

MEMOIRE DE STAGE



**Formation de molécules
interstellaires sur les
surfaces froides**

Réalisé et présenté par

Kadia DEMBELE

Tuteur de Stage

Mr François DULIEU

Sigles et abréviations

Pour vous aider à comprendre voilà la définition de quelques abréviations que j'ai utilisées.

LERMA : Laboratoire d'Etudes du rayonnement et de la Matière en Astrophysique

VENUS : VErs de NoUvelles Synthèses

FORMOLISM : FORmation MOLEcules InterStellar Medium

QMS : Spectromètre de Masse à Quadripôle

TPD : Temperature Programmed Desorption (Désorption Programmée en Température)

CNTP : conditions normales de température et pression

PID : Programmation-Intégration-dérivation

UMR : Unité Mixte de Recherche

CNRS : Centre National de Recherche Scientifique

OP : Observatoire de Paris

ENS : Ecole Normale Supérieure

UPMC : Université Pierre et Marie Curie

UCP : Université de Cergy-Pontoise

K : Kelvin

CNTP : Conditions Normales de Température et de Pression

CPS : Coup Par Seconde

Listes des Figures

Figure 1: Structure du dispositif VENUS	7
Figure 2: Structure du dispositif FORMOLISM	8
Figure 3 : Spectromètre de masse à quadripôle en position basse pour sonder les molécules qui désorbent depuis la surface de l'échantillon.....	9
Figure 4 : Porte – échantillon placé perpendiculaire par rapport au QMS.....	10
Figure 5 : Structure des deux jets atomiques (moléculaires) et du plasma	11

Table des matières

Remerciements.....	4
Introduction.....	5
I Partie 1 : Description du laboratoire LERMA et des techniques expérimentales.....	6
1 Description de LERMA.....	6
2 Techniques expérimentales	8
2.1 Dispositif FORMOLISM.....	8
2.2 Logiciels.....	11
2.3 Conditions Expérimentales.....	12
II Partie 2 : Tests réalisés sur FORMOLISM	13
Test 1 : Dépôt de O ₂ de 3 à 30 min à 15 K, TPD à 150 K.....	14
Test 2 : Dépôt de O ₂ (3 minutes) + H (0 à 14 minutes) à 15K, TPD à 150 K	15
Test 3 : Dépôt de 5 min de C ₂ H ₄ et de 0 à 45 min de H à 15 K, TPD à 150 K.....	16
Test 4 : Dépôt de 3 min de C ₂ H ₄ et de 0 à 60 min de D à 15 K, TPD à 150 K	17
Cinétique de la réaction de C ₂ H ₄ avec H et D.....	18
Taux de dissociation.....	19
Conclusion	20
Bibliographie.....	21
Résumé.....	22

Remerciements

Avant tout développement sur cette expérience de recherche. Il m'apparaît opportun de commencer le présent rapport de stage par le remerciement à toutes les personnes que j'ai eu à côtoyé et qui m'ont aidé tout au long de ce stage.

Remerciement pour Mr François DULIEU (directeur de LERMA)

Mes très sincères remerciements à Mr François DULIEU, mon tuteur de stage et directeur du Laboratoire Atomes et Molécules en Astrophysique LERMA à l'université de Cergy Pontoise qui m'a piloté et m'a formé tout au long de ce stage avec beaucoup de patience et pédagogie.

Remerciement pour Mme Anna Maria PAPINI

Je tiens à Remercier particulièrement Mme Anna Maria PAPINI, pour avoir accepté d'être mon enseignant référent et pour sa disponibilité et ses multiples conseils durant toute l'année scolaire.

Remerciement pour les personnels de LERMA

Je remercie Mr Emanuele CONGIU, Mme Henda CHAABOUNI, maîtres de conférences, Mr Saoud BAUCHE, ingénieur de recherche, Mr Stephan DIANA, Ingénieur en informatique, Abdi-Salam MOHAMED, Sow ABDELLAHI, Thanh NGUYEN, doctorants pour m'avoir répondu convenablement à mes multiples questions sur le fonctionnement des dispositifs et logiciels de LERMA-CERGY, avec patience et générosité.

Remerciement pour la stagiaire de LERMA

Je remercie Katia SOUFIT, étudiante en deuxième année de master de Physique-Chimie pour l'aide qu'elle m'a apporté lors de mes expériences sur FORMOLISM et les discussions enrichissantes qu'on a eu ensemble au cours de ce stage.

Introduction

La chimie et la physique de l'univers sont liées depuis l'apparition des premières molécules. L'astrochimie est d'avantage qu'un moyen de la physique puisqu'elle conduit aussi à l'astrobiologie.

En effet au cours de la formation des étoiles et des planètes, la chimie permet d'évoluer à partir d'atomes et d'ions jusqu'aux acides aminés et aux sucres.

Les réactions chimiques dans les nuages moléculaires sont un point fondamental de l'évolution de la composition chimique dans l'Univers et de la formation de premières molécules organiques complexes d'intérêt astrophysique et astrochimie.

Ce stage est principalement basé sur l'étude de la formation de molécules interstellaires sur des surfaces froides. Le dispositif expérimental que j'ai utilisé a été conçu au laboratoire LERMA -CERGY. Il porte le nom de FORMOLISM.

Il est principalement dédié à l'étude de la formation des petites molécules à la surface des grains interstellaires dans les conditions du « vide » spatial qui entoure les objets célestes.

Le Milieu Interstellaire (matière entre les étoiles) est composé en majorité de gaz (99%) en masse et de poussière (1%), les conditions varient fortement entre les régions froides et denses (d'ordre de 10K) et des régions chaudes peu denses ($T > 10^4 \text{K}$).

L'hydrogène est l'élément le plus abondant dans l'Univers : 75 % en masse et 92 % en nombre d'atomes.

Cependant, le but de ce stage est de travailler en équipe, comprendre et expliquer les expériences faites sur le dispositif FORMOLISM.

Au cours de mon stage nous avons fait des expériences sur l'éthylène (C_2H_4) avec hydrogène (H), deutérium (D) et du dioxygène (O_2) avec l'hydrogène (H), afin d'étudier la réactivité et la cinétique de C_2H_4 avec H et D, et déterminer le mécanisme et les produits des réactions.

Le substrat utilisé pour ce dispositif est la surface de graphite.

Ce rapport est subdivisé en deux parties. La première partie présente une brève description du laboratoire LERMA – Cergy, des dispositifs et techniques expérimentales utilisés pour caractériser des molécules qui désorbent de la surface.

Dans la deuxième partie on va commenter et discuter les résultats de différents tests qu'on a effectué sur le dispositif FORMOLISM.

I Partie1 : Description du laboratoire LERMA et des techniques expérimentales.

1. Description de LERMA

Le LERMA (Laboratoire d'Etudes du Rayonnement et de la Matière en Astrophysique et Atmosphères) est une Unité Mixte de Recherche (UMR 8112) commune au CNRS et à 4 établissements d'enseignement supérieur : l'Observatoire de Paris (OP), l'École Normale Supérieure (ENS), l'Université Pierre et Marie Curie (UPMC - Paris 6) et l'Université de Cergy-Pontoise (UCP).

Il est organisé en 4 Pôles thématiques de recherche :

- Galaxies et cosmologie
- Dynamique des milieux interstellaires et plasmas stellaire
- Molécules dans l'Univers
- Instrumentation Térahertz et télédétection.

Ces 4 grands thèmes de recherche sont complétés par un Pôle technologique et de soutien à la recherche.

