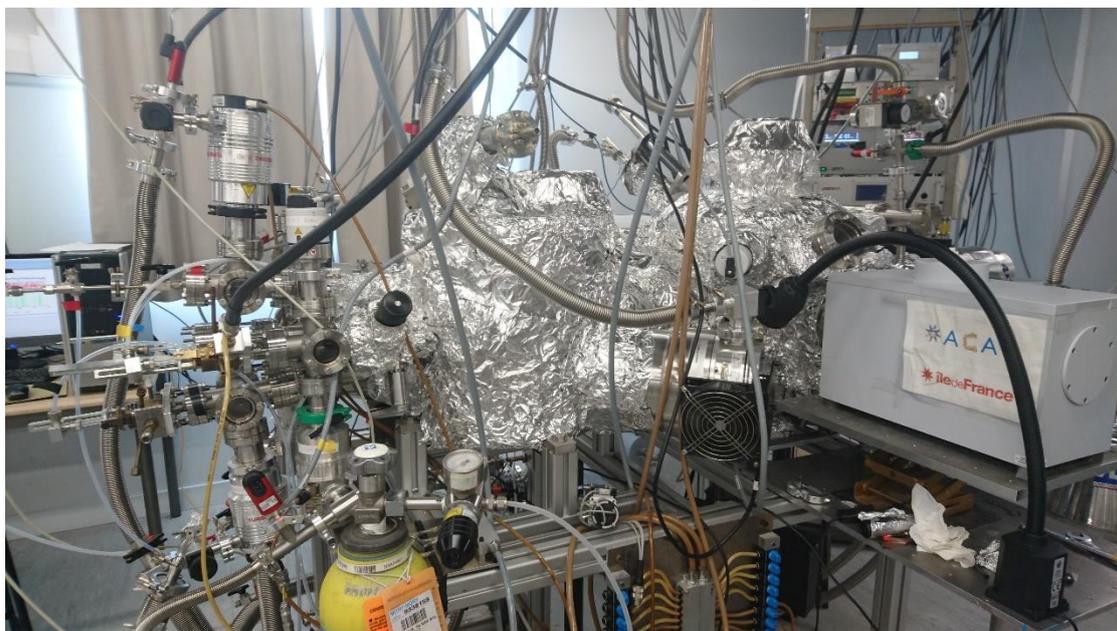


Formation de molécules complexes sur des surfaces froides
simulant les grains de poussières interstellaires

Calibration de VENUS

Rapport de stage

09 Avril / 1^{er} Juin 2018



Maître de Stage : DULIEU François

Directeur du laboratoire

GALLIOT-COSTANTINI Maya

L3 Physique-CMI 2017-2018

Remerciements

Je tiens à remercier toute l'équipe du LERMA pour m'avoir accueilli chaleureusement au sein du laboratoire et pour sa bonne humeur quotidienne.

J'aimerais remercier tout particulièrement Abdellahi SOW, doctorant au sein du laboratoire, qui m'a encadré pendant toute la durée de mon stage. Tout au long de ces deux mois, il n'a eu cesse de m'expliquer tout ce que nous faisons en allant du fonctionnement des différentes parties du dispositif jusqu'à l'utilisation des logiciels en passant par les techniques utilisées. Il a toujours été présent pour m'aider et répondre à mes questions alors qu'il était lui-même en train de préparer sa soutenance de thèse. Il a eu la gentillesse de me donner des conseils pour la rédaction de mon rapport ainsi que pour la préparation de ma présentation.

Je voudrais aussi remercier mon maitre de stage, François DULIEU. Il a pris le temps de m'expliquer clairement les manipulations que j'allais effectuer durant le stage ainsi que de répondre à mes questions en éclaircissant certains mécanismes que je n'avais pas compris. Il m'a permis d'assister à deux de ses cours sur la formation des planètes, qu'il donnait à des étudiants de L3 géologie, afin que je puisse saisir totalement le sujet d'étude du laboratoire.

Table des matières

Remerciements	3
Introduction.....	5
Présentation de l'organisme d'accueil	7
Université	7
Laboratoire	8
Calibration	9
VENUS.....	9
Les chambres et l'ultra vide.....	10
Les jets atomiques et moléculaires	10
Surface de dépôt et porte-échantillon	11
Spectromètre de masse.....	12
Spectromètre IR.....	13
Logiciels utilisés	13
Réactions sur la surface du substrat	14
Accrétion et formation de molécules.....	14
Désorption et TPD	16
Calibration des jets	17
Difficultés rencontrées	17
Pression dans les chambres.....	18
Variation du débit des jets	19
Choix du flux de chaque jet	21
Détermination des monocouches	22
Bilan personnel et professionnel.....	24
Conclusion	25
Bibliographie.....	26

Introduction

En astrophysique, l'astrochimie consiste à comprendre et caractériser les interactions entre les atomes et les molécules dans l'espace. L'étude des réactions chimiques au sein des différents objets interstellaires nous aide à comprendre la formation des étoiles et des planètes ainsi que l'origine des premières molécules complexes présentes dans l'univers.

L'objectif de mon stage est de calibrer les jets atomiques d'un dispositif permettant d'étudier la formation de molécules complexes sur des surfaces froides simulant les grains de poussière interstellaire.

Les étoiles naissent au cœur de nébuleuses appelées « nuages moléculaires » (voir fig.1) au sein du milieu interstellaire (MIS). Le MIS est hétérogène et sa masse est composée à 99% de gaz (majoritairement de l'hydrogène) et de 1% de poussière interstellaire. L'observation de la naissance d'une étoile est très complexe à cause de l'opacité des nébuleuses qui bloquent les rayonnements dans le visible. Néanmoins, elle reste possible en se basant sur d'autres gammes de longueurs d'ondes comme l'infra-rouge.

C'est au cœur des étoiles que vont avoir lieu des réactions chimiques, telles que la fusion nucléaire, qui vont permettre la création de nouveaux éléments. Les étoiles de premières générations vont consommer les atomes d'hydrogène (^1H) à leur disposition afin de créer du deutérium (^2H) puis de l'hélium (^4He). Ce qui va engendrer la création de nombreux autres éléments dont le carbone (C), l'oxygène (O), le magnésium (Mg), le silicium (Si), le fer (Fe) et l'azote (N). Lorsqu'une étoile en fin de vie explose en Supernova, elle expulse dans le milieu interstellaire les éléments chimiques qu'elle a synthétisés en son cœur au cours de sa vie. Ceux-ci vont donc pouvoir interagir avec les grains de poussière interstellaire.

Ces grains sont constitués de silicates, de matière carbonée ou de glaces. Ils se forment grâce aux étoiles en train de mourir, dans l'enveloppe des Géantes Rouges ou lors de l'explosion de Supernovas. Leur masse volumique est comparable à celle de la fumée de cigarette, c'est-à-dire environ 10^{-6} grains de poussière par m^3 . La densité du MIS étant trop faible (environ 1 atome/ cm^3), ils jouent le rôle de catalyseur en permettant aux différents atomes et molécules de se rencontrer et donc de synthétiser de nouvelles molécules. En effet, via des processus physico-chimiques complexes, les éléments qui entrent en contact avec la surface des grains vont y rester, rencontrer d'autres éléments et ainsi créer de nouvelles molécules. H étant l'atome majoritaire dans l'univers, le dioxygène (H_2) est la molécule la plus abondante à se former. Le monoxyde de carbone (CO) est la seconde molécule la plus commune dans le milieu interstellaire.

Toutes ces réactions se déroulent dans l'ultravide, c'est-à-dire pour des pressions de l'ordre de 10^{-9} à 10^{-10} mbar ainsi que pour des températures extrêmement faibles, de l'ordre d'une dizaine de Kelvins. C'est pourquoi nous avons réalisé nos expériences sur un

dispositif expérimental reconstituant ces caractéristiques. Notre but était de calibrer les différentes parties du dispositif afin de permettre la mise en place d'expériences.

Ce rapport rend compte des manipulations que nous avons menées. Il présente les différentes techniques ainsi que les logiciels que nous avons utilisés de même que les différentes réactions physico-chimiques qui entrent en jeu lors de la création des nouvelles molécules.



Figure 1 : Piliers de la création – Amas de poussière interstellaire dans la nébuleuse de l'Aigle. Source : Wikipedia

Présentation de l'organisme d'accueil

Université



L'université de Cergy-Pontoise, fondée en 1991 est membre de la COMUE Université //Paris Seine. Dirigée par François GERMINET, elle propose environ 200 formations et comporte en moyenne 18 500 étudiants répartis dans 5 UFR :

- Droit
- Economie et gestion
- Langues et études internationales
- Lettres et sciences humaines
- Sciences et techniques

Elle englobe aussi l'Ecole Supérieure du Professorat et de l'Education (ESPE), ainsi qu'un Institut Universitaire de Technologie (IUT) et l'Institut d'Etudes Politiques (IEP) Sciences Po Saint-Germain-en-Laye. Le tout réparti sur 10 sites différents dans 3 départements d'Ile-de-France (Val d'Oise, Hauts-de-Seine et Yvelines)

L'université contient 6 plates-formes technologiques, un Institut d'Etudes Avancées (IEA), 3 écoles doctorales (sciences du patrimoine, modélisation mathématique économique et financière et sciences politiques) et 22 laboratoires dont 9 associés au Centre National de la Recherche Scientifique (CNRS). Elle dispose de 5 pôles de recherche, de près de 1000 chercheurs et de 450 doctorants inscrits en thèse.

Mon stage s'est déroulé sur le site de Neuville-sur-Oise au sein du Laboratoire d'Etude du Rayonnement de la Matière en Astrophysique et Atmosphères (LERMA).



