

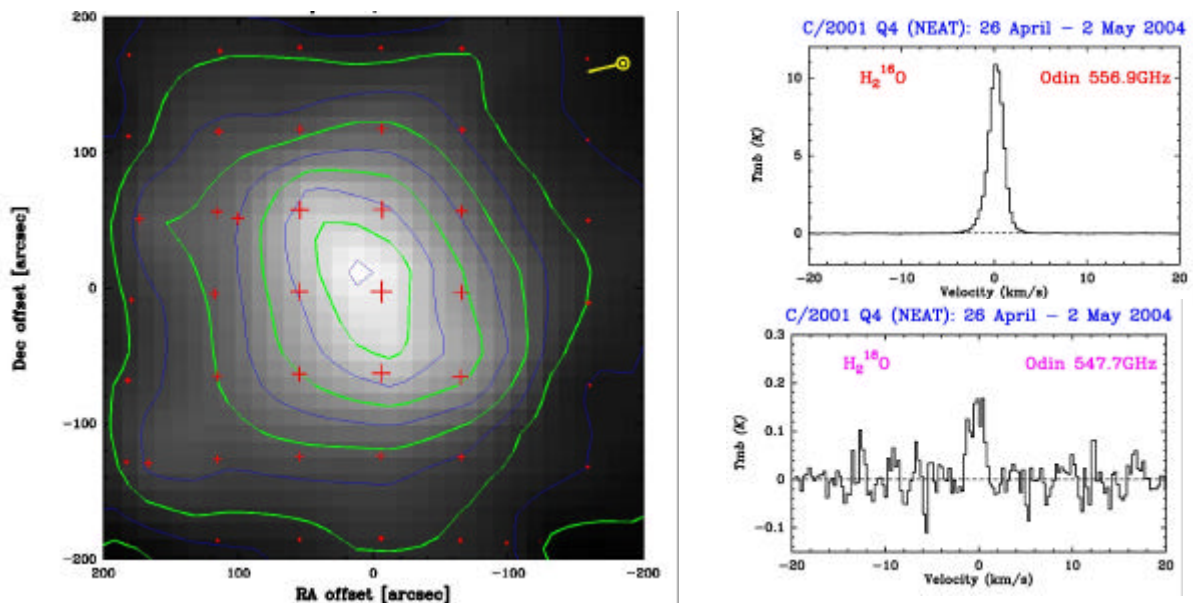
MISSION ODIN - FICHE SUR LES RESULTATS

RESULTATS OBTENUS EN ASTRONOMIE

- Parmi l'ensemble des résultats remarquables obtenus en astronomie avec Odin, on peut mentionner :
- la détection de l'eau (H_2O) et de ses isotopes dans une dizaine de comètes et de nombreuses sources galactiques,
 - la mesure de H_2O dans l'atmosphère de Mars avec une précision exceptionnelle,
 - l'observation de l'émission de l'ammoniac (NH_3) dans une étoile très riche en carbone,
 - le survey spectral dans la direction d'Orion et du centre galactique,
 - la très faible abondance de l'oxygène moléculaire (ou di-oxygène, O_2) qui met à mal les modèles théoriques,
 - et les observations en cours de structures spectrales sur le fond cosmologique

A titre d'illustration, les résultats suivants sont parmi les plus remarquables :