L'équipe de LERMA- CERGY se propose de répondre à la question suivante : « Comment se forment les molécules qui composent notre Univers ? ». Pour y répondre, l'équipe mène des travaux de recherche sur les thèmes suivants :

- Formation de molécules sur des surfaces d'intérêt astrophysique (Interactions gaz-surfaces)
- Les anomalies de rapports isotopiques et de spin nucléaires
- La réactivité sur des surfaces froides



Mon stage s'est déroulé dans le laboratoire LERMA de l'université de Cergy pontoise (UCP) qui se situe sur le site de Neuville sur Oise.

Ce laboratoire est maintenant dans ses nouveaux locaux, au rez-de-chaussée du bâtiment D de Neuville Université. Il est constitué de deux principaux équipements :

- **VENUS** : constitué de 5 jets atomiques ou moléculaires d'une chambre principale (pression est de l'ordre 10^{-10} mbar) contenant le porte-échantillon dont la surface en cuivre dorée d'une couche en Or. Cette couche est une bonne surface réfléchissante, ne s'oxyde pas, pas réactive et neutre par conséquent, elle réfléchit bien l'infrarouge et d'une chambre intermédiaire (pression de l'ordre 10^{-8} mbar) permettant de caractériser les gaz provenant des cinq jets atomiques ou moléculaires avant leur introduction dans la chambre principale. Il comporte deux techniques de caractérisation : spectrométrie de masse et spectroscopie infrarouge d'absorption. [Figure1]

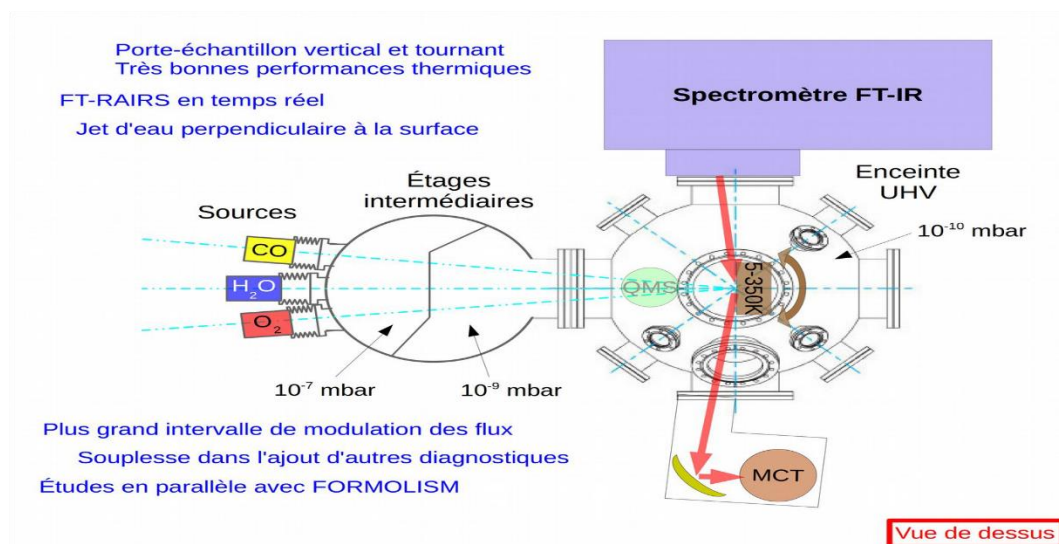


Figure 1 : Structure du dispositif VENUS (vue de dessus)

- **FORMOLISM** : Chambre d'étude sous ultravide, surface refroidie à 6K, 2 jets atomiques, technique de caractérisation : spectrométrie de masse à quadripôle. [Figure 2]
- Tout au long de mon stage j'ai eu à faire des expériences sur le dispositif FORMOLISM, sur lequel je ferais une description plus détaillée dans les parties suivantes.

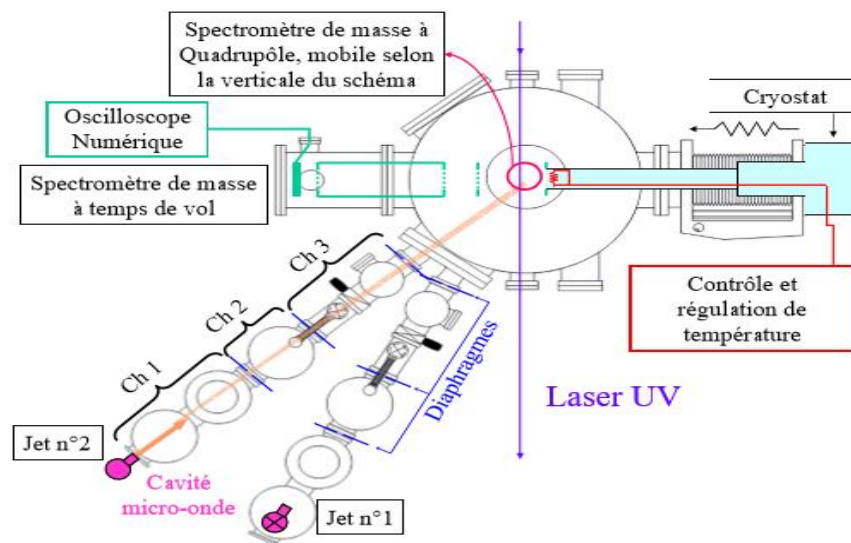


Figure 2 : Structure du dispositif FORMOLISM

2. Techniques Expérimentales

2.1 Dispositif FORMOLISM

L'expérience FORMOLISM est principalement dédiée à l'étude de la formation des petites molécules ainsi qu'à l'étude des réactions sur la surface de glace d'eau, de silicate, ou de composés carbonés (le graphite).

Conçus en 2011, dans des conditions similaires à celles du milieu interstellaire (très basses pressions, très faibles flux et très basses températures.), elle est constituée :

- ✓ Une enceinte ultravide (UHV)
- ✓ Un spectromètre de masse à Quadrupôle (QMS).
- ✓ Un porte-échantillon.
- ✓ Deux jets atomiques (moléculaires).

Dans les sections suivantes, je détaillerai tous les constituants de ce dispositif cités ci-dessus.

L'enceinte ultravide :

La chambre principale se compose d'un cylindre en acier inoxydable de 120 cm de long et d'un diamètre de 30 cm qui est comporté une surface sur laquelle sont effectuées les différentes réactions chimiques étudiées. Sa pression est de l'ordre de 10⁻¹⁰ mbar qui est atteinte grâce à un pompage efficace assuré par une pompe turbo moléculaire 1000 l/s, mais aussi par une

pompe à sublimation de titane et une pompe ionique, sa densité moyenne de 106 molécules / cm³ proche de celle du MIS. Il est important de faire le pompage pour créer le vide.

Pour réussir à garder un vide meilleur la chambre est progressivement chauffée jusqu'à environ 100°C pendant trois jours, la pression peut atteindre 10⁻⁷ mbar. C'est ce qu'on appelle l'étuvage qui consiste à chauffer l'enceinte afin d'augmenter le taux de dégazage des parois pour éliminer une grande partie des espèces adsorbées. A la fin de l'étuvage, la température redescend à 20°C et la pression finale à 10⁻¹⁰ mbar.

Cette enceinte sous ultravide est elle-même connectée à un réseau de trois chambres en acier inoxydable toutes reliées entre elles.

Spectromètre de Masse à Quadripôle (QMS) :

Le spectromètre de masse à quadripôle de marque « Hiden » est utilisé afin de détecter les molécules présentes qui désorbent de la surface en phase gazeuse dans l'enceinte. Il est placé dans l'enceinte principale. Il permet de mesurer les gaz résiduels, le taux de dissociation dans les jets atomiques ou moléculaires et la quantité de molécules d'une masse donnée désorbées de la surface. Le détecteur d'ions génère au moment de l'impact un courant électrique qui est ensuite converti en un signal numérique exprimé en nombre de coups par seconde (cps). Le QMS est contrôlé par le logiciel (MaSsoft).

