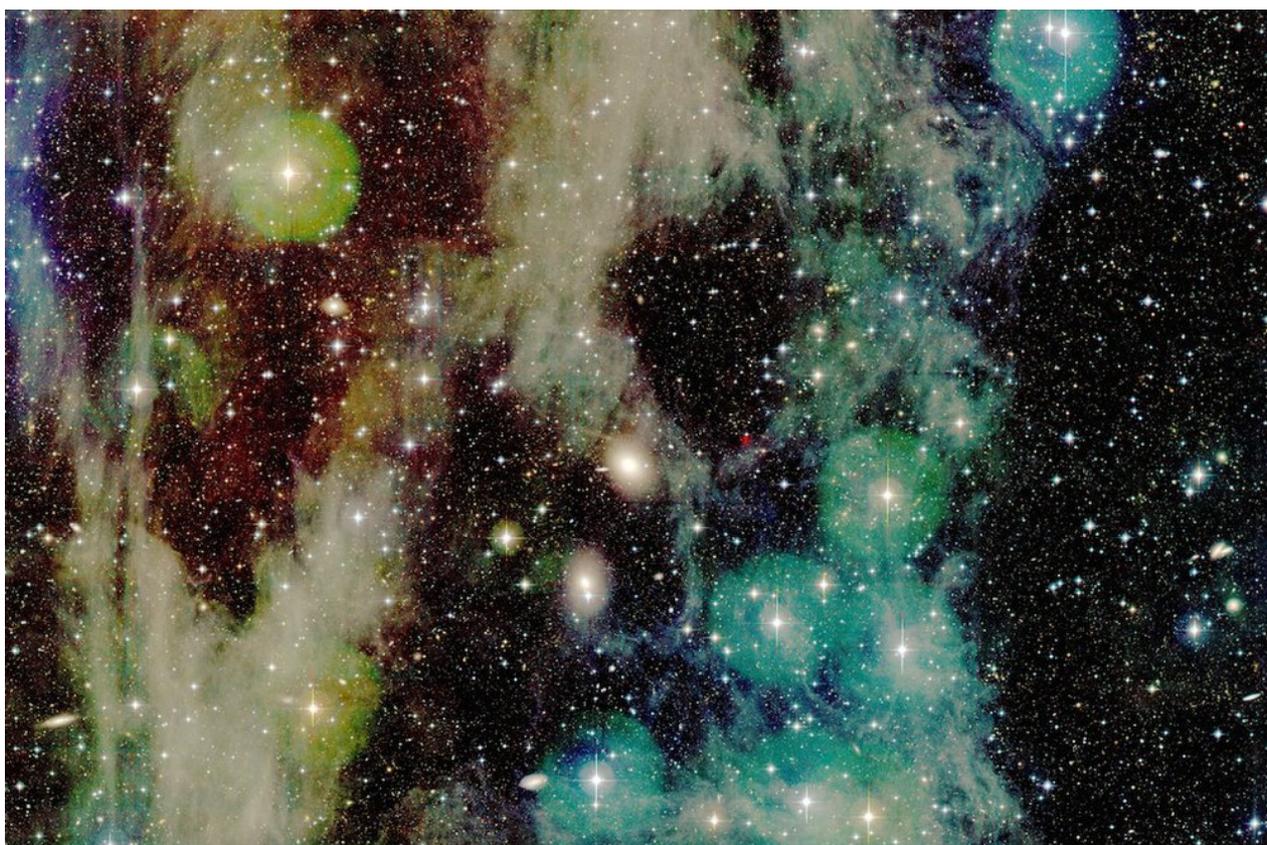


Meihemid Maha
L3-P

Étude de la la réactivité des molécules dans le milieu interstellaire



Stage réalisé au laboratoire LERMA du 07/05/2018 au 08/06/2018

5 mail Gay-Lussac CS 20601 Neuville 95301Cergy-Pontoise cedex

Maître de stage : Mme CHAABOUNI Henda

Tél:0134256983 / Email: henda.chaabouni@u-cergy.fr

Sommaire

Remerciements	3
I – Introduction	4
I-1) Présentation du laboratoire	
I-2) Présentation du stage	
II-Description du dispositif FORMOLISM	5
II-1) Introduction	
II-2) Enceinte principale ultravide	
II-3) Jets atomique et moléculaire	
II-4) Porte échantillon et substrats	
II-5) QMS (Spectromètre de Masse à Quadripôle)	
II-6) Spectromètre infrarouge à transformé de Fourier	
II-7) Les Techniques d’analyse	
III-Expériences et Résultat antérieurs	15
III-1)Alignement des Jets atomique et moléculaire	
III-2)Alignement du Spectromètre IR	
III-3)Dissociation du jet d'hydrogène	
III-4)Réactivité avec l’atome H sur des surfaces froides	
IV-Conclusion	23
Bibliographie	

Remerciements

Je tiens à remercier le personnel de l'équipe de recherche LERMA à Neuville et plus particulièrement Monsieur François DULIEU, directeur du laboratoire LERMA à Cergy, qui a eu l'amabilité de m'accueillir comme stagiaire au sein son équipe LERMA.