La recherche de l'Oxygène moléculaire dans l'Univers

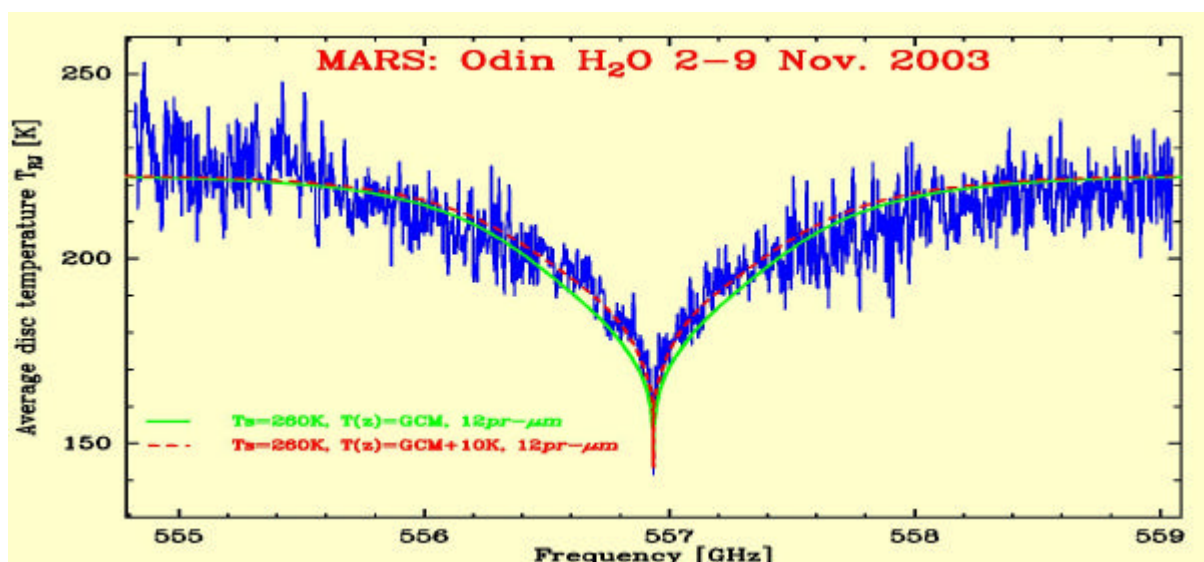


Présence de l'eau dans la comète C/2001 Q4 (NEAT)

L'oxygène moléculaire est le composé fondamental de l'atmosphère terrestre qui nous fait vivre. Sa présence massive dans l'atmosphère nous "aveugle" et nous empêche de le chercher dans l'univers. La meilleure stratégie est alors de se placer avec un télescope au-dessus de l'atmosphère pour échapper à celle-ci. C'est ce qui a été fait en réalisant Odin, équipé de deux récepteurs sensibles à la présence de cet oxygène moléculaire. Des recherches menées dans de nombreuses régions différentes de notre galaxie ont été lancées, des nuages moléculaires froids et inactifs (dans le Taureau ou la Licorne) jusqu'aux régions de formation d'étoiles massives comme le grand nuage d'Orion ou le Centre Galactique. Malgré des recherches très profondes, se traduisant par des centaines d'heures d'observations pour chacune de ces directions individuelles, la moindre trace de l'oxygène n'a pu être détectée. Or l'oxygène comme élément chimique est très abondant dans l'univers, c'est le troisième élément plus abondant après l'hydrogène et l'hélium. On en connaît de multiples formes (monoxyde de carbone, dioxyde de carbone, plus connu sous le nom de gaz carbonique sur terre, mais qui n'est observé que sous forme de neige carbonique dans l'espace, eau, méthanol, éthanol = alcool, etc.) sauf celle à laquelle les astronomes s'attendaient le plus! C'est à présent un mystère que l'on ne sait pas expliquer. Odin a réalisé là des observations qu'il sera difficile d'améliorer même avec la prochaine génération de télescopes spatiaux (Herschel). Il reste aux théoriciens à nous expliquer le pourquoi de ce mystère.