IL peut être placé verticalement et tourner sur son axe. Dans sa position haute, il sert à analyser les gaz présents dans la chambre, tandis que dans la position basse, il peut faire face soit aux jets afin de les caractériser et mesurer le taux de dissociation, soit à la surface pour mesurer la désorption lors des expériences TPD [Figure 3]

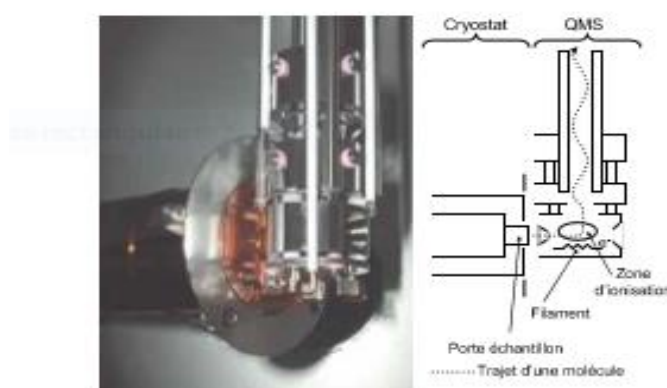


Figure 3 : Spectromètre de masse à quadripôle en position basse pour sonder les molécules qui désorbent depuis la surface de l'échantillon.

Un porte-échantillon :

Le porte-échantillon (ou tête froide) est une surface en graphite réfléchissante qui se trouve dans la chambre principale ultravide. Cette surface est refroidie par un cryostat d'où son nom tête froide. Le cryostat permet d'obtenir des températures cryogéniques (très basses, 8K) grâce à un cycle de compression/détente d'hélium on peut atteindre théoriquement une température extrême d'environ 4,2K. [Figure 4]

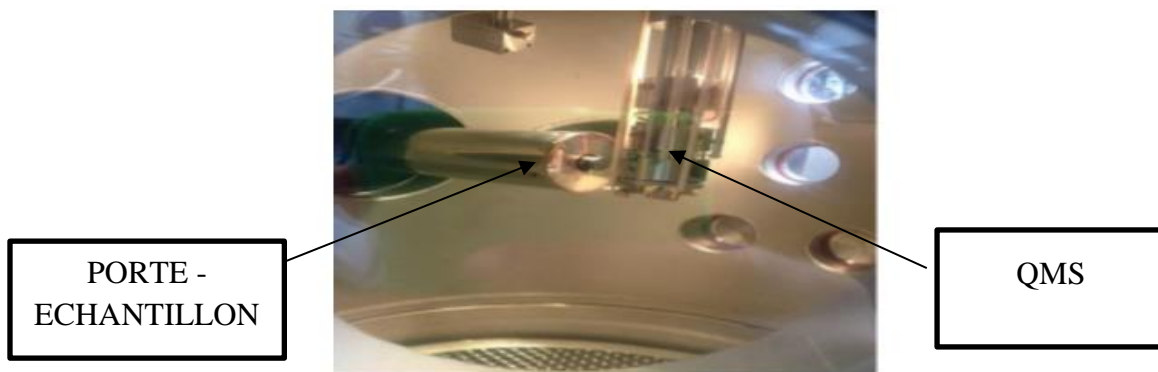
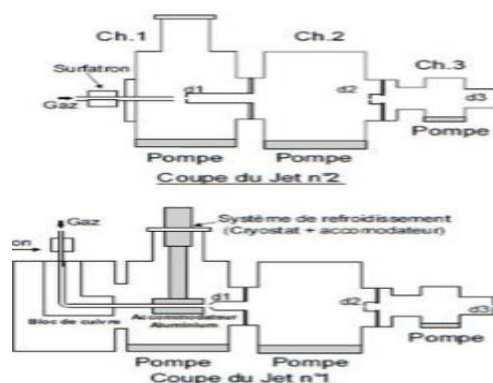


Figure 4 : Porte – échantillon placé perpendiculaire par rapport au QMS

Deux jets atomiques (moléculaire) :

Le dispositif FORMOLISM comporte deux jets atomiques ou moléculaires qui nous permet de réaliser les dépôts de deux molécules différentes successivement ou simultanément à la surface du graphite. Lors de nos expériences, on a utilisé le jet 2 pour déposer l'éthylène C_2H_4 et le jet 1 pour introduire les atomes de deutérium, hydrogène ou oxygène obtenu par dissociation moléculaires du D_2 , H_2 , O_2 en réalisant un plasma. La couleur du plasma lors de la dissociation des molécules nous permet d'identifier la molécule dissociée (H_2 et D_2 couleur ROSE, O_2 couleur TRANSPARENT OU BLANC) [Figure 5]





Le Plasma

Figure 5 : Structure des deux jets atomiques et du plasma (moléculaires)

2.2 Logiciels

MASsoft :

Développé par Hiden Analytical, c'est le logiciel permettant le pilotage du spectromètre de masse. De nombreuses tâches sont faisables à l'aide de ce logiciel, et il offre 7 modes de fonctionnement dans sa version la plus complète. Quant à nous, nous avons travaillé avec 2 des 4 modes disponibles au laboratoire.

- **Le Bar** : Il permet de lancer une analyse de l'enceinte sans avoir à choisir la masse particulière. Ainsi, avec l'histogramme apparaissant à l'écran, on peut très vite se rendre compte de quelles espèces nous sommes en présence.
- **Le MID** : Lorsque l'on se place dans ce cas, il est nécessaire de préciser les masses des éléments que l'on cherche à observer. Contrairement au bar, on n'obtient pas un histogramme, mais une courbe pour chaque composé choisi, en fonction du temps. De ce mode on peut extraire le nombre de coups moyen par seconde détecté par le QMS pour chaque espèce.

Origin :

Origin 8 est un logiciel d'analyse et de traitement des données. De prime abord, il s'apparente aux tableurs que l'on a l'habitude de manipuler. Cependant, il offre des fonctions plus complexes et plus adaptées aux scientifiques, ce qui permet une analyse plus complète de résultats obtenus.

2.3 Conditions Expérimentales

Le type d'études mené et le matériel utilisé (spectromètre de masse) imposent de travailler à très basse Pression, très basse température et un faible flux pour pouvoir simuler le milieu interstellaire. De plus, en se plaçant dans le vide on cherche à limiter les pollutions de l'atmosphère terrestre.

Problèmes gênants le fonctionnement du dispositif :

IL y a deux problèmes majeurs : les fuites et les masses parasites.

- **Fuites**

Elles influencent grandement sur notre vide et peuvent aller jusqu'à le casser. Il en existe deux sortes :

- les fuites réelles qui proviennent de l'extérieur du montage par une ouverture ou un tuyau mal serré.
- Les fuites internes qui peuvent être dues à une impureté laissée sur les parois ou à la détérioration de ces dernières.

- **Masses parasites**

La plupart du temps ce sont les masses 18 (H₂O), 28 (N₂ ou CO) qui sont qualifiées de parasites puisqu'elles peuvent témoigner d'une fuite réelle.

La principale solution à ces problèmes est l'étuvage du dispositif.

Procédure quotidienne avant d'effectuer toute manipulation :

- Allumer les ordinateurs
- Allumer le QMS
- Allumer le Lakeshore
- Ouvrir le robinet d'eau pour refroidir le moteur du compresseur
- Allumer le compresseur pour refroidir le porte-échantillon
- Ouvrir MASsof
- Faire les tests (expériences)

Manipulation :

Avant toute manipulation on vérifie que les bouteilles des molécules (sous forme gazeuse) sont bien branchées au jets atomiques (moléculaires). On ouvre la vanne du jet pour déposer la molécule ou l'atome pendant un temps donné qui est chronométré, ensuite on ferme la

vanne (on peut faire des dépôts successivement ou simultanément). On mesure le signal, programmer le chauffage de la surface (Lakeshore), arrêter la mesure (MASsoft), faire refroidir. La variation de la température est faite à l'aide du TPD (Désorption Programmée en Température) dont je détaillerais dans la section suivante.