Je remercie bien évidemment Madame Henda CHAABOUNI, ma tutrice de stage pour sa patience, ses explications et sa disponibilité pour répondre à mes nombreuses questions sur le fonctionnement des expériences au laboratoire d'astrophysique, le milieu interstellaire, et la réactivité des molécules.

Je remercie également l'ingénieur du laboratoire, Monsieur Saoud BAOUCHE pour son aide, et ces réponses à mes questions, ainsi que les doctorants et les étudiants de licence pour la bonne humeur dont ils ont fait preuve, notamment Sidi el Moctar TFEIL et Jeremy CADRAN, des étudiants de la licence de physique L3P de l'université de Cergy-Pontoise, avec qui j'ai travaillé tout au long du stage.

I – Introduction

I-1) Présentation du laboratoire

J'ai réalisé mon stage de troisième année de licence de physique au sein du laboratoire LERMA au site de Neuville de l'université de Cergy-Pontoise. Cette unité de recherche est rattaché au laboratoire LERMA (Laboratoire d'Études du Rayonnement et de la Matière Astrophysique) qui est une unité mixte de recherche en collaboration avec le CNRS (Centre National de Recherche Scientifique), l'Observatoire de Paris, l'Université Sorbonne Université (ou Pierre et Marie Curie), l'ENS (Ecole Normale Supérieure de Paris) et l'UCP (l'Université de Cergy Pontoise).

Actuellement deux dispositifs expérimentaux sont en activité au LERMA-Cergy :

- L'expérience FORMOLISM (FORmation de MOlécules dans le Milieu)
- L'expérience VENUS (VERs de Nouvelles Synthèse dans l'Univers)

Ce laboratoire étudie principalement la formation de molécule dans le milieu Interstellaire et la réactivité des molécules et des atomes sur des surfaces froides d'intérêt astrophysique.

I-2) Présentation du stage

Ce stage a été effectué au laboratoire d'astrophysique de Neuville sur Oise du 7 Mai au 8 juin 2018 sous la direction de Mme Henda Chaabouni (MCF).

Lors de ce stage, le but de mon travail a été d'étudier la réaction de la molécule isotopique riche en carbone 13 avec l'hydrogène atomique H sur la surface des surfaces froides simulant les grains de poussière, pour confirmer les nouvelles molécules et produits qui s'y formaient par la réaction et établir le mécanisme réactionnel entre les molécules et l'hydrogène atomique H. Mais malheureusement le dispositif expérimental FORMOLISM a été déménagé juste avant notre stage vers un nouveau local au rez de chaussée du bâtiment D à Neuville. Pour cela nous avons passé beaucoup de temps pour le régalage du dispositif expérimental, pour qu'on puisse réaliser les expériences souhaitées.

Meihemid Maha
L3-P

Donc dans mon rapport de stage, j'ai essayé de mettre en évidence les expériences et les résultats antérieurs de ce sujet de recherche, qu'on a pas eu le temps de les refaire, bien sure avec l'aide et les explications de ma maître de stage et des doctorants de l'équipe LERMA-à Cergy et aussi le rapport de stage de « Mariel LIONDA RAKOTONANDRASANA », étudiant de la licence L3P de l'Université de Cergy-Pontoise (2017).

