



ANALYSEUR DE CATALYSEURS

BELCAT II

**Découvrez les dernières avancées en matière de caractérisation des catalyseurs grâce au BELCAT II. Les performances des catalyseurs solides dépendent de propriétés de surface spécifiques, parmi lesquelles la nature et la répartition des sites actifs, l'acidité, la basicité, le comportement redox, la structure électronique et la morphologie de surface jouent tous un rôle essentiel dans la détermination de l'activité catalytique, de la sélectivité et de la stabilité.** Le BELCAT II

fournit une analyse précise des taux de dispersion des métaux, des surfaces métalliques et de la taille moyenne des particules pour les catalyseurs à base de métaux précieux supportés, aidant ainsi les chercheurs à améliorer les performances des catalyseurs tout en réduisant les coûts. En plus de fournir des mesures des surfaces spécifiques (BET) et de la cinétique d'adsorption, le BELCAT II détermine la capacité d'adsorption grâce à des analyses de courbes de percée. Ces données sont essentielles pour le développement de matériaux adsorbants innovants. En tant qu'analyseur de catalyseurs complet, il combine toutes les fonctions dans un seul appareil, offrant une large applicabilité et une personnalisation étendue pour soutenir divers objectifs de recherche et développement.



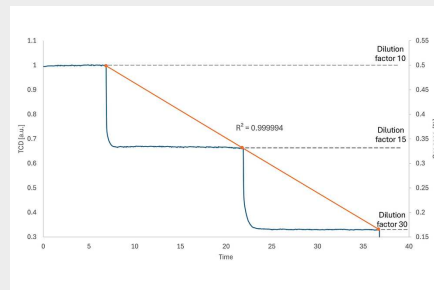
ANALYSEUR TOUT-EN-UN, ENTièrement AUTOMATISÉ ET POLYVALENT

## POURQUOI LE BELCAT II ?

Découvrez les capacités exceptionnelles du BELCAT II. Vous trouverez ci-dessous une liste de ses principales caractéristiques, conçues pour fournir une analyse complète et fiable des catalyseurs tout en offrant la flexibilité nécessaire pour répondre à divers besoins en matière de recherche et développement.

### Conception Polyvalente pour le Dosage de Gaz

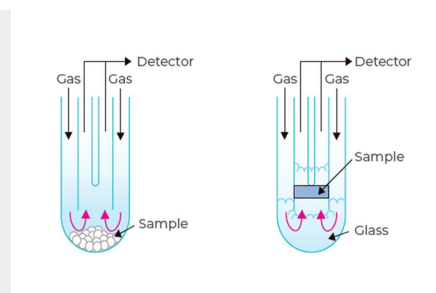
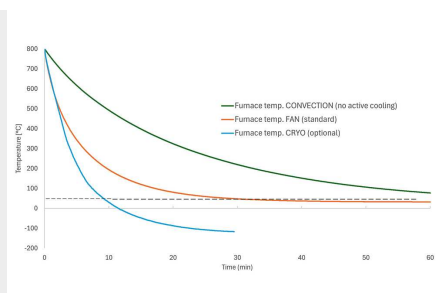
Le collecteur de gaz multiligne intégré permet de connecter simultanément jusqu'à huit gaz différents, dont deux types corrosifs, qui sont distribués en interne dans tout le système. Cette conception intelligente prend en charge le mélange contrôlé par logiciel, permettant la génération précise de mélanges de gaz personnalisés directement dans l'unité. Ces mélanges peuvent être utilisés pendant le prétraitement des échantillons, l'analyse, les opérations en boucle pulsée et l'étalonnage automatisé. En éliminant le besoin de gaz pré-mélangés et en réduisant au minimum les tuyaux externes, le système améliore l'efficacité du flux de travail, réduit les coûts d'exploitation et diminue considérablement le risque de fuite.



### BELCAT II (multifonctionnel)

Dispo  
altern  
(à usa  
uniqu

|                        |                                                                       |                                                                        |
|------------------------|-----------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------|
| Gaz de préparation     | 1. He, 2. N <sub>2</sub> , 3. Ar, 4. H <sub>2</sub>                   | 5 ligne gaz : 1. N <sub>2</sub> , 2. N <sub>2</sub> , He, 4. Ar, 5. He |
| Gaz d'analyse (boucle) | 5. CO, 6. O <sub>2</sub> , 7. N <sub>2</sub> O, 8. NH <sub>3</sub>    | 5 ligne gaz : 1. CO, 2. CO, NH <sub>3</sub> / O <sub>2</sub> , 5.      |
| Gaz vecteurs           | 1. He, 2. N <sub>2</sub> , 3. Ar                                      | 3 ligne gaz : 1. N <sub>2</sub> , 2. N <sub>2</sub> ,                  |
| Total                  | 8 conduites de gaz nécessaires pour préparer les mêmes gaz (mélanges) | 13 conduites de gaz nécessaires                                        |



## Contrôle de Température

**Optimal** Bénéficiez d'un chauffage et d'un refroidissement rapides grâce à un four split compact conçu pour offrir des performances élevées. Les vitesses de chauffage atteignent jusqu'à 110 °C/min de 50 à 500 °C, ou 80 °C/min de 50 à 1 000 °C, avec une température de fonctionnement maximale de 1 100 °C. Le refroidissement intégré assisté par ventilateur raccourcit les temps de cycle, réduisant la température de 400 à 50 °C en seulement 30 minutes. Cela augmente le débit d'échantillons et minimise les temps d'arrêt. Pour les applications avancées à température inférieure à la température ambiante, l'option cryogénique CATCryo II offre un refroidissement exceptionnel jusqu'à -120 °C. Elle établit de nouvelles normes en matière de gestion thermique, refroidissant de 800 à 30 °C en seulement 10 minutes, ce qui ouvre de nouvelles possibilités dans la recherche sur l'adsorption, la caractérisation des matériaux et les expériences à contrôle de précision.

**Sécurité Renforcée** Comprend une porte de sécurité à verrouillage automatique, une protection contre la surchauffe, un arrêt automatique, des alarmes intégrées et une détection de gaz en option pour un niveau de sécurité opérationnelle maximal. Le piège à zéolite fourni, qui permet d'éliminer l'humidité pendant les expériences TPR, rend inutile l'utilisation d'azote liquide.

