

de l'INSUE : « Physico-Chimie du Milieu Interstellaire » (PCMI) et « Programme National de Planétologie » (PNP). Il a par ailleurs bénéficié de temps de faisceau octroyé par le comité de programme du Rayonnement Synchrotron d'Orsay Super-ACO.

Notes et références

Les résultats décrits dans cet article sont développés dans le manuscrit de thèse de doctorat de Séverine Boyé, Université Paris-Sud, 2001.

- [1] Crovisier J., Physics and chemistry of comets: recent results from comets Hyakutake and Hale-Bopp, *Faraday Discussions*, **1998**, *109*, p. 437.
- [2] Herbst E., The chemistry of interstellar space, *Chem. Soc. Rev.*, **2001**, *30*, p. 168.
- [3] Herbst E., Chemistry of star-forming regions, *J. Phys. Chem. A*, **2005**, *109*, p. 4017.
- [4] Glassgold A.E., Circumstellar photochemistry, *Annu. Rev. Astron. Astrophys.*, **1996**, *34*, p. 241.
- [5] Jackson W.M., The photochemical formation of cometary radicals, *J. Photochemistry*, **1976**, *5*, p. 107.
- [6] Brooke T.Y., Toqunaga A.T., Weaver H.A., Crovisier J., Bockelée-Morvan D., Crisp D., Detection of acetylene in the infrared spectrum of comet Hyakutake, *Nature*, **1996**, *383*, p. 606.
- [7] Boyé S., Campos A., Fillion J.H., Douin S., Shafizadeh N., Gauyacq D., Spectroscopy of acetylene Rydberg states studied by VUV absorption and (3+1)-resonantly enhanced multiphon ionisation, *Compte-Rendu de Physique de l'Académie des Sciences*, **2004**, p. 239.
- [8] Alnama K., Boyé S., Douin S., Innocenti F., O'Reilly J., Roche A.-L., Shafizadeh N., Zuin L., Gauyacq D., Neutral excited radicals formed by ethylene photodissociation in the 8-24 eV region, *Phys. Chem. Chem. Phys.*, **2004**, *6*, p. 2093.
- [9] O'Reilly J., Douin S., Boyé S., Shafizadeh N., Gauyacq D., Production of electronically excited CH via the vacuum ultraviolet photodissociation of ethylene and the possible role of the ethylidene isomer, *J. Chem. Phys.*, **2003**, *119*, p. 820.
- [10] Campos A., Boyé S., Bréchnignac P., Douin S., Fellows C., Shafizadeh N., Gauyacq D., Vacuum-ultraviolet photodissociation of C₂H₂ via Rydberg states: a study of the fluorescent pathways, *Chem. Phys. Lett.*, **1999**, *314*, p. 91.
- [11] Boyé S., Campos A., Douin S., Fellows C., Gauyacq D., Shafizadeh N., Halvick P., Boggio-Pasqua M., Visible emission from the vibrationally hot C₂H radical following vacuum-ultraviolet photolysis of acetylene: Experiment and theory, *J. Chem. Phys.*, **2002**, *116*, p. 8843.
- [12] Draine B.T., Photoelectric heating of interstellar gas, *Astrophys. J. Suppl.*, **1978**, *36*, p. 595.
- [13] Rottman G.J., Woods T.N., Sparr T.P., Solar-stellar irradiance comparison experiment, *J. Geophys. Res.*, **1993**, *98*, p. 10667.



S. Boyé-Péronne

Séverine Boyé-Péronne est maître de conférences et Dolorès Gauyacq est professeur de chimie à l'Université Paris-Sud 11*.



D. Gauyacq

* Laboratoire de Photophysique Moléculaire, UPR 3361 du CNRS, Université Paris-Sud 11, Bât. 210, 91405 Orsay Cedex.

Courriels : severine.boyé@u-psud.fr, dolores.gauyacq@u-psud.fr

La photochimie des cyanopolynes

Étape clé de la chimie interstellaire ?