II-Description du dispositif FORMOLISM

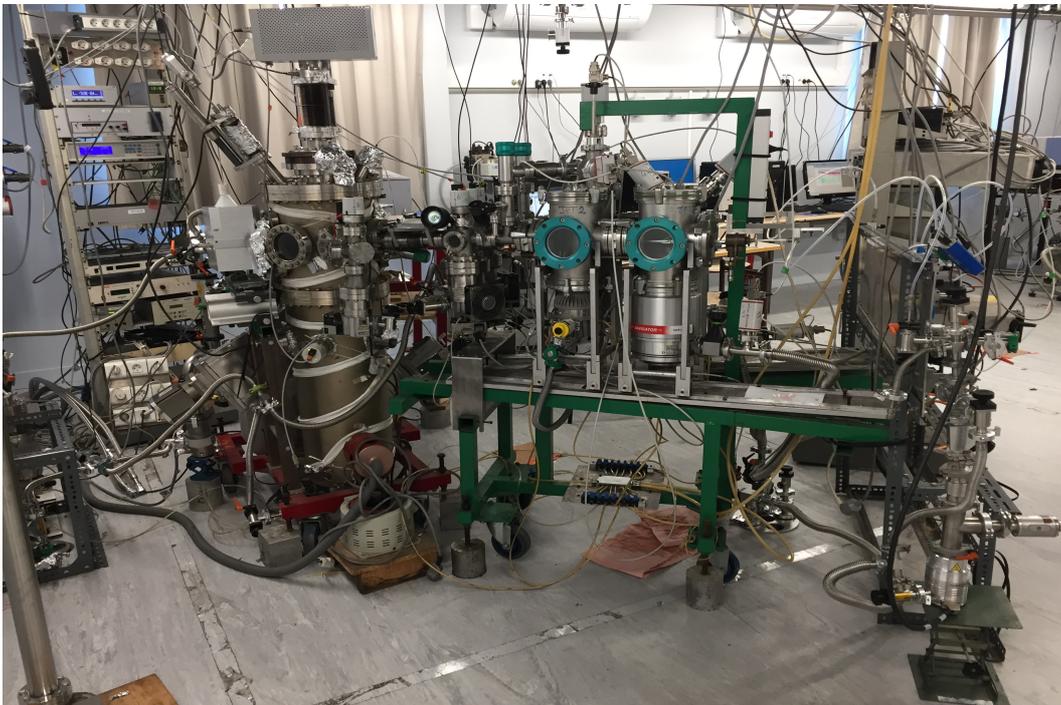


Figure 1 :Dispositif FORMOLISM dans les nouveaux locaux du LERMA

Meihemid Maha
L3-P

II-1) Introduction

FORMOLISM est un dispositif expérimental, permettant de recréer les conditions du milieu interstellaire ce qui permet d'étudier les réactions de formation de molécules sur les grains de poussière se trouvant dans ce milieu, ainsi que leur réactivité avec les atomes sur des surfaces froides ($T=10$ K).

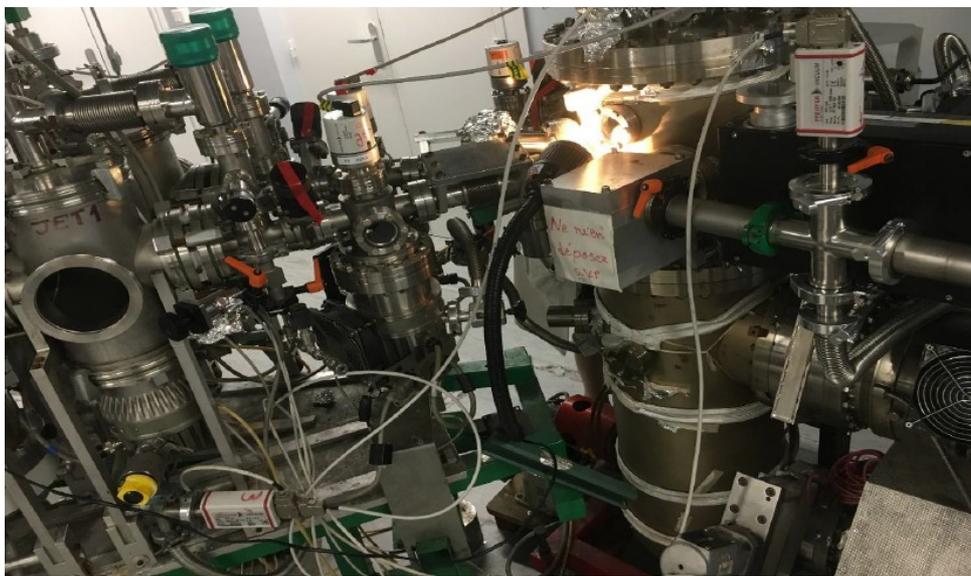


Figure 2 :Schéma du Dispositif FORMOLISM

II-2) Enceinte principale ultravide



Figure 3:Enceinte ultravide

FORMOLISM est constitué d'une enceinte principale ultravide dont le pression est de l'ordre de 10^{-10} mbar, de densité de 10^6 molécules/cm³ proche de celle du MIS. C'est au sein de cette enceinte que se dérouleront les réactions étudiées .