En fin on exporte les spectres de masses obtenues sur l'Origin 8 pour tracer les courbes et calculer les aires afin d'interpréter les résultats.

Désorption Programmée en Température (TPD) :

Au cours de mon stage j'ai effectué des expériences de TPD afin de déterminer la température de désorption d'une molécule de la surface et le temps de formation d'une monocouche (surface minimale occupée par une couche pleine).

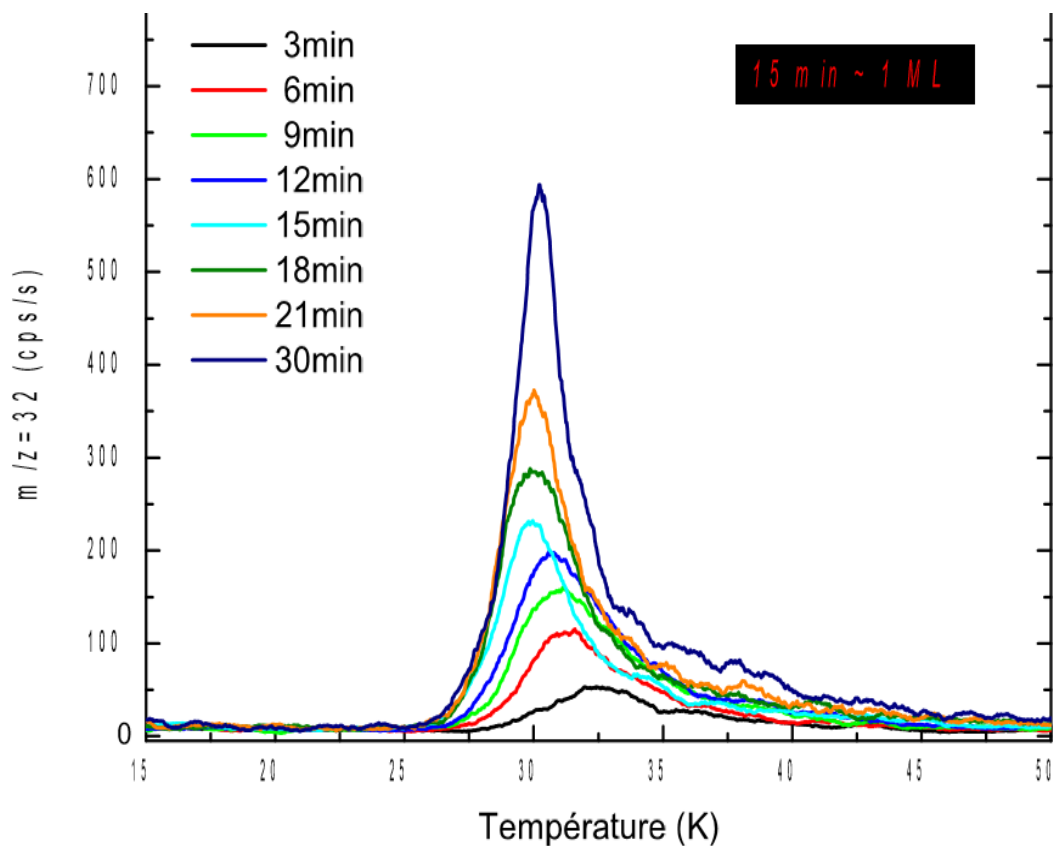
Les expériences de TPD consistent, après le dépôt d'une ou de plusieurs espèces atomiques ou moléculaires et après que ces dernières aient réagi ou pas, à procéder à l'augmentation de la température de la surface en imposant une rampe de chauffage linéaire. Lorsque la surface atteint une température spécifique, appelée température de désorption (celle-ci est différente et caractéristique pour chaque espèce adsorbée), l'énergie thermique transférée à l'espèce adsorbée provoque sa désorption dans la phase gazeuse. Pour mesurer le spectre de TPD on utilise un spectromètre de masse à quadruple (QMS). Au cours de la phase de chauffage, le QMS est placé à proximité de la surface pour enregistrer les spectres de masse d'une ou de plusieurs espèces qui desorbent.

J'ai réalisé des expériences TPD avec l'hydrogène H, le deutérium D, le dioxygène O₂ et l'éthylène C₂H₄. Le deutérium est un isotope de l'atome d'hydrogène. On obtient l'atome hydrogène H et deutérium D par dissociation de H₂ et D₂ en réalisant un plasma.

II. Partie2 : Expériences réalisées sur FORMOLISM

Durant mon stage j'ai fait des expériences avec le dispositif FORMOLISM afin de répondre à des questions suivantes :

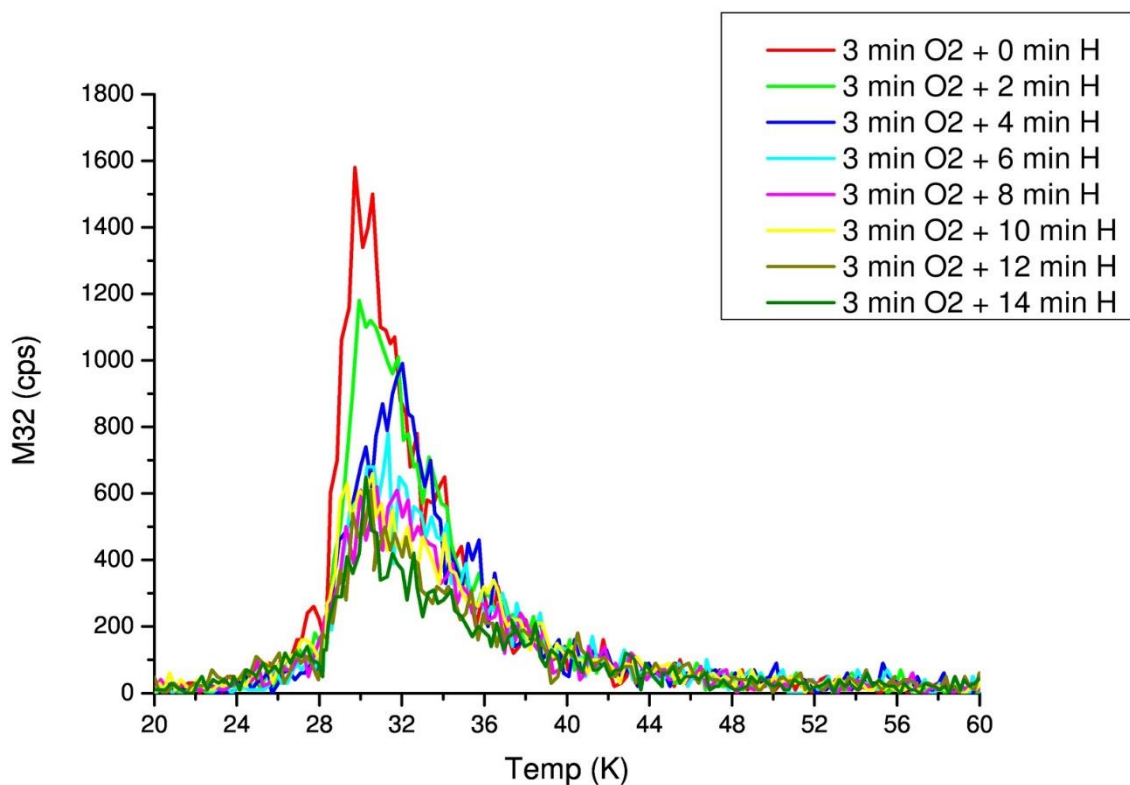
- A quelles minutes une monocouche est - elle formée ?
- La molécule de l'éthylène C₂H₄ réagit-elle avec l'hydrogène H et le deutérium D ?
- La réaction de C₂H₄ avec H est - elle plus ou moins rapide que celle avec le D ?
- Comment calculer le taux de dissociation de D₂ et H₂ ?

