

Rapport de stage

Étude de la formation des molécules sur des surfaces
astrophysiques et analyse des spectres IR et des spectres
de masse.



Sous la direction de François DULIEU, Professeur et Directeur du Laboratoire LERMA de
CY Cergy Paris Université au sein du site de Neuville-sur-Oise.

Année universitaire 2021-2022
9 Mai – 1^{er} Juillet

Kévin LEBAY

Table des matières

Remerciements.....	2
Introduction	3
I. Dispositif expérimental VENUS.....	5
I. 1. Chambre principale et chambres secondaires	6
I.2. Porte échantillon et le Cryostat	7
I.3. Jet atomique et moléculaire	8
II. Principe d'adsorption et de désorption.....	10
II.1. L'adsorption.....	10
II.2. La désorption	11
III. Analyses et Résultats.....	12
III.1. Mise en place	12
III.2. Étude de la spectroscopie de masse	12
III.3. Expériences et résultats.....	13
III.4. Pistes théoriques et expérimentales.....	16
Conclusion.....	17
Annexes.....	18
Annexe n°1 – photos de la médiathèque	18
Annexe n°2 – horaires d'ouverture de la médiathèque.....	18
Bibliographie	19

Remerciements

Je tiens à remercier l'ensemble de l'équipe du laboratoire qui m'a chaleureusement accueilli et qui m'a permis d'effectuer ce stage dans une bonne ambiance et de manière optimale.

Chaque membre de l'équipe n'a pas hésité à m'expliquer en quoi consistait le métier de chercheur et à me solliciter volontiers pour les aider dans telle ou telle tâche afin de m'en apprendre le plus possible. Ils m'ont tout de suite intégré dans l'équipe, ce qui m'a donné l'impression de vraiment en faire partie. J'ai pu participer aux expériences menées sur le dispositif expérimental VENUS ainsi que traiter les différentes données récoltées afin de mieux les appréhender et de les comprendre.

Je tiens à remercier personnellement mon tuteur de stage M. François DULIEU professeur, responsable scientifique et directeur du LERMA CY Cergy Paris Université, pour m'avoir accueilli, au sein du laboratoire et supervisé pendant ces cinq semaines de stage, et m'avoir permis de découvrir le monde de la recherche scientifique.

Je tiens aussi à remercier Basile HUSQUINET et Julie VITORINO pour m'avoir accompagné dans les démarches expérimentales ainsi que de m'avoir partagé les connaissances nécessaires à la compréhension du dispositif expérimental VENUS tout comme M. Saoud BAOUCHE, Mme Henda CHAABOUNI, M. Emanuele CONGIU, M. Stephan DIANA et Laurent NUSSBAUM.

Introduction

L'univers est constitué d'une quantité phénoménale de molécules, d'atomes et d'ions. Ces espèces chimiques, qui peuplent notre univers, sont en quantité limitée et ont toutes été créées lors du Big Bang. Ces espèces se sont combinées et dissociées au fur et à mesure du temps, et cela, jusqu'à avoir l'Univers tel qu'on le connaît aujourd'hui. Ces espèces décrites précédemment sont majoritairement de l'hydrogène, de l'hélium, les éléments les plus simples que l'on puisse trouver. Cette abondance de l'hydrogène, dans certaines conditions de pression, fusionne ce qui permet la création d'une étoile.

Mais lorsqu'elles ont fusionné toute leur réserve d'hydrogène, elles vont alors commencer à fusionner de l'hélium, puis de l'élément d'après et ainsi de suite. Certaines de ces étoiles, les plus massives d'entre elles peuvent aller jusqu'au Fer. À la mort des étoiles, elles expulsent ces éléments chimiques. C'est pour cette raison que l'on retrouve des traces d'éléments lourds dans l'Univers tel que le Carbone ou le Fer.

Ce phénomène est appelé « supernovæ », qui expulsent tout le gaz sur des dizaines voire des centaines d'années-lumière. Ces énormes nuages de gaz sont appelés des « nébuleuses », elles sont composées de 99 % de gaz et 1 % de grains de poussière. Au sein de ces nébuleuses, nous pouvons distinguer des zones extrêmement lumineuses et des zones sombres. Les zones éclairées sont des zones où le gaz est ionisé et dont la température peut atteindre les 10^6 Kelvins, et les zones sombres sont des régions beaucoup plus froides atteignant une température moyenne de 10 Kelvins.

Ce sont ces régions sombres ou aussi appelées régions neutres qui sont étudiées, ou du moins ce qu'il y a derrière ces régions, qui sont à l'abri des rayonnements UV-visibles, protégées par des petits grains de poussière. En effet, les grains de poussière (d'une taille de l'ordre de μm) ont des effets de catalyseur chimique. Ce sont des surfaces froides où les atomes se fixent et permettent de faciliter la rencontre et ainsi d'initier des réactions chimiques en phase solide. Ce sont ces grains de poussière qui nous intéressent, car c'est le point névralgique des études au LERMA de Cergy.

Le LERMA, Laboratoire d'Études du Rayonnement et de la Matière en Astrophysique et atmosphère, est le laboratoire dans lequel j'effectue mon stage. Il se situe sur le site de Neuville qui fait partie de CYU Cergy Paris Université et est l'une des composantes de l'Unité Mixte de Recherches 8112. Cette dernière se concentre sur quatre sites principaux : le Centre Nationale de la Recherche Scientifique (CNRS), l'Observatoire de Paris (OP), Sorbonne Universités (ENS, UPMC) et bien sûr Cergy Paris Université (CYU). Au sein de chacun de ces sites, sont répartis quatre pôles thématiques de recherche : le pôle « Galaxies et cosmologie », le pôle « Dynamique des milieux interstellaires et plasmas stellaires », le pôle « Instrumentation et télédétection » et pour finir, le pôle « Molécules dans l'Univers ».