Isabelle Couturier-Tamburelli, Anne Coupeaud, Zohra Guennoun, Nathalie Piétri et Jean-Pierre Aycard

Résumé

Les observations astronomiques ont montré la présence de nombreuses molécules organiques dans le milieu interstellaire (MIS), particulièrement dans les nuages moléculaires. Une chimie extrêmement variée prend place sur les grains de poussières qui sont essentiellement constitués d'eau et soumis à des processus énergétiques tels que les rayonnements UV émanant des étoiles. Parmi ces molécules interstellaires, les cyanopolynes ont été détectés dans des environnements astrochimiques aussi divers que les nuages moléculaires denses, les enveloppes circumstellaires riches en carbone, ou dans les atmosphères de certaines planètes ou de leurs satellites tel Titan. Premier membre de cette famille, le cyanoacétylène (HC₃N) est particulièrement intéressant car il constitue l'une des briques de la synthèse des acides aminés et des pyrimidines. Cet article présente les résultats des processus photochimiques intervenant lors de l'irradiation du cyanoacétylène en matrice cryogénique, isolé ou associé à l'acétylène C₂H₂, ou encore piégé au sein de glaces d'eau, afin de proposer de nouvelles voies de formation des molécules détectées dans le MIS. Il est ainsi montré que le cyanobutadiène HC₅N pourrait être dû à la photochimie d'un mélange de cyanoacétylène et d'acétylène, tous deux présents dans les mêmes environnements interstellaires. De même, la réaction du cyanoacétylène en présence d'eau conduit à la formation d'un énol, étape probable de la synthèse de la cytosine, un des constituants de l'ADN.

Mots-clés

Photochimie, milieu interstellaire, chimie prébiotique, cyanopolynes, spectrométrie infrarouge.

Abstract

Photochemistry of cyanopolynes: a key of interstellar chemistry

Astronomical observations have shown the presence of numerous organic molecules in the interstellar medium (ISM), particularly in the molecular clouds. A rich chemistry takes place on the surface of the grain mantles, essentially constituted of water. These icy grain mantles are submitted to energetic processes such as UV rays coming from stars that lead to the formation of many complex organic molecules. Among the interstellar molecules, cyanopolynes have been detected in a variety of astronomical environments as dense molecular clouds, circumstellar regions and on planet satellites as Titan. The first member of this family, the cyanoacetylene (HC₃N), is of a great interest since it is one of the essential precursors in the synthesis of the amino-acids and pyrimidines. This paper is focused on the photochemistry of HC₃N in cryogenic matrix, isolated and associated with the acetylene C₂H₂, and then trapped in water ices to propose

new routes of synthesis way for molecules detected in the ISM. As a result, it is shown that the cyanobutadiyne HC_5N could be produced by photolysis of a mixture of cyanoacetylene/acetylene, both detected in the same astronomical objects, and also that the cyanoacetylene, trapped in water, leads to the formation of an enol, a possible key component in the synthesis of the cytosine, one of the constituents of DNA.

Keywords Photochemistry, interstellar medium, prebiotic chemistry, cyanopolynes, infrared spectroscopy.

L'étude de la composition et de la formation de la matière interstellaire reste un thème majeur de l'astrochimie. Ainsi, grâce à l'évolution des moyens de détection dans les différents domaines du spectre électromagnétique (UV, visible, IR, millimétrique et submillimétrique), des dizaines de molécules au sein d'environnements aussi divers que les nuages moléculaires denses, les enveloppes circumstellaires, les comètes et les atmosphères de planètes ou de satellites du système solaire ont pu être identifiées.

À ce jour, plus de 150 entités moléculaires (ions, radicaux et molécules) ont été répertoriées dans le milieu interstellaire (MIS) et les enveloppes circumstellaires. Parmi ces molécules, plusieurs sont considérées par les scientifiques comme étant des espèces prébiotiques susceptibles d'être à l'origine de la vie sur la Terre primitive. Même si les conditions qui régnaient aussi bien à la surface de la Terre que dans son atmosphère sont mal connues, les études concernant la chimie prébiotique se sont multipliées depuis l'expérience de Miller afin de comprendre l'évolution chimique de la matière et l'apparition de la vie sur Terre [1].