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

Un système de pompage différentiel permet d'obtenir un vide progressif de plus en plus important car chaque chambre est reliée à des pompes turbo moléculaires.

Au sein de la première chambre des jets, la pression en moyenne est de 10^{-4} mbar. Elle décroît ensuite à 10^{-7} mbar puis 10^{-9} mbar dans la deuxième et la troisième

Meihemid Maha
L3-P

chambre pour finalement avoir une pression de 10^{-10} mbar dans l'enceinte principale. Cette détente s'effectue à température ambiante.

L'intérêt de ce système de pompage différentiel est de baisser progressivement la pression au sein du dispositif expérimental. Cette phase est nécessaire ou obligatoire afin de déposer des réactifs (molécules et atomes) au sein de l'enceinte principale ultravide simulant les conditions du milieu interstellaire MIS .

II-3) Jets atomiques et moléculaires



Figure 4: Jets atomiques et moléculaires

FORMOLISM est équipé par deux jets, servant à faire entrer les atomes ou les molécules dans l'enceinte principale .

Les jets traversent chacun des trois chambres en pompage différentiel, afin que lorsqu'on dépose une espèce sur la surface par l'intermédiaire des jets, la pression dans la chambre principale ne dépasse pas les 10^{-10} mbar. Les seules réactions considérées sont celles se produisant à la surface du grain simulant la poussière interstellaire (qui est le porte échantillon dans les expériences).

II-4) Porte échantillon et substrats



Figure 5: Porte échantillon

Le substrat utilisé est le graphite HOPG

Le porte échantillon c'est un bloc cylindrique de 10 mm de diamètre et de 2mm épaisseur. Il est connecté à un cryostat fonctionnant à l'aide d'un compresseur d'hélium liquide, le porte échantillon peut être refroidi jusqu'à 5 K. Le porte échantillon est mobile peut être au centre l'enceinte principale pour le dépôt de gaz sur la surface, en face du QMS pour les expériences de la désorption programmée en température (TPD) et peut être en face du détecteur MCT pour l'enregistrement des spectres infrarouges par la configuration par la configuration absorption réflexion .

II-5) QMS (Spectromètre de Masse à Quadripôle)



Figure 6:QMS

La détection des espèces désorbées de la surface vers la phase gaz au sein de l'enceinte ultravide se fait avec le spectromètre de masse a Quadripôle QMS.

Il est constitué d'un tube cylindrique (~2 cm de diamètre) avec une ouverture sur le coté dans laquelle des électrons accélérés à haute énergie (32eV) peuvent ioniser les molécules ou les fragmenter en ions par l'impact des électrons de la source ionique du QMS.

Ces ions sont détectés par le QMS par rapport à leur masse sur la charge (M/z).

M : Unité de masse atomique

z : charge de l'espèce ionisé

Meihemid Maha
L3-P

Le QMS est contrôlé par le logiciel MaSoft qui nous permettra de faire plusieurs types de détections :

- Mode de détection instantanée («bar mode»), qui nous donne toutes les masses présentes dans l'enceinte en fonction de leur coups/seconde sur le détecteur. Ces données sont actualisées à chaque cycle.
- Mode de suivi (« MID mode ») qui nous permet de choisir les masses dont on veut suivre l'évolution au cours du temps

Nous pouvons bouger le QMS de bas en haut afin de le mettre ou non en face de la surface du porte-échantillon pour détecter les molécules désorbées. On le baisse en face des jets lors du dépôt pour qu'il ne soit pas devant la surface.

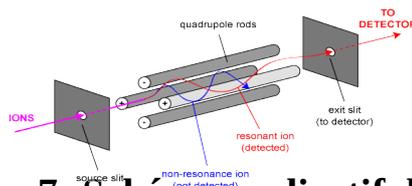


Figure 7 :Schéma explicatif du QMS

II-6) Spectromètre infrarouge à transformé de Fourier



Figure 8: Spectromètre IR

Le but de toute spectroscopie d'absorption est de mesurer la quantité de lumière absorbée par un échantillon, en fonction de la longueur d'onde. La technique la plus simple pour le faire est la « spectroscopie dispersive », c'est-à-dire illuminer l'échantillon avec un faisceau de lumière monochromatique de longueur d'onde donnée, mesurer combien de lumière est absorbée, puis répéter l'opération pour différentes longueurs d'onde. C'est, par exemple, le principe de fonctionnement des spectromètres UV-Vis.