Le LERMA-Cergy fait partie des laboratoires abritant le pôle « Molécules dans l'Univers », et agit en collaboration avec l'observatoire de Paris, où j'ai eu la chance de pouvoir assister à la journée annuelle de l'Action Fédératrice ASTROCHIMIE.

Afin d'étudier ces formations de molécules primitives assez simple en phase solide, le laboratoire a élaboré des systèmes et des dispositifs perfectionnés permettant de reproduire des conditions similaires à celui qui sont dans les nuages moléculaires. Les expériences peuvent être réalisées par le biais de deux dispositifs expérimentaux. Le premier dispositif FORMOLISM (FORMation of MOlecules in the Interstellar Medium) – développé depuis 2001 -, et VENUS (VErs de NoUvelles Syntheses) – développé depuis 2011.

Durant toute ma durée de stage, j'ai réalisé toutes mes expériences sur le deuxième dispositif VENUS et sur la formation de méthanol sur une surface froide. Le méthanol est considéré comme la première molécule complexe. Par conséquent, l'objectif de mon stage a été de calibrer le temps nécessaire de dépôt de monocouche de ^{12}CO . Mes résultats ne sont pas basés sur les résultats de la formation de méthanol, mais sur la perte de CO lors du jet de $\{\text{CO} + \text{O}_2 + \text{H}\}$

Pour commencer, nous verrons plus en détails le dispositif VENUS. Par la suite, nous observerons les principaux phénomènes physiques et chimiques se déroulant au sein de l'enceinte. Et pour finir, nous verrons les procédés d'analyse qui nous permettent de supposer et de conclure sur les formations de molécules au sein des nuages moléculaires.

I. Dispositif expérimental VENUS

Comme dit précédemment, mon stage s'est concentré uniquement sur le dispositif expérimental VENUS. Ce dispositif permet d'obtenir des conditions particulières que l'on ne retrouve pas sur terre. Le dispositif permet essentiellement d'obtenir de très basses pressions et des températures excessivement basses.

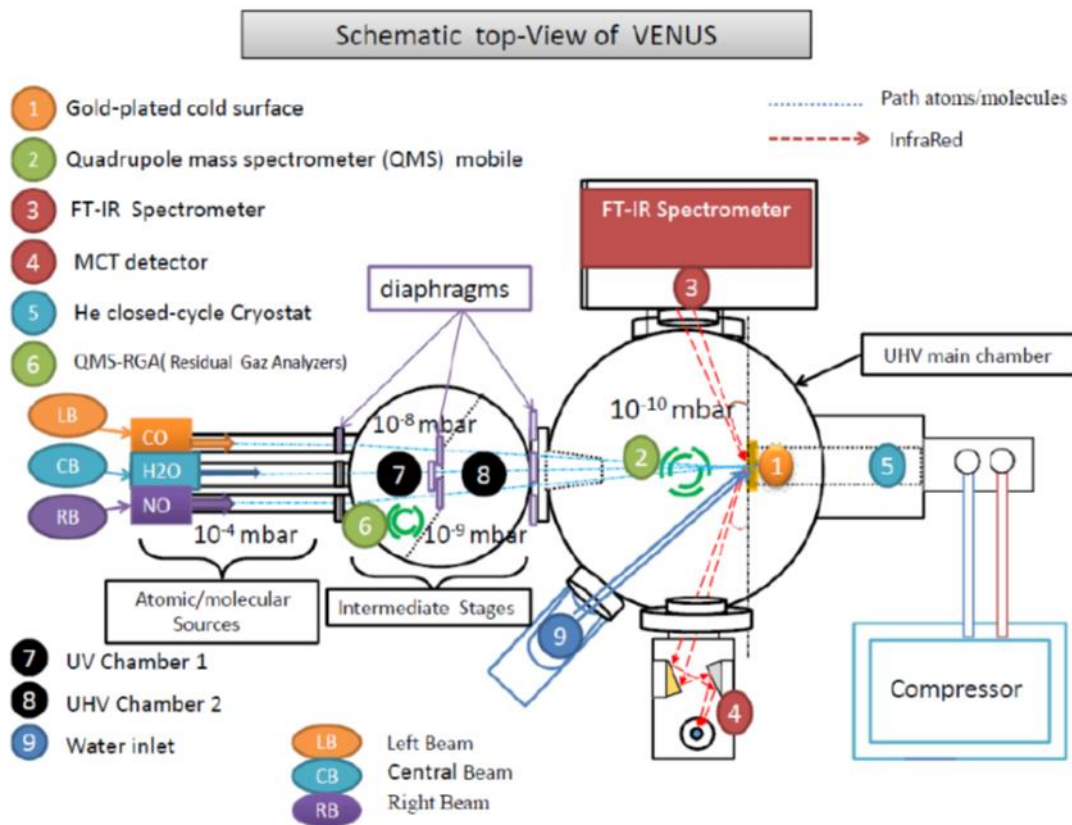


Figure 1 – Schéma du dispositif expérimental VENUS – vue du dessus

Le dispositif VENUS est donc constitué de plusieurs composantes principales. Chaque composante de VENUS est représentée sur le schéma ci-dessus, joue un rôle crucial et a une fonction précise et bien définie.

I. 1. Chambre principale et chambres secondaires

La chambre principale où se déroulent toutes les réactions est aussi appelée « enceinte Ultravide » (UHV : Ultra High Vacuum). Par définition, l'ultravide est obtenu lorsque la pression est inférieure à 10^{-10} mbar. C'est dans cette chambre que la pression est la plus basse, et qu'elle constitue un milieu propice à la réalisation des expériences, car elle se rapproche de la pression moyenne des nuages moléculaires (10^{-12} mbar). Dans cette chambre, nous atteignons une pression moyenne de $1,5 \cdot 10^{-11}$ mbar. Nous considérons qu'il n'est pas nécessaire d'aller en deçà de cette pression, car atteindre une plus basse pression nécessite plus de temps, une pompe bien plus puissante et ce qui augmenterait les coûts et le temps nécessaire à la réalisation de ces expériences. Des pompes reliées aux chambres permettent d'aspirer l'air ambiant, constitué essentiellement de diazote et de dioxygène, afin de créer un vide pour n'en laisser que quelques particules dans le but de maintenir la pression voulue. Les pompes sont faites de titane suffisamment résistant pour supporter ces basses pressions.