Le MIS, composé d'un mélange de gaz et de poussières, présente un domaine de températures variées comprises entre 10 et 10^4 K et une densité comprise entre 100 et 10^8 atomes d' H_2 par cm^3 [2]. Il est essentiellement constitué d'hydrogène, de 10 % d'hélium et d'environ 0,1 % de composés contenant des atomes de carbone, d'azote et d'oxygène. Bien que la masse totale des grains de poussière interstellaire ne représente qu'approximativement 1 % de celle du gaz, ces poussières jouent un rôle fondamental dans la chimie de ce milieu. Constituées d'un noyau froid, elles ont la propriété de pouvoir piéger les molécules, ou les atomes qu'elles rencontrent, par condensation sur leur surface. Il se forme alors un manteau de glace (majoritairement composé d'eau) qui joue un rôle de catalyseur fondamental pour la chimie du MIS. Dans ces glaces, de nombreuses molécules, non nécessairement détectées en phase gazeuse, sont également observées et continuellement soumises aux rayonnements cosmiques qui génèrent ainsi une importante photochimie. L'action des rayonnements UV émanant des étoiles joue un rôle fondamental en dissociant les molécules du manteau et en créant de nouvelles espèces neutres, ionisées ou radicalaires, dont l'évolution au sein de ces glaces peut conduire à la formation de molécules complexes.

Détectés en abondance par radioastronomie dans des environnements interstellaires extrêmement différents, les cyanopolynes HC_{2n+1}N ($n = 1-5$) sont parmi les espèces les plus étonnantes du MIS. Il est par ailleurs intéressant de noter qu'à ce jour, la molécule observée contenant le plus d'atomes est le cyanodécapentayne, HC_{11}N . L'une des hypothèses probables pour l'origine de leur formation est une réaction photochimique impliquant l'acétylène et l'acide cyanhydrique HCN qui est l'une des molécules les plus abondantes du MIS.

L'exemple le plus probant est la formation du premier élément de la série : le cyanoacétylène (HC_3N). En

effet, il est fortement envisagé que ce composé soit issu de la réaction entre le radical $\cdot\text{CN}$, provenant de la dissociation de HCN, et C_2H_2 [3] qui est quasiment toujours présent dans les environnements où se retrouvent les cyanopolynes. L'acétylène a en effet été détecté dans un grand nombre d'environnements interstellaires comme les enveloppes circumstellaires (IRC+10216), les nuages moléculaires (Orion, Taurus) et les comètes (Hale-Bopp, Hyakutake).

Soumis aux rayonnements UV des étoiles, les cyanopolynes donnent naissance aux radicaux $\cdot\text{C}_{2n+1}\text{N}$ (avec $n \leq 4$) et $\cdot\text{CN}$ à l'origine de processus de photoisomérisations et de recombinaisons. Ainsi, les homologues supérieurs pourraient être obtenus par la recombinaison d'un nitrile radicalaire avec l'acétylène ou un polyacétylène, lui-même formé à partir de la réaction du radical $\cdot\text{C}_2\text{H}$ avec l'acétylène. La photodissociation de ce dernier, par absorption de rayonnements UV énergétiques ($\lambda \leq 200$ nm), conduit en effet à la formation du radical $\cdot\text{C}_2\text{H}$ et à de longues chaînes carbonées.

Le grand intérêt du cyanoacétylène est qu'il constitue l'une des briques de la synthèse des purines et des pyrimidines [4]. Celles-ci peuvent être synthétisées à partir d'un mélange de cyanogène (C_2N_2) et de cyanoacétylène. La très grande réactivité de HC_3N envers des molécules simples en milieu aqueux conduit aux bases constitutives des acides nucléiques (cytosine, uracile). Dès lors, il a été envisagé que le cyanoacétylène ait pu jouer un rôle essentiel dans la formation des composés organiques du milieu vivant au temps de l'atmosphère primitive terrestre (figure 1).