Laboratoire d'Étude du Rayonnement et de la Matière en Astrophysique

Le LERMA fait partie du pôle thématique de recherche Matériaux, Molécules et bio-ingénierie. Son responsable à l'UCP est mon maître de stage, François Dulieu. C'est une unité mixte de recherche (UMR 8112) regroupant l'Observatoire de Paris (Paris et Meudon), l'UCP, l'université de Paris VI, le CNRS et l'École Normale Supérieure (ENS) de Paris. Ses effectifs sont de 46 ingénieurs et techniciens, 10 astronomes, 32 enseignants chercheurs, 21 chercheurs, 7 doctorants et 41 post-doctorants.

Le laboratoire regroupe 4 thématiques de recherche :

- Galaxies et Cosmologie
- Molécules dans l'univers
- Instrumentation et télédétection
- Dynamique des milieux interstellaires et plasmas stellaires

Mon stage se déroulait au sein du pôle Molécules dans l'univers. Les objectifs de ce groupe de recherche sont de permettre la modélisation de milieux complexes en obtenant des paramètres moléculaires fondamentaux d'une très grande précision ainsi que de comprendre et prédire des processus moléculaires méconnus en conditions extrêmes à l'échelle atomique et moléculaire.

Le laboratoire comporte 10 membres permanents : un directeur enseignant-chercheur, trois maîtres de conférences, deux ingénieurs, un post-doctorants et trois doctorants.

L'équipe de recherche dans laquelle j'ai passé deux mois travaille sur deux grands thèmes : l'astrophysique en laboratoire et l'astrophysique observationnelle. Pour cela, elle étudie la physique atomique et moléculaire appliquée à l'étude de molécules d'intérêt astrophysique ainsi que les régions de formation des étoiles et la structure du milieu interstellaire. Pour ce faire, elle dispose de deux dispositifs expérimentaux pouvant reproduire les conditions extrêmes de formation des molécules dans le milieu interstellaire. Ces expériences sont VENUS (VErs de NoUvelles Synthèses) et FORMOLISM (FORMation of MOLécules in the InterStellar Medium).

C'est sur VENUS que nous avons réalisé nos expériences durant mon stage.

Calibration

VENUS

Le projet VENUS (VERs de NOUvelles Synthèses) à été lancé en 2011. Ce dispositif a pour but d'étudier la formation des molécules au cœur des étoiles, c'est-à-dire dans des conditions de pression et température extrêmement basses ainsi que sans apport d'énergie.

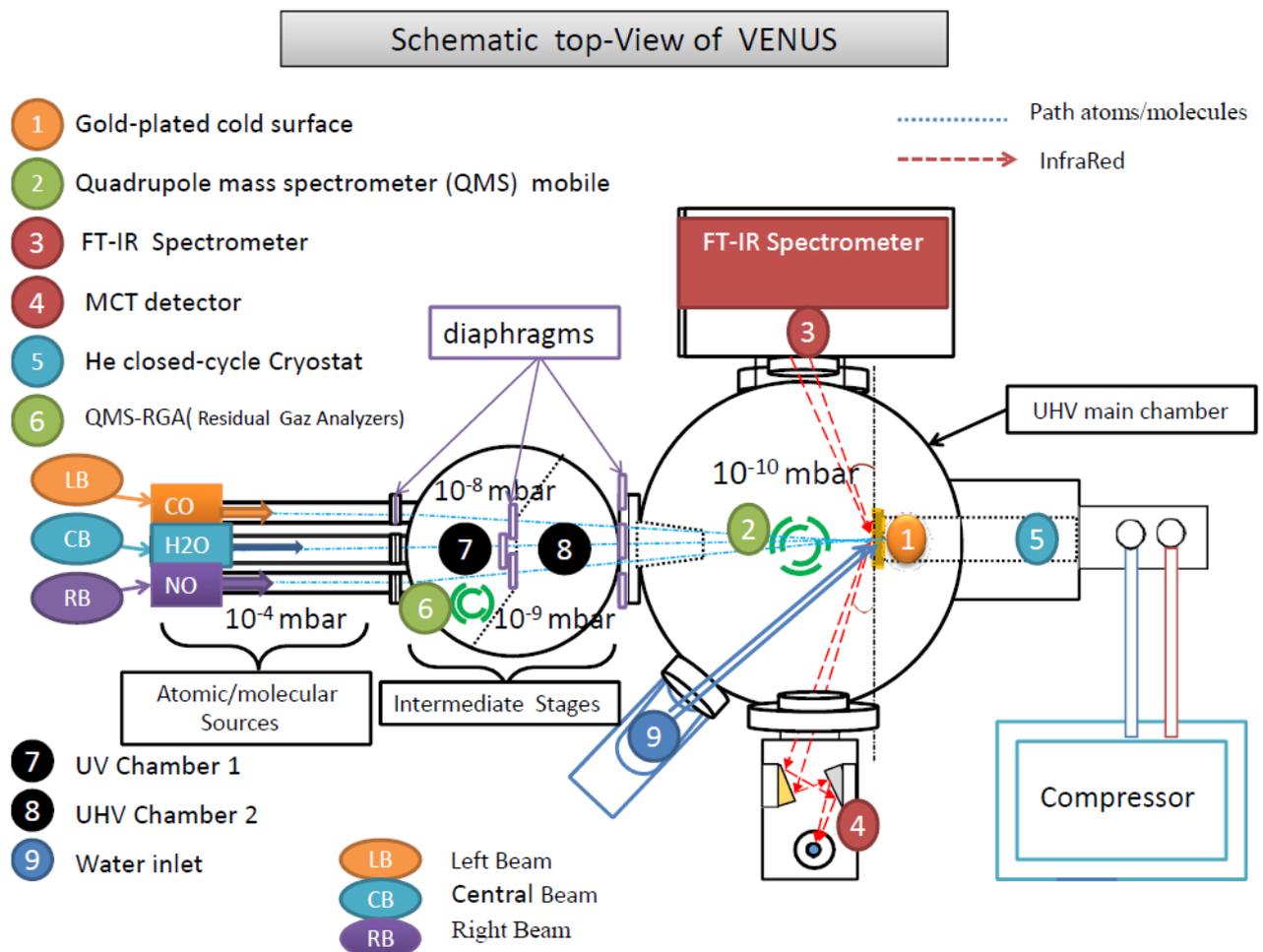


Figure 2 : Schéma de VENUS vue du dessus. Source : A.Sow in prep.

Lors de l'utilisation du dispositif (voir fig.2), 5 jets atomiques et moléculaires permettent de réaliser des dépôts. Les molécules traversent la chambre intermédiaire avant d'arriver dans la chambre principale où elles vont se déposer sur un porte-échantillon. Les réactions vont ensuite pouvoir être étudiées à l'aide de techniques de spectroscopies de masse via le QMS (Spectromètre de Masse Quadripolaire), de spectroscopie IR (Infra-Rouge).

Les chambres et l'ultra vide

Ce dispositif doit simuler les conditions du MIS. Les expériences se déroulent donc dans l'ultra vide à l'intérieur de la chambre principale : l'enceinte UHV (Ultra High Vacuum) placée sous une pression de 10^{-10} mbar. Avant d'arriver dans la chambre principale, les molécules passent par une chambre intermédiaire capable de les caractériser. Cette seconde chambre est divisée en deux parties avec pressions de respectivement 10^{-7} mbar et 10^{-9} mbar.

La chambre principale est la seule à être sous ultra vide, c'est-à-dire que sa pression est inférieure à 10^{-9} mbar. C'est pour cela que toutes les expériences se font dans son enceinte. Cette pression très faible est rendue possible grâce à un système de pompage. Elle ne permet la subsistance que de quelques molécules dont majoritairement du H_2 (dihydrogène), dûe à la masse atomique très faible de l'hydrogène.

L'obtention des conditions de l'ultra vide est rendue possible grâce à un système de pompage. Nous utilisons pour cela une pompe turbo-moléculaire couplée à une pompe primaire. La pompe turbo-moléculaire est une pompe cinétique à entraînement mécanique. Elle est constituée d'un empilement de disques à ailettes appelés rotors et stators. Cette pompe très efficace entraine les molécules jusqu'à ces pales.

Les jets atomiques et moléculaires

Les sources du dispositif sont cinq jets atomiques et moléculaires qui permettent d'envoyer des molécules sous forme de gaz. La pluralité des jets permet d'envoyer un nombre important de molécules différentes en même temps lors des manipulations, ce qui est un très gros avantage quand on le compare au dispositif FORMOLISM qui ne possède que deux jets.

Pour réaliser des dépôts, la pression à l'intérieur de ces jets doit être de l'ordre de 10^{-5} mbar. Les jets sont orientés de manière que les molécules soient directement projetées vers la surface de dépôt située sur le porte échantillon. A chaque jet est attribuée une petite pompe permettant de maintenir la pression voulue (fig.3).