Le principe de la spectroscopie par transformée de Fourier est une façon moins intuitive d'obtenir la même information. Plutôt que d'illuminer l'échantillon avec un faisceau de lumière monochromatique, cette technique utilise un faisceau contenant une combinaison de multiples fréquences de la lumière, et on mesure l'absorption par l'échantillon. Le faisceau est ensuite modifié pour contenir une combinaison de fréquences différentes, on mesure de nouveau l'absorption par l'échantillon, et

Meihemid Maha
L3-P

l'opération est répétée de nouveau, de multiples fois. Une fois toutes les données acquises, un ordinateur prend toutes ces données et calcule à rebours pour en déduire l'absorption à chaque longueur d'onde.

Ce spectromètre IR à transformée de Fourier est constitué d'une source infrarouge (Globar) émettant un faisceau polychromatique dans le moyen infrarouge de longueur d'onde $<25 \mu\text{m}$, d'un interféromètre de Michelson, d'un détecteur externe MCT (Mercury-Cadunim Tellurite) qu'il faut refroidir à l'azote liquide (77 K) pour réduire le bruit thermique, il permet de détecter le faisceau infrarouge réfléchi par la surface.



Figure 10 :Photographie du détecteur IR MCT

II-7) Les Techniques d'analyse

-Spectroscopie infrarouge par absorption réflexion (RAIRS)

L'identification des espèces adsorbées ou formées sur la surface par leur signatures vibrationnelles est assurée par la spectroscopie infrarouge par absorption réflexion (RAIRS) utilisant un spectromètre IR et un détecteur IR externe. Les spectres IR sont enregistrés en mode absorbance en fonction du nombre d'onde en cm^{-1} .

La technique RAIRS permet d'estimer la densité surfacique (en monocouche ou en molécules $\cdot\text{cm}^{-2}$) des molécules adsorbées sur la surface ou encore la force de bande infrarouge d'une espèces adsorbée.

-Désorption programme en température (TPD)

Durant la désorption programmée en température TPD, l'échantillon adsorbé sur le porte échantillon est chauffé dans le temps avec une rampe linéaire à partir d'une température initiale T_0 à une température plus élevée T_f correspondant à la désorption de toutes les espèces vers la phase gaz.

Nous avons l'équation suivante pour la température :

$$T = T_0 + B \cdot t$$

Avec T_0 = Température initiale (10 K dans cette expérience)

B = vitesse de chauffage (12K/min)

t = temps (min)