L'eau dans le Système Solaire

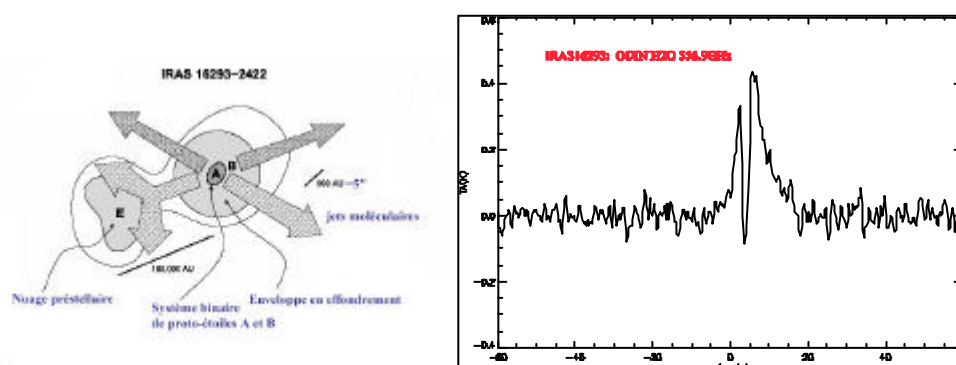
On présente une carte de l'intensité de la raie d'émission de l'eau à 557 GHz dans l'atmosphère de la comète C/2001 Q4 (NEAT) vue par Odin le 15 mai 2004. Les spectres des raies des isotopes $H_2^{16}O$ et $H_2^{18}O$ observés dans cette comète fin avril sont présentés à côté. L'eau est le constituant majeur dégazé par les noyaux cométaires et ne peut être aisément observé du sol. Odin a jusqu'à présent pu ainsi suivre le dégazage d'eau de 10 comètes et détecter l'espèce isotopique $H_2^{18}O$ dans 4 d'entre elles, avec un rapport $^{16}O/^{18}O$ comparable à ce qu'il est sur terre (environ 500). Les raies sont étroites car la vapeur d'eau s'échappe du noyau à moins de 1 km/s. Leur forme ainsi que les cartes aident à contraindre la distribution du gaz et les modèles d'atmosphères de ces comètes. [Tiré de Hjalmarsson et al., Adv. Sp. Res., 2005]



Présence de l'eau dans l'atmosphère de Mars

En 2003, à l'occasion de la grande opposition martienne, Odin a permis de mesurer précisément la quantité moyenne de vapeur d'eau (12 μm d'eau précipitable) de l'atmosphère de Mars en observant entre autres les raies de $H_2^{16}O$ à 556.9 GHz et de $H_2^{18}O$ à 547.7 GHz. La raie de l'eau est vue en absorption sur le disque de la planète. Sa largeur et sa forme dépendent aussi de la pression et la température atmosphériques de Mars. [Tiré de Biver et al., A&A, 2005].

L'eau dans une région de formation d'étoile

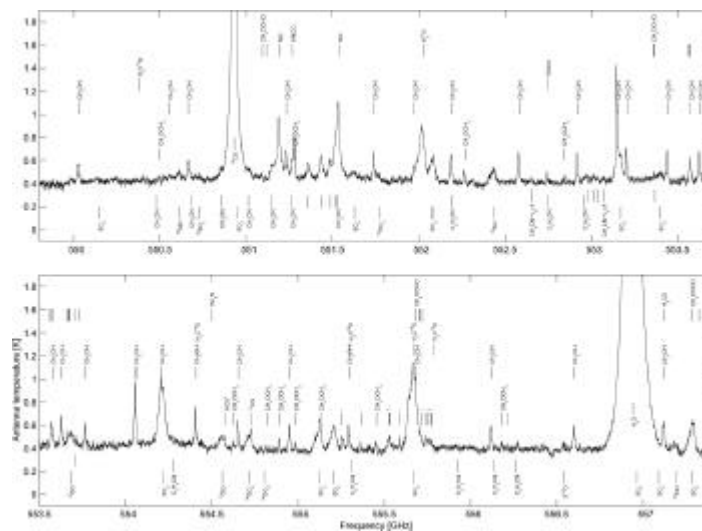


La formation stellaire dans une condensation moléculaire (ou nuage) de notre Galaxie est régie par deux effets qui s'opposent : la gravité et la pression thermique. Comment le nuage peut-il évacuer la chaleur produite lors de son effondrement dynamique pour pouvoir poursuivre la formation du noyau proto-stellaire ? Le processus efficace de refroidissement prédit par les modèles est l'évacuation d'énergie par émission de certains atomes et molécules 'clé' présents dans le nuage : H_2O , O_2 , CO et C (Ristorcelli et al., 2005).