La structure de la chambre principale est composée essentiellement d'acier inoxydable, le matériau qui permet de reproduire les conditions de l'ultravide, et de résister à la corrosion occasionnée par l'envoi de matière telle que l'hydrogène. L'inconvénient avec l'acier inoxydable est qu'il est sensible au changement de température et comme la surface de la chambre est en contact avec l'air ambiant qui est à environ 300 K, cela crée un gradient de température élevé ce qui réchauffe l'intérieur de la chambre. Donc, pour limiter les échanges de chaleur avec l'extérieur, du papier d'aluminium recouvre l'intégralité des chambres principale et secondaires.

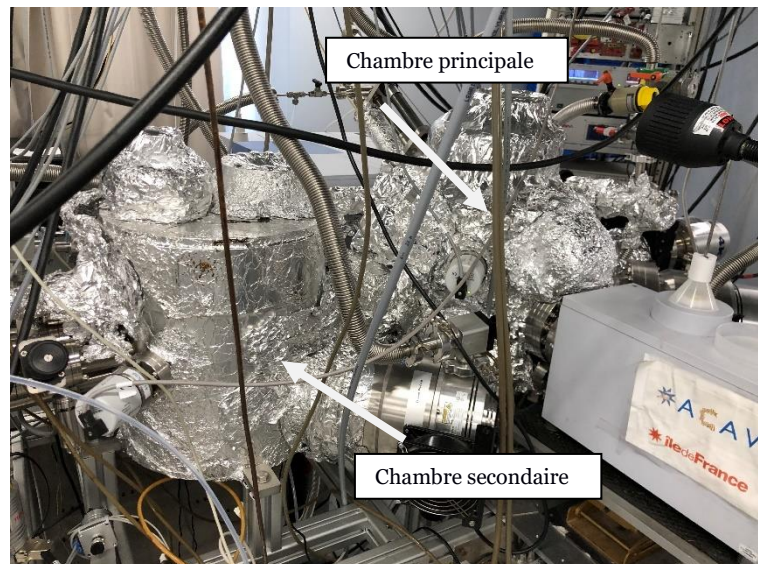


Figure 2 – photo de la chambre principale et de la chambre secondaire

La seconde partie du dispositif expérimental VENUS, qui relie la chambre principale, est la chambre secondaire, elle-même divisée en deux sections. Nous pouvons voir la chambre

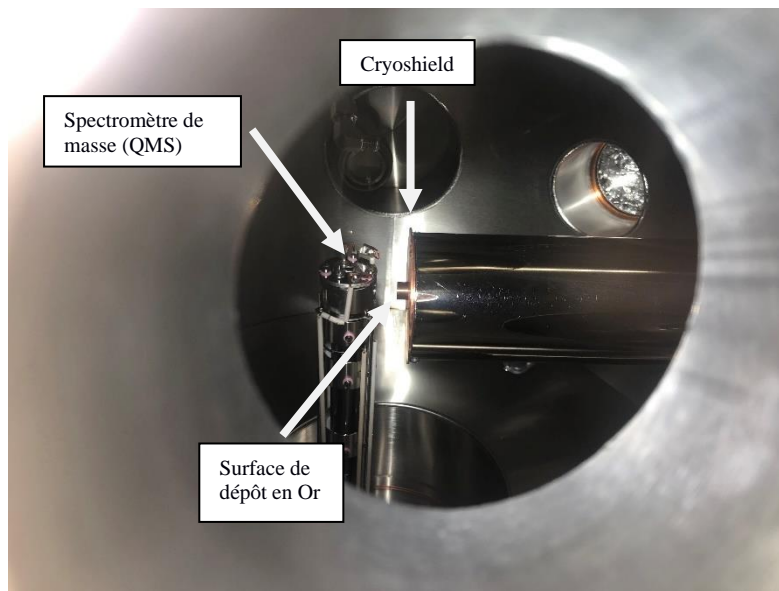
1 sur la partie de gauche et la chambre 2 sur la partie de droite. La liaison se fait par de petits diaphragmes permettant de diriger les différentes espèces chimiques dans la chambre principale. Le principe d'avoir séparé la chambre est de créer un vide plus important dans la chambre 2 qu'à l'intérieur de la chambre 1. Les espèces chimiques vont naturellement remplir le vide et rééquilibrer les chambres. Cela va permettre de diriger les espèces chimiques dans une direction précise. On appelle ce phénomène « la détente vers le vide ».

La pression au sein de la chambre 1 est de l'ordre de 10^{-9} mbar et celle de la chambre 2 est de l'ordre de 10^{-10} mbar. Cette différence de pression est caractéristique d'un triple pompage différentiel dont l'ordre de grandeur est proportionnel à la taille des diaphragmes.

I.2. Porte échantillon et le Cryostat

Afin de reproduire au mieux un grain de poussière interstellaire, il a été convenu de placer sur le porte-échantillon une surface en Or d'un diamètre de 9 mm.

L'Or (Au) n'est pas la composition d'un grain de poussière interstellaire. En effet, un grain est composé majoritairement de carbone pur, assimilé à du charbon. Le choix de prendre



de l'or est assez analogue avec le choix de ne pas atteindre les 10^{-12} mbar de pression au sein de la chambre principale. En effet, l'Or (Au) a des propriétés anti-oxydant, contrairement au graphite (utilisé sur FORMOLISM), cela permet à la surface de durer dans le temps, elle n'a donc pas besoin d'être changée constamment.

Figure 3 – Photo de l'intérieur de la chambre principale

De plus, l'Or (Au) ne va pas faire de liaison avec les atomes ou les molécules qui seraient envoyés sur la surface, et ne va donc pas altérer les molécules formées. Cette surface en Or est refroidie par le biais d'un cryostat pour reproduire les conditions présentes dans les nuages moléculaires.