III-Expériences et Résultat antérieurs

III-1)Alignement des Jets atomique et moléculaires

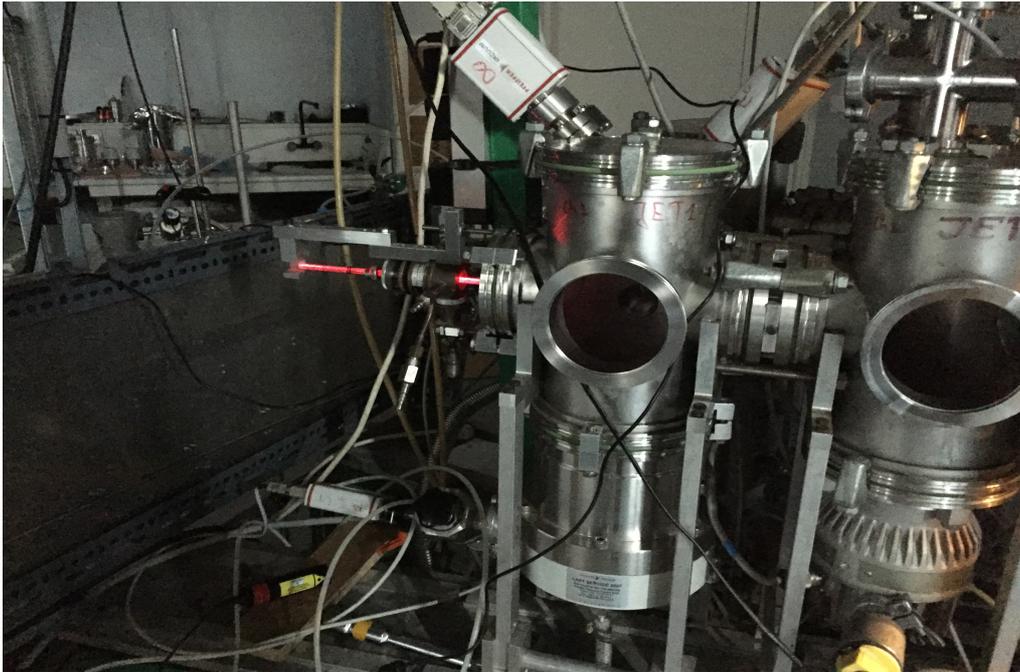


Figure 11: Alignement des jets 1 et 2 de FORMOLISM

Pour déposer des molécules il faut obligatoirement procéder à l'alignement des jets par rapport à la surface pour pouvoir avoir la réaction entre les deux molécules déposées, pour cela on utilise le laser pour pouvoir voir s'il arrive sur la surface. Pour cela, on utilise deux lasers He-Ne monochromatiques de longueur d'onde 632 nm qui devraient passer par les axes de chaque jet à travers des diaphragmes de diamètre 3 mm environ pour se focaliser sur la surface du porte échantillon au sein de l'enceinte ultravide.

III-2)Alignement du Spectromètre IR

Pour qu'on puisse étudier la nature des espèces produites par la réaction chimique avec l'hydrogène atomique, et confirmer les résultats antérieurs en utilisant les espèces isotopique, il faut procéder à l'alignement du spectromètre infrarouge l'identification des molécules déposées sur la surface.

Cette étape nous permet de réaliser des expériences et d'identifier par spectroscopie IR la bande d'absorption IR du produit CO₂ formé par la réaction, et la comparer à la bande d'absorption IR du CO₂ pur directement déposé sur la surface de graphite à partir d'une bouteille de gaz.

Les spectres IR sont affichés sur l'ordinateur par l'intermédiaire du logiciels OPUS, et pour faire l'alignement on doit remplacer la source IR MIR du spectromètre et la séparatrice IR MIR par une source infrarouge NIR (lampe visible) et une séparatrice NIR, pour qu'on puisse voir si la lumière IR arrive sur la surface du porte échantillon recouvert d'un substrat de graphite.

Afin de récupérer les données sur ordinateur il faut obligatoirement refroidir le détecteur MCT avec l'azote liquide.

Pour tester s'il y a des molécules sur la surface bien sure ce test est avant de faire des expérience et on conclue à laide du courbe donnée par le logiciel OPUS qu'il y a du CO₂ comme impureté sur la surface, car le CO₂ absorbe la lumière IR et donne une bande d'absorption infrarouge à (2343 cm⁻¹).