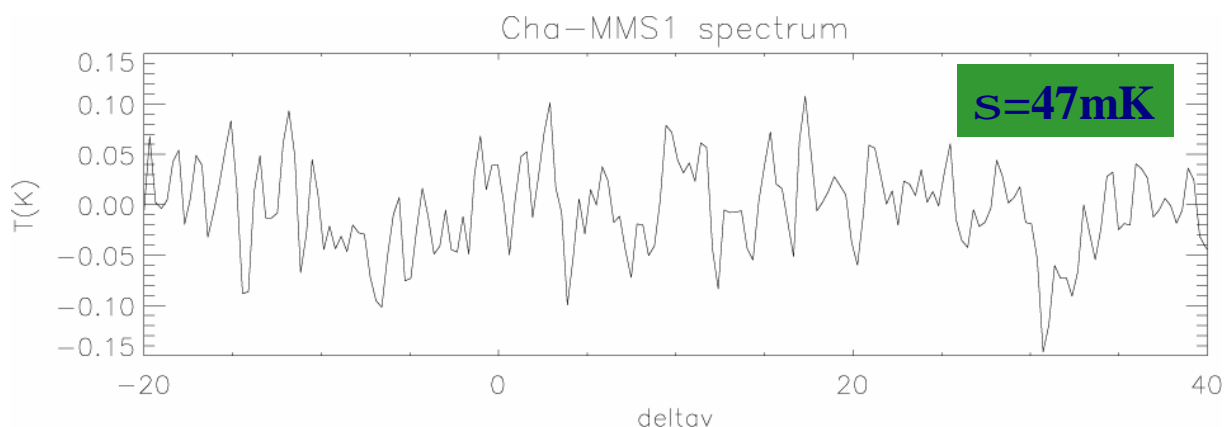
A gauche : IRAS16293 est un système binaire d'étoile en formation dans le nuage complexe proche de rho-Ophiuchi (à 160 parsecs). Chaque proto-étoile expulse, en se formant, de puissants jets moléculaires diamétralement opposés, associés à la propagation d'ondes de choc à des vitesses vertigineuses (~ 15 km/s).

A droite : La mesure du profil spectral de l'émission de H₂O avec ODIN permet de tracer la dynamique complexe de la région et de mieux comprendre les processus physico-chimiques en jeu. Le spectre observé avec ODIN peut être modélisé comme résultant de la superposition de deux sources d'émission : celle de l'eau mélangée au gaz dans l'effondrement du disque proto-stellaire et dans les jets moléculaires. Le motif vu en 'creux' est celui d'une auto absorption de l'eau présente dans le gaz du nuage froid entourant la proto-étoile.

Relevé spectral dans la direction d'Orion



Ce relevé spectral, explorant pour la première fois un grand nombre de transitions moléculaires, a mis en évidence une très grande variété de molécules présentes dans cette région de formation d'étoiles. Ces mesures permettent de mieux comprendre les conditions physiques du milieu et la richesse des réactions chimiques qui s'y produisent (*Hjalmarson et al. 2004, Cospar*).



Spectre de la raie ortho-H₂O à 555 GHz en direction du nuage sombre Cha-MMS1 ($\alpha_{1950} = 11\text{h}05\text{min}7\text{s}$ et $\delta_{1950} = -77^{\circ}07'18''$) mesuré par le spectromètre acousto-optique. La limite supérieure de l'abondance fractionnelle de l'eau en direction de cet objet est de $4 \cdot 10^{-8}$ ce qui confirme la sous-abondance importante de l'eau en phase gazeuse dans les environnements denses et froids. Dans ces milieux, l'eau s'est probablement condensée sur les grains de poussière interstellaire, formant des manteaux de glace, et modifiant ainsi les propriétés physico-chimiques du milieu..