Le Cryostat est relié à un compresseur d'Hélium liquide qui se situe au sous-sol à cause du bruit qu'il émet et de la chaleur qu'il produit. L'Hélium est amené dans des tuyaux renforcés jusqu'à un piston qui va comprimer et détendre le gaz. La détente dite « adiabatique » (pas de transferts de chaleur ni de masse) d'hélium va permettre de refroidir la surface de dépôt à de très basses températures. Le cryostat équipé sur VENUS permet d'atteindre les 4 °K soit -269,15 °C. Cependant, dans le laboratoire, nous ne descendons pas au-delà de 10 °K. L'Hélium liquide extrêmement refroidi circule entre deux cylindres jusqu'au CryoShield, un bouclier thermique en cuivre entourant le porte-échantillon. On a également la possibilité de réchauffer la surface, dans le but de décoller toutes les espèces chimiques présentes dans la chambre, mais aussi de déterminer la température de désorption des différentes espèces chimiques déposées sur la surface de dépôt.



Figure 4 – Photo du Cryostat

I.3. Jet atomique et moléculaire

Le dernier élément crucial afin de mener nos expériences est les jets atomiques et moléculaires. Ces jets sont la clé de voûte de toutes nos expériences. La majorité des espèces chimiques sont à l'état gazeux sauf pour l'eau qui est à l'état liquide. Ces espèces chimiques sont donc amenées grâce à des jets.

Sur le dispositif expérimental VENUS, nous disposons de quatre jets distincts :

- Le jet du centre (Central Beam "BC")
- Le jet du Haut (Top Beam "BT")
- Le jet du bas (Bottom Beam), qui n'a pas été utilisé lors de la totalité de mon stage.
- Le jet de droite (Right Beam "BR") ; qui ne sert que pour le dihydrogène et le plasma d'hydrogène.

Le flux de matière est contrôlé via des petits régulateurs à aiguilles, ou via des régulateurs automatiques. Cela a pour conséquence de faire varier la pression dans le jet. Comme la pression est liée au débit de matière, elle va automatiquement exercer une influence sur la quantité de matière envoyée sur la surface de dépôt.

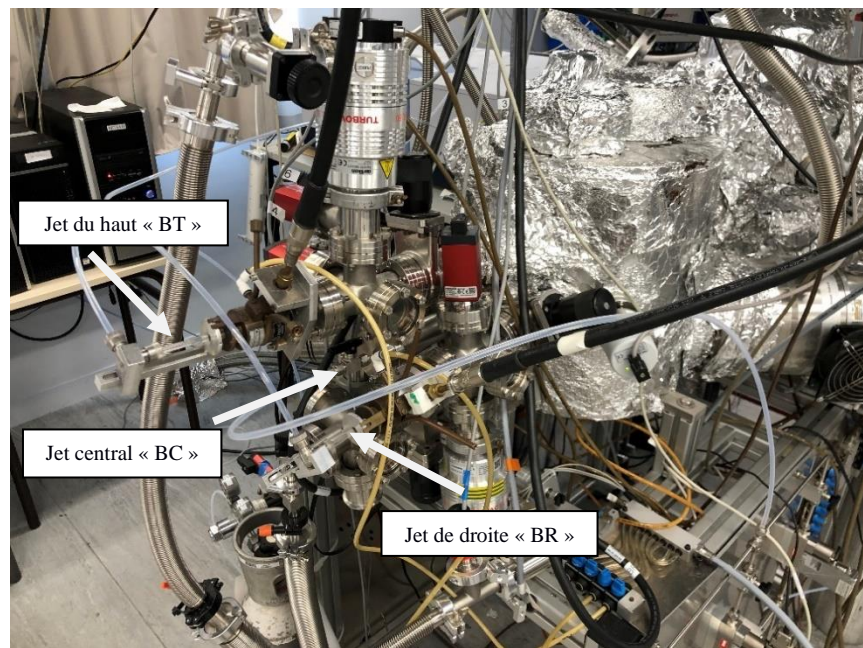


Figure 5 – Photo des jets atomiques et moléculaires

Lorsque les jets sont au repos, c'est-à-dire lorsque nous n'envoyons aucune particule, la pression au sein des jets est de l'ordre de 10^{-7} mbar. Et quand on envoie des particules dans les jets alors la pression descend à une pression de l'ordre de 10^{-5} mbar. Ces flux de matière sont mesurés en sccm (Standard Cubic Centimeters per Minute). Tous les organes énumérés nous permettent alors de reproduire des conditions dites extrêmes qui sont observables uniquement dans des nuages moléculaires et non sur Terre. En effet, ils nous permettent de comprendre concrètement ce qui se passe lors de la formation de ces molécules simples dans des conditions propices à la formation de molécule.

II. Principe d'adsorption et de désorption

II.1. L'adsorption

L'adsorption est l'adhésion d'atomes, d'ions ou de molécules d'un gaz, d'un liquide ou d'un solide dissous à une surface. Ce processus crée un film de l'adsorbat à la surface de l'adsorbant. Ce processus est différent de l'absorption. L'adsorption est un phénomène de surface, alors que l'absorption concerne tout le volume du matériau (liquide ou solide), bien que l'adsorption précède souvent l'absorption. Comme la tension superficielle, l'adsorption est une conséquence de l'énergie de surface. La nature exacte de la liaison dépend des détails de l'espèce chimique impliquée, mais le processus d'adsorption est généralement classé comme physisorption (caractéristique des forces de van der Waals faibles) ou chimisorption (caractéristique de la liaison covalente). Cela peut également se produire en raison de l'attraction électrostatique.