À l'instar de HC_3N , le cyanobutadiyne (HC_5N), deuxième membre de la famille des cyanopolynes [5], est observé dans un grand nombre de sources (tableau I). Un mélange $\text{C}_2\text{H}_2:\text{HC}_3\text{N}$ soumis aux rayonnements UV-visible des étoiles pourrait conduire à sa formation. Pour vérifier ces hypothèses, nous avons donc étudié la photochimie du

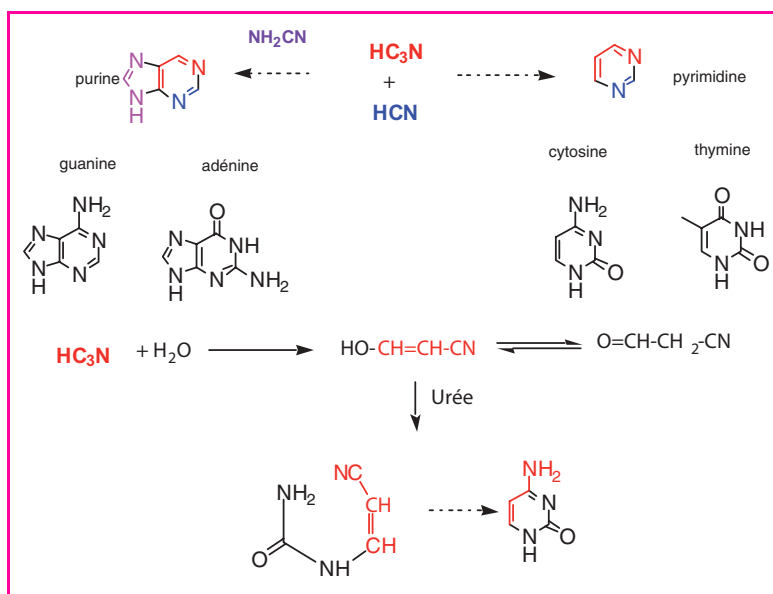


Figure 1 - HCN et HC_3N : éléments constitutifs des bases purines.

cyanoacétylène isolé ou complexé à l'acétylène, ou encore piégé dans des glaces d'eau dans des conditions proches de celles du MIS.

Dispositif expérimental en laboratoire

Nos expériences sont réalisées sous une pression de 10^{-7} mbar (atteinte à l'aide d'une pompe turbomoléculaire), dans un domaine de températures maintenu entre 10 et 300 K (à l'aide d'un compresseur à hélium), et suivies au moyen de la spectrométrie infrarouge à transformée de Fourier. Le dispositif expérimental est composé d'une enceinte sous vide (cryostat) contenant une surface maintenue à basse température sur laquelle le mélange gazeux à étudier est déposé.

Dans un premier temps, les expériences sont réalisées en matrice cryogénique. Cette technique consiste à piéger la ou les molécules à étudier de façon à les isoler à très basses températures dans une matrice de gaz rare transparent en infrarouge. À très basse température, l'absence de structures rotationnelles et de collisions entre les molécules permet d'obtenir un spectre infrarouge constitué de raies très fines. Les résultats sont donc plus facilement interprétables que ceux qui sont obtenus dans les solides où les interactions intermoléculaires conduisent à des bandes larges. En matrice de gaz rare, la réponse spectrale d'une molécule dépend de son environnement dans le site de piégeage, et en particulier s'il existe une deuxième molécule en interaction. Cette interaction se traduit alors par une modification des fréquences de vibration par rapport à celles des molécules isolées. La technique d'isolement en matrice cryogénique à très basse température permet également de piéger des espèces réactives et instables à température ambiante et pression atmosphérique. Un recuit ou une élévation de température de la matrice permet de suivre une éventuelle réactivité. Ces expériences en matrices cryogéniques sont par conséquent



La vue présente des nébulosités étendues liées au nuage moléculaire géant d'Orion localisé à des centaines d'années-lumière de la Terre. Située en bas à gauche, la nébuleuse de la tête de cheval apparaît comme un nuage moléculaire sombre contenant des gaz et des poussières responsables de la forte absorption observée.

Photo : Robert Gandler, www.robgandlerastropics.com

Tableau I - Sources au sein desquelles des cyanopolyyènes ont été observés. En rouge sont indiquées les espèces observées dans nos expériences.