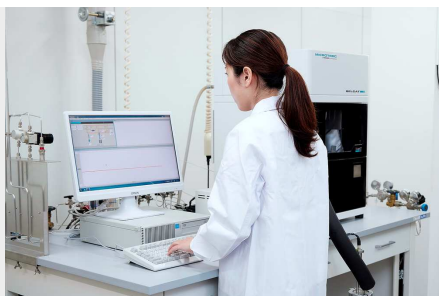
## Triple Cellule d'Echantillonnage

Sa conception à la pointe de la technologie garantit un préchauffage efficace du gaz et optimise le débit pour les flux de travail exigeants. La conception cylindrique du tube facilite la manipulation et renforce la sécurité, car il ne subit aucune tension et est moins susceptible de se briser.



## **Conception Modulaire avec Possibilité de Mise à Niveau**

Sa conception évolutive permet des mises à niveau à la demande directement sur le terrain. Son architecture extensible prend en charge l'intégration transparente d'une unité de dosage de vapeur, d'un module de mélange de gaz externe et d'une option cryogénique pour des études d'adsorption améliorées et un refroidissement accéléré.

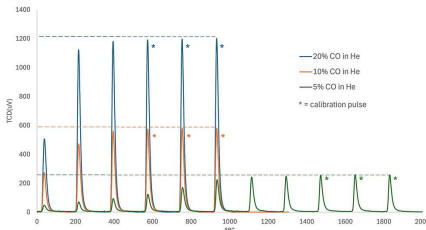
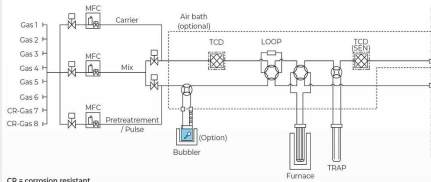


**Paramètres de Conditions de Mesure Polyvalents** Le mode de mesure séquentielle permet de combiner de manière transparente les méthodes thermochimiques et les étapes de test des catalyseurs dans un seul et même flux de travail.



## **Compact et Peu Encombrant**

Conception compacte et efficace (L 500 x P 500 mm) qui s'intègre facilement dans n'importe quel laboratoire.



## Conçu pour la Précision

Instrument spécialement conçu pour l'analyse par chimisorption pulsée et les méthodes à température programmée, avec un volume mort minimisé pour une précision exceptionnelle. Équipé d'un détecteur à conductivité thermique (TCD) haute performance à température contrôlée et de circuits avancés, il offre un rapport signal/bruit inégalé pour les mesures les plus sensibles.

## Chemisorption par Impulsions en Toute Confiance

**en Toute Confiance** Grâce à un volume calibré et à des capteurs de pression et de température dédiés, chaque dose dépasse les attentes. Des mélanges gazeux personnalisés sont fournis à la demande par le système de mélange de gaz intégré, éliminant ainsi le besoin de boucles d'injection supplémentaires et garantissant des flux de travail fluides et efficaces.

## ANALYSEUR DE CATALYSEURS

### BELCAT II

## OPTIONS



#### Unité de dosage de vapeur

Comprend un thermostat d'air, un barboteur, un réchauffeur et un condenseur. Le condenseur élimine l'excès de vapeur. Le processus en deux étapes garantit un dosage précis de la vapeur à des concentrations stables.

#### Unité externe de mélange de gaz

Permet de mélanger trois gaz ou plus. Une unité peut installer jusqu'à six lignes. Les gaz corrosifs sont pris en charge.

#### Four électrique à basse température / CATCryo II

En appliquant le spray d'azote liquide, la température de l'échantillon peut être contrôlée en continu à partir de -120 °C. Les performances de refroidissement sont améliorées grâce à une structure interne optimale, et la consommation d'azote liquide est considérablement réduite.

## Analyseur de gaz en ligne / BELMASS II

Spectromètre de masse quadripolaire systématisé, BELMASS II peut être connecté à BELCAT II. Plusieurs composants gazeux peuvent être mesurés avec une grande précision quantitative lorsqu'il est connecté au logiciel BELCAT II. Idéal pour les expériences exigeantes, notamment les réactions catalytiques.

## Système de mesure AIRGUARD

Les matériaux fonctionnels peuvent réagir avec l'humidité et l'oxygène présents dans l'air, entraînant des changements structuraux et pouvant générer des gaz corrosifs. La nouvelle solution AIRGUARD, développée par MICROTRAC, permet une manipulation sûre des échantillons sans contact avec l'air.

## Évaluation des performances de séparation d'un mélange gazeux

Pour les applications DAC, CCUS et CCS, le système permet des mesures de courbes révolutionnaires avec plusieurs composants gazeux tels que le CO<sub>2</sub> et l'H<sub>2</sub>O, qui peuvent être analysés à l'aide de détecteurs à capteurs dédiés, hautement stables et reproductibles.

Options:

- Sondes CO<sub>2</sub>
- Sondes CO<sub>2</sub> / H<sub>2</sub>O

ANALYSEUR DE CATALYSEURS

BELCAT II

**APPLICATIONS TYPIQUES**



*Catalyseurs*



*matériaux des batteries*



*ciment*

- | matériaux des batteries
- | CCUS
- | carbone
- | zéolite

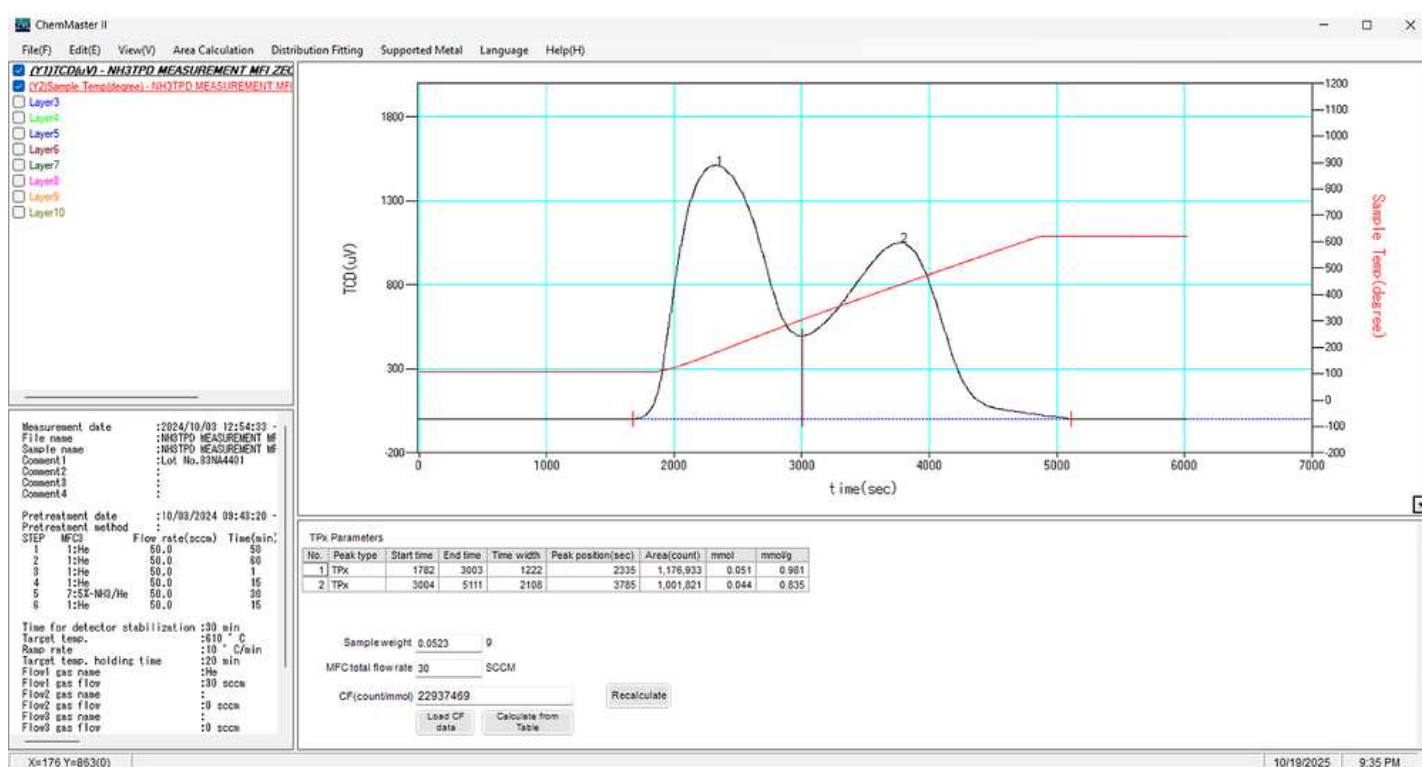
- | ciment
- | céramique
- | Piles à combustible
- | séparation des gaz

- | MOF / PCP
- | pétrochimie

... et bien plus!