Test 1 : Dépôt de O₂ de 3 à 30 min à 15 K , TPD à 150 K**Interprétation et discussions**

- On a déposé le dioxygène O₂ (M32) pendant 3 à 30 minutes.
- Après le TPD à 150 K, on a obtenu le graphe de test 1 qui représente le nombre de coups par seconde (cps) de M32 en fonction de la température (K).
- On remarque un changement de l'allure de la courbe à partir 15 min de dépôt de O₂

Conclusion

La monocouche est formée à 15 min de dépôt de O₂.

Test 2 : Dépôt de O₂ (3 minutes) + H (0 à 14 minutes) à 15K, TPD à 150 K**Interprétation et discussions**

- On a déposé tout en premier le dioxygène O₂ qui est la masse 32 (M32) pendant 3 minutes sans l'hydrogène H (M1), puis à chaque dépôt suivant, on dépose toujours 3 min de O₂ mais on varie l'hydrogène de 0 à 14 min.
- Après le TPD à 150 K, on a obtenu le graphe de test 2 qui représente le nombre de coups par seconde (cps) de M32 en fonction de la température (K).
- On constate une désorption de O₂ à une température T= 30K.
- Le nombre de coups par seconde (cps) diminue en fonction du temps de dépôt de H (plus la dose de H augmente, le nombre de cps diminue).

Conclusion

La réaction a été faite entre les deux molécules O₂ et H.

Test 3 : Dépôt de 5 min de C₂H₄ et de 0 à 45 min de H à 15 K, TPD à 150 K (Annexe 3)

Interprétation et discussions

- Après les deux premiers dépôts de C₂H₄ (M28) pendant 5 minutes sans l'hydrogène H (M1), on dépose toujours 5 min de C₂H₄ mais on varie l'hydrogène de 0 à 45 min.
- Le TPD à 150 K, le graphe obtenu représente le nombre de coups par seconde (cps) de M28 en fonction de la température.
- On observe une désorption de la M28 (C₂H₄) à T= 60 K .
- Une diminution du nombre de coups par seconde (cps) en fonction du temps de dépôt de H est aussi observée.

Conclusion

C₂H₄ à réagit avec H.

Courbe des aires de M28 en fonction de dose de H :(Annexe 6)

- C'est une courbe exponentielle décroissante qui confirme que l'éthylène à réagit avec l'hydrogène car plus la dose de H augmente, l'aire de C₂H₄ diminue.
- On observe une courbe exponentielle croissante pour la M30 (C₂H₆), donc c'est un produit obtenu par la réaction d'addition d'équation b).

Les équations des réactions possibles de C₂H₄ avec H :

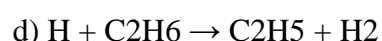
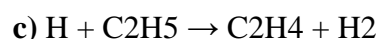
On a observé deux sortes de réactions : addition et abstraction.

Ces réactions sont obtenues grâce des masses de fragments et de produits obtenus lors du TPD.

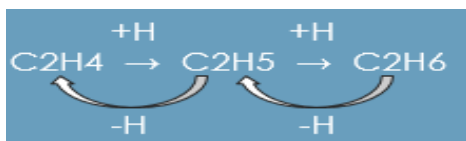
Réaction d'addition :



Réaction d'abstraction :



A partir de ces réactions on peut conclure qu'il y a des cycles de réactions d'addition et d'abstraction qui se forment entre C₂H₄(28), C₂H₅(M29), C₂H₆(M30) et que C₂H₄ évolue jusqu'à C₂H₆.



Test 4 : Dépôt de 3 min de C₂H₄ et de 0 à 60 min de D à 15 K, TPD à 150 K (Annexe 4)

Interprétation et discussions

- On constate une diminution du nombre de coups par seconde (cps) de C₂H₄ en fonction du temps de dépôt de D (plus on augmente la dose de D plus le nombre de coups par seconde (cps) diminue)

Conclusion

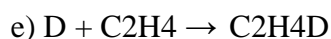
C₂H₄ réagit avec D.

Courbe des aires de M28 en fonction de dose de D : (Annexe 5)

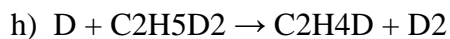
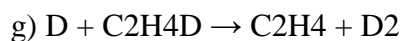
- Cette courbe exponentielle décroissante confirme que l'éthylène réagit avec le deutérium car plus la dose de D augmente, l'aire de C₂H₄ diminue.
- On observe une courbe exponentielle croissante pour la M30 (C₂H₄D₂) donc c'est un produit de la réaction obtenue par la réaction d'addition d'équation f).

Les équations des réactions possibles de C₂H₄ avec D :

Réaction d'addition :



Réaction d'abstraction :



De ces deux types de réactions (addition et abstraction), on obtient des cycles de réactions suivants

**Remarque :**

Vu qu'il y a toujours de l'eau (H₂O) dans l'enceinte, on observe aussi les masses du tableau suivant.

MASSE	M44	M18	M32	M2
FORMULE	CO ₂	H ₂ O	O ₂	H ₂

Tableau 1 : Masses et formules de quelques molécules obtenues par réaction avec H₂O

Cinétique de la réaction de C₂H₄ avec H et D :

- C₂H₄ réagit avec H, la cinétique de cette réaction est d'ordre 1. La vitesse de la réaction peut donc se mettre sous la forme $v = k [\text{C}_2\text{H}_4]$ où k est une constante ne dépendant que de la température et qui se calcule par la loi d'Arrhenius.

$$k = A \cdot \exp(-E_a / RT)$$

A : facteur pré exponentiel

E_a : énergie d'adsorption (J/MOL)

R : constante des gaz parfaits (8,314 J/K/MOL)

T : température (K)

L'énergie d'adsorption dépend de la couverture, car plus la surface sera occupée, plus une molécule aura tendance à interagir avec ses voisins.

- La même cinétique est observée lors de la réaction de C₂H₄ avec D
- La réaction de C₂H₄ avec D est plus rapide que celle avec H car sur la courbe des aires de C₂H₄ en fonction de la dose D (Annexe 5) décroît à 6500 cps. K or celle de

C₂H₄(M28) en fonction de la dose H (Annexe 6) commence à décroître à partir 20000 cps. K

- En plus on observe sur annexe 5 que la réaction est presque terminée car on voit que l'allure de la courbe devient constante très vite or sur l'annexe 6, la réaction vient juste de commencer puisque l'allure de la courbe est toujours décroissante.

Taux de dissociation

Le taux de dissociation (%) est une estimation de la dissociation de la molécule de D₂ ou H₂. Le calcul se fait directement sur ordinateur, on mesure donc les quantités de H₂ ou D₂ quand la décharge est allumée puis quand elle est éteinte. Le taux de dissociation reste constant quel que soit le dépôt. Le calcul se fait avec la formule suivante :

$$\tau = \frac{(Cps_{OFF} - bg) - (Cps_{ON} - bg)}{Cps_{OFF} - bg}$$

bg représente le signal de pression résiduelle mesuré en comblant le faisceau de molécules D₂ ou H₂ de sorte qu'elles n'atteignent pas le QMS.