Sources		Espèces détectées
Enveloppe circumstellaire	IRC+10216	C_2H_2 , C_2H^+ , C_4H_2 , C_6H_2 , HCN, *CN , HC_3N , HC_5N , HC_7N , HC_9N , $HC_{11}N$, *C_3N , *C_5N , C_4H^+ , C_6H^+ ...
Nuage moléculaire H II ionisé « Hot molecular core »	Orion	C_2H_2 , C_2H^+ , HCN, *CN , HC_3N , HC_5N , HC_7N , HC_9N
Nuage moléculaire au centre de région galactique « Dense dark cloud »	Sgr B ₂	HCN, *CN , HC_3N , C_2H^+ , HC_5N
	TMC-1	HCN, *CN , HC_3N , C_2H^+ , HC_5N , HC_7N , HC_9N , $HC_{11}N$
Nébuleuse protoplanétaire	CRL 618	HC_3N , C_2H_2 , HC_5N , HC_7N , HC_9N , HCN
Comète	Hale-Bopp	C_2H_2 , HC_3N
Satellite	Titan (Saturne)	HCN, HC_3N , C_2H_2 , C_4N_2

un préalable à des expériences effectuées sur des surfaces ou à l'intérieur des glaces.

Les rayonnements UV, simulant ceux du MIS, sont obtenus par ionisation d'un flux de molécules d'hydrogène à l'aide d'une décharge micro-onde. Cette dernière est produite à partir d'une lampe externe dont la fenêtre (MgF_2) transparente au rayonnement UV laisse passer ce rayonnement directement sur l'échantillon. Le spectre d'émission de cette lampe présente ainsi deux maxima situés autour de 120 et 160 nm [6] générant un flux UV plus élevé que celui régnant dans le MIS. Une heure d'irradiation réalisée avec cette lampe correspond à plusieurs milliers d'années d'irradiation dans le MIS. Les spectres des produits ainsi formés sont confrontés à ceux obtenus par calculs théoriques afin de permettre leur identification.

Résultats expérimentaux

Le domaine d'irradiation de notre lampe UV ($\lambda > 120$ nm) permet de rompre les liaisons chimiques. Les radicaux ainsi formés ont la possibilité de diffuser et par conséquent de conduire à la formation de nouvelles espèces. Deux exemples sont développés par la suite afin d'illustrer ce phénomène.

Photochimie en matrice cryogénique

Afin d'expliquer la présence au sein du MIS des différents cyanopolyyènes ainsi que de leurs isomères, nous avons étudié la photochimie du cyanoacétylène et de l'acétylène piégés en matrice. Outre les radicaux provenant des fragmentations élémentaires majoritaires et minoritaires illustrées dans la figure 2, l'irradiation à $\lambda > 20$ nm du cyanoacétylène et de l'acétylène conduit à la formation de nouvelles molécules. Trois isomères du cyanoacétylène sont ainsi formés, HCCNC, HNCCC et CCNCH [7], dont les deux premiers ont été détectés dans le MIS et notamment dans le nuage moléculaire

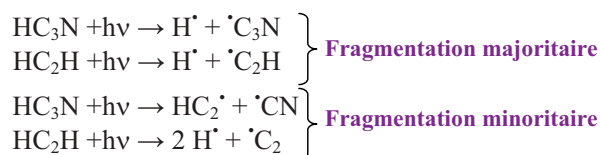


Figure 2 - Fragmentations majoritaire et minoritaire observées lors de l'irradiation de HC_3N et de C_2H_2 à $\lambda > 120$ nm.

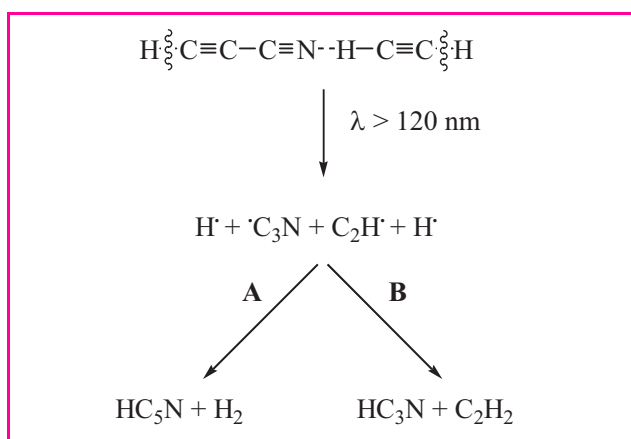


Figure 3 - Mécanisme proposé pour la formation du cyanobutadiyne HC_5N lors de l'irradiation des complexes $\text{C}_2\text{H}_2:\text{HC}_3\text{N}$ à $\lambda > 120 \text{ nm}$.