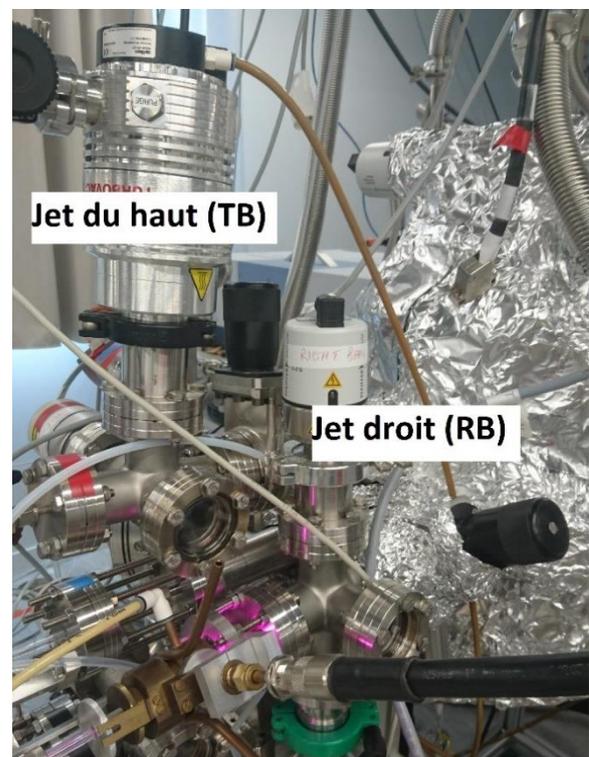


Figure 3 : Photographie faisant apparaître le TB et le RB

Surface de dépôt et porte-échantillon

Sur le porte-échantillon a été déposé un miroir d'or (fig.4). Ce miroir est un disque d'un centimètre carré. Nos expériences s'effectuent pour des températures allant de 10K à 180K. Pour atteindre ces températures, le porte échantillon est relié à des résistances chauffantes et refroidit par un cryostat. Le cryostat permet de faire descendre la température du porte-échantillon jusqu'à 5K. Il fonctionne grâce à la circulation d'hélium gazeux passant par un compresseur au sein d'un circuit fermé. Le porte-échantillon possède aussi des capteurs nous permettant de connaître exactement sa température.

Le choix de l'or en surface de dépôt n'a pas été fait au hasard. Il présente en effet de nombreuses qualités utiles à nos expériences Il est presque insensible à l'oxydation. Nous pouvons donc l'utiliser pendant longtemps sans craindre qu'il s'abîme. De plus, l'or réfléchit parfaitement les rayons IR, on obtient alors des données de spectroscopie IR précises. Il est aussi un excellent conducteur thermique, ce qui permet d'assurer que la réaction se déroule bien à la température souhaitée.

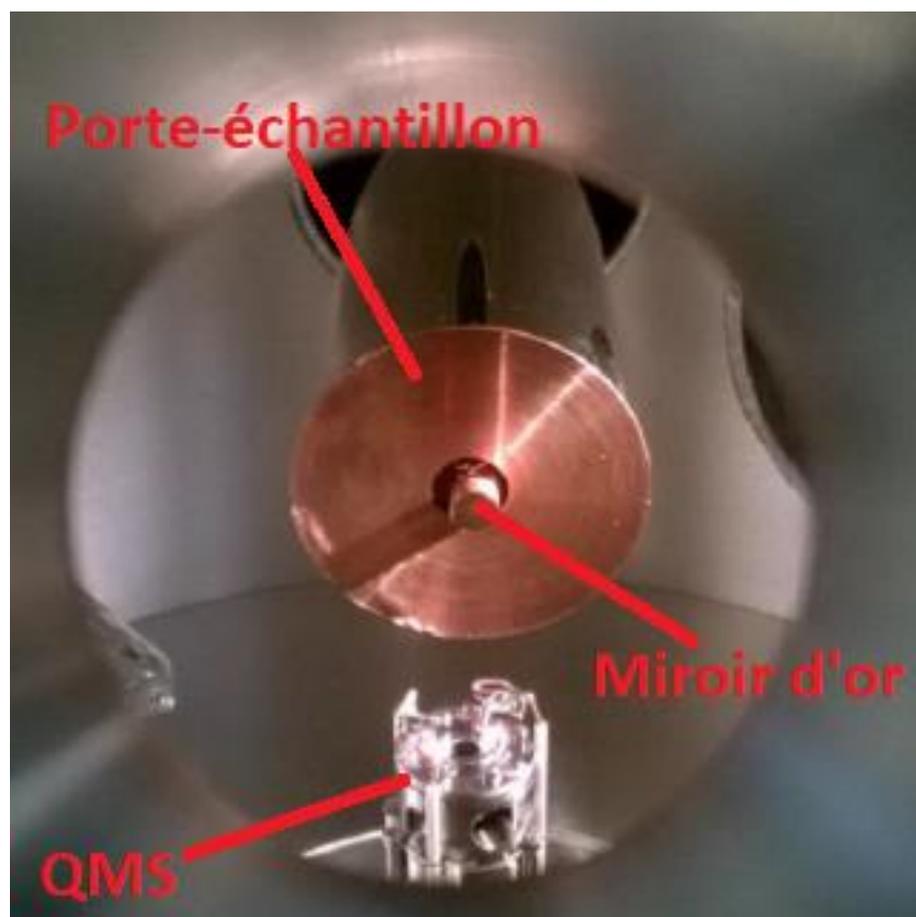


Figure 4 : Photographie de l'intérieur de la chambre principale. Source : Rapport de C.Soumare

Spectromètre de masse

Nous utilisons un QMS (Quadripole Mass Spectrometry) (fig.5). Il est situé dans la chambre principale, devant le porte-échantillon (fig.4). Son positionnement nous permet de le baisser lorsque l'on veut effectuer un dépôt et ainsi éviter qu'il bloque les jets. On peut ensuite le remonter pour observer les molécules présentes. Ce spectromètre de masse enregistre les impacts des différentes molécules sur sa surface de détection.

Son fonctionnement consiste à ioniser les espèces présentes sous forme de gaz grâce à des filaments situés dans sa tête de détection. L'énergie de ses électrons est de 32 eV et il attire les molécules ionisées vers son détecteur grâce à une différence de potentiel. Les particules sont alors séparées grâce à un filtre de masse qui va les trier en fonction du rapport entre leur masse molaire et leur charge électronique. Les ions sont ensuite détectés par un SEM (Secondary Electron Multiplier). Nous mesurons un signal donné en nombre de coups par secondes (cps) nous permettant de suivre l'évolution d'une espèce au cours du temps avec une très grande précision.

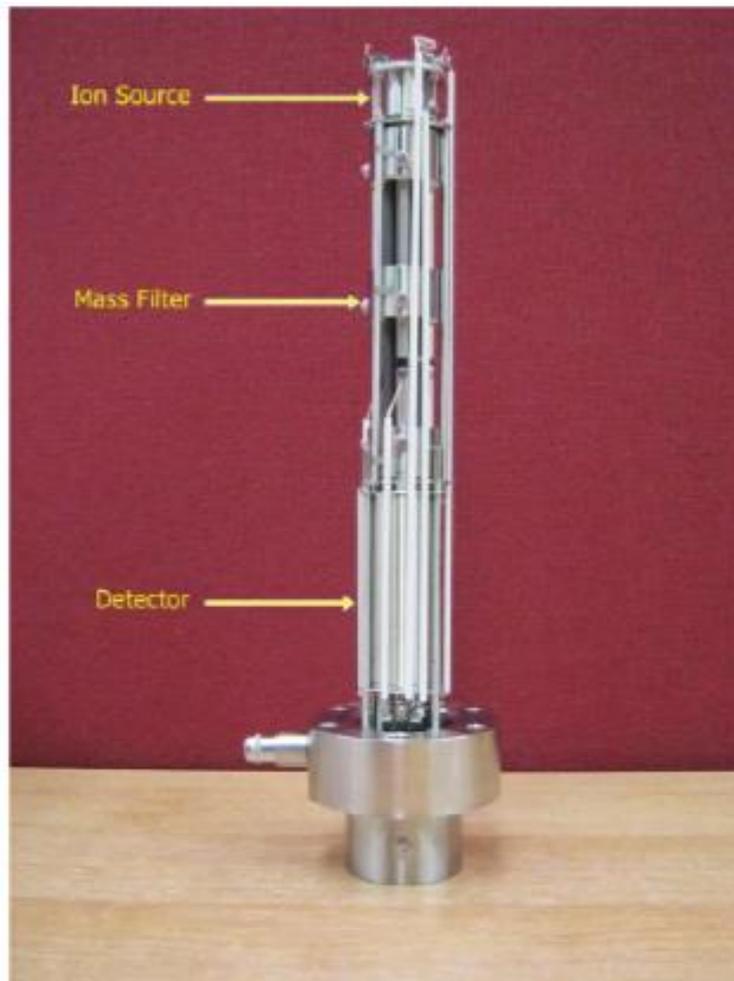


Figure 5 : QMS. Source : Rapport C.Soumare

Spectromètre IR

Nous utilisons un spectromètre Vertex 70v de chez Bruker Optics positionné sur le côté de la chambre principale. Il nous permet de réaliser des spectres IR des molécules présentes sur la surface d'or et donc d'identifier les composés chimiques présents sur le substrat. Le spectromètre envoie un rayon infrarouge sur la surface d'or qui le reflète jusqu'à un détecteur placé de l'autre côté de la chambre. Le détecteur est préalablement refroidi avec de l'azote liquide pour pouvoir capter le signal reçu. Une fois que l'information reçue par le détecteur est traitée, nous obtenons le spectre correspondant aux molécules présentes sur le substrat. Il faut ensuite analyser le spectre avec les tables de correspondance entre longueurs d'ondes et molécules pour déterminer exactement les espèces que nous observons. Cela nous est utile pour pouvoir suivre l'évolution de la quantité des espèces présentes lors des expériences (fig.6). On peut observer les espèces qui se déposent, celles qui se forment et celles qui disparaissent en intégrant l'aire des parties du spectre qui nous intéressent.