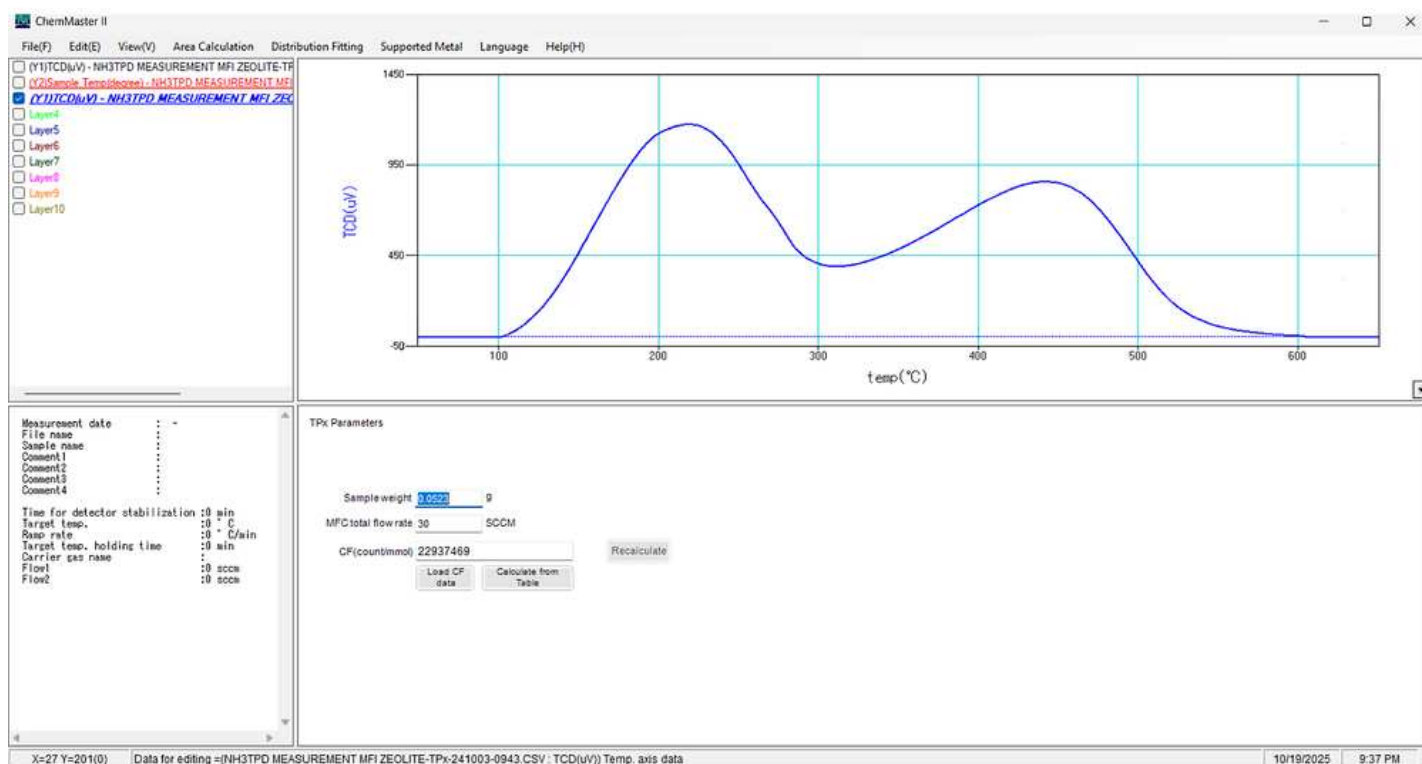
ANALYSEUR DE CATALYSEURS  
BELCAT II  
**EXEMPLES DE MESURES**

Résultat de mesure  $\text{NH}_3$ -TPD de zéolite de Type MFI



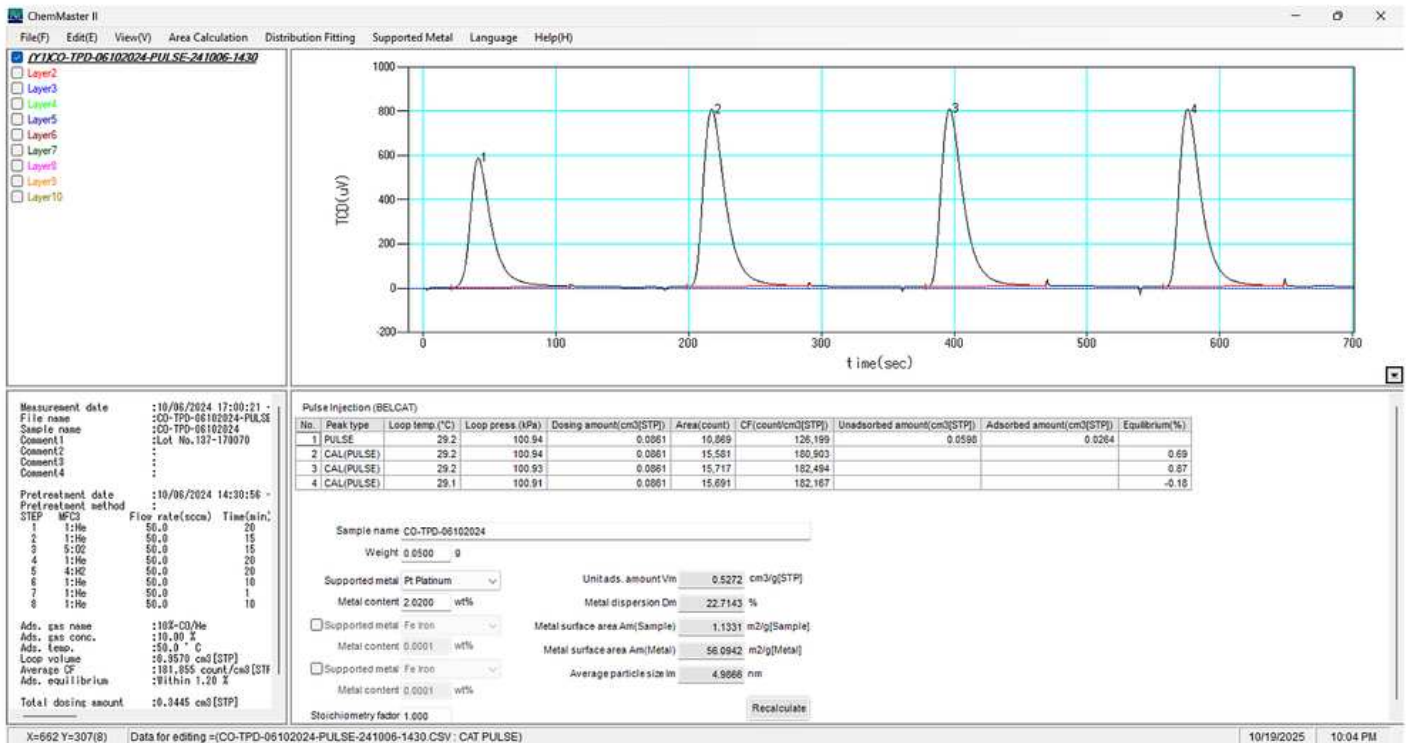
Quantité de désorption 0.835 mmol/g (2 = valeur maximale H); Température maximale 440 °C

Résultat de mesure  $\text{NH}_3$ -TPD de zéolite de Type MFI



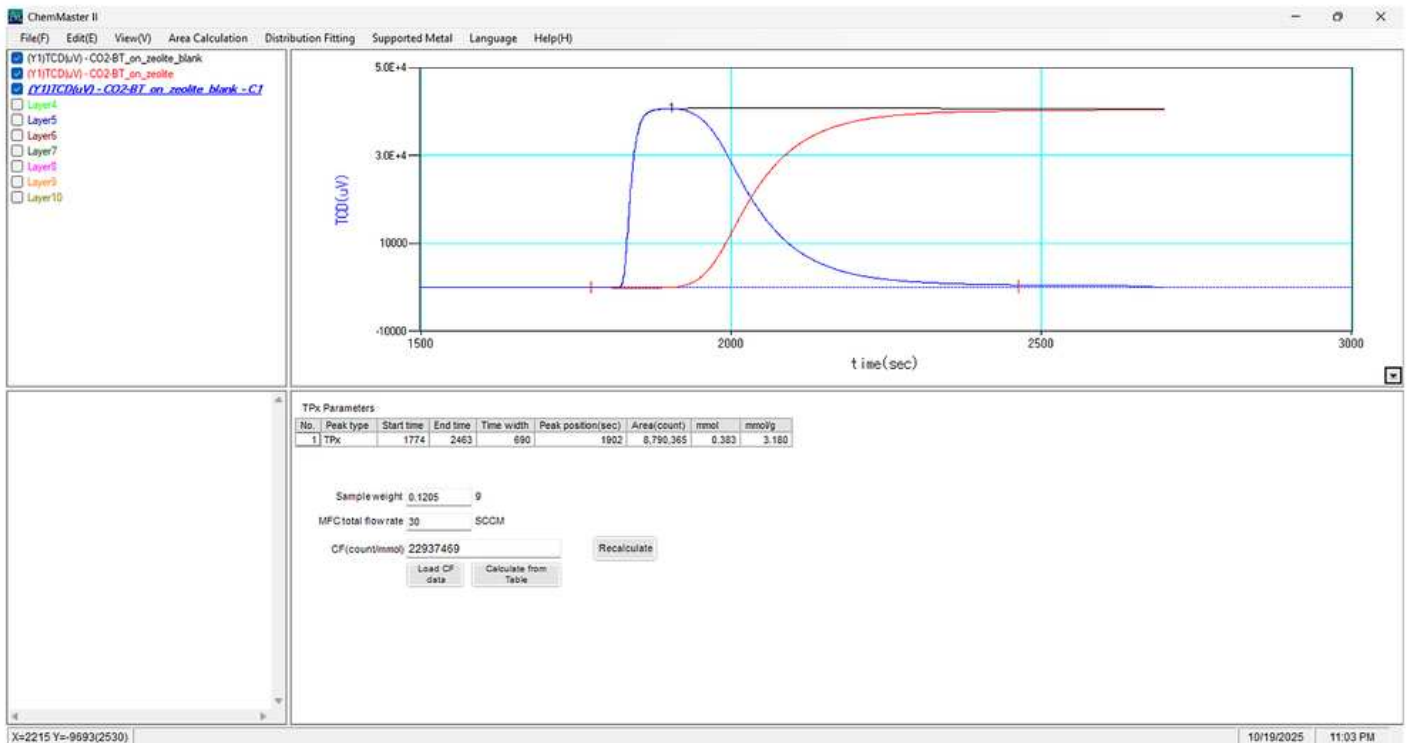
Conversion pratique de données temporelles en profils dépendants de la température