Taurus. Dans les mêmes conditions, l'irradiation de l'acétylène conduit à des chaînes carbonées telles C_4 , $\cdot\text{C}_4\text{H}$ et C_4H_2 , également détectées dans le MIS. La formation de cyanopolyyènes à chaînes carbonées plus longues peut également être envisagée à partir de la recombinaison de ces différents radicaux.

Ainsi, lorsque nous irradiions un mélange de cyanoacétylène et d'acétylène [8] en matrice cryogénique à 10 K, les radicaux obtenus majoritairement (H^\bullet , $\cdot\text{C}_2\text{H}$ et $\cdot\text{C}_3\text{N}$) se recombinent et conduisent à la formation du HC_5N (figure 3, voie A) ou à l'obtention des produits de départ (figure 3, voie B). La formation de HC_5N dans le MIS pourrait donc être issue de la photolyse ou photoréactivité d'un mélange de cyanoacétylène et d'acétylène présents dans les mêmes environnements interstellaires.

L'irradiation du cyanoacétylène en présence d'eau (complexé en matrice d'argon ou piégé dans des glaces d'eau) induit des processus différents [9].

Sous irradiation UV, la photolyse de l'eau conduit majoritairement à la formation des radicaux H^\bullet et OH^\bullet . Par addition du OH^\bullet sur l'espèce $\cdot\text{C}_3\text{N}$, résultant de la photolyse de HC_3N , on obtient le cyanoéthynol qui se tautomérise en cyanocétène (figure 4, voie A). Par un autre processus photochimique, nous observons la formation d'un complexe $\text{C}_2\text{O}:\text{HCN}$ obtenu par addition des radicaux O^\bullet et H^\bullet sur les espèces C_2 et $\cdot\text{CN}$ respectivement (figure 4, voie B).

Photochimie du cyanoacétylène piégé dans une glace d'eau [9]

Lors de l'irradiation à $\lambda > 120 \text{ nm}$ d'une glace composée de cyanoacétylène et d'eau, nous observons la formation de méthane, d'ozone, de CO , de CO_2 et du radical HCO^\bullet , ainsi que d'oxygène moléculaire. En plus de ces espèces détectées dans le MIS, cette irradiation a conduit à un énoïl, le 2-hydroxy-acrylonitrile, et à son tautomère, le pyruvonnitrile (figure 5). En revanche, le cyanoacétylène hydrolysé en solution basique est transformé en 3-hydroxy-acrylonitrile et en son tautomère, le cyanoacétaldéhyde, considéré comme un précurseur potentiel de la cytosine par Robertson et Miller [4].

Bien que tous ces composés obtenus en laboratoire n'aient pas été détectés jusqu'à présent dans le MIS, nos résultats expérimentaux devraient permettre d'envisager leur recherche lors de futures observations astronomiques par les satellites Herschel et Spitzer.

Conclusion

Au cours de nos expériences en laboratoire, nous avons pu montrer que les cyanopolyyènes, et plus particulièrement le cyanoacétylène, étaient au centre d'une photochimie extrêmement riche et variée. Par photo-isomérisation, ou photolyse, ils engendrent toute une série de molécules complexes déjà détectées, ou potentiellement détectables dans le MIS par les futurs moyens d'observation programmés pour les prochaines années. Parmi ces composés, nombreux sont ceux qui sont susceptibles d'engendrer une chimie prébiotique conduisant aux molécules du vivant. Ces résultats nous conduisent à penser que les cyanopolyyènes, précurseurs possibles des acides aminés et des bases pyrimidiques, présents dans des environnements extrêmement différents du milieu interstellaire, devraient permettre d'élucider la formation d'une partie de la matière organique dans le MIS. Considérant la similitude des espèces présentes dans différentes nébuleuses, et si l'universalité des photoprocessus est prouvée, la présence de la vie dans d'autres exoplanètes apparaîtra bien plus probable.

