



HAL
open science

SPECPLAS - Spectrométrie de masse FT-ICR appliquée aux réacteurs plasma-catalyse pour la dépollution

S. Pasquiers, N. Blin-Simiand, B. Bournonville, Joël Lemaire, M. Heninger, E.
Louarn, H. Mestdagh

► **To cite this version:**

S. Pasquiers, N. Blin-Simiand, B. Bournonville, Joël Lemaire, M. Heninger, et al.. SPECPLAS - Spectrométrie de masse FT-ICR appliquée aux réacteurs plasma-catalyse pour la dépollution. Workshop Défi CNRS: Instrumentation aux Limites, Apr 2015, Paris, France. hal-04218866

HAL Id: hal-04218866

<https://hal.science/hal-04218866>

Submitted on 26 Sep 2023

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

SPECPLAS

Spectrométrie de masse FT-ICR appliquée aux réacteurs plasma-catalyse pour la dépollution



S. Pasquiers^{(*)1}, N. Blin-Simiand¹, B. Bournonville¹,
J. Lemaire^(**)2, M. Heninger², E. Louarn², H. Mestdagh²

(1): Laboratoire de Physique des Gaz et des Plasmas

UMR8578 du CNRS, Université Paris-Sud, bât.210, 91405 Orsay cedex

(2): Laboratoire de Chimie Physique

UMR8000 du CNRS, Université Paris-Sud, bât.350, 91405 Orsay cedex

(*) : stephane.pasquiers@u-psud.fr - (**) : joel.lemaire@u-psud.fr

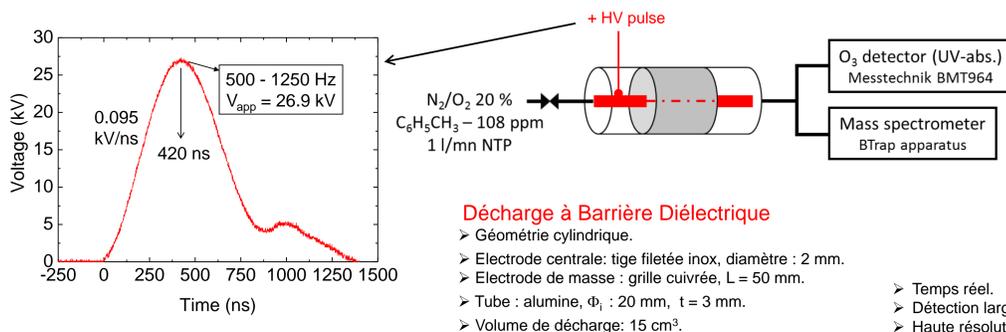


OBJECTIFS

L'originalité du projet réside dans l'utilisation de la spectrométrie de masse FT-ICR (Fourier Transform-Ion Cyclotron Resonance) pour caractériser les effluents gazeux en sortie de réacteur plasma-catalyse utilisé pour l'élimination d'un COV présent en faible concentration (max. 100 ppm) dans l'air à pression atmosphérique. L'enjeu est de parvenir à mesurer les très faibles concentrations de molécules (du ppb au ppm) en sortie du réacteur, sur un large spectre de masse (20-200 amu) et à une échelle de temps de l'ordre de la seconde. Les objectifs principaux sont: i/ la mesure des très faibles concentrations, qui permettra de déterminer les performances ultimes des catalyseurs couplés au plasma de décharge électrique, ii/ la résolution temporelle, qui permettra de contrôler la stabilité de fonctionnement de cette décharge et, globalement, du couple plasma-catalyseur. En particulier, la réalisation d'un FT-ICR fonctionnant dans un mode de piégeage mixte (magnétique + radiofréquence) est envisagé.

CONVERSION DU TOLUENE PAR PLASMA FROID DE GAZ ATMOSPHERIQUES

Etude en fonction de temps de fonctionnement d'une décharge fonctionnant à forte cadence de répétition



Décharge à Barrière Diélectrique

- Géométrie cylindrique.
- Electrode centrale: tige filetée inox, diamètre : 2 mm.
- Electrode de masse : grille cuivrée, L = 50 mm.
- Tube : alumine, Φ_1 : 20 mm, t = 3 mm.
- Volume de décharge: 15 cm³.

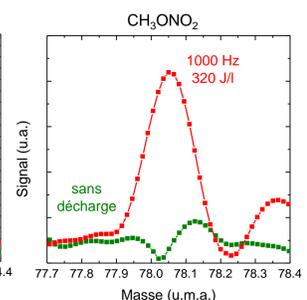
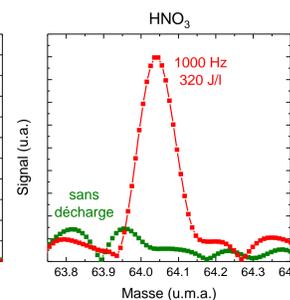
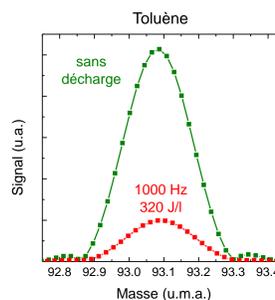
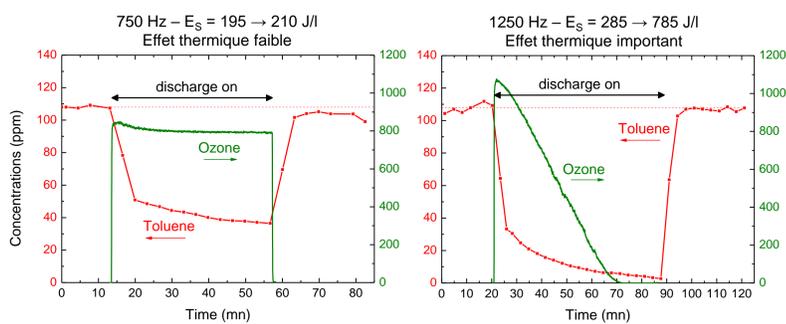
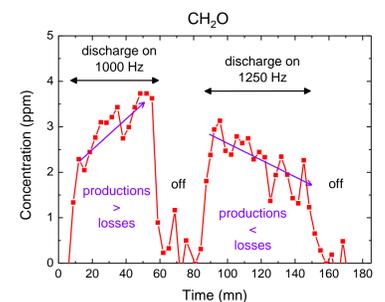
BTrap