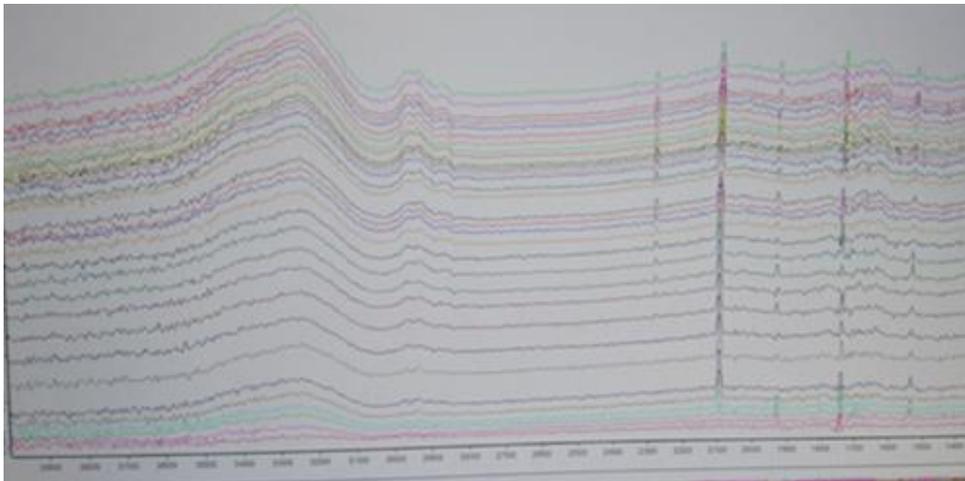


Figure 6 : Photographie des spectres réalisés durant le dépôt de CO et de H

Logiciels utilisés

Lors des calibrations, nous avons utilisé quatre logiciels différents.

Le logiciel *MASsoft* développé par Hiden Analytical permet d'avoir des données relatives au QMS. Il offre la possibilité d'afficher une courbe qui affiche en temps réel le nombre de cps perçu par le QMS pour les masses des éléments que l'on veut observer.

Le logiciel *OPUS* développé par Bruker est lié au spectromètre IR. Il nous permet de faire s'afficher les spectres des molécules sur la surface ainsi que d'analyser ces résultats.

Le logiciel *Origin 8* permet l'analyse et le traitement de données. C'est dans ce logiciel que l'on rentre nos résultats pour les traiter et les afficher sous forme de graphiques.

Le logiciel *Labview* développé par National Instrument nous permet de contrôler certains paramètres de manipulation comme le flux des jets, l'affichage de la pression dans les différentes parties du dispositif et la température via le module *Lakeshore*.

Réactions sur la surface du substrat

Lorsque que nous déposons des particules sur la surface d'or refroidie, un phénomène d'accrétion à lieu et elles restent coincées sur le substrat. C'est à ce moment que les différents atomes réagissent entre eux en diffusant sur la surface et ainsi permettre la création de molécules. Lorsque la température de l'échantillon augmente, les molécules piégées quittent la surface (fig.7). On dit qu'elles désorbent. Cela nous permet de les observer grâce à une technique de TPD (Thermal Program Desorption).

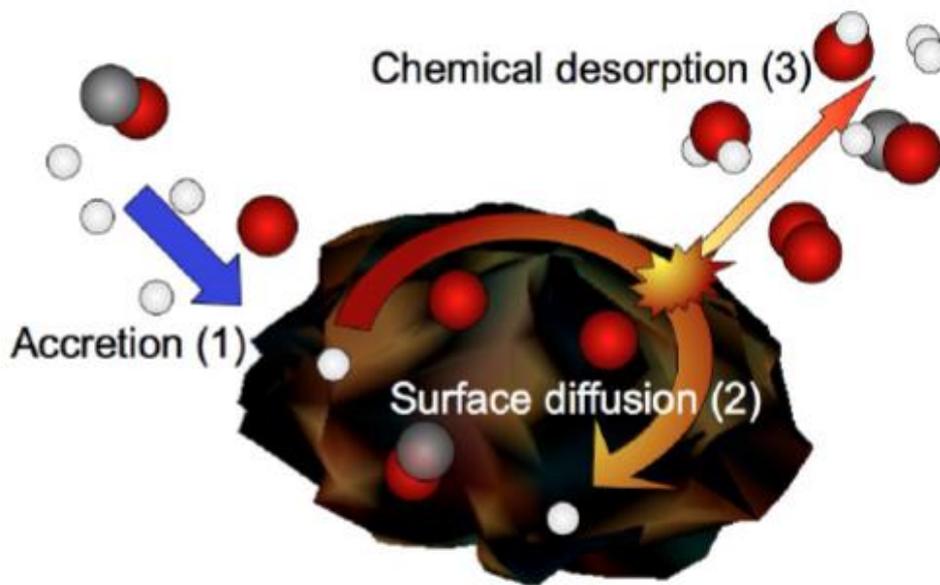


Figure 7 : Schéma représentant les étapes menant à la désorption. Source : Présentation François Dulieu sur le site de l'UCP

Accrétion et formation de molécules

Les particules projetées sous forme gazeuse vont entrer en contact avec le substrat refroidi à une température d'environ 10K. C'est à ce moment-là qu'elles vont venir combler des sites pouvant les accueillir. Cette accrétion est rendue possible soit par un processus de physisorption, soit par un processus de chimisorption.

Lors de la physisorption, les atomes sont absorbés par la surface sans qu'il n'y ait de liaisons chimiques qui se créent. Les seules forces entrant en jeu sont celles de Van der Waals. Contrairement à la chimisorption, durant laquelle les atomes incidents créent des liaisons chimiques avec le substrat (fig.8).

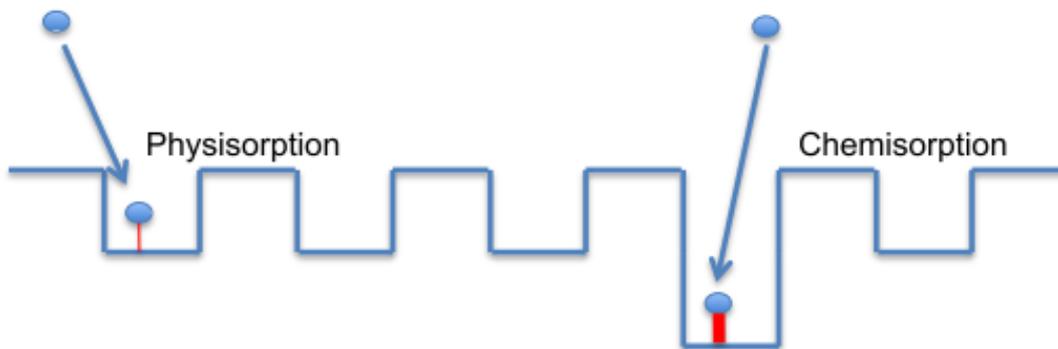


Figure 8 : Schéma explicatif de l'accrétion des molécules. Source : [1]

Les particules ainsi absorbées par la surface vont ensuite créer de nouvelles molécules selon un des deux mécanismes suivants :

- Langmuir-Hinshelwood : mécanisme intervenant dans le cas de deux atomes absorbés dans des sites différents de la surface. Ces atomes se regroupent pour former des molécules en diffusant sur la surface. Les particules passent d'un site à l'autre par effet tunnel ou par saut thermique (fig.9). [1]

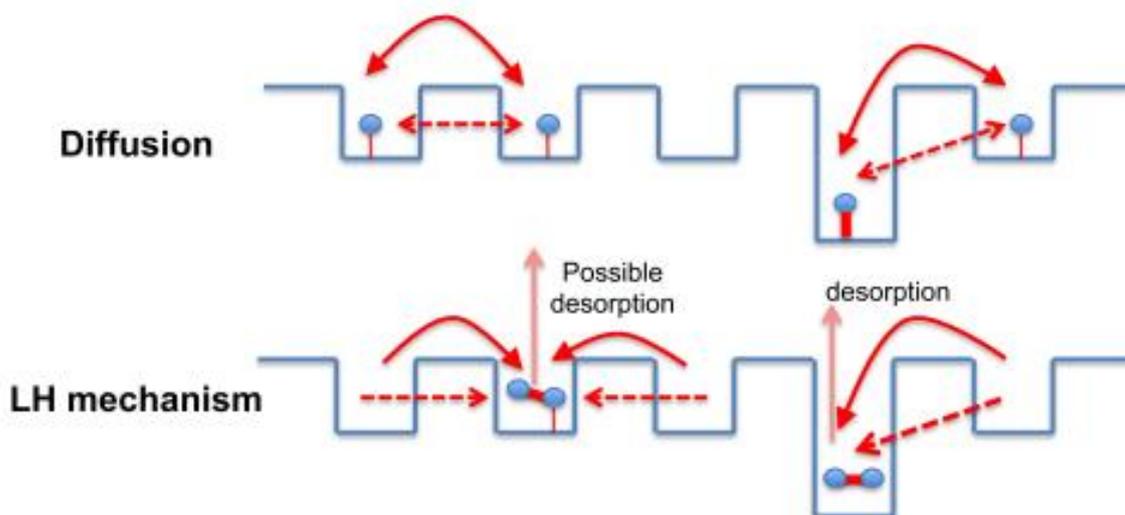


Figure 9 : Schéma explicatif de la diffusion. Source : [1]

- Eley-Rideal : mécanisme consistant en la formation d'une molécule lorsqu'un atome en phase gazeuse arrive sur la surface et est absorbé dans un site contenant déjà un autre atome. Ils entrent en collision et ils ont ainsi possibilité de former une particule (fig.10). [1]

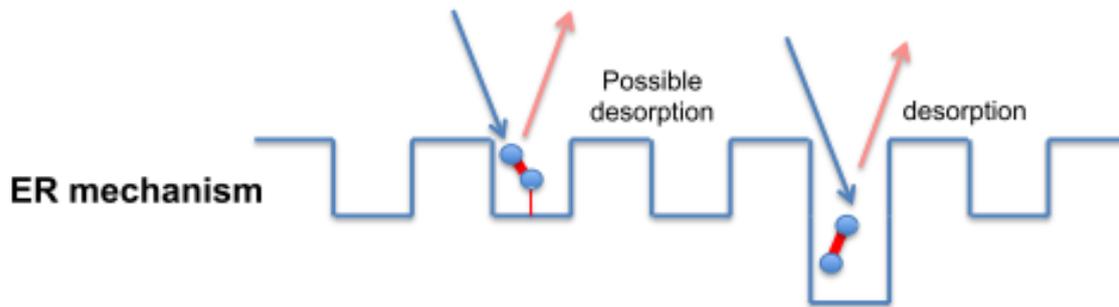


Figure 10 : Schéma explicatif du mécanisme ER. Source : [1]

Désorption et TPD

La désorption est le retour des molécules en phase gazeuse lorsqu'elles quittent le substrat. Elle intervient quand la surface chauffe. La dynamique de désorption des molécules depuis une surface suit le modèle théorique de la loi d'Arrhenius et son taux de désorption est donné par l'équation de Polanyi-Wigner :

$$r = -\frac{dN}{dt} = AN^n \exp\left(-\frac{E_{ads}}{kT}\right) \quad [2]$$

Avec A le facteur pré-exponentiel d'efficacité de la désorption, N le nombre de molécules absorbées par la surface, n l'ordre de la réaction, k la constante de Boltzmann, T la température et E_{ads} l'énergie d'absorption de la molécule à la surface.