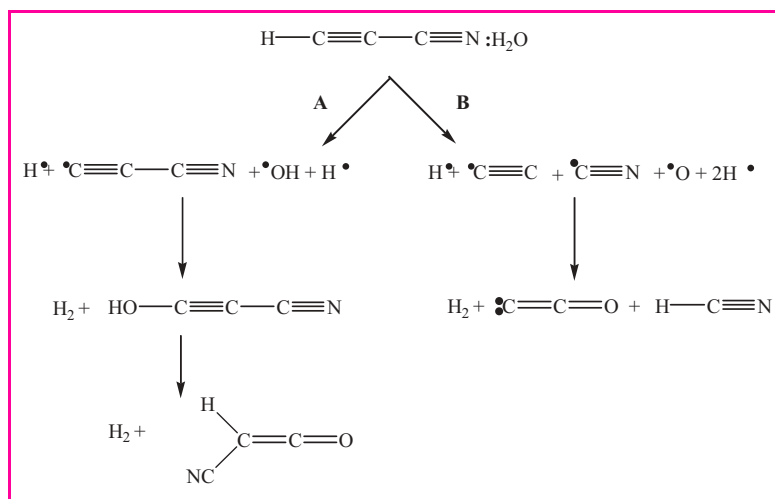


Figure 4 - Mécanisme proposé pour la formation du cyanocétène et du complexe $\text{C}_2\text{O}:\text{HCN}$ lors de l'irradiation des complexes $\text{HC}_3\text{N}:\text{H}_2\text{O}$ à $\lambda > 120 \text{ nm}$.

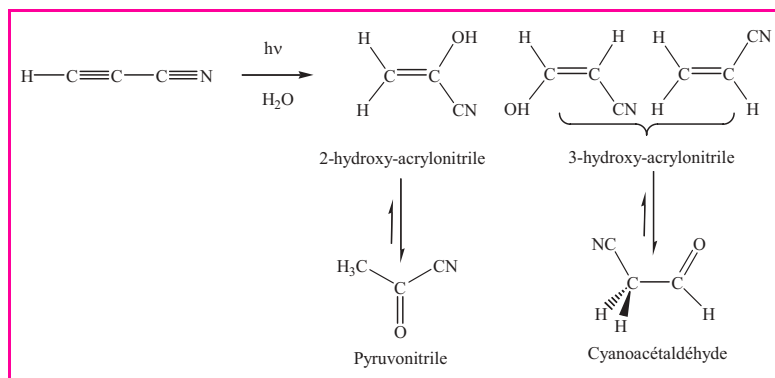


Figure 5 - Mécanisme proposé pour la formation du 2-hydroxy-acrylonitrile et du pyruvonnitrile lors de l'irradiation d'un manteau de glace constitué d'eau et de HC_3N à $\lambda > 120 \text{ nm}$.

Références

- [1] Miller S.L., Urey H.C., Organic compound synthesis on the primitive Earth: several questions about the origin of life have been answered, but much remains to be studied, *Science*, **1959**, 130, p. 245.
- [2] Ehrenfreund P., Charnley S.B., Organic molecules in the interstellar medium, comets, and meteorites: a voyage from dark clouds to the early Earth, *Annu. Rev. Astron. Astrophys.*, **2000**, 38, p. 427.
- [3] Cherchneff I., Glassgold A.E., The formation of carbon chain molecules in IRC +10216, *Astrophys. J. Letters*, **1993**, 419, p. L41.
- [4] Robertson M.P., Miller S.L., An efficient prebiotic synthesis of cytosine and uracil, *Nature*, **1995**, 375, p. 772.
- [5] Ferris J.P., Sanchez R.A., Orgel L.E., Studies in prebiotic synthesis: III. Synthesis of pyrimidines from cyanoacetylene and cyanate, *J. Mol. Biol.*, **1968**, 33, p. 693.
- [6] Bernstein M.P., Sandford S.A., Allamandola L.J., Chang S., Infrared spectrum of matrix-isolated hexamethylenetetramine in Ar and H₂O at cryogenic temperature, *J. Phys. Chem.*, **1994**, 98, p. 12206.
- [7] Guennoun Z., Couturier-Tamburelli I., Piétri N., Aycard J.-P., UV photoisomerisation of cyano and dicyanoacetylene: the first identification of CCNCH and CCCNCN isomers. Matrix isolation, infrared and ab initio study, *Chem. Phys. Lett.*, **2003**, 368, p. 574.
- [8] Coupeaud A., Kolos R., Couturier-Tamburelli I., Aycard J.-P., Piétri N., Photochemical synthesis of the cyanodiacetylene HC₅N: a cryogenic matrix experiment, *J. Phys. Chem. A*, **2006**, 110, p. 2371.
- [9] Guennoun Z., Piétri N., Couturier-Tamburelli I., Aycard J.-P., Photoreactivity of cyanoacetylene trapped in water ice: an infrared, isotopic and theoretical study, *J. Phys. Chem. A*, **2005**, 109, p. 8299.



