité de mesure des performances catalytiques ;
- Des kits de nettoyage spécifiques aux modules installés pour l'unité de mesure des performances catalytiques ;
- Une trousse à outils pour le démontage des différents éléments de l'unité de mesure des performances catalytiques.

❖ Environnement

Le soumissionnaire précisera dans son offre les prérequis en termes d'adduction de fluides, d'alimentation électrique et de toutes autres interfaces nécessaires au bon fonctionnement de l'unité livrée.

Le soumissionnaire devra préciser l'environnement requis pour l'équipement proposé (dimensions, masse, alimentation électrique nécessaire, utilités, ventilation, etc...).

La compacité du système proposé sera un élément important dans l'évaluation des offres.

❖ Livraison

L'équipement sera livré à Centrale Lille, bâtiment C, 3^{ème} étage, Boulevard Paul Langevin, 59651 Villeneuve d'Ascq, France. L'équipement sera installé sur site par le titulaire du marché et réceptionné dans un délai impératif de quatre (4) mois maximum à compter de la date de notification de la commande. Le titulaire devra s'assurer préalablement à la livraison de la possibilité de l'effectuer jusqu'à l'emplacement réservé.

Tout matériel livré devra porter la référence de la commande ainsi que le nom du destinataire. Le titulaire du marché devra prendre toutes les dispositions pour décharger et installer l'équipement. Les livraisons seront effectuées entre 8h00 et 16h30 du lundi au vendredi.

L'équipement et l'ensemble de ses périphériques devront être livrés propres et conditionnés de manière sérieuse et appropriée.

Les plateaux de transport, palettes et caisses d'emballage devront être adaptés aux poids et volumes des éléments afin d'assurer un transport sécurisé et éviter par la suite tout litige lié à un mauvais conditionnement.

❖ Installation, mise en service et formation

Installation sur site

L'installation et la mise en service de l'équipement sur site seront réalisées par les ingénieurs du titulaire du marché dans les quinze (15) jours suivant la date de livraison du matériel. Les spécificités et contraintes liées à l'installation seront précisées dans l'offre du soumissionnaire.

Le raccordement des sous-ensembles entre eux, s'il y en a, sera réalisé par les ingénieurs du titulaire du marché.

L'installation du réseau de gaz sera effectuée par les ingénieurs de Centrale Lille.

Le raccordement du réseau du gaz à l'équipement sera effectué par les ingénieurs du titulaire du marché.

Site Acceptance Test (SAT)

La réception de l'équipement sera prononcée une fois validés les tests de qualification sur site ou SAT (Site Acceptance Test). La réaction, les conditions des tests à effectuer et le catalyseur nécessaire pour effectuer le SAT seront fournis ultérieurement au titulaire du marché par Centrale Lille.

Formation

A l'issue de la SAT, une formation d'appropriation des équipements sera dispensée par le titulaire du marché, sur site et pour deux à trois personnes. Elle devra être effectuée en français ou en anglais. A l'issue de cette formation, les personnes formées devront être capables :

- D'utiliser l'équipement de manière autonome ;
- D'effectuer les opérations de maintenance courante ;
- D'effectuer les traitements automatisés des résultats.

❖ Documentation

Le titulaire du marché s'engagera à fournir (liste non exhaustive) :

- La notice d'utilisation rédigée en français ou en anglais ;
- La notice d'entretien et de maintenance ;
- Une identification et une analyse des risques liés à l'utilisation de l'équipement, ainsi que les instructions de sécurité ;
- Les certificats d'étalonnage des équipements de contrôle de température, de débit et de pression utilisés.

❖ Garantie

L'équipement et les éléments lui étant attachés seront garantis pendant une durée de douze (12) mois minimum à compter de la date de réception.

La garantie comprendra les prestations suivantes :

- La main d'œuvre ;
- Le déplacement ;
- Les pièces de rechange ;
- La réparation et toute proposition complémentaire du titulaire du marché qui entre dans le champ de la garantie.

