

# MolPlan

## Nouveaux berceaux de molécules dans l'espace interstellaire: nébuleuses planétaires

DUREE

15/12/2015 - 15/03/2018

BUDGET

150 000 €

### DESCRIPTION DU PROJET

Lorsque des étoiles de faible masse ou de masse intermédiaire comme notre Soleil arrivent en fin de vie, elles deviennent dans un premier temps géante rouge puis naine blanche. Au cours de cette dernière étape, les géantes les plus anciennes dispersent leurs couches externes de gaz et de poussière dans l'espace, en produisant de jolies nébuleuses planétaires. Durant cette phase de nébuleuse planétaire, le cœur de l'étoile est une naine blanche, très chaude, dont le rayonnement UV devrait détruire la plupart des molécules éjectées et en empêcher la formation de nouvelles. Toutefois, ces dernières années, des travaux ont clairement démontré que la proportion de molécules présentes dans les nébuleuses n'est pas aussi négligeable qu' initialement escompté.

La détection en 2014 par le satellite Herschel de OH<sup>+</sup>, dans la nébuleuse de l'Hélice, fut la première preuve de la formation de molécules ionisées dans les nébuleuses planétaires. Elle engendra de nombreux questionnements relatifs à la persistance et à la formation de molécules. Les observations montrent que les molécules se situent dans, ou au voisinage de nuages denses qui les protègent du rayonnement UV de l'étoile centrale. C'est dans ces nuages que les molécules peuvent survivre la phase de nébuleuse planétaire et peuvent se former. Ils sont observés dans de nombreuses nébuleuses planétaires très évoluées, dont les réactions nucléaires de l'étoile ont cessé et dont la luminosité a diminué significativement. L'origine des nuages est un sujet très débattu. Un grand nombre de scientifiques prétendent qu'elles sont les restes de phases évolutives antérieures, avant que le rayonnement de l'étoile n'ionise l'environnement. Ces structures ne sont toutefois pas observées, ou observables, dans des nébuleuses planétaires plus récentes. C'est cette contradiction que nous nous proposons d'aborder en étudiant une nouvelle source d'instabilité qui pourrait expliquer la formation des nuages par la recombinaison du gaz ionisé autour des naines blanches, au cours de leur refroidissement. Nous utiliserons le logiciel PDR Cloudy afin de suivre l'évolution des conditions physiques lors de cette recombinaison du plasma. Le modèle sera par la suite utilisé afin de déterminer le niveau d'instabilité du gaz produit ainsi que le temps nécessaire à la formation des nuages. Enfin, nous utiliserons Cloudy pour modéliser les courants d'advection de ces globules dans le cas de la nébuleuse de l'Hélice et reproduire les observations obtenues par le satellite Herschel.

Au début des années 90, l'étoile de Sakurai fut le siège d'un pulse thermique très tardif puis elle refroidit rapidement et recommença son évolution, et son réchauffement, dans la branche asymptotique des géantes (AGB). Elle reformera ensuite une nouvelle nébuleuse planétaire au sein de la précédente. Durant le dernier pulse thermique, l'étoile centrale a ingéré le reste de l'hydrogène présent dans son enveloppe provoquant le flash de l'hydrogène et l'enclenchement du processus-i (équivalent des processus-s et -r présents, respectivement, dans les étoiles AGB et dans les supernovae) permettant la création d'éléments plus lourds. Le processus-i est un phénomène important des étoiles de première génération, et c'est F. Herwig qui le premier proposa qu'il puisse être, ou avoir été, enclenché dans l'étoile de Sakurai. Cette proposition n'a toutefois, pas encore été prouvée par des observations. Après le flash qui résulte de l'ingestion d'hydrogène, les éléments produits sont immédiatement expulsés dans l'environnement circumstellaire pour former des molécules et de la poussière. Cet éjecta constitue une opportunité unique pour étudier, en temps réel, le processus-i ainsi que la chimie moléculaire dans un environnement enrichi en carbone.

En l'occurrence, ce carbone est le produit des réactions nucléaires de l'étoile. L'éjecta des étoiles AGB est, en effet, l'un des rares milieux enrichis en carbone observé dans la Galaxie. Le gaz de leurs enveloppes est le siège d'une chimie organique unique qui forme un grand nombre de molécules complexes et variées que l'on retrouve également dans les milieux protostellaires où se forment les étoiles et les planètes. Il est donc légitime de se demander ce que deviennent les molécules formées autour des étoiles AGB lorsqu'elles évoluent en nébuleuses planétaires, elles-mêmes ionisées par le rayonnement UV de la naine blanche. Quelles sont les molécules qui subsistent ? Quelles sont celles qui sont formées ? Comment sont-elles formées ? Ce sont des questions importantes auxquelles il est nécessaire de répondre pour comprendre l'enrichissement chimique des nuages dans lesquelles se forment les étoiles et les planètes. Comprendre le processus-i est également primordial pour une meilleure compréhension de l'évolution des premières générations d'étoiles et, par conséquent, de l'Univers. L'étude que nous proposons fournira des contraintes fondamentales pour la modélisation de ce processus.



# MolPlan

L'astronomie est une science qui peut être enseignée à différents niveaux d'âge, de 3 à 99 ans. L'observation du ciel place notre propre existence dans une perspective plus universelle et impacte notre façon de penser. Les enfants sont fascinés par l'espace. L'astronomie peut donc contribuer à éveiller leur intérêt pour la science et les technologies. Tout particulièrement, les nébuleuses planétaires sont captivantes à leurs yeux. Elles sont jolies, possèdent des formes et des couleurs intrigantes, et sont le siège de phénomènes physiques et chimiques nombreux et variés. Parce qu'elles évoluent relativement rapidement, les enfants peuvent réaliser que le ciel n'est pas aussi statique et immuable qu'ils pouvaient l'imaginer, mais qu'il évolue continuellement et s'ouvre constamment à de nouvelles découvertes.

## COORDONNEES

### Coordinateur

Griet C. Van de Steene  
Observatoire royal de Belgique  
Astronomie et Astrophysique  
[g.vandesteene@oma.be](mailto:g.vandesteene@oma.be)

## LIENS

<http://aa.oma.be>  
<http://aa.oma.be/MolPlan/index.html>