I. Couturier-Tamburelli



N. Piétri



Z. Guennoun

Isabelle Couturier-Tamburelli

(*auteur correspondant*) est maître de conférences au Laboratoire de physique des interactions ioniques et moléculaires, Équipe de « Spectrométries et dynamique moléculaire », Université de Provence et CNRS*.

Anne Coupeaud, ATER, **Nathalie Piétri**, maître de conférences, et **Jean-Pierre Aycard**, professeur, travaillent dans la même équipe*.

Zohra Guennoun est post-doctorante au Laboratorium of Physikalische Chemie, ETH Zürich (Suisse)**.

* Laboratoire de physique des interactions ioniques et moléculaires, UMR 6633, Équipe de « Spectrométries et dynamique moléculaire », Université de Provence et CNRS, Centre Saint-Jérôme, service 252, 13397 Marseille Cedex 20.
Courriels : isabelle.couturier@univ-provence.fr, anne.coupeaud@univ-provence.fr, nathalie.pietri@univ-provence.fr, jean-pierre.aycard@univ-provence.fr

** ETH Zürich, Laboratorium of Physikalische Chemie, HCI E 229, Wolfgang-Pauli-Strasse 10, CH-8093 Zürich (Suisse).
Courriel : zohra.guennoun@ir.phys.chem.ethz.ch



A. Coupeaud



J.-P. Aycard

Photochimie dans les atmosphères planétaires

À la recherche de la matière prébiotique

Marie-Claire Gazeau, Martin Schwell, Antoine Jolly, Yves Bénilan, Isabelle Kleiner et François Raulin

Résumé

Le Laboratoire interuniversitaire des systèmes atmosphériques (LISA) développe des programmes de recherche dont l'objectif est de mieux comprendre les lois régissant l'évolution abiotique de la matière vers des matériaux organiques complexes dans un environnement planétaire. Dans ce cadre, nous cherchons en particulier à déterminer la nature et estimer les abondances relatives des espèces mineures (principalement organiques) susceptibles d'être présentes dans des milieux extraterrestres, à préciser leurs mécanismes de formation et d'évolution dans ces conditions d'environnement, et à participer à la recherche par télédétection ou par mesure *in situ* de ces composés organiques dans les milieux planétaires. Récemment, nos activités se sont concentrées sur Titan, le plus gros satellite de Saturne. Les recherches menées sont étroitement liées à la mission spatiale Cassini-Huygens, qui a consisté en l'envoi d'un orbiteur (Cassini) autour de Saturne et Titan et d'une sonde (Huygens) dans l'atmosphère de Titan. Cet article décrit trois programmes de recherche s'inscrivant dans les problématiques planétologique et/ou exobiologique : simulations expérimentales de l'atmosphère de Titan ; spectroscopie infrarouge de NH₃, PH₃ et CH₃CN ; spectroscopie et photochimie VUV des molécules prébiotiques et biologiques.

Mots-clés

Spectroscopie, photochimie, exobiologie, atmosphères planétaires, chimie prébiotique, atmosphère de Titan, mission Cassini-Huygens.

Abstract

Photochemistry in planetary atmospheres: in search of the prebiotic molecules

The objective of LISA Laboratory's research programs is to understand the physico-chemistry related to the abiotic evolution of matter towards more complex organic molecules in a planetary environment, in particular to identify the chemical nature of minor organic species present (or to be expected) in the planetary environment and determine (or estimate) their abundances using photochemical models and space observations, to specify their formation and destruction mechanisms in this environment, and to participate in space missions including spectroscopic observations and *in situ* measurements. Recently, our researches