❖ Service après-vente (SAV)

Le service (SAV) comprendra les prestations suivantes :

- Assistance téléphonique pour identifier et résoudre les problèmes matériels ;
- Diagnostic et réparation du matériel sur site, les frais de main d'œuvre et de déplacement, ainsi que les pièces utilisées pour la réparation.

Le titulaire du marché garantit :

- Un délai de diagnostic, suite à un signalement de dysfonctionnement, de deux (2) jours ouvrés, du lundi au vendredi (hors jours fériés) de 8h30 à 17h30. En cas de panne, après l'établissement d'un diagnostic, le délai d'intervention sur site des ingénieurs du titulaire du marché est de deux (2) jours ;
- Un délai de remise en état de fonctionnement de l'équipement suite à un signalement de dysfonctionnement (délai maximum de 5 jours ouvrés pour rendre le matériel de nouveau opérationnel) minimisé en mettant à disposition du client l'ensemble des moyens nécessaires au rétablissement des performances du système.

En cas de panne prolongée, le titulaire du marché s'engage à mettre en œuvre toutes les ressources nécessaires pour rétablir les fonctionnalités de l'équipement. Si la panne d'un élément lui incombe, le titulaire du marché s'engage à le réparer sans frais pour le client.

Les conditions du SAV proposées — notamment les durées minimales d'intervention et de réponse après une sollicitation — devront être précisées dans le mémoire technique, ainsi que le type de support (email, hotline, etc.).

En PSE n°4 (obligatoire) le soumissionnaire devra proposer dans son offre un contrat de maintenance de deux (2) ans au terme du délai de garantie :

- Une maintenance préventive annuelle devra être effectuée par un ingénieur SAV du titulaire du marché au cours du mois indiqué dans le contrat. Lors de cette maintenance, l'ingénieur changera toutes les pièces nécessaires. Ce contrat inclura les frais de déplacement sur site, de la main d'œuvre et toutes les pièces et les consommables nécessaires pour la maintenance (liste à fournir). Les tests de calibration de l'équipement seront effectués suite à l'intervention. Si les consommables ne sont pas inclus dans le contrat, le soumissionnaire devra indiquer dans son offre tous les consommables devant être changés pendant la maintenance de l'appareil et leurs prix ;
- Ce contrat devra inclure une maintenance curative par le titulaire du marché. Seront compris à ce titre les déplacements sur site, la main d'œuvre, les pièces de rechange et les consommables et pièces pour résoudre les pannes. Le délai d'intervention sera garanti dans le cadre du contrat (maximum de quarante-huit (48) heures) ;
- L'assistance téléphonique sera incluse et assurée par les ingénieurs du SAV du titulaire du marché.

❖ Prestations supplémentaires éventuelles (PSE) et variantes

- **PSE n°1 (facultative)** : Un saturateur équipé d'un indicateur de niveau de remplissage.
- **PSE n°2 (facultative)** : Un système pour effectuer la vérification et la calibration des MFC des 4 lignes d'alimentation en gaz (He, mélange CO₂/H₂, CH₄ et H₂) et de la pompe HPLC.
- **PSE n°3 (obligatoire)** : Réacteurs de différents diamètres internes et de différents matériaux.

- **PSE n°4 (obligatoire)** : Un contrat de maintenance de deux (2) ans supplémentaires au terme de la durée de garantie.

Variante n°1 : Le soumissionnaire pourra proposer dans son offre, **en solution alternative**, des contrôleurs de débit de gaz placés en aval du mélangeur de gaz et en amont de chaque réacteur pour pouvoir travailler à des GHSV (« Gas Hourly Space Velocity » ou Vitesse spatiale horaire des gaz) différentes.

Variante n°2 : Le soumissionnaire pourra proposer de son offre, **en solution alternative**, des contrôleurs de débit de gaz et des contrôleurs de débit de liquide placés en amont de chaque réacteur pour pouvoir travailler à des GHSV (« Gas Hourly Space Velocity » ou Vitesse spatiale horaire des gaz) et LHSV (« Liquid Hourly Space Velocity » ou Vitesse spatiale horaire des liquides) différentes.