La technique du TPD nous permet de profiter de ce phénomène afin de caractériser les molécules présentes après interactions sur la surface. Cette méthode consiste à faire augmenter linéairement la température de 10K à 200K. Les différentes molécules ne désorbent pas à la même température en fonction de leur masse et de la force de leurs liaisons avec la surface. Ainsi, les molécules ne désorbant pas toutes en même temps, il est possible de les différencier facilement grâce au QMS. De plus, leur plage de température de désorption peut nous donner de nombreuses informations et nous aider à déterminer la cinétique des molécules étudiées ([3]). Le TPD est très efficace pour déterminer le temps de dépôt nécessaire à la formation d'une monocouche (ou monolayer ML). La monocouche étant la quantité de molécules pour remplir complètement un site d'accrétion. En adaptant l'équation précédente au TPD, on obtient :

$$r = \frac{dN}{dT} = \frac{A}{\beta} N^n \exp\left(-\frac{E_{ads}}{kT}\right) \quad [4]$$

Avec β le taux de chauffage

Calibration des jets

La majeure partie de mes activités durant mon stage a été de travailler à la calibration des jets de VENUS pour préparer les expériences prévues par le laboratoire. La calibration est une étape très importante car elle permet de tout mettre en place afin de s'assurer que l'expérience se passera dans les meilleures conditions possibles et en ayant le maximum de données sur le fonctionnement du dispositif. Le principal objectif de la calibration est, pour chaque jet, de sélectionner un flux ainsi que de déterminer le temps de dépôt nécessaire à la formation d'une monocouche. Néanmoins, d'autres manipulations préalables sont requises afin de s'assurer que le dispositif n'ait pas de défauts. L'expérience prévue ensuite ne demande l'utilisation que de trois molécules, H, CO et H₂O. Nous avons donc eu à calibrer seulement trois jets. Ces jets sont le jet central (CB), le jet du haut (TB) et le jet droit (RB).

Difficultés rencontrées

Au début de chaque journée de manip, nous vérifions l'état de la machine pour pouvoir réaliser nos calibrations dans de bonnes conditions. Les principaux problèmes que nous avons rencontrés sont liés à des fuites et à la présence de masses parasites dans les enceintes.

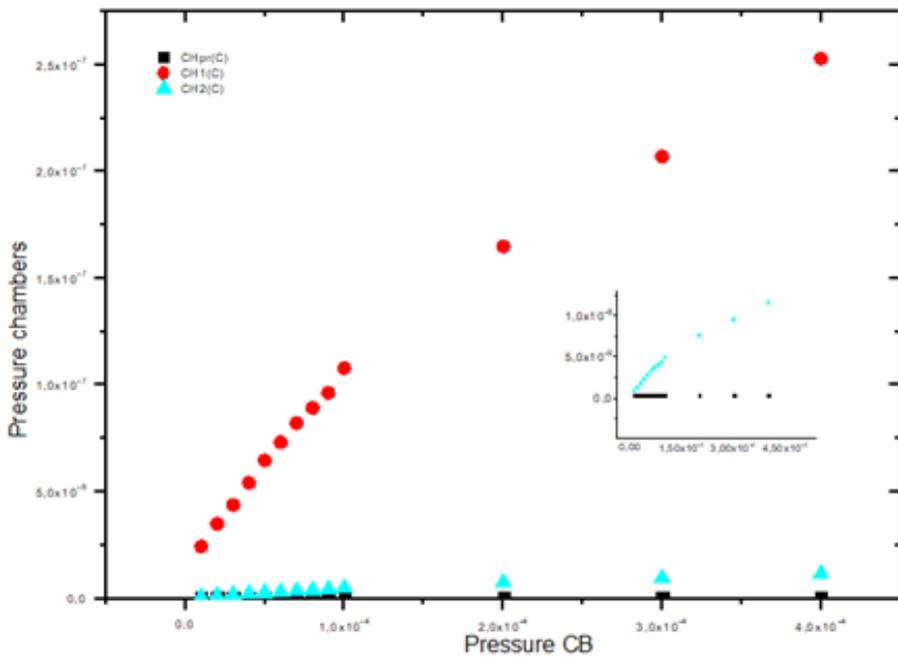
Les fuites sont repérables en observant les pressions de chaque partie du dispositif. Si jamais un jet ou une chambre a une pression trop basse, c'est qu'il y a une fuite. Une fuite, si elle n'est pas repérée, est très embêtante car elle peut aller jusqu'à casser le vide de nos expériences et donc fausser toutes nos manipulations. Elles sont le plus souvent dues à une erreur dans le montage comme un tuyau mal fermé. Dans ce cas, pour détecter leur origine, on augmente la pression dans chaque partie du dispositif. Si on observe que la pression ne varie pas comme attendu, nous avons réussi à trouver la localisation de la fuite et il ne reste plus qu'à la réparer.

Elles peuvent aussi être causées par une impureté à l'intérieur du dispositif. Tout comme les masses parasites, les impuretés sont des molécules présentes à l'intérieur de l'enceinte alors qu'on ne voudrait pas qu'elles y soient. Les masses parasites peuvent donc venir fausser nos résultats et il est important de vérifier qu'il n'y en a pas avant de commencer nos mesures. Pour cela, il suffit de regarder le signal donné par le QMS. Le signal reçu pour chaque masse doit être extrêmement faible voire inexistant. La masse 1 (M1) représentant l'hydrogène est la seule à être quand même présente dans l'enceinte à cause de son extrême difficulté à être pompée. En cas de présence de masses parasites ou d'impuretés, la solution est de les *flasher*. C'est-à-dire d'augmenter la température jusqu'à 170K pour qu'elles s'évaporent et pour nous permettre de les pomper.

Une fois ces vérifications effectuées, nous pouvons commencer notre travail de calibration.

Pression dans les chambres

Lors de l'utilisation des jets, la pression à l'intérieur des différentes chambres peut être altérée. Les expériences devant se dérouler obligatoirement dans l'ultra vide, nous vérifions que la pression relevée dans la chambre principale ne chute pas. Pour cela, nous faisons varier la pression des jets tout en relevant les valeurs des pressions dans les différentes chambres. Ces manipulations ont été effectuées pour les jets CB (fig.11) et TB (fig.12).



On constate que la pression augmente fortement dans la première chambre de l'enceinte intermédiaire et beaucoup moins dans la seconde chambre. Parallèlement, on observe que la pression dans la chambre principale reste constante. La pression du jet ne modifie donc pas l'ultra vide de l'expérience.

Figure 11 : Evolution de la pression dans les chambres en fonction de la pression du CB

12/04/2018 17:00:41

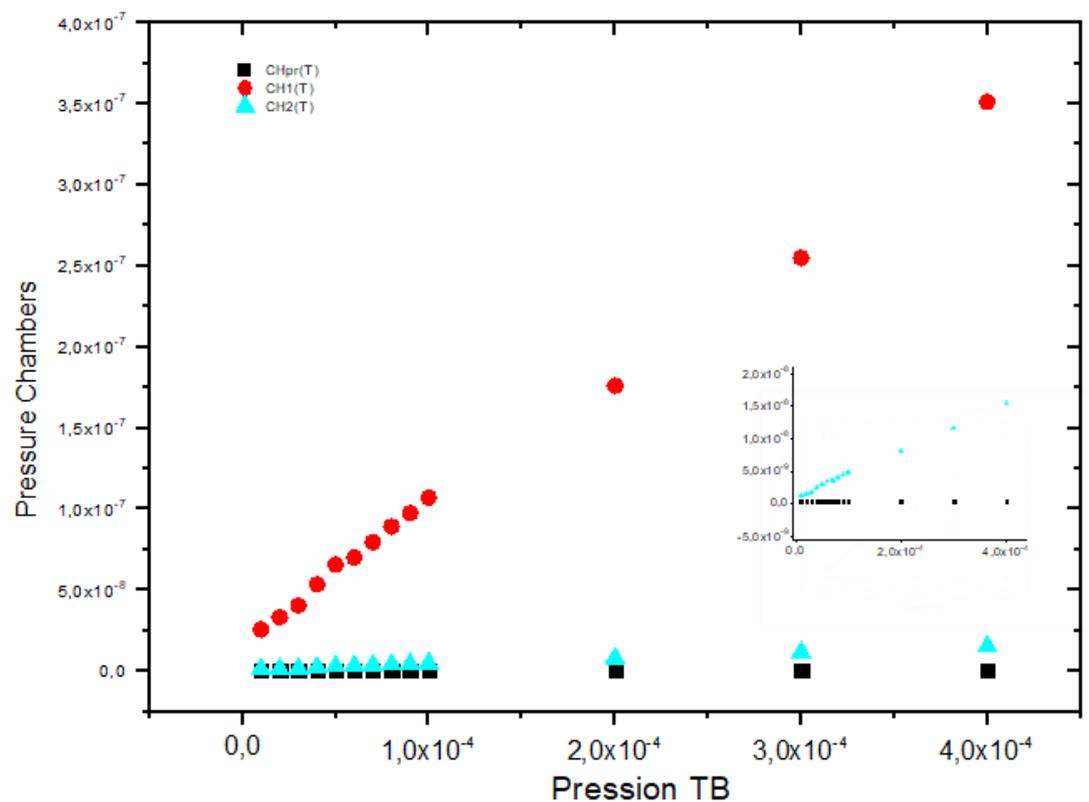


Figure 12 : Evolution de la pression dans les chambres en fonction de la pression du TB

Variation du débit des jets

Notre but ici est de vérifier le bon fonctionnement de chaque jet. Pour cela, il fallut augmenter petit à petit le débit de chaque jet, tout en relevant les valeurs de pressions mesurées dans les jets (fig.13, 14 et 15). Pour un jet fonctionnant correctement, la pression augmente linéairement avec le débit. Nous avons ensuite tracé les courbes représentant l'évolution de la pression en fonction du débit. La pression est donnée en 10^{-5} mbar et le débit en centimètre cube standard par minute (sccm).