Taux de dispersion du métal Pt/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> par impulsions de CO



Quantité de désorption : 0.527 cm<sup>3</sup>/g, Taux de dispersion métallique : 22.7%, Surface métallique : 1.13 m<sup>2</sup>/g, Taille des particules métalliques : 4.99 nm. Correction de la ligne de base et intégration des impulsions entièrement automatisées pour une évaluation facile des données.

## Mesure de la Courbe de Rupture d'Adsorption du CO<sub>2</sub>



Quantité de CO<sub>2</sub> adsorbée : 3.18 mmol/g. Mesure à blanc (noir), expérience d'adsorption par percée (rouge) et différences calculées en tant que quantité adsorbée (bleu). La combinaison avec BELMASS II permet une analyse par percée multicomposants.

ANALYSEUR DE CATALYSEURS

BELCAT II

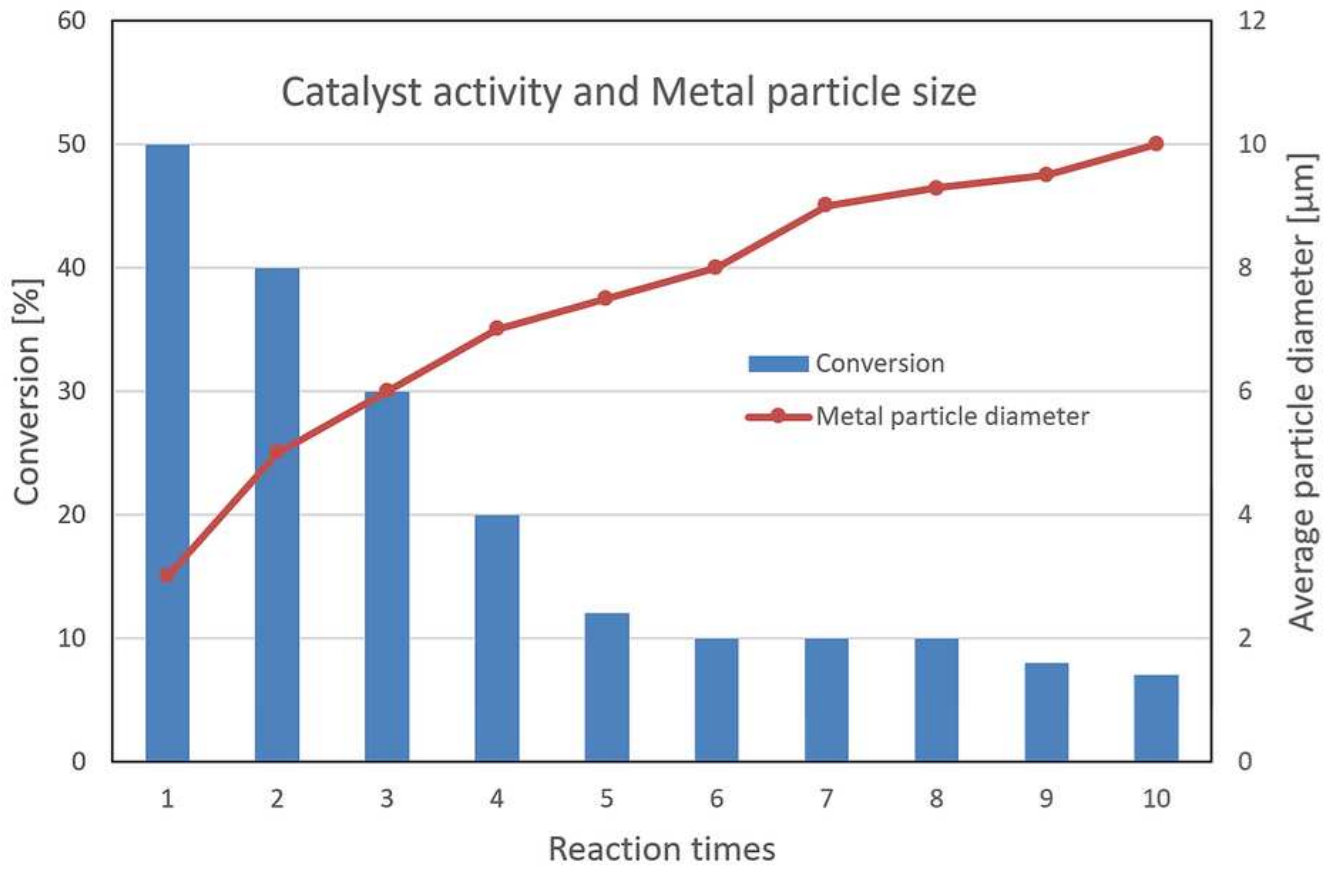
**LOGICIEL**

Ce logiciel intuitif regorge de fonctionnalités puissantes qui améliorent la productivité des opérateurs. La plateforme avancée BELCAT II, perfectionnée au fil des ans, permet d'effectuer facilement des mesures complexes tout en garantissant des résultats fiables et reproductibles grâce à une gamme de fonctions sophistiquées.