- Spectromètre de masse à haute résolution en masse pour la détection et la quantification de molécules en temps réel.
- FT-ICR (Fourier Transform-Ion Cyclotron Resonance) à faible champ magnétique.
- Spectrométrie de masse associée à l'ionisation chimique : Proton Transfer Reaction Mass Spectrometry (PTRMS) utilisant l'ion H₃O⁺ comme précurseur d'ionisation chimique.



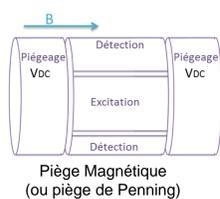
AlyXan
INNOVATIVE ANALYSIS

- Temps réel.
- Détection large bande à forte résolution temporelle (qq s).
- Haute résolution permettant la détermination précise des masses.
- Mesures quantitatives sans calibration préalable.
- Limite de détection de l'ordre du ppm.

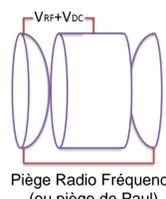


NOUVEAUX DEVELOPPEMENTS EN SPECTROMETRIE DE MASSE A HAUTE RESOLUTION

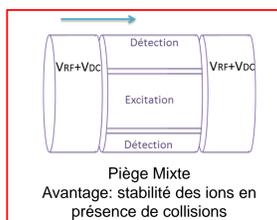
Fonctionnement du piège en mode mixte



Piège Magnétique (ou piège de Penning)



Piège Radio Fréquence (ou piège de Paul)



Piège Mixte
Avantage: stabilité des ions en présence de collisions

Test dans une cellule cylindrique



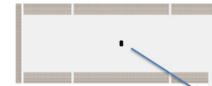
Vrf+Vdc

Un potentiel radiofréquence de 2 MHz avec une amplitude pouvant aller jusqu'à 800 V_{pp} est superposé au potentiel de piégeage de 3.5 V pendant 1 seconde.

Les ions H₃O⁺ sont préparés au début de la séquence. Leur comportement dans une impulsion de gaz neutre en présence de la radiofréquence est examinée en fonction de l'amplitude RF. Dimension de la cellule en cours d'optimisation.



Trajectoire instable



Trajectoire stable

Simulations

Les simulations sont réalisées afin de dimensionner un piège adapté pour que les ions restent piégés lors d'un événement haute pression. Elles sont réalisées avec le logiciel SIMION. Les diagrammes de stabilité sont réalisés en lançant des trajectoires pour des valeurs de VRF et VDC déterminées aléatoirement.

PERSPECTIVES

- ✓ Le couplage de la spectrométrie de masse FT-ICR avec l'ionisation chimique (PTRMS) a montré de très fortes potentialités pour la caractérisation en temps réel des effluents gazeux en sortie d'un réacteur de traitement de COV par décharge électrique hors équilibre thermodynamique. Un suivi temporel précis de l'efficacité énergétique d'un réacteur à convertir le polluant est rendu possible, avec l'identification et la quantification simultanées des sous-produits résultants de cette conversion.

- ✓ La limite en sensibilité du spectromètre est imposée par les collisions dans le piège. Pour augmenter cette sensibilité, il est nécessaire de pouvoir augmenter le produit de la pression injectée dans l'instrument par la durée de l'impulsion de gaz. Ainsi nous souhaitons changer les conditions de réaction dans les pièges ICR: pression du gaz à analyser plus élevée ou temps de réaction plus long, ce qui revient à augmenter le nombre de collisions. L'application d'un champ RF doit permettre de stabiliser les ions dans le piège en présence de collisions, qui limitent la sensibilité en éjectant les ions par diffusion radiale.

FT-ICR analysis of toluene removal by non-thermal plasmas

S. Pasquiers, M. Heninger, B. Bournonville, N. Blin-Simiand, J. Lemaire, F. Jorand, H. Mestdagh
Soumis à 22nd International Symposium on Plasma Chemistry
5-10 juillet 2015, Anvers, Belgique.

The authors thank the CNRS (Mission Interdisciplinarité) and the French agency ADEME for financial support (Grant No 11-81-C0090), and are grateful to the company AlyXan (J. Leprovost) for the use of the BTrap device in the course of the SPECPLAS project.



Alyxan
INNOVATIVE ANALYSIS