Cps_{off} : C'est la décharge Off (Chambre est déconnectée) ;

Cps_{ON} : C'est la décharge ON (Chambre est connectée) ;

Cps_{bg} : Signal Background (Désorption qui limite le minimum de signal atteignable)

- On obtient un taux de dissociation du deutérium de 43% identique à celui de l'hydrogène

Conclusion générale

- ❖ L'évolution chimique qui se déroule sur les surfaces froides via les réactions de C_2H_4 avec H ou D devient efficace uniquement à des températures cryogéniques (température très basse).
- ❖ D'après les résultats des expériences de la réaction de C_2H_4 avec H et D, on a pu conclure que C_2H_4 réagit avec H et D.
- ❖ La réactivité de D avec C_2H_4 était considérablement supérieure à celle de H.
- ❖ L'analyse des produits a été réalisée par la spectrométrie de masse par désorption thermique. Cette méthode est très sensible et est très appropriée pour les expériences d'étude de réactivité des molécules.

Bibliographie

- [1] Université Cergy-Pontoise. Université de Cergy-Pontoise [en ligne]. Disponible sur « <http://www.u-cergy.fr/fr/index.html> »
- [2] Observatoire de Paris LERMA. LERMA UMR 112 [en ligne]. Disponible sur « <http://lerma.obspm.fr/> »
- [3] Thèse de Saoud BAOUCHE « formation d'hydrogène moléculaire sur des surfaces d'intérêt astrophysique : premiers résultats sur des glaces d'eau à très basse température et sur le graphite à haute température » publié en 2014
- [4] Thèse de Hakima MOKRANE « Adsorption, formation et interaction de molécules sur des surfaces dans des conditions simulant celles des grains et des milieux interstellaires » publié en 2011
- [5] Article « hydrogenation and deuteration of C₂H₂ and C₂H₄ on cold grains : A clue to the formation Mechanism of C₂H₆ with astronomical interest » published 2017 March 15

Résumé

Le sujet abordé dans ce stage m'a permis de mener une étude des réactions chimiques précisément sur la réactivité de l'éthylène C_2H_4 avec l'hydrogène H et le deutérium D, la cinétique de ces réactions, le taux de dissociation d'une molécule et formation d'une monocouche.

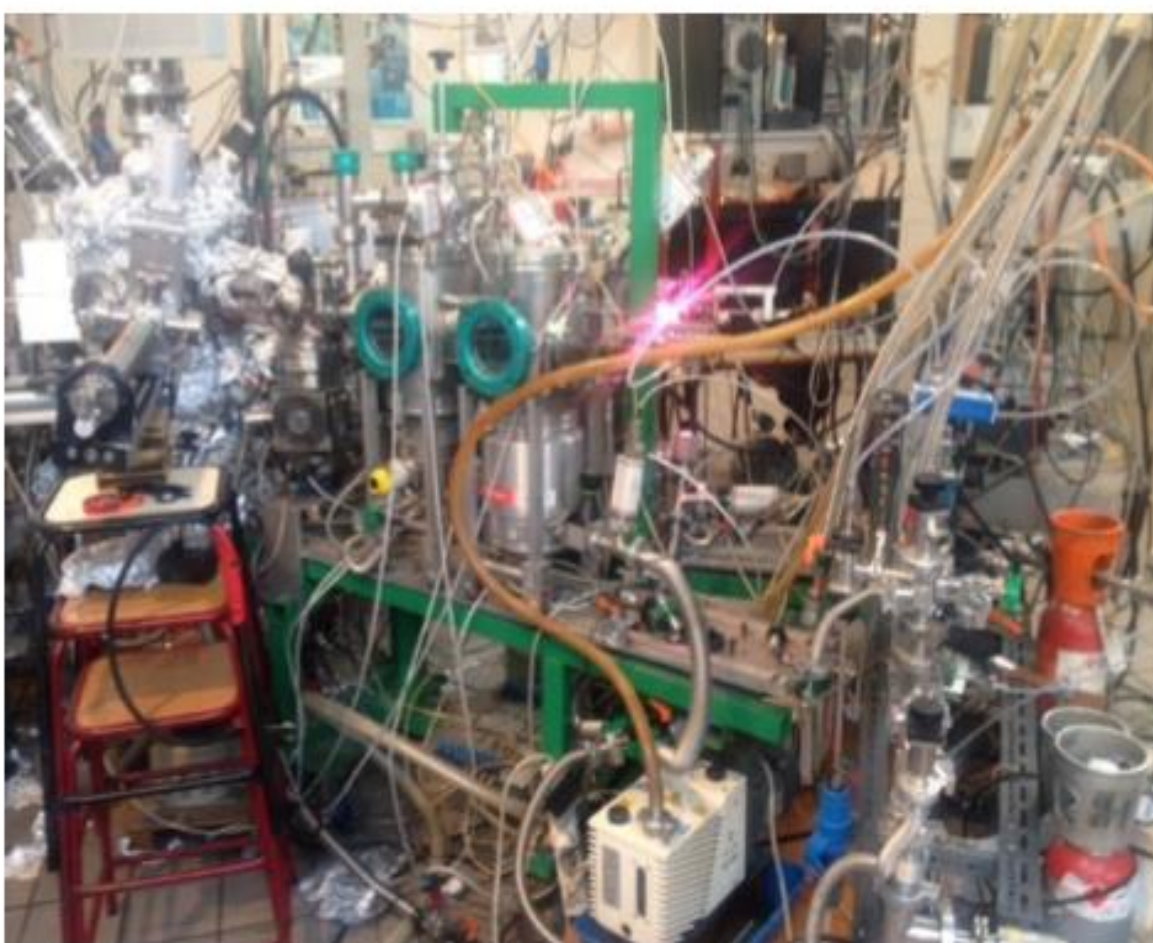
Le dispositif expérimental utilisé pour l'étude de ces réactions chimiques est le FORMOLISM, la caractérisation des masses désorbées de la surface de graphite est faite à l'aide d'un Spectromètre de Masse à Quadripôle et le contrôle de la température est faite par le TPD Désorption Programmée en Température.

La première expérience menée fut le dépôt de O_2 de 3 à 30 min à 15 K et le TPD à 150 K afin de déterminer le temps de formation d'une monocouche qui est de 6 minutes. Les tests 3 et 4 ont permis de voir clairement que le C_2H_4 a bien réagit avec le D et H. Les courbes des aires de la M28 (C_2H_4) ont permis de conclure que la réaction de C_2H_4 avec D est plus rapide que celle avec le H. Enfin le taux de dissociation des molécules D_2 et H_2 en atomes D et H calculé est de 43%.