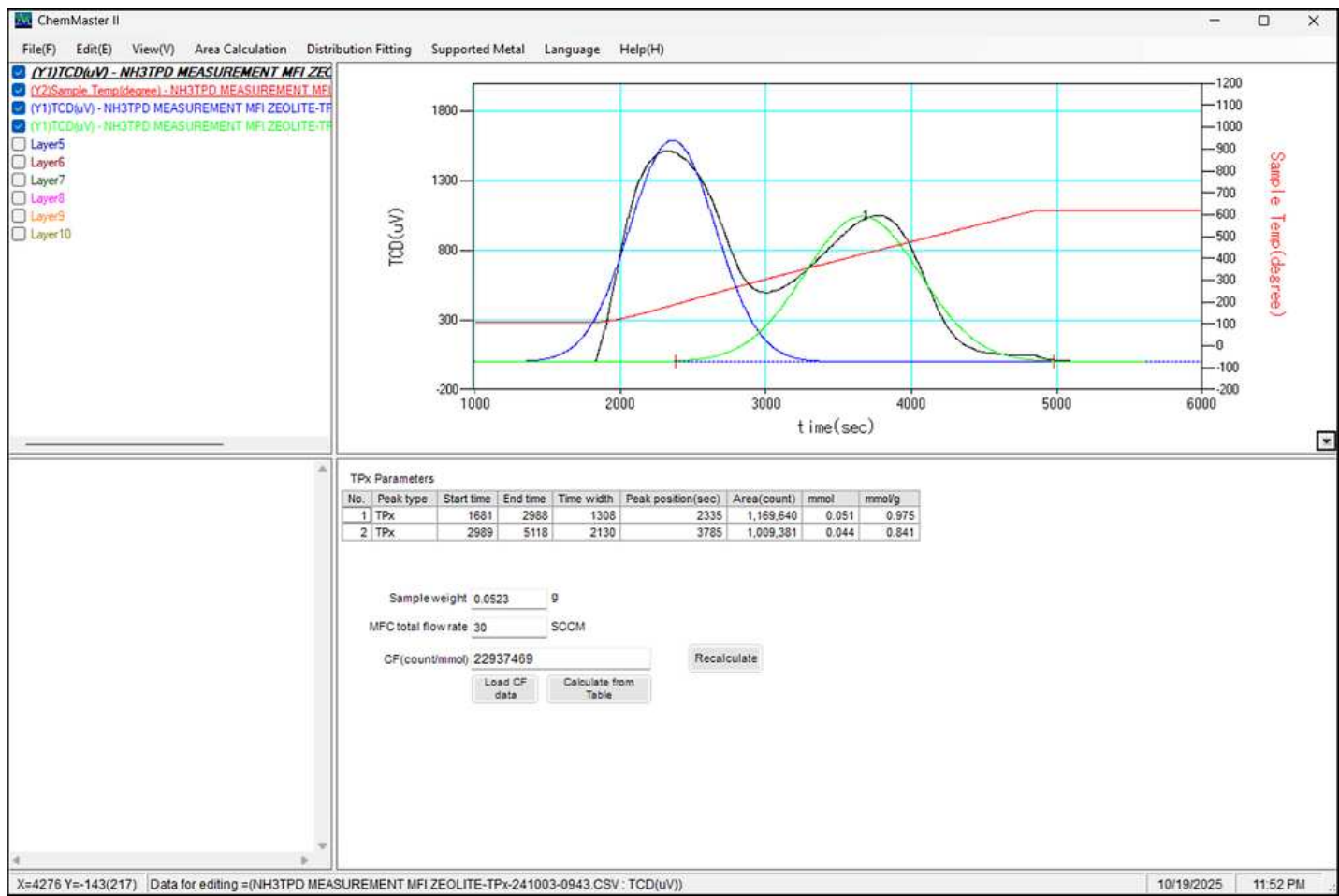
- | Logiciel de mesure simple à utiliser
- | Réglage automatique du point zéro
- | Mode de mesure séquentielle
- | Haute fiabilité grâce à l'étalonnage multipoint programmable
- | Logiciel d'analyse des formes d'onde
- | Logiciel BELMASS II link (en option)
- | Fonction d'analyse par chimisorption pulsée