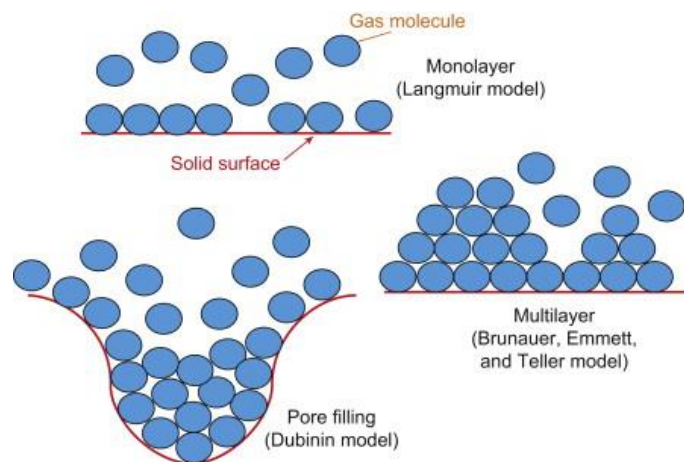


Figure 6 – Schéma du principe d'adsorption

L'adsorption est présente dans de nombreux systèmes naturels, physiques, biologiques et chimiques et est largement utilisée dans les applications industrielles telles que les catalyseurs hétérogènes, le charbon actif, la capture et l'utilisation de la chaleur perdue pour fournir de l'eau froide pour la climatisation et d'autres exigences de processus (refroidisseurs à adsorption), résines synthétiques, augmentation de la capacité de stockage des charbons dérivés du carbure et purification de l'eau.

II.2. La désorption

La désorption est le processus physique par lequel une substance précédemment adsorbée est libérée d'une surface. Cela se produit lorsqu'une molécule acquiert suffisamment d'énergie pour surmonter la barrière d'activation de l'énergie de liaison qui la maintient à la surface.

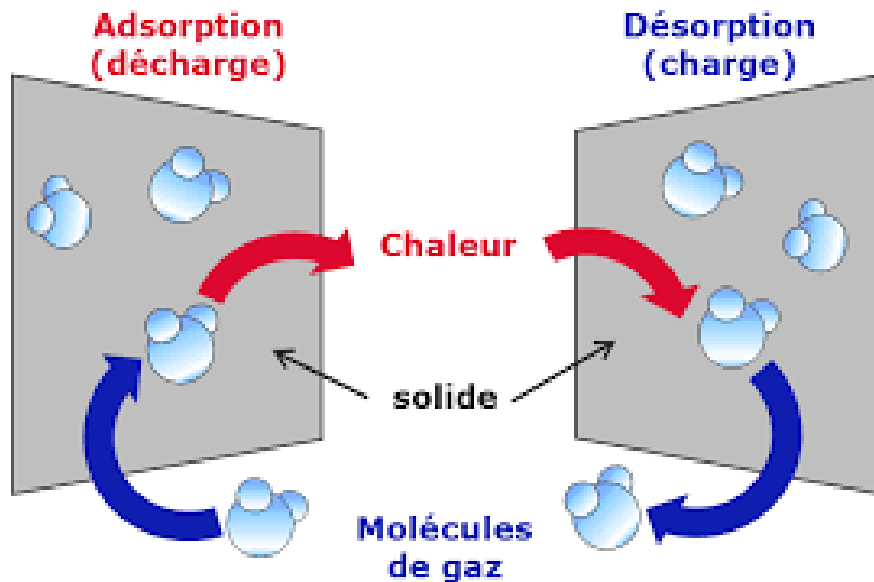


Figure 7 – Schéma du principe d'adsorption et de désorption

Il existe de nombreux types de désorption différents, selon le mécanisme qui sépare l'adsorbat du substrat ; par conséquent, il n'y a pas une seule équation qui décrit le processus. Notez que la désorption est l'opposé de l'adsorption, qui diffère de l'absorption, car elle fait référence à des substances collées à la surface, par opposition à leur absorption dans la masse. La désorption peut se produire après une réaction entre un catalyseur et un composé adsorbé.

III. Analyses et Résultats

III.1. Mise en place

Le cœur de mon sujet de stage est la formation du méthanol dans des milieux interstellaires. Par conséquent, nous avons réfléchi à la manière dont il se forme sur les surfaces froides, à partir des éléments les plus simples tels que le dioxygène (O_2), le dihydrogène (H_2) et le monoxyde de carbone (CO).

La première étape est de connaître, grâce aux valeurs de pression et flux que délivrent les jets atomiques et moléculaires, quand nous obtenons une couche ou monocouche de l'élément étudié (Monolayer en anglais) car nous savons qu'une monocouche compte environ 1015 molécules.cm². En d'autres termes, connaître en combien de temps nous faisons une monocouche nous permet de savoir combien de monocouche nous déposons en une heure et donc la quantité de particules déposées. De ce fait, quand nous faisons varier les expériences, on détermine via un calcul de pourcentage l'évaluation des pertes directes et indirectes.

III.2. Étude de la spectroscopie de masse

Au laboratoire, nous utilisons un spectre de masse appelé « QMS » (Quadrupole Mass Spectrometer). Il va déterminer par le biais de leurs masses molaires quelles espèces chimiques se sont formées sur la surface de dépôt. Le LERMA utilise un QMS fabriqué par la marque HIDEN. Il est constitué de trois parties distinctes. Les espèces chimiques désorbées peuvent se déplacer dans la chambre principale puisqu'elles sont ionisées par un bombardement d'électrons, provenant du filament chauffant contenu dans la tête d'ionisation du QMS. Les ions formés sont accélérés pour atteindre la zone de vol, limitée par quatre électrodes métalliques. Celles-ci étant associées deux à deux électriquement, elles créent un champ électrique permettant d'amener uniquement jusqu'au détecteur les ions dont la trajectoire est stable.

Durant l'expérience, nous avons accès à la quantité de chaque espèce ayant heurté le QMS en fonction du temps et par conséquent de la température : il s'agit du nombre de coups par seconde (CPS) pour chaque masse molaire (en g.mol) analysée, correspondant soit à des

espèces chimiques, soit à des fragments de celles-ci. Le logiciel « Origin » nous permet de récupérer ces données afin de l'analyser. Cependant, la licence du logiciel est payante, donc un autre logiciel, « TPD », a été développé pour palier à cette contrainte.