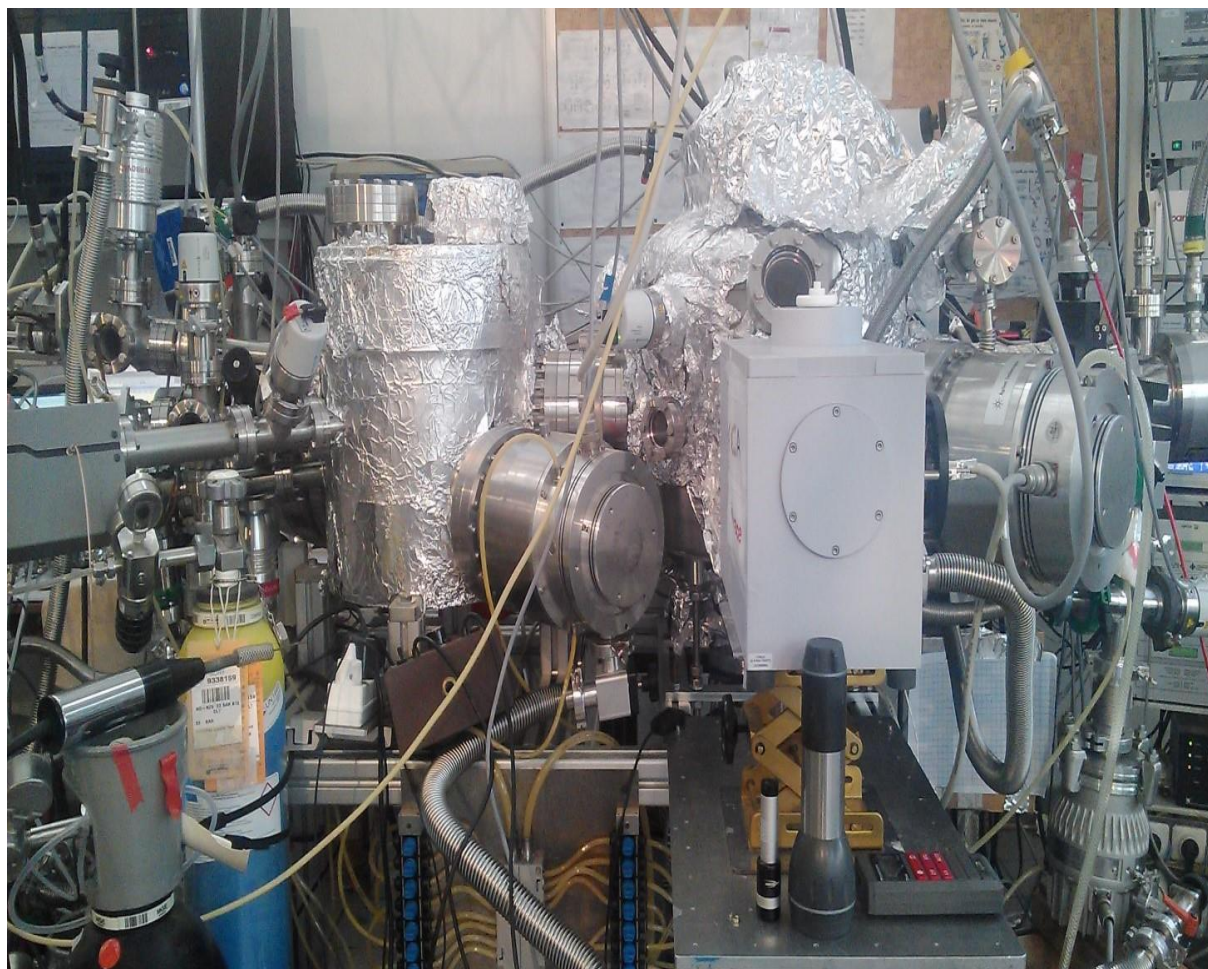
Grace à ce stage j'ai pu participer au travail de recherche de l'équipe LERMA-CERGY et j'ai acquis de nouvelles connaissances dans le domaine de l'astrophysique et de l'astrochimie. J'ai pu développer également mon esprit d'autonomie car j'ai eu l'occasion de travailler seul sur certaines expériences.

Annexes

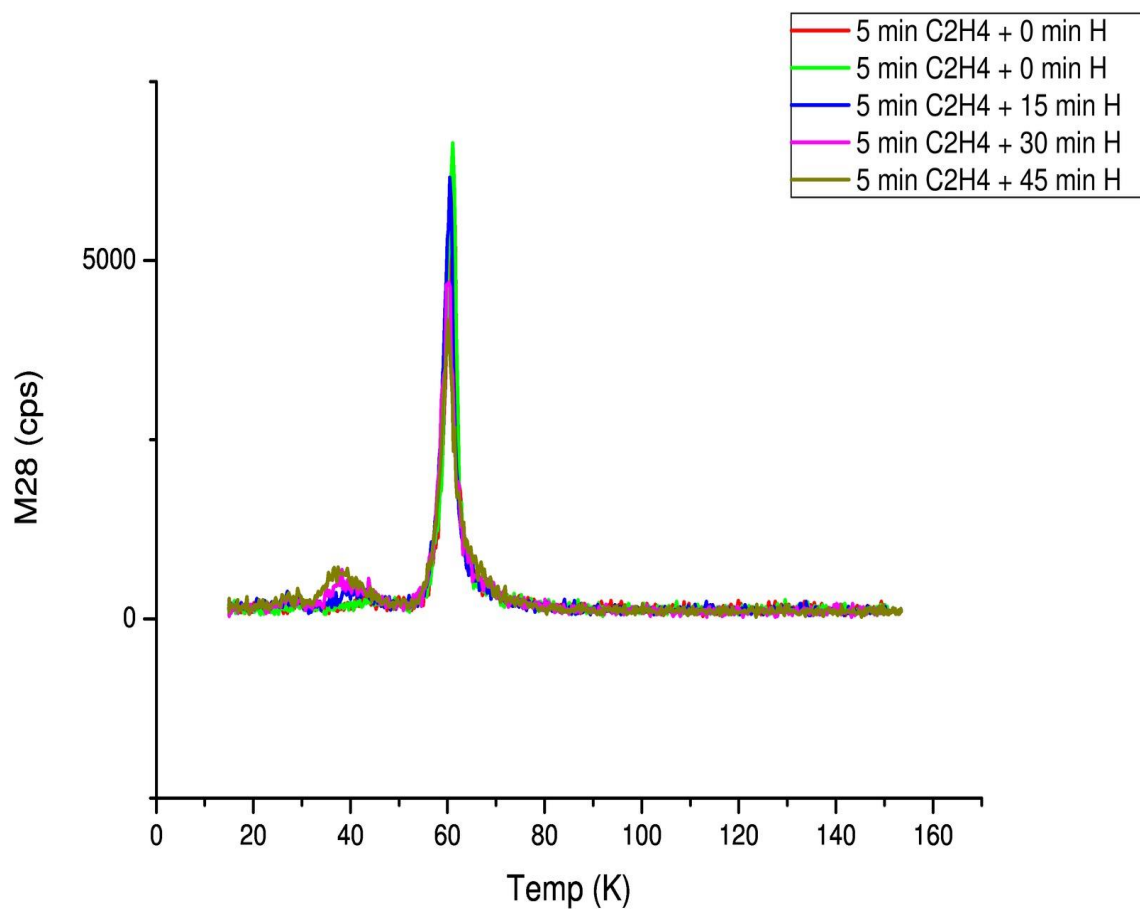
Annexe 1 : Photographie de dispositif FORMOLISM



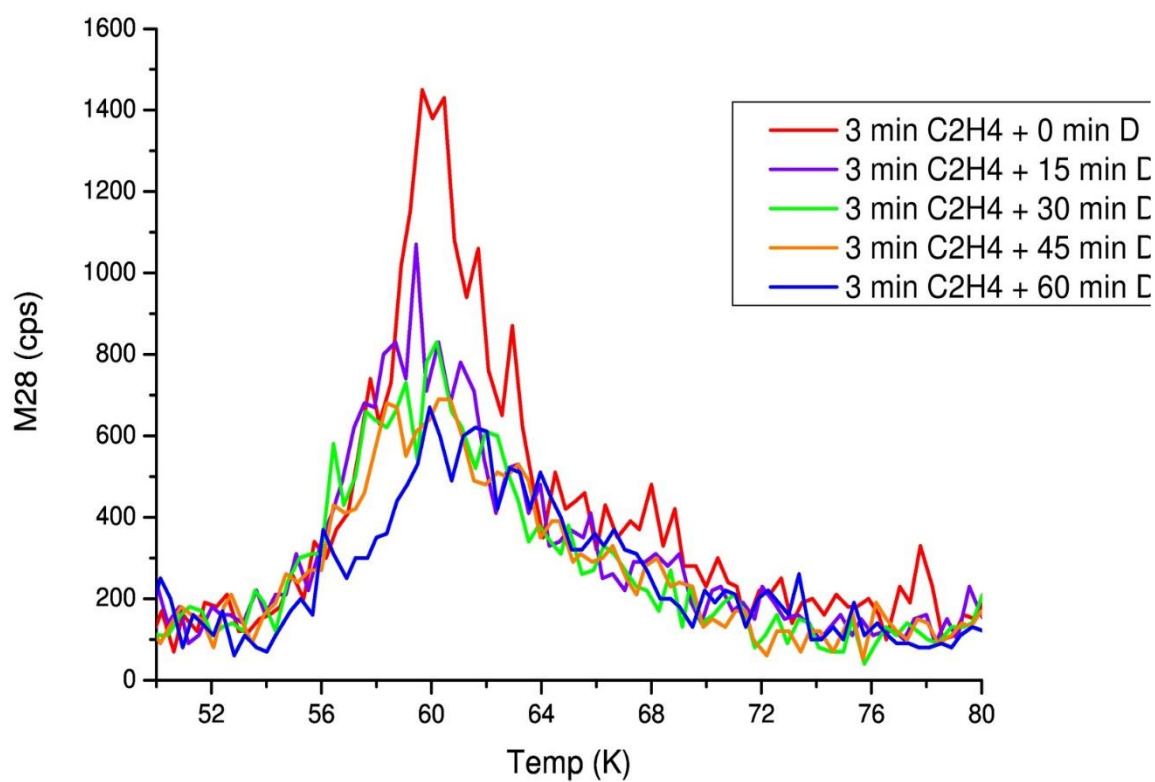
Annexe 2 : Photographie du dispositif VENUS