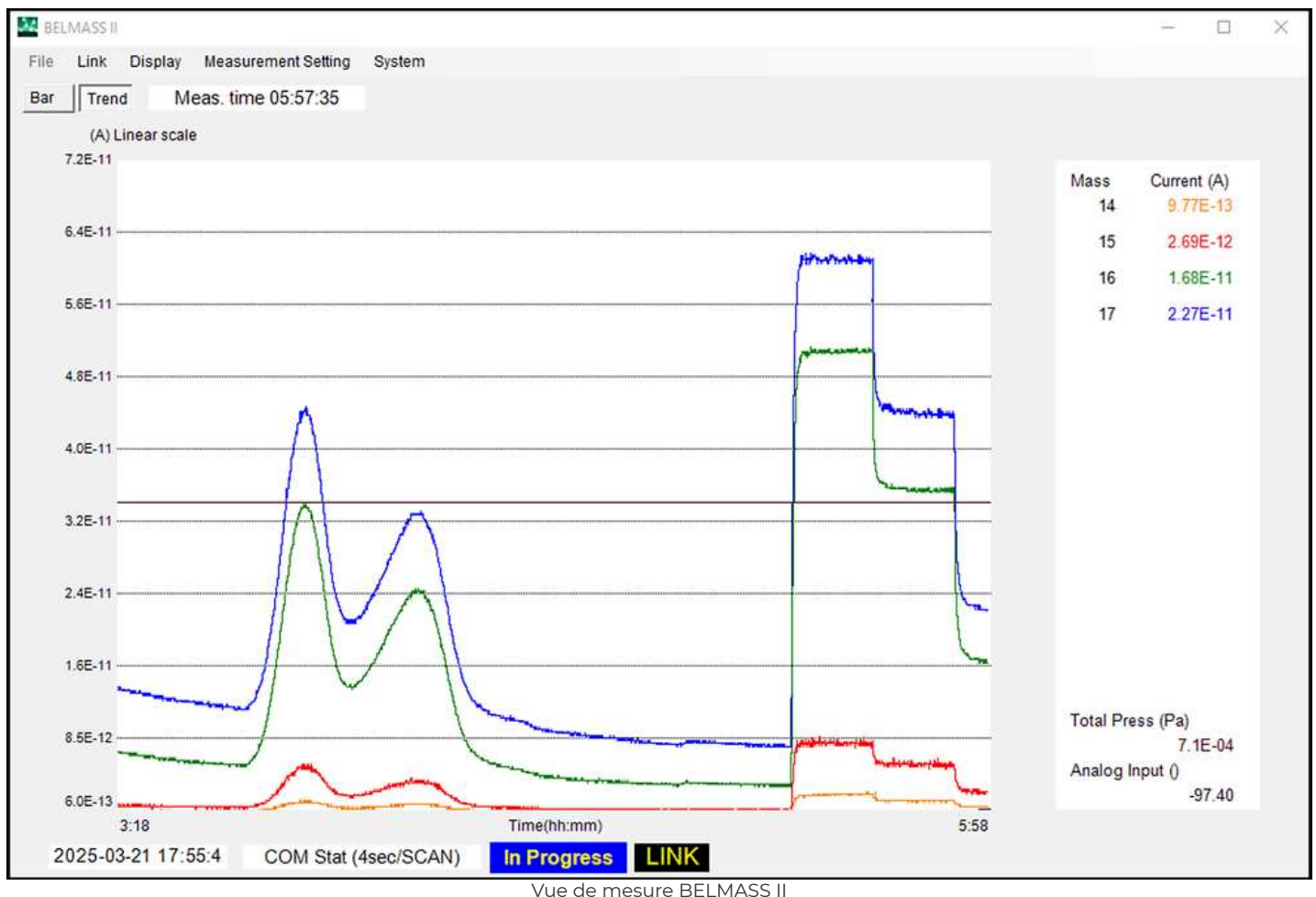
Vue de Mesure BELCAT II



Résultat des mesures séquentielles



Vue de déconvolution de forme d'onde



## ANALYSEUR DE CATALYSEURS

### BELCAT II

## SPÉCIFICATIONS DU LOGICIEL

Fonction de mesure simple à utiliser

Des onglets dédiés aux analyses standard (TPR, TPD, TPO et BET) permettent une programmation facile et une surveillance en temps réel de l'état opérationnel, des graphiques TCD, de la température et des débits.

Réglage automatique du point zéro du TCD

Le réglage automatique du point zéro du TCD garantit des lignes de base cohérentes pour une comparaison fiable des données et des mesures

continues précises avec différents gaz vecteurs.

## Mode de mesure séquentielle

Le mode de mesure séquentielle automatise la caractérisation du catalyseur en effectuant une série de mesures indépendantes dans un ordre défini, ce qui permet une analyse systématique sans intervention de l'utilisateur.

## Calibrage multipoint automatique haute fiabilité

Un étalonnage multipoint automatique est effectué après les mesures TPD ou TPR à l'aide des MFC de l'instrument afin de générer différentes concentrations de gaz.

## Logiciel d'analyse de forme d'onde

Le logiciel d'analyse facilite l'évaluation des données grâce au calcul automatique de la surface des pics, à la superposition des spectres à des fins de comparaison, à la déconvolution des formes d'onde pour la séparation des pics et à des outils d'analyse supplémentaires pour un traitement pratique.

ANALYSEUR DE CATALYSEURS

BELCAT II

## CONCEPTS FONDAMENTAUX DE LA CARACTÉRISATION DES CATALYSEURS

### Mesure par Impulsions

Le taux de dispersion métallique est un paramètre essentiel dans la catalyse hétérogène. Il désigne la proportion d'atomes métalliques exposés à la surface d'un catalyseur par rapport au nombre total d'atomes métalliques présents (souvent exprimé en pourcentage). La dispersion métallique peut être calculée par chimisorption par impulsions à l'aide de gaz tels que le CO ou l' $H_2$ , qui se chimisorbent de manière sélective à la surface métallique. Pour ce faire, on injecte en continu une quantité spécifiée de gaz dans l'échantillon jusqu'à saturation. La mesure par impulsions détermine la quantité chimisorbée en prenant comme référence les pics saturés. La différence entre les aires des pics à l'état non saturé et à l'état saturé donne la quantité adsorbée. Le taux de dispersion des métaux est essentiel pour évaluer, optimiser et comprendre les performances et la longévité des catalyseurs à base de métaux.

### Mesure de Désorption Programmée en Température (TPD)

Cette méthode est connue pour examiner les caractéristiques d'adsorption chimique sur les surfaces solides et est généralement représentée par un spectre avec la concentration de gaz désorbé comme coordonnée Y et la température comme coordonnée X. En augmentant continuellement la température de l'échantillon et en détectant le gaz

désorbé, il est possible de déterminer la quantité et la force des sites d'adsorption énergétiquement distincts. En général, la TPD-NH<sub>3</sub> est utilisée pour évaluer les sites acides des catalyseurs acides solides, tandis que la TPD-CO<sub>2</sub> est couramment employée pour évaluer les sites basiques des catalyseurs basiques solides ; en outre, la TPD-CO et, souvent, la TPD-H<sub>2</sub> sont utilisées pour caractériser les centres métalliques actifs.

**TPOxydation (TPO) / TPRéduction (TPR) et TPReaction (TPX)** Les techniques TPR, TPO, TPX et TPSR sont puissantes et permettent d'analyser la réactivité des catalyseurs solides. Ces méthodes consistent à augmenter progressivement la température de l'échantillon tout en surveillant la consommation des réactifs ou la formation des produits. Elles sont généralement représentées graphiquement avec la température sur l'axe X et l'intensité du signal sur l'axe Y. Cette approche permet d'observer en continu le comportement redox et la dynamique de la réaction, révélant ainsi des propriétés clés telles que la température de réduction, le potentiel d'oxydation et les étapes de la réaction. La TPSR, en particulier, permet d'étudier directement les réactions de surface dans des mélanges de gaz réactifs, fournissant ainsi des informations sur les mécanismes de réaction et les espèces intermédiaires. Les applications courantes de ces techniques comprennent les réactions d'oxydation/hydrogénation, la chimie de conversion et les processus de reformage.