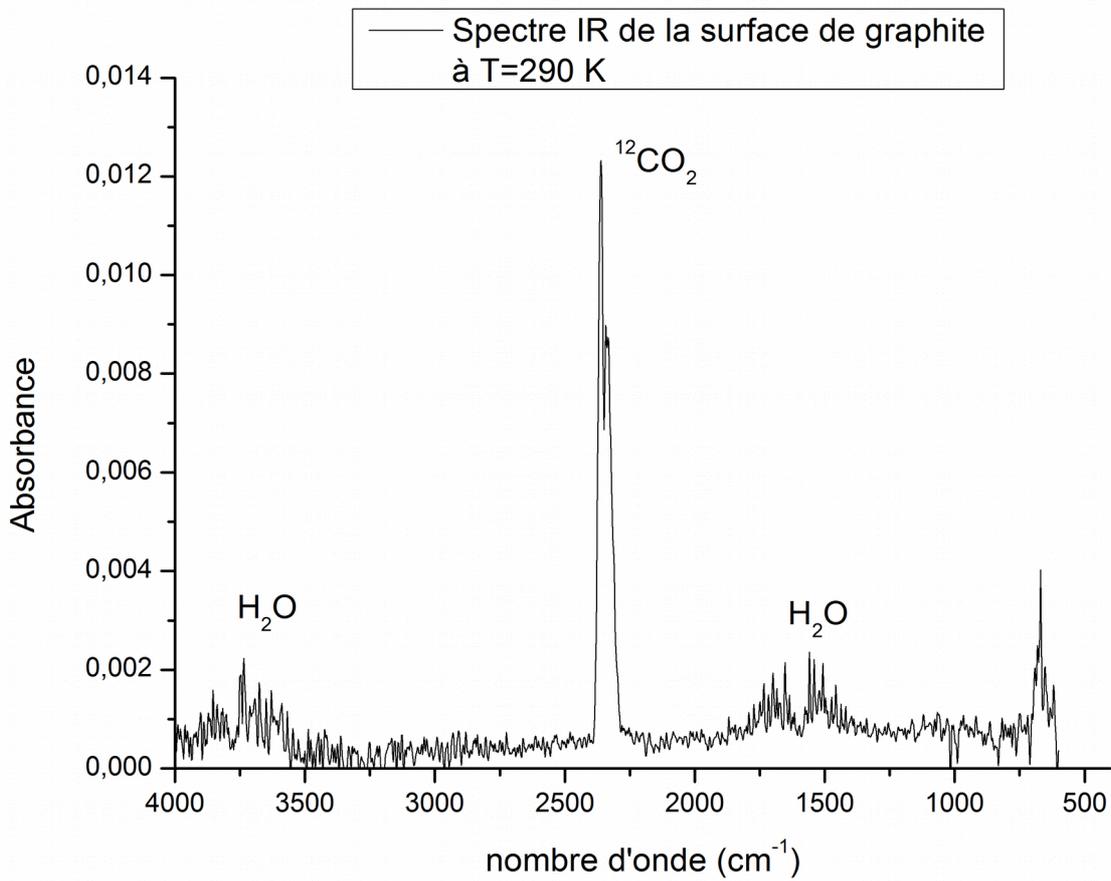


Figure 12: Spectre d'absorption infrarouge RAIRS de l'absorbance en fonction du du nombre d'onde de la surface de graphite à 290 K.

III-3) Dissociation du jet d'hydrogène

Pour reproduire les effets de nuages d'hydrogène atomique sur les espèces dont on étudie la réactivité, on utilise un jet d'hydrogène .

Pour faire cela on ionise les molécules de H_2 au moyen d'ondes électromagnétiques au sein d'un surfatron qui est refroidi à l'air comprimé, on utilise une source micro-ondes reliée par un câble coaxial au jet d'hydrogène pour créer un plasma. La fréquence des ondes est de 2,45 GHz afin qu'elles puissent se propager dans le plasma et la puissance incidente a été fixée à $P = 80$ W.

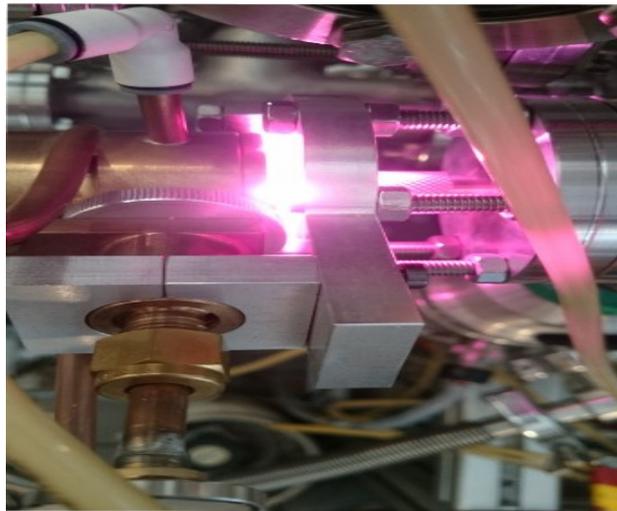


Figure 13:Dissociation du jet d'hydrogène

III-4. Réactivité avec l'hydrogène H sur des surfaces froides

a) Réactivité avec l'hydrogène H sur une surface froide

On a utilisé le jetC pour déposer les molécules et le jetR pour déposer l'hydrogène atomique H afin de faire des comparaisons sur les mesures. La réaction entre la molécules et l'hydrogène H se faisait par exposition successif de H puis des molécules ou par co-déposition des deux entités chimiques (molécules et atomes) simultanément.

b) Spectroscopie RAIRS de la réaction avec l'hydrogène H sur une surface en Or et une surface de glace d'eau amorphe.

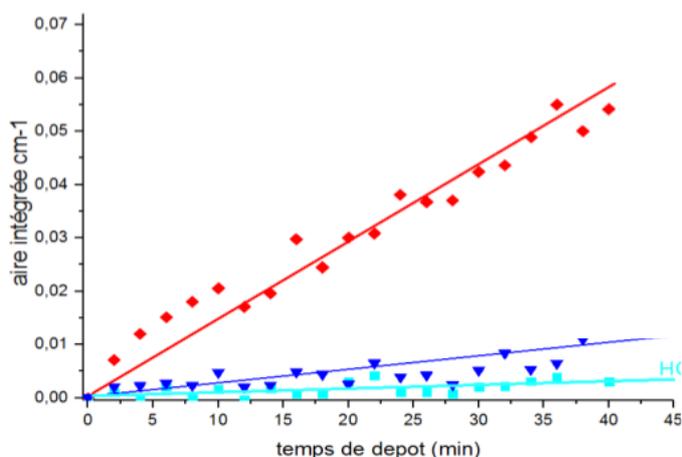
Paramètres OPUS : 260 scans égale 2 minutes environ.