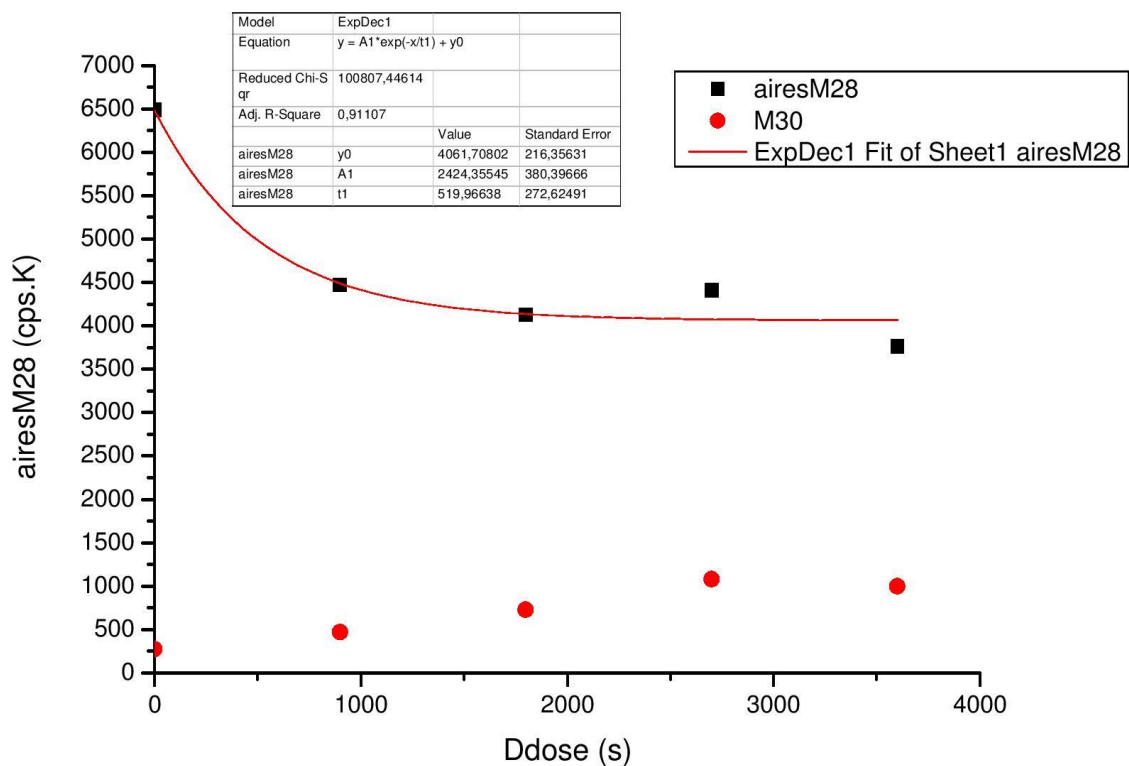
Annexe 3 : Dépôt de 5 min de C₂H₄ et de 0 à 45 min de H à 15 K, TPD à 150 K



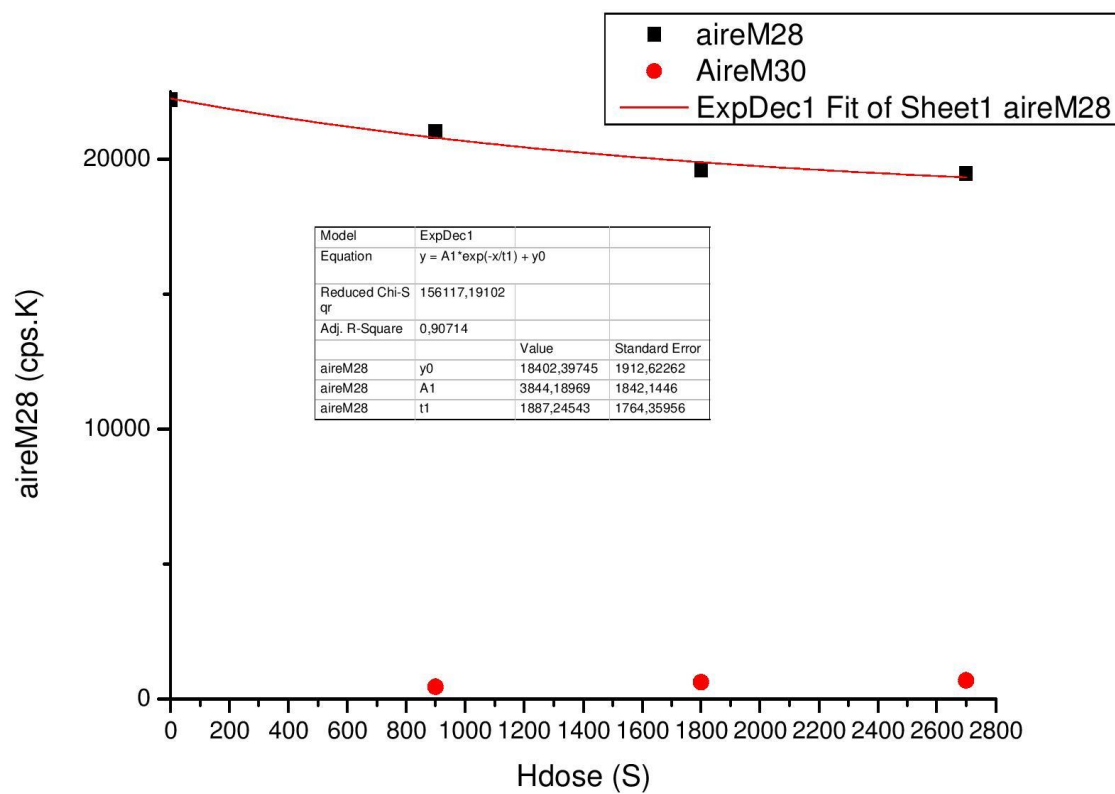
Annexe 4 : Dépôt de 3 min de C₂H₄ et de 0 à 60 min de D à 15 K, TPD à 150 K



Annexe 5 : Courbe des aires de M28 en fonction de dose de D (en seconde)



Annexe 6 : Courbe des aires de M28 en fonction de dose de H (en seconde)



Annexe 7 : Photographie de Kadia DEMBELE et Katia SOUFIT (stagiaires de LERMA- CERGY) devant le dispositif FORMOLISM.