En effet, le laboratoire emploie un ingénieur informaticien, M. Stéphan DIANA, pour répondre à la problématique de l'exploitation des données livrées par le QMS. La simulation nous permet d'obtenir des courbes d'intégration, au nombre de particules captées par le spectre de masse en fonction de la température de désorption des espèces chimiques. On obtient une aire et un nombre de particules captées par seconde et on essaie d'interpréter le déroulement des actions durant l'adsorption et désorption. Les comparaisons se font sur un seul facteur à la fois. Donc on part sur des dépôts d'une heure et une température de surface de 10 °K (représentatifs des nuages interstellaires) à une pression et flux constant.

III.3. Expériences et résultats

Mon analyse a porté sur la formation du méthanol, cependant, des recherches ayant déjà traité ce sujet se sont heurté à des résultats inattendus. Dans un premier temps, nous devons calibrer le jet pour savoir en combien de temps se forme une monocouche. Cela est important de connaître ce paramètre, car on pourra déterminer la quantité de matière déposée sur la surface de dépôt. Sur le graphique ci-dessous, on peut observer au premier abord que plus le temps de dépôt augmente, plus le nombre de coups par seconde détectés est élevé. De même, plus le temps de dépôt augmente, plus les courbes se décalent vers la gauche et la pente est élevée. On dit que le front de montée descend en température.

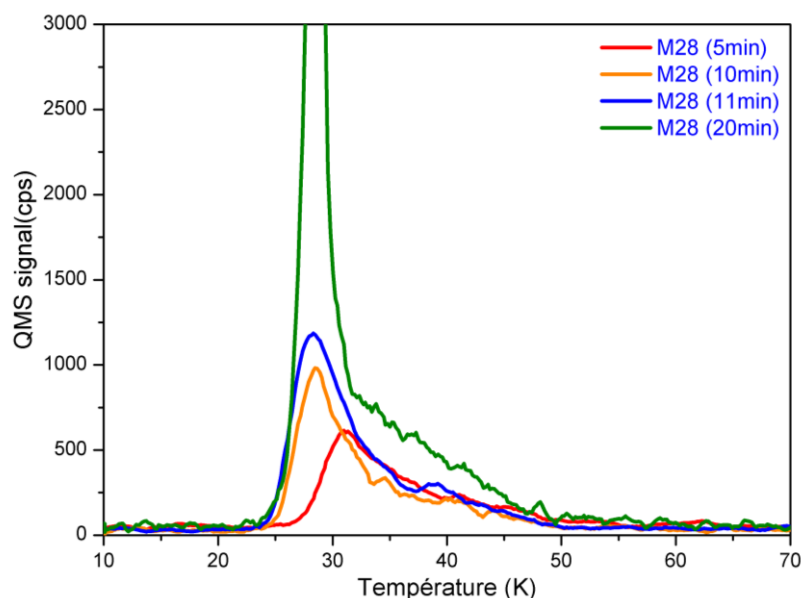


Figure 8 – Graphique représentant une calibration de monoxyde de carbone

C'est un phénomène physique : si le nombre de particules envoyées est bas, elles se placent en priorité dans les sites leur offrant la meilleure énergie d'adsorption. Cela a pour conséquence une désorption plus difficile, car il faut fournir plus d'énergie pour décoller l'espèce chimique de la surface. En revanche, si un nombre de molécules plus important est déposé, elles sont adsorbées dans des sites moins liés et désorbent donc plus facilement, à une température moins élevée.

Cependant, à partir d'un temps de dépôt de 10 minutes et 11 minutes, nous pouvons constater que les fronts de montée se confondent quasiment, mais on constate également une légère différence entre les deux. La température de désorption des premières molécules reste constante quel que soit le temps de dépôt. Ces premières molécules sont en réalité positionnées sur des sites leur offrant la même énergie d'adsorption, car elles sont empilées les unes sur les autres.

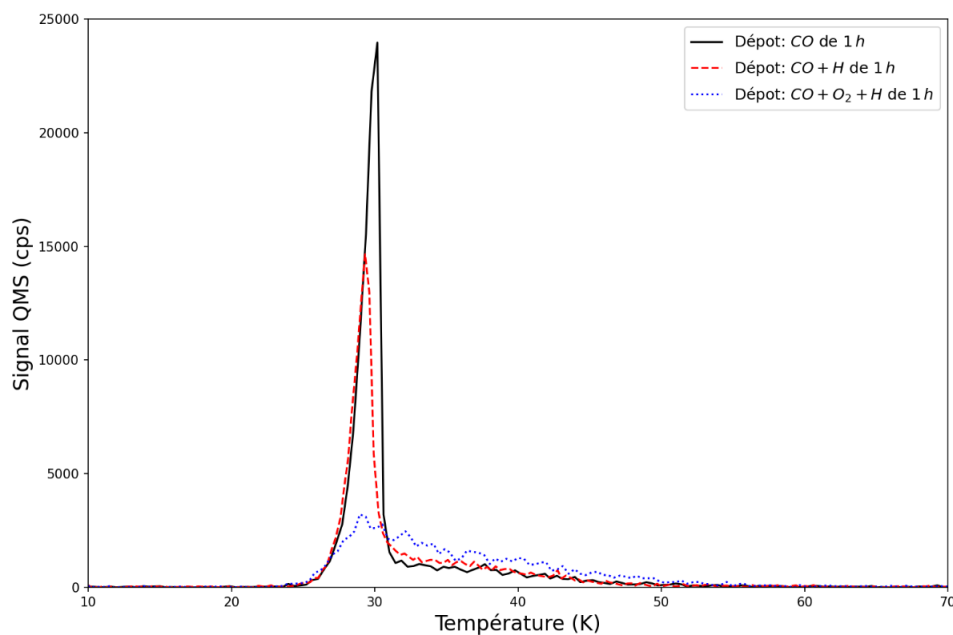


Figure 9 – Graphique représentant la comparaison entre un jet de $\{^{12}\text{CO}\}$, de $\{\text{CO}+\text{H}\}$ et de $\{\text{CO}+\text{O}_2+\text{H}\}$

Comme on peut le voir sur le graphique ci-dessus, lorsqu'on envoie du monoxyde de carbone seul et quand on envoie $\{^{12}\text{CO}+\text{O}_2+\text{H}\}$, la perte est très significative. Cela est au-delà du problème du bruit thermique qui va polluer le signal.