LA MOYENNE ATMOSPHERE TERRESTRE VUE PAR ODIN

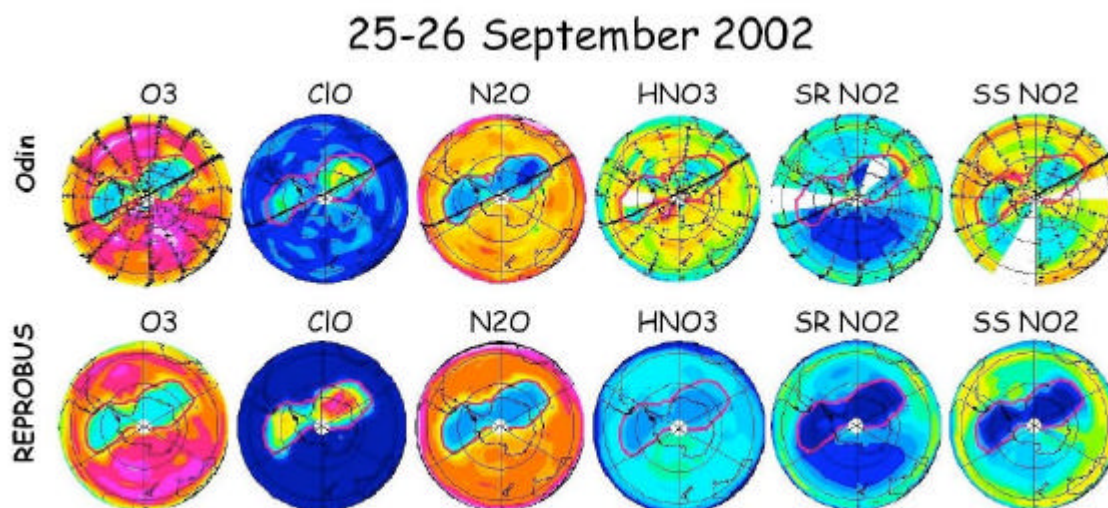
Les données de chimie atmosphérique produites par Odin sont traitées en Suède à partir d'un algorithme suédois et en France à partir d'un algorithme développé par des chercheurs du CNRS avec le soutien du CNRS (Programme national de Chimie Atmosphérique, PNCA) et du CNES. L'algorithme français a été installé au Pôle thématique « Ether » où il est accessible à travers Internet. Les scientifiques peuvent ainsi traiter les données Odin en fonction de leurs besoins.

Au pôle thématique « Ether », un service est dédié à la gestion et la production de données en chimie atmosphérique. Il met à la disposition des scientifiques français et internationaux des données mesurées par satellite, mais aussi à partir d'expériences embarquées sous ballon. « Ether » gère ainsi les données d'une quarantaine d'expériences. Ce centre a été développé en partenariat entre le CNES et le CNRS. Il est actuellement installé à l'Institut Pierre Simon Laplace (<http://ether.ipsl.jussieu.fr>).

L'association des deux instruments SMR et OSIRIS sur une même plateforme a permis de produire de nombreux résultats scientifiques sur : 1) l'évolution physico-chimique des vortex polaires et son impact sur l'évolution de la couche d'ozone, et 2) le couplage dynamique des différentes couches de l'atmosphère moyenne, de la stratosphère à la thermosphère (15-115 km). Ces travaux s'appuient aussi sur des résultats de modèles chimie-transport globaux et de techniques d'assimilation qui visent à coupler de manière optimale mesures et modèles. Des informations plus complètes peuvent être trouvées sur le site <http://smc.cnes.fr/ODIN/Fr>.

