





## Table des matières:

<b>Avant-propos</b>	4
<b><u>Chapitre 1: Activités de recherche en aéronomie.</u></b>	
1.1) Physique spatiale	8
1.1.1) La plasmasphère terrestre	8
1.1.2) Étude des aurores polaires	10
1.1.3) Définir l'environnement spatial pour aller sur Mars	12
1.2) Sources et puits des atmosphères	14
1.2.1) Observations dans l'infrarouge	14
1.2.2) Spectroscopie de masse	17
1.2.3) Modélisation de la chimie troposphérique	19
1.3) Gaz réactifs	20
1.3.1) Observations dans l'UV-Visible	20
1.3.2) Recherche pour l'exploitation intégrée de données atmosphériques	24
1.3.3) Modélisation stratosphérique et assimilation de données	27
1.4) Etude du rayonnement solaire UV-Visible	28
1.4.1) Sondage au limbe (Limb Remote Sounding)	28
1.4.2) Etude du rayonnement solaire	31
1.4.3) Détection des aérosols dans l'atmosphère de Vénus	35
<b><u>Chapitre 2: Services scientifiques à la communauté.</u></b>	
2.1) Le « temps chimique »	37
2.2) « Space weather »	38
2.3) Le B.USOC et les missions spatiales	41
<b><u>Chapitre 3: Structures de support</u></b>	
3.1) Service d'ingénierie	43
3.2.) ICT (supports informatiques et technologiques)	45
3.3) Administration: budget, personnel	46
3.4) Communication	51
<b><u>Annexes:</u></b>	
Liste des principaux acronymes utilisés dans ce rapport annuel 2008	53

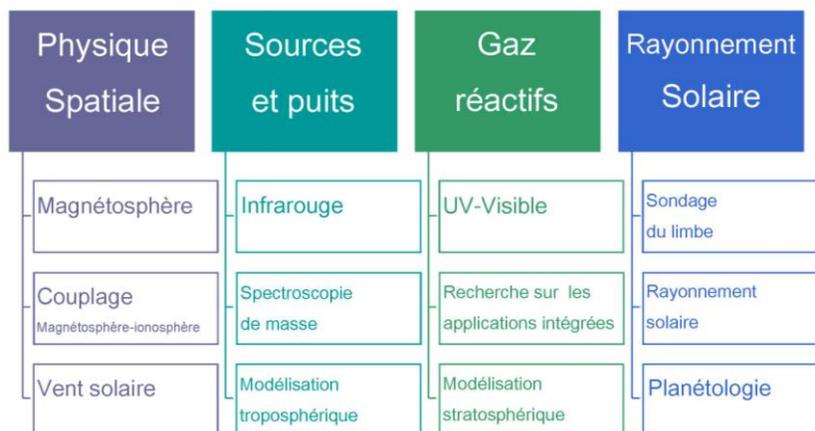
## Avant propos

### Brève présentation de l'Institut d'Aéronomie Spatiale de Belgique (IASB):

L'Institut d'Aéronomie Spatiale de Belgique (IASB) est l'un des établissements scientifiques fédéraux les plus jeunes. Créé en 1964, ses tâches principales sont liées aux services publics et aux activités de recherche dans le domaine de l'aéronomie spatiale. L'IASB est situé à Bruxelles, et partage le plateau d'Uccle avec l'Observatoire Royal de Belgique et de l'Institut Royal Météorologique de Belgique.

La recherche effectuée par l'IASB s'appuie fondamentalement sur deux piliers scientifiques majeurs: la physique spatiale et la chimie des atmosphères.

Organigramme fonctionnel de la partie scientifique



En outre, l'Institut offre également différents services scientifiques à la société civile. Il s'agit de/du:

- Services liés à la météorologie chimique
- B.USOC, un centre d'opération et de commandement dont le rôle principal est de promouvoir les programmes de recherche spatiale ainsi que les occasions de vol pour la communauté scientifique belge des universités, des institutions fédérales et régionales, ainsi que des industries du pays.
- Services liés à la météo spatiale, dont le but est de transformer les expertises scientifique et technique sur l'environnement spatial ainsi que ses effets, en services utiles pour la société.

Pour davantage d'informations, veuillez consulter le site web : <http://www.aeronomie.be>

### Préface du directeur de l'IASB, Monsieur N. Parmentier :

De par sa reconnaissance au niveau international, on peut considérer que l'IASB s'est positionné comme un véritable centre belge de compétences pour le 21<sup>ème</sup> siècle dans le domaine de l'aéronomie spatiale. C'est un moyen pour lui de partager son expertise acquise dans le domaine de la physique des plasmas spatiaux et de la chimie et de la physique des atmosphères terrestre ou d'autres planètes du système solaire, de s'impliquer activement dans de nombreux programmes de recherche au niveau mondial et de se positionner stratégiquement au sein des réseaux de stations scientifiques au sol tels que le NDACC par exemple.

Tout au long de cette année 2008, l'Institut d'Aéronomie Spatiale a poursuivi l'exécution de son programme cadre ainsi que de son plan de gestion planifié pour la période 2006-2011. Les principaux objectifs stratégiques visés par l'Institut à travers ce plan étaient les suivants:

- Davantage d'équilibre entre la recherche scientifique fondamentale et les différents services scientifiques offerts à la communauté.
- La poursuite des activités d'intégration de l'IASB dans les structures internationales de recherche.

- La valorisation de divers services auprès de la société.
- Un management efficace des structures en place.
- Assurer le bien-être, le confort et la sécurité