Toutes les expériences menées sur la formation du méthanol ont obtenu des pertes de l'ordre de 70 %. C'est-à-dire que 70 % des réactions qui devaient constituer le méthanol est retourné en phase gazeuse avant que la surface ne se réchauffe et désorbe les espèces chimiques présentes en surface.

Nous avons conclu que quelque chose s'est passé juste au moment du dépôt. Afin d'étudier ce phénomène en détails et de comprendre les réels mécanismes mis en jeu, nous avons décidé de prendre le diazote ayant la même masse molaire (28) et la même géométrie que le monoxyde de carbone (linéaire, plane, diatomique). Mais contrairement au monoxyde qui est très réactif et qui va se recombinaison, le diazote est quant à elle une molécule très stable et interagit très peu avec son environnement. Nous avons décidé de mener la même expérience en remplaçant le monoxyde de carbone par le diazote.

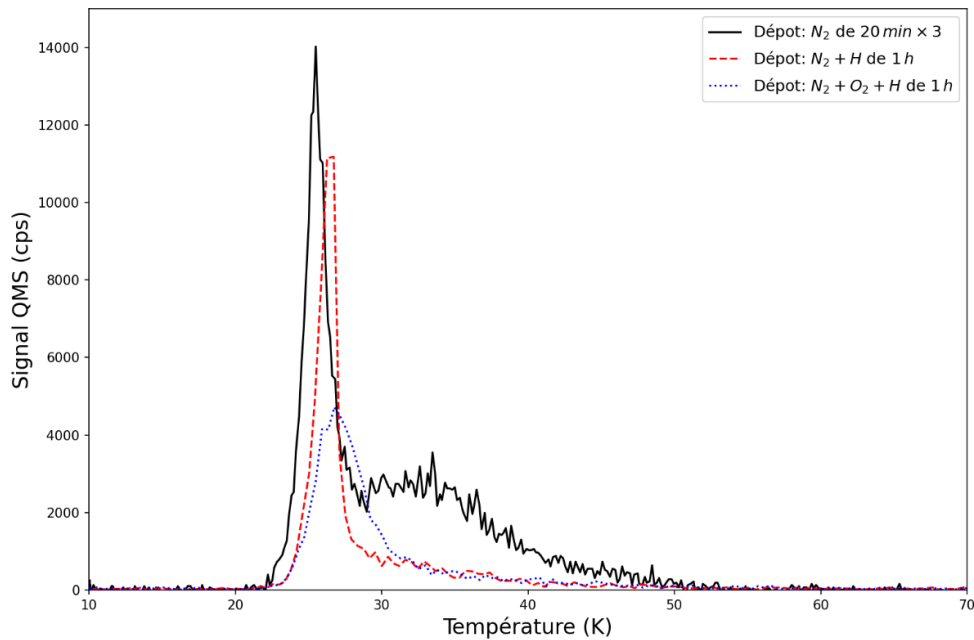


Figure 10 – Graphique représentant la comparaison entre un jet de $\{N_2\}$, de $\{N_2+H\}$ et de $\{N_2+O_2+H\}$

Après avoir réalisé l'expérience, nous avons découvert que la proportion de perte est quasi équivalente lorsqu'on envoie du monoxyde de carbone, en témoigne le graphique ci-dessus. Nous pouvons remarquer que l'aire sous la courbe bleue est plus grande que celle avec l'envoi du monoxyde de carbone. Cela ne prend pas en compte les autres espèces formées (HCO , H_2CO , H_3CO). L'hypothèse qui serait la plus probable est que lorsque que l'envoi du $\{O_2+H\}$ est une des principales réactions que permet la formation de l'eau. Cependant, la formation de l'eau est très énergétique (environ 60 000 Kelvins – énergie multipliée par la constante de Boltzman) et cette énergie serait responsable de l'éjection (désorption indirecte) de molécules et d'atomes, et cela, explique donc les pertes que nous constatons lors des analyses de TPD. Et c'est cet aspect-là que j'étudie, avec des calculs théoriques, et que j'obtiens des résultats expérimentaux avec le diazote.

III.4. Pistes théoriques et expérimentales

Ensuite, j'ai étudié l'aspect théorique en discutant avec M. DULIEU (responsable de stage) et Basile HUSQUINET (stagiaire en M2, qui étudie aussi ce phénomène) sur la démarche à suivre, afin d'établir un modèle qui serait en adéquation avec ce que l'on observe et avec les données extraites du QMS.

Nous sommes partis d'une équation qui explique la désorption directe :

$$DC = e^{-E_{\text{binding}}/\Delta H_{\text{fH}_2\text{O}}} * \tau$$

Le τ est défini comme un coefficient qui permet de prendre en compte d'autres paramètres de désorption indirecte :

$$\tau = \varepsilon * P_v * 1/N$$

→ ε : coefficient d'Energie élastique définie par la formule :

$$\varepsilon = 4 m_1 m_2 / (m_1 + m_2)^2$$

→ P_v : Probabilité que les atomes soient voisins

→ N : Les degrés de liberté des molécules

A la suite de cette discussion, je me suis penché sur la théorie afin d'extraire des valeurs qui colleraient avec les résultats expérimentaux. La seule inconnue dans l'absolu est la probabilité que les atomes soient voisins. Dans mes calculs, cela donne des résultats non significatifs, car les degrés de liberté de l'eau ne sont pas pris en compte. Pour cela, nous devons travailler sur la base de modèle qui nous permet d'évaluer à une valeur d'ICD (Indirect Desorption Chemical) la probabilité que les atomes soient voisins. Cela est encore à l'étude et n'est donc pas réalisé mais le sera à une date postérieure à la date butoir de remise du rapport de stage.