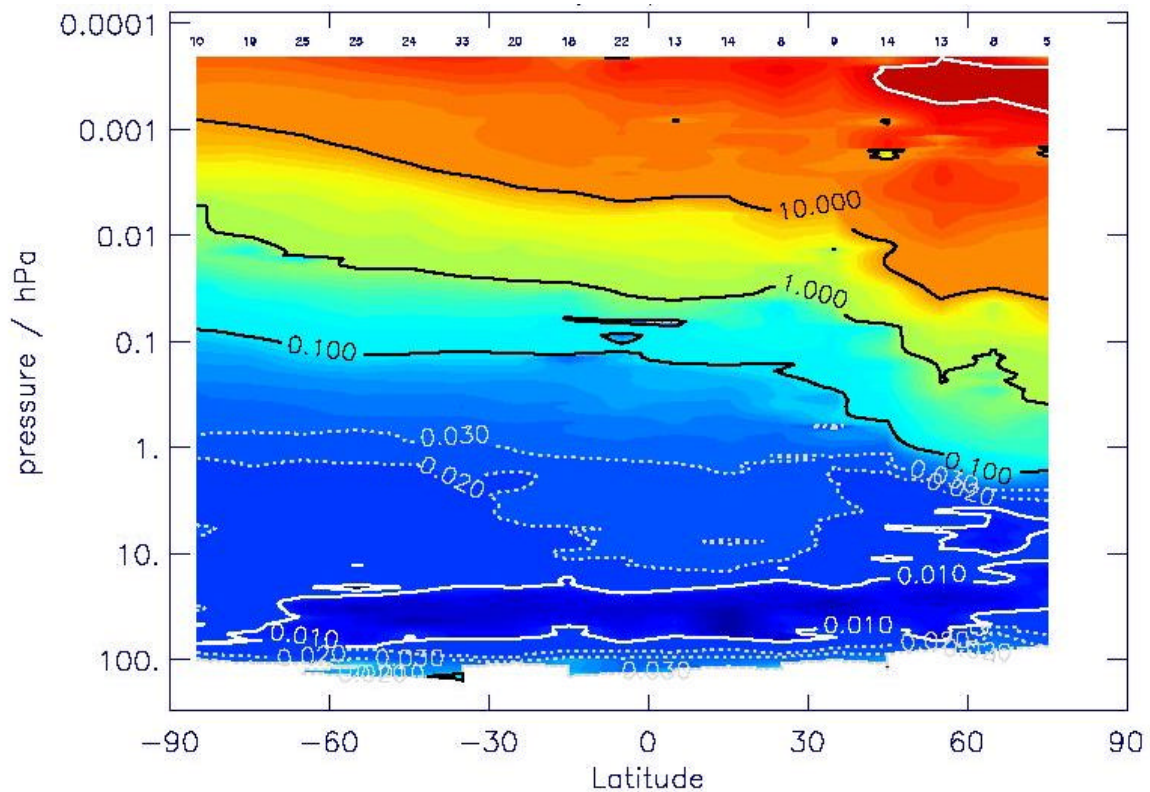
Deux résultats majeurs sont présentés dans ce document :

- la division exceptionnelle du vortex antarctique de septembre 2002
- et la répartition latitudinale du monoxyde de carbone observée pour la première fois en novembre 2001.



Séparation du vortex polaire au-dessus Antarctique

Cette figure montre l'évolution des constituants chimiques stratosphériques à 20 km d'altitude lors de la séparation du vortex polaire au-dessus de l'Antarctique en septembre 2002. La ligne du haut représente les constituants mesurés par Odin : l'ozone (O₃), le monoxyde de chlore (ClO), le protoxyde d'azote (N₂O), l'acide nitrique (HNO₃) et de dioxyde d'azote (NO₂) au lever de soleil (SR) et au coucher de soleil (SS). La ligne du bas représente les mêmes constituants calculés par le modèle global de chimie transport REPROBUS développé conjointement par le Service d'Aéronomie du CNRS et Météo-France. Associé à l'augmentation du ClO (constituant destructeur de l'ozone) et à la diminution de constituants azotés (HNO₃ et NO₂) dans les deux lobes du vortex (matérialisés par les faibles valeurs de N₂O), l'ozone décroît (trou d'ozone). La ligne rouge représente la bordure du vortex. Les couleurs bleu-violet sont associées à de faibles valeurs et les couleurs rouge-orangé à des valeurs élevées. [Tiré de Ricaud et al., J. Geophys. Res., 2005.]



Couplage dynamique des différentes couches atmosphériques : stratosphère, mésosphère et thermosphère

Représentation globale de mesures de monoxyde de carbone (CO) du pôle sud (à gauche) au pôle nord (à droite) et de 100 à 0,005 hPa (approximativement de 20 à 100 km d'altitude) le 18 novembre 2001. Les quantités élevées de CO dans la haute atmosphère (thermosphère/mésosphère) proviennent de la photodissociation du gaz carbonique et descendent en hiver à l'intérieur du vortex (pôle nord) jusque vers les couches les plus basses de la stratosphère autour de 1 hPa (approximativement 30 km). Les couleurs bleu-violet représentent de faibles valeurs ; les couleurs rouge-orangé représentent des valeurs élevées. [Tiré de Dupuy et al., *Geophys. Res. Lett.*, 2004.]

Sigles utilisés :

Adv. Sp. Res. : Advances in Space Research

A&A : Astronomy & Astrophysics

Cospar : Committee on Space Research

J. Geophys. Res. : Journal of Geophysical Research

Geophys. Res. Lett. : Geophysical Research Letters