## Techniques à Température Programmée

- | Réduction à température programmée (TPR) : caractérisation de la réductibilité et de l'interaction des oxydes métalliques et des catalyseurs supportés sous des rampes de température avec des gaz réducteurs.
- | Oxydation à température programmée (TPO) : évaluation des états d'oxydation, du dépôt et de la réactivité via une exposition programmée à des gaz oxydants.
- | Réaction programmée en température (TPX) : étude des réactions catalytiques sous différents programmes de température afin de simuler les conditions opérationnelles.
- | Réactions de surface programmées en température (TPSR) : permet une surveillance précise des réactions catalytiques de surface en fonction de la température, fournissant des informations précieuses sur les mécanismes de réaction, l'activité et la sélectivité des catalyseurs grâce à une analyse intégrée des gaz en temps réel.

Réduction Programmée de la Température (TPR)

Oxydation à Température Programmée (TPO)

**Mesure de la Courbe de Percée d'Adsorption** La courbe de percée décrit la concentration d'un adsorbant passant dans une colonne d'adsorption au fil du temps. Il s'agit d'un outil essentiel pour comprendre comment un matériau adsorbant capture un ou plusieurs composants d'un mélange de gaz lorsqu'il passe dans la colonne.

1. Phase Initiale : L'adsorbant capture efficacement l'adsorbant et la concentration restante est faible.
2. Point de rupture : la concentration adsorbée dans l'effluent commence à augmenter de manière significative, ce qui indique que l'adsorbant est en train de saturer et devient moins efficace pour capturer l'adsorbant.
3. Phase d'équilibre : la concentration adsorbée dans l'effluent devient égale à la concentration dans l'effluent lorsque l'adsorbant est complètement saturé.

**Analyse de la Surface Spécifique BET** La surface spécifique, définie comme la surface totale par unité de masse sèche d'un solide, est un paramètre important pour la caractérisation des catalyseurs. Elle peut être déterminée à l'aide de la méthode BET qui mesure la quantité de gaz (par exemple l'azote) désorbée après que l'échantillon a été refroidi à la température de l'azote liquide sous un flux de gaz adsorbant dilué à l'hélium, puis ramené à température ambiante. Cette méthode est non seulement indispensable pour les catalyseurs solides, mais aussi pour divers échantillons en poudre, tels que les adsorbants.

## ANALYSEUR DE CATALYSEURS

### BELCAT II

## CARACTÉRISTIQUES TECHNIQUES

|                                                        |                                                                                                                                                                                                                                        |
|--------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Measurement method</b>                              | Méthode de flux dynamique                                                                                                                                                                                                              |
| <b>Détecteur</b>                                       | Détecteur de conductivité thermique à 4 éléments semi-diffusants (TCD)                                                                                                                                                                 |
| <b>Measurement / pretreatment ports</b>                | 1                                                                                                                                                                                                                                      |
| <b>Usable gases</b>                                    | He, Ar, N <sub>2</sub> , O <sub>2</sub> , H <sub>2</sub> , CO, CO <sub>2</sub> , NH <sub>3</sub> , N <sub>2</sub> O, NO, etc.                                                                                                          |
| <b>Gas port connections: Total</b>                     | 8                                                                                                                                                                                                                                      |
| <b>Gas port connections: Carrier gas line</b>          | 3 out of 8 (non-corrosion resistant lines)                                                                                                                                                                                             |
| <b>Gas port connections: Mix line</b>                  | 8 out of 8 (including 2 corrosion resistant lines)                                                                                                                                                                                     |
| <b>Gas port connections: Pretreatment /pulse line</b>  | 8 out of 8 (including 2 corrosion resistant lines)                                                                                                                                                                                     |
| <b>Mass flow controller: Carrier gas line</b>          | F.S. 100 sccm                                                                                                                                                                                                                          |
| <b>Mass flow controller: Mix line</b>                  | F.S. 30 sccm                                                                                                                                                                                                                           |
| <b>Mass flow controller: Pretreatment / pulse line</b> | F.S. 100 sccm                                                                                                                                                                                                                          |
| <b>Four électrique</b>                                 | Maximum temperature: 1.200 °C (1.100°C for regular use)<br>Quick cooling: 30 min (400→50 °C)<br>Cryo cooling: 10 min (800→30 °C)<br>CATCryo II: down to -120 °C<br>Heating rate: 110 °C/min (50 to 500 °C) / 80 °C/min (50 to 1000 °C) |
| <b>Injection de la vapeur (option)</b>                 | H <sub>2</sub> O, CH <sub>3</sub> OH, C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> OH, toluène, benzène, etc.                                                                                                                                         |
| <b>Dimensions (W x H x D), weight</b>                  | 500 x 750 x 500 mm, 80 kg                                                                                                                                                                                                              |
| <b>Requirement: Gas</b>                                | Measurement gas: 0.1 MPa (gauge pressure)<br>Compressed air: 0.45 to 0.55M Pa (gauge pressure); Joint: 1/8" Swagelok connection                                                                                                        |
| <b>Requirement: Power supply</b>                       | Single-phase, AC110 / 220V                                                                                                                                                                                                             |
| <b>Certifié CE</b>                                     | oui                                                                                                                                                                                                                                    |
| <b>Vapor (optional): Temperature range</b>             | Bubbling bottle: Pyrex, 100 cc, 3 to 100 °C, temperature control via Peltier element                                                                                                                                                   |

**CATCryo II (optional): Temperature control method**

LN2 spray + Heater

**CATCryo II (optional): Temperature range**

Temperature range: -120 ~ 1200°C (1.100°C for regular use)

**CATCryo II (optional): LN2 reservoir volume**

10 L

**External gas mix unit (optional): Gas port**

1 ~ 3 (upgradable to a maximum of 3 MFCs)  
Joint: 1/8-inch Swagelok connection

**External gas mix unit (optional): Mass flow controller**

F.S.: 30 sccm (0.6 ~ 30 sccm (N2))  
Corrosion-resistant MFCs only.

[www.microtrac.com/belcat-ii](http://www.microtrac.com/belcat-ii)