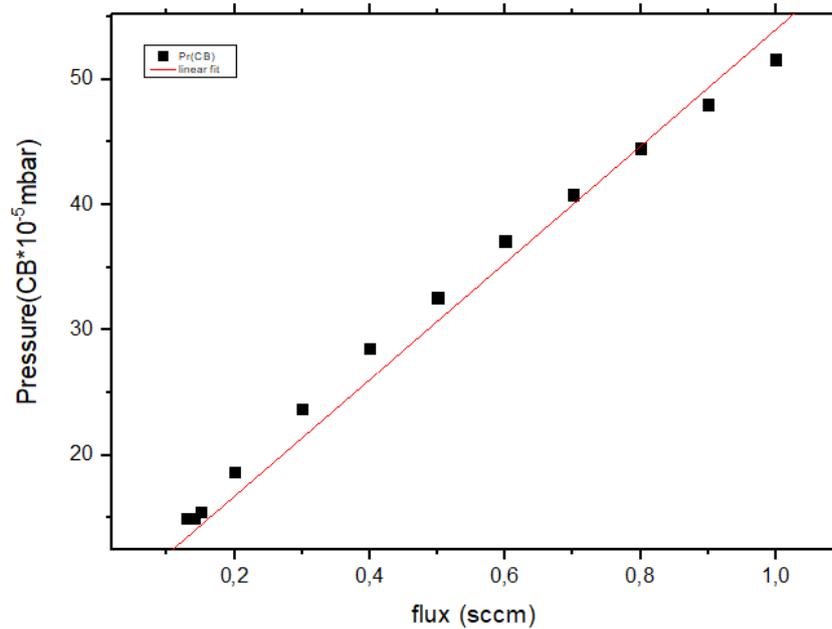


Figure 13 : Résultats CB

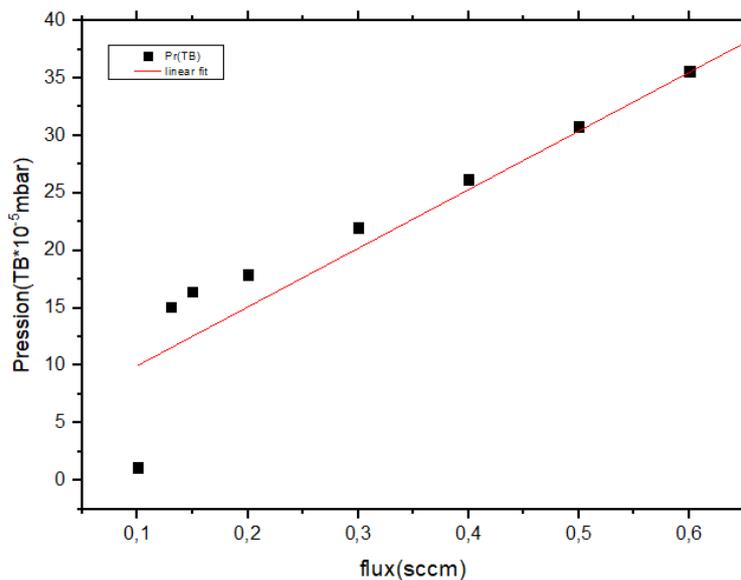


Figure 14 : Résultats TB

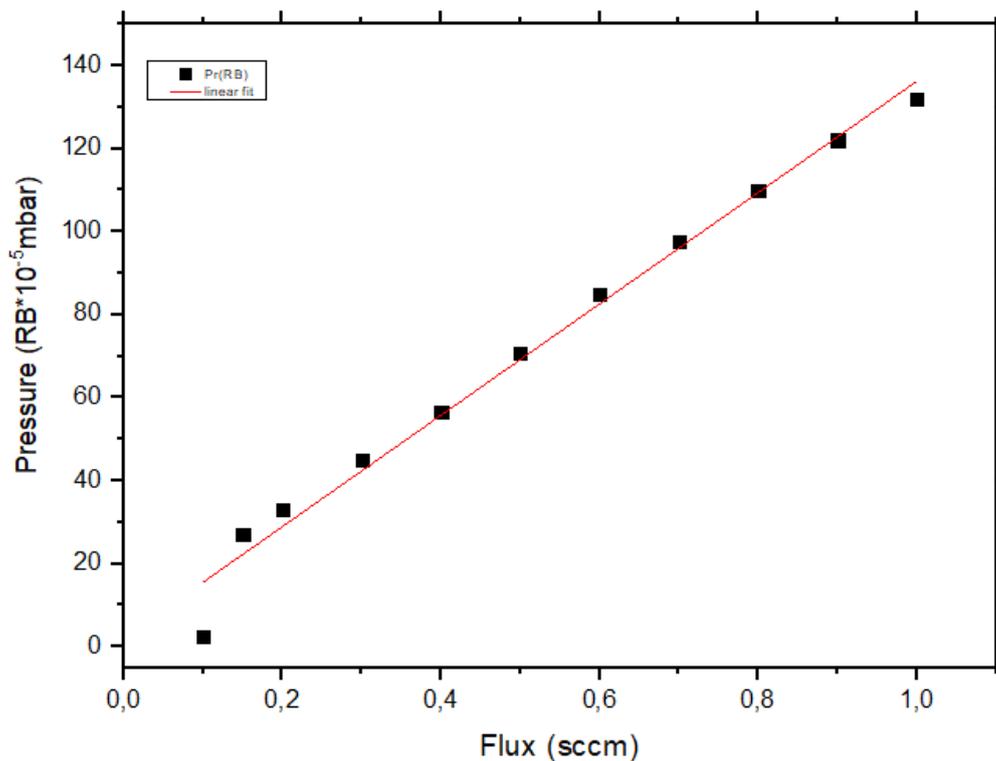


Figure 15 : Résultats RB

Après analyse des courbes, on peut considérer que les jets fonctionnent correctement pour nos expériences. On remarque néanmoins qu'il vaut mieux éviter les flux inférieurs ou égaux à 0,1 sccm pour les jets TB et RB car la valeur de pression obtenue est trop faible pour être satisfaisante au vu des autres résultats. Cela est certainement dû au fait que le logiciel permettant d'influer sur le débit de gaz n'est pas performant pour des débits aussi faibles. On remarque que les pentes de chaque droite sont différentes. Les jets n'ont donc pas la même sensibilité. Il est alors nécessaire de les calibrer les uns par rapport aux autres.

Choix du flux de chaque jet

La molécule utilisée pour la calibration des jets est le ^{13}CO (monoxyde de carbone 13) correspondant à la masse 29 (M29) repérée par le QMS. Le choix de cette molécule est justifié par le fait qu'elle se repère très facilement et qu'elle est la molécule avec le meilleur mouillage. C'est-à-dire que c'est une molécule qui s'étale très efficacement sur la surface du substrat et qu'elle y reste accrochée. De ce fait, cette molécule sera utilisée avec chaque jet pour déterminer le temps de dépôt nécessaire pour remplir une monocouche. Le flux de chaque jet doit donc être déterminé de manière à ce qu'il envoie la même quantité de molécules. Cela nous permet donc de savoir exactement le nombre de molécules que nous utilisons.

Pour cela, nous avons mesuré pour chaque flux de chaque jet, le nombre de coups par secondes (cps) que le QMS a enregistré. Les manipulations ont été faites à 10K et nous avons flashé les molécules entre chaque mesure afin de ne pas avoir de ^{13}CO parasite. En faisant apparaître ces résultats sur un graphique, nous avons déterminé des flux donnant le même nombre de cps (fig.16).