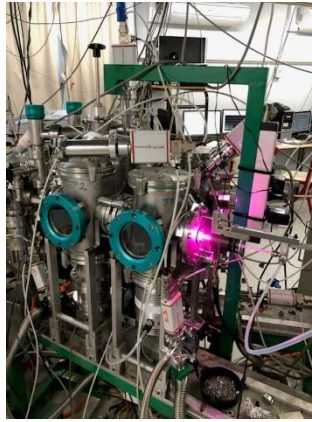
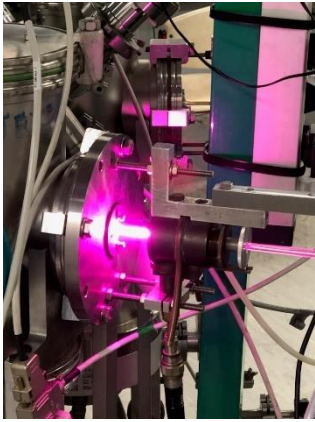
Nous avons des pistes à étudier, comme les deux modèles à élaborer et à améliorer, et d'autres expériences non mentionnées dans le rapport comme l'expérience avec l'Argon. L'expérience avec l'Argon est importante car comme le diazote, c'est une espèce chimique très stable mais aussi plus lourde que cette dernière. Et le principal intérêt d'utiliser cet élément est sa masse plus importante car l'on pense que le facteur masse aurait des conséquences sur la désorption chimique indirecte. La deuxième expérience à considérer est de créer une monocouche de diazote (N_2) puis une monocouche de Dioxygène (O_2) et d'envoyer de l'hydrogène atomique via du plasma. Ici, on veut résoudre le problème de probabilité que le diazote et le dioxygène soient voisins.

Conclusion

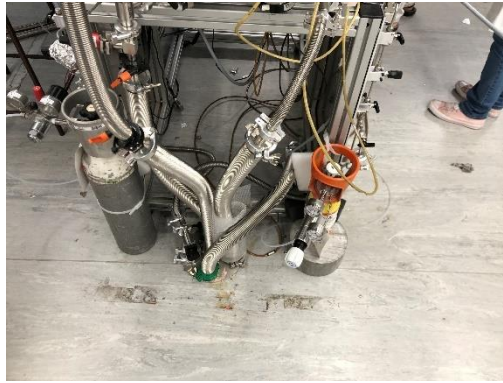
Après avoir présenté le contexte des manipulations, avoir appris comment fonctionnait le dispositif, qui est encore à l'heure actuelle un prototype. Il y a encore des choses à améliorer, à changer ou à revoir, mais cela est une bonne base pour reproduire les conditions de l'ultravide. Mon étude de la formation du méthanol s'est vite concentrée sur la compréhension de la possibilité d'une désorption sans effet de chauffage de l'échantillon en Or. L'intérêt était d'exclure les possibilités de réaction avec d'autres espèces chimiques présentes. C'est pour cela que nous avons pris une espèce chimique stable ayant la même masse que le monoxyde de carbone. Par conséquent, nous retrouvons des résultats quasiment similaires. Et cela confirme l'hypothèse pour laquelle il y a une désorption chimique indirecte, et que cela affecte les espèces chimiques stables et instables.

Annexes

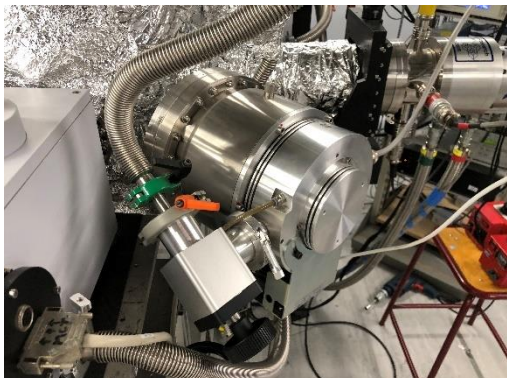
Annexe n°1 – photos du plasma d'hydrogène



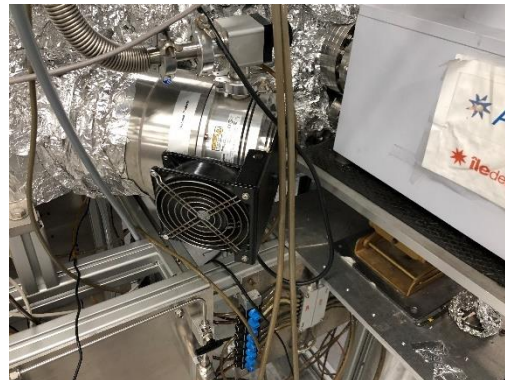
Annexe n°2 – photo des bouteilles de monoxyde de carbone et de dioxygène



Annexe n°3 – photo de la pompe de la chambre principale



Annexe n°4 – photo de la pompe de la chambre secondaire



Bibliographie

* MINISSALE, M., MOUDENS, A., BAUCHE, S., CHAABOUNI, H. DULIEU, F. (2016).
Hydrogenation of CO-bearing species on grains: unexpected chemical desorption of CO.

Consultable à l'adresse suivante : <https://cylerma.cyu.fr/version-francaise/publications/articles>

* GADALLAH, K A K., SOW, A., CONGIU, E., BAUCHE, S., DULIEU, F. (2020).
Variation of the sticking of methanol on low-temperature surfaces as a possible obstacle to freeze out in dark clouds.

Consultable à l'adresse suivante : <https://cylerma.cyu.fr/version-francaise/publications/articles>