Temps de dépôt 40 minutes.

Température de la surface 10 K

On a procédé tout d'abord à une déposition successive des molécules puis de H.

Puis, le lendemain, on a fait une Co-déposition des molécules et H. Après le traitement de données sur OPUS (intégration des aires sous la bande 1742cm^{-1}) et Origin nous avons tracé la courbe des aires intégrées en fonction du temps de dépôt, dont les résultats sont :



On peut observer qu'il y a bien une réaction à cause de la diminution de la quantité des molécules après la réaction selon la différence de la pente entre les droites des

Meihemid Maha
L3-P

aires intégrées sous la bande 1742cm^{-1} correspondant à la molécule adsorbée sur la surface avant la réaction et pendant la réaction.

On remarque aussi que la quantité des molécules ayant réagi avec l'hydrogène H est plus élevé avec la déposition successive qu'avec la co-déposition ce qui implique qu'il y plus de réactivité chimique pour une déposition couche par couche des espèces chimiques.

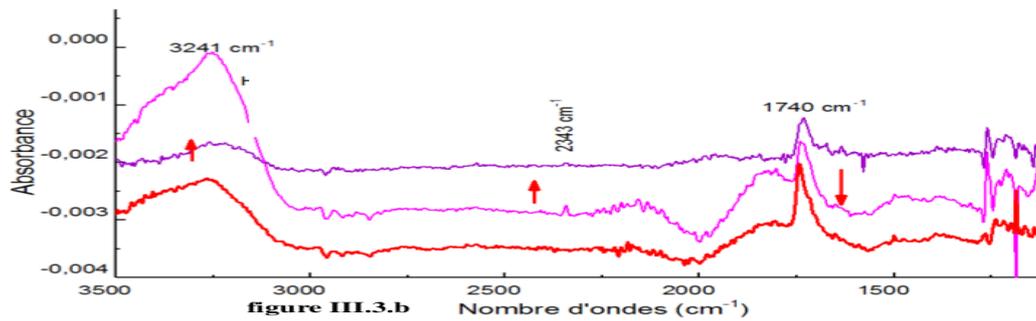


Figure 14 : Spectres d'absorption infrarouge (RAIRS) de l'absorbance en fonction du nombre d'onde sur une surface en Or à 10 K.

IV-Conclusions

- Lors de ce stage nous avons fait des réglages et l'alignement du faisceau infrarouge issu du spectromètre infrarouge jusqu'au détecteur infrarouge MCT en passant par la surface du porte échantillon. Nous avons optimisé la position de la surface du porte échantillon qui permet d'avoir un interférogramme d'intensité 9000 avec une fente $f=2$ mm pour l'enregistrement des spectres IR au cours des expériences.

- Nous avons également effectué l'alignement des jets de l'expérience FORMOLISM par rapport à la surface du porte échantillon pour le dépôt des gaz.

- J'ai reporté les résultats antérieurs de l'étude des réactions chimiques des molécules avec de l'hydrogène atomique H d'intérêt astrophysique sur une surface froide, ainsi qu'utiliser des dispositifs complexes permettant de simuler les conditions du milieu interstellaire. Les produits de la réaction sont le dioxyde de carbone, l'eau et probablement l'aldéhyde et du méthanol.

Ça sera plus intéressant d'étudier cette réaction sur une surface d'intérêt astrophysique comme le graphite ou la glace d'eau et aussi d'avoir d'autres réactions avec par exemple le deutérium D et l'oxygène atomique O en phase solide.

Bibliographie

1) Cours d'Astrophysique de L3 P

2) Page internet : Wikipédia – Milieu interstellaire
https://fr.wikipedia.org/wiki/Milieu_interstellaire

3) Rapport de stage Master M2 de NIO Nicolas, Interaction avec la surface et réactivités de molécules complexes dans les conditions du milieu interstellaire. Université de Cergy-Pontoise, (2016). Etudiant de master M2 de L'ENS de Paris.

4) Rapport de stage de Mariel LIONDA RAKOTONANDRASANA, Etudiant de la licence L3P de l'Université de Cergy-Pontoise (2017)
REACTIVITE AVEC H ET D SUR UNE SURFACE FROIDE utilisant le Dispositif « VENUS »

5) Astrophysique Journal ,LABORATORY STUDIES ON THE FORMATION OF FORMIC ACID IN INTERSTELLAR AND COMETRY ICES, 2011 January 20.

Meihemid Maha
L3-P