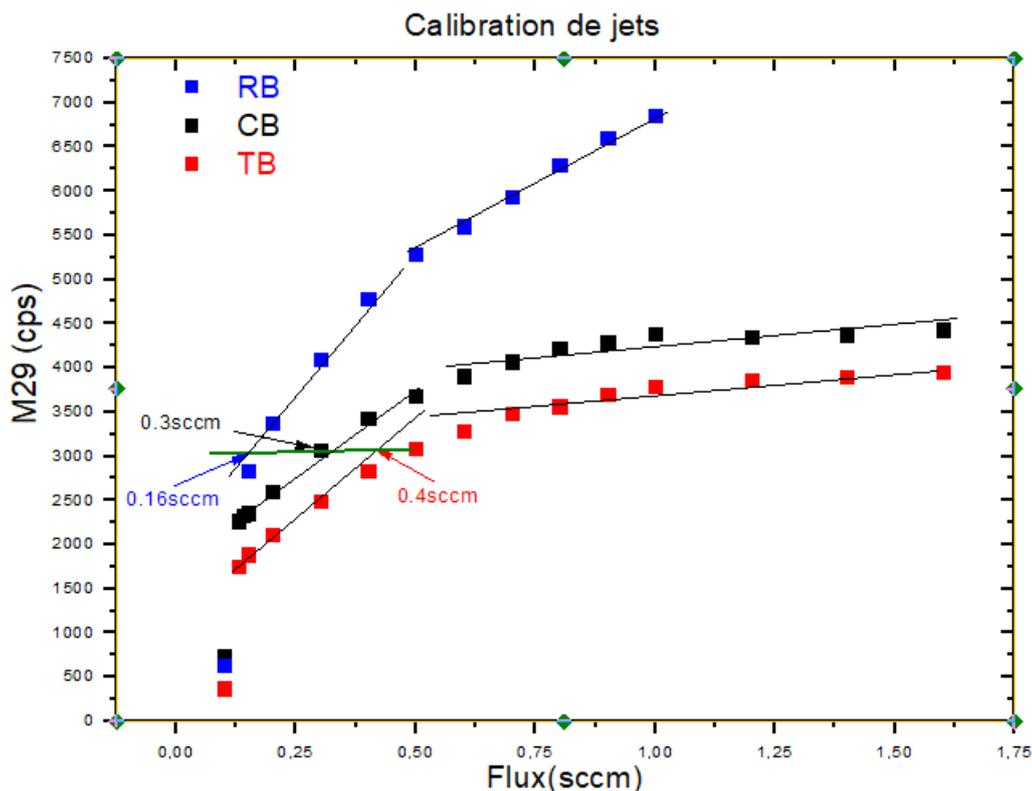


Figure 16 : Détermination du flux de chaque jet

Les courbes obtenues peuvent être séparées en deux parties. On peut les dissocier en deux droites de pentes différentes. Les meilleurs résultats sont obtenus pour les droites dont les pentes sont les plus élevées, c'est-à-dire des flux compris entre 0.15 sccm et 0.5 sccm. Au-delà, la pente des droites correspondantes à la deuxième partie des courbes sont plus faibles. Cela signifie que le nombre de cps perçu par le QMS n'augmente presque plus, ce qui n'est pas logique car l'augmentation du flux entraîne obligatoirement une augmentation du

nombre de molécules de ^{13}CO dans la chambre principale. On en conclut que le QMS sature et qu'il est donc inutile d'utiliser des flux si puissants. Après analyse des résultats, le flux sélectionné pour le CB est de 0.3 sccm, celui pour le TB est de 0.4 sccm et pour le RB, nous utiliserons un flux de 0.16 sccm.

Détermination des monocouches

La dernière partie de la calibration consiste à déterminer le temps de dépôt nécessaire à la formation d'une monocouche. Nous utilisons encore la molécule de ^{13}CO pour les raisons expliquées précédemment. Nous pouvons trouver les monocouches en utilisant le TPD.

Le protocole à suivre est très simple. Tout d'abord, nous abaissons le QMS afin de permettre aux molécules de ^{13}CO de se déposer sur le miroir d'or. Nous réalisons des dépôts d'une durée variant de 1min à 8 min en allant de minutes en minutes et *flashons* les molécules présentes après chaque mesure. Une fois le dépôt effectué, nous remontons le QMS avant de faire augmenter linéairement la température de la surface. Ainsi, en utilisant la technique du TPD, nous pouvons observer la plage de températures sur laquelle la molécule désorbe. La figure de désorption obtenue pour chaque minutage a la même forme jusqu'à la complétion de la monocouche. Lorsqu'on envoie plus de molécules que nécessaire à la formation de cette dernière, l'allure de la figure de désorption est différente. Il nous suffit donc simplement de superposer toutes les courbes obtenues et de repérer le minutage pour lequel la figure de désorption change d'allure et ainsi déterminer le temps de dépôt nécessaire à la formation d'une monocouche.

20/04/2018 13:37:40

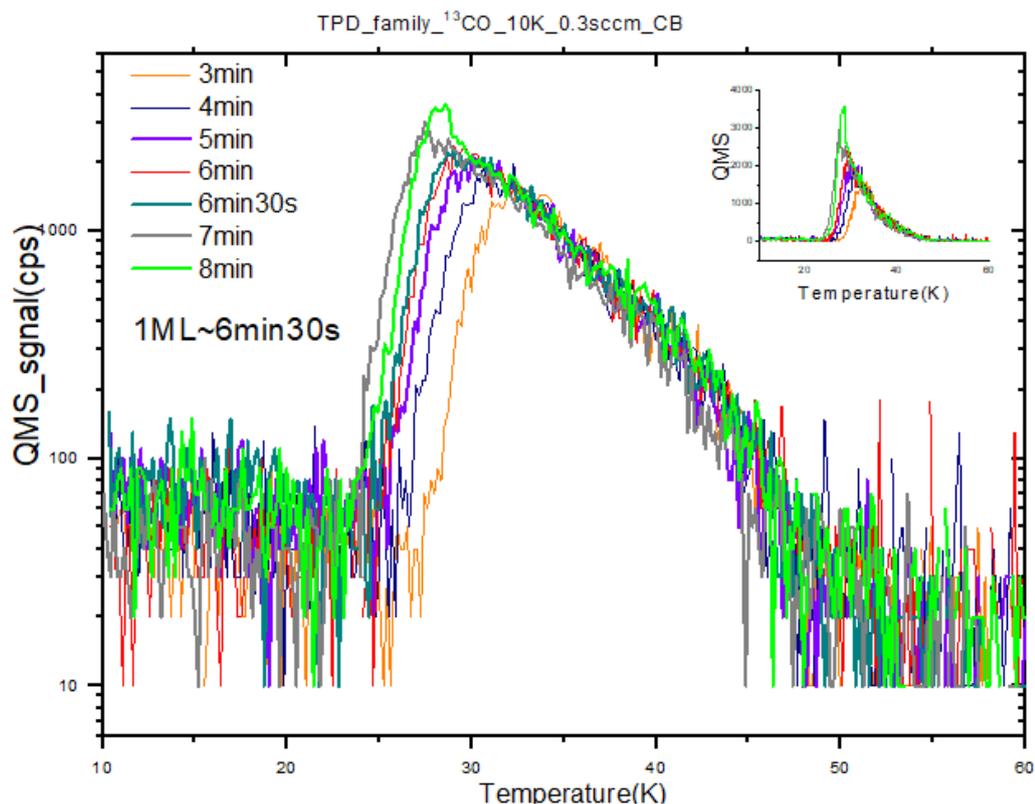


Figure 17 : Détermination de la monocouche pour le CB.

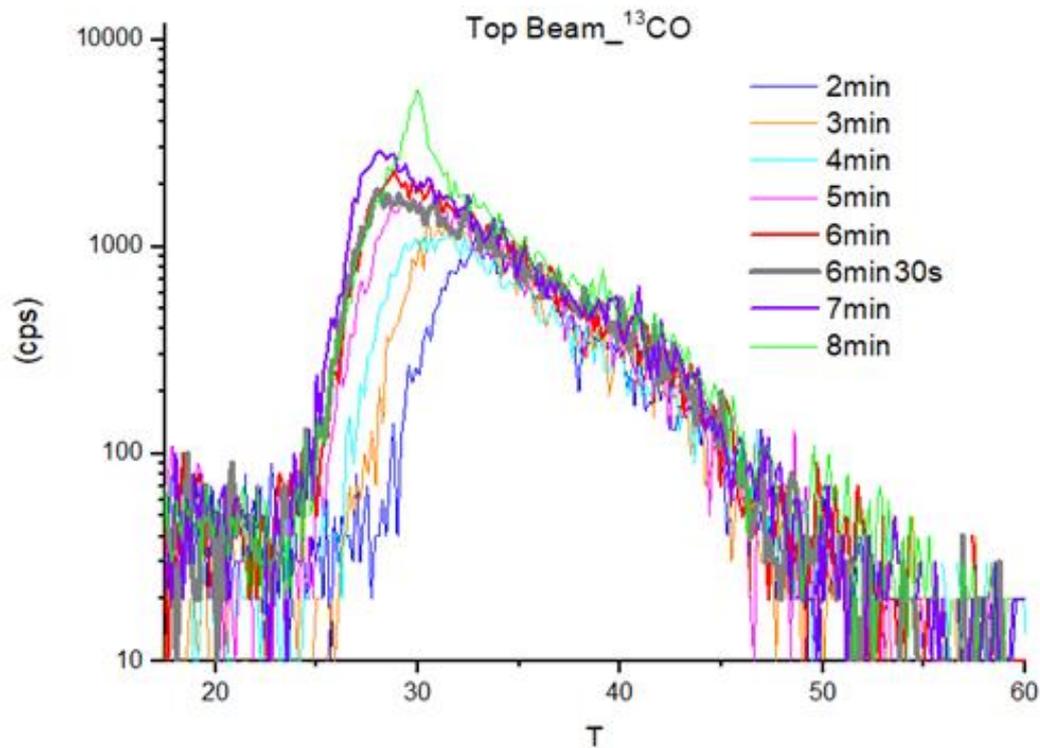


Figure 18 : Détermination de la monocouche pour le TB.

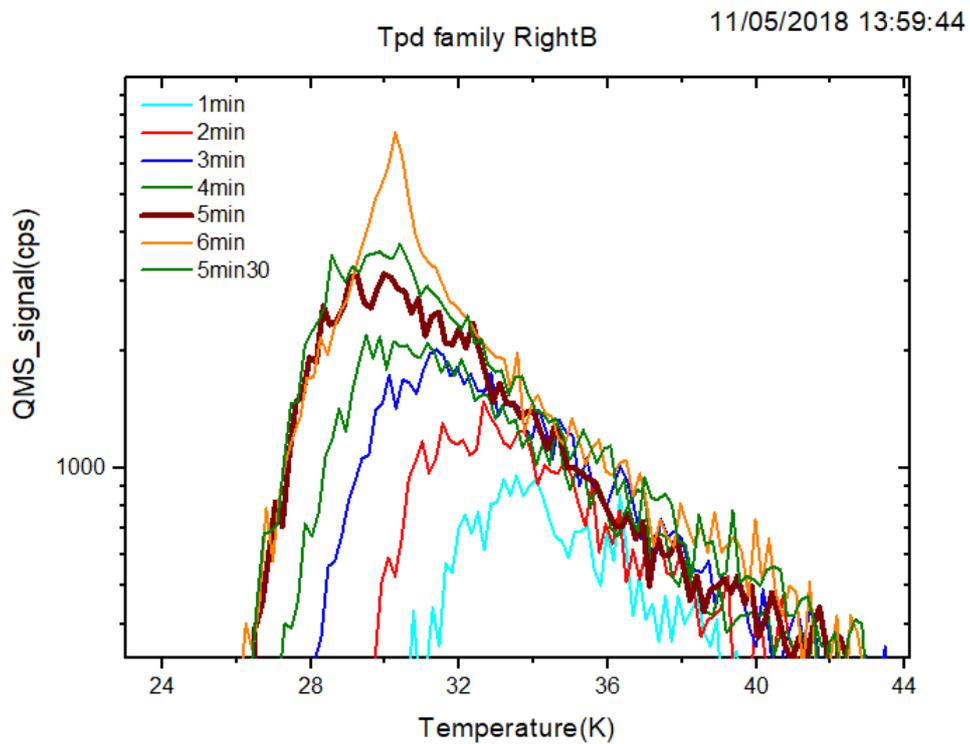


Figure 19 : Détermination de la monocouche pour le RB.

On trouve ainsi la complétion d'une monocouche pour les CB, TB avec un temps de dépôt de 6min30s et pour le RB avec un temps de dépôt de 5min (fig.17, 18 et 19).

La calibration étant terminée, nous connaissons maintenant toutes les informations nécessaires pour pouvoir démarrer les expériences dans de bonnes conditions.

Bilan personnel et professionnel

Travailler au sein de ce laboratoire pendant mon stage m'a permis de me rendre compte du travail de chercheur ainsi que de celui de doctorant. J'ai pu prendre pleinement conscience de l'implication et du temps que la recherche nécessite ainsi que de l'importance de travailler en équipe. Dans notre cas, les expériences que nous préparions n'ont encore jamais été menées, nous ne savions donc pas à quels résultats nous attendre. Le travail de calibration était d'autant plus important car nous n'avions pas de données préexistantes nous permettant de prédire précisément le comportement de chaque jet. Les expériences pouvant être très longues, tout comme le temps entre chaque expérience m'a fait prendre conscience que la patience est très importante en recherche. Il ne faut donc pas s'attendre à être constamment en train de réaliser des expériences. Beaucoup de temps est aussi dédié à la rédaction des résultats obtenus. N'ayant que deux dispositifs, tout le monde ne peut pas travailler en même temps. Il faut donc une organisation très précise et un planning des expériences désignant les personnes pouvant faire les manipulations. Les membres ne réalisant pas d'expériences profitent de ce temps pour rédiger les résultats qu'ils ont obtenus auparavant.

J'ai découvert au cours de ce stage que les activités au sein du laboratoire ne sont pas seulement scientifiques, elles peuvent aussi être physiques (dans le sens sportif du terme). En effet, lors de mon arrivée au LERMA, le laboratoire était en plein déménagement. Les premiers jours de mon stage ont ainsi été dédiés à vider complètement l'ancienne salle contenant encore de nombreuses choses dont le dispositif FORMOLISM, puis à tout réinstaller dans les nouveaux locaux. Toutes l'équipe du laboratoire était mobilisée pour réaliser cette tâche importante.

La vie du laboratoire ne tourne donc pas uniquement autour des expériences que nous menons. Il y a beaucoup de mouvement. Effectivement, il arrive que des personnes extérieures au laboratoire soient invitées pour des visites ou des échanges entre labos. Les membres du labo sont aussi amenés à partir quelques jours de temps à autre pour aller présenter leurs résultats ou assister à des colocs. Lors de ma présence au LERMA, le laboratoire organisait la journée de l'école doctorale. J'ai donc pu participer à la mise en place de cette journée et à y assister. Lors de cet évènement, plusieurs étudiants en thèse dans des domaines différents sont venus présenter en public leurs sujet d'études. Cette journée fut très instructive car elle me permit de mesurer la pluralité des sujets de recherche et de rencontrer d'autres scientifiques.

Même si les compétences acquises en licence m'ont aidées pendant ce stage, j'ai dû me renseigner moi-même sur un grand nombre de principes et phénomènes plutôt chimiques que physiques n'ayant jamais été abordés en cours. Ce stage m'a donc beaucoup appris non seulement sur le travail de chercheur mais aussi dans le domaine scientifique. Je ne peux pas dire que ce stage m'a donné la vocation de faire de la recherche, mais il m'a fait prendre conscience que cette voie pourrait me plaire et serait donc envisageable dans le futur.

Conclusion

Le but de mon stage était de calibrer les jets de VENUS afin de permettre la tenue d'expériences. Nous avons réussi à calibrer entièrement les jets en déterminant les flux devant être utilisés ainsi que les temps de dépôts nécessaires à la formation d'une monocouche en fonction du jet utilisé. Nous avons aussi caractérisé les différentes parties du dispositif en étudiant leurs réactions sous l'effet de la mise en route des jets, comme la variation de pression dans les différentes chambres par exemple. Du temps a aussi été consacré à la caractérisation des molécules présentes dans les chambres. Maintenant que nous avons réussi à faire tout cela, le laboratoire peut mettre en route les expériences.

Les premières expériences menées auront pour but de comprendre la formation du méthanol dans l'univers. La molécule de méthanol étudiée est le CH_3OH . Le but est d'essayer de comprendre sa formation en additionnant des jets de CO et de H, puis plus tard, des jets de CO, de H et de H_2O . Une étude similaire a déjà été réalisée par le passé ([5]) mais VENUS étant plus efficace que l'ancien dispositif, les résultats pourront être améliorés puis approfondis. Le but étant de découvrir de nombreuses informations telles que le nombre de molécules d'hydrogène nécessaire à la création du méthanol sous certaines conditions spécifiques et d'étudier l'énergie enthalpique de formation de la molécule ainsi que le rôle catalyseur ou non de l'eau sous forme de glace lors de ces réactions.

Comme exprimé dans le bilan personnel et professionnel, ce stage m'a apporté énormément de connaissances que je n'avais pas et m'a permis de m'immerger dans le monde de la recherche. Je suis satisfaite d'avoir fait ce stage car j'ai travaillé dans une bonne ambiance avec une équipe très sympathique. Même si je ne sais pas encore si je continuerais mes études dans la recherche, je sais désormais grâce à mon stage, que ce domaine ne me déplait pas et me fait considérer cette éventualité.

Bibliographie

[1] F. DULIEU et al; "H₂ formation on interstellar dust grains : the viewpoint of theory, experiments, models and observations", *Molecular Astrophysics* (2017)

[2] H. CHAABOUNI et al; "Thermal desorption of formamide and methylamine from graphite and amorphous water ice surface", *Astronomy & Astrophysics manuscript* (2018)

[3] E. CONGIU et al; "Direct measurement of desorption and diffusion energies of O and N atoms physisorbed on amorphous surfaces", *Astronomy and Astrophysics* (2016)

[4] J. A. NOBLE et al; "Thermal desorption characteristics of CO, O₂ and CO₂ on non-porous water, crystalline water and silicate surfaces at submonolayer and multilayer coverages", *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 421, 768-779 (2012)

[5] M. MINISSALE et al; "Hydrogenation of CO-bearing species on grains : unexpected chemical desorption of CO", *Monthly Notice of the Royal Astronomical Society*, 458, 2953-2961 (2016)

A. PUNANOVA et al; "Seed of life in Space (SOLIS). III. Zooming into the Methanol peak of the pre-stellar core L1544", *The Astrophysical Journal* (2018)

A. I. VASNYUNIN et al; « Formation of Complex Molecules in Prestellar Cores : A Multilayer Approach", *The Astrophysical Journal*, 842:33 (2017)

F. DULIEU et al; "Production of O₂ through dismutation of H₂O₂ during water ice desorption : a key to understanding comet O₂ abundances, *Astronomy & Astrophysics* 6, 59-69 (2017)

H. CHAABOUNI et al; "Deuteration of ammonia with D atoms on oxidized partly ASW covered graphite surface", *astro-ph.IM* (2017)

M. MINISSALE et al; "Dust as interstellar catalyst : I. Quantifying the chemical desorption process", *Astronomy & Astrophysics*, 585, A24 (2016)

S. CAZAUX et al; "Dust as interstellar catalyst : II. How chemical desorption impacts the gas" *Astronomy & Astrophysics*, A55 (2016)

L. AMIAUD et al; "Physisorption and Desorption of H₂, HD and D₂ on Amorphous Solid Water Ice. Effect on Mixing Isotopologue on Statistical Population of Absorption Sites", *Physical Chemistry Chemical Physics* 17, 30148-57 (2015)

J. A. NOBLE et al; Segregation of O₂ and CO on the surface of dust grains determines the desorption energy of O₂.", *Monthly Notice of the Royal Astronomical Society*, 454, 2636-2646 (2015)

F. DULIEU et al; "Influence of surface coverage on the chemical desorption process", *The Journal of Chemical Physics*, 141 (2014)

Rapports et présentations : <https://www.u-cergy.fr/fr/laboratoires/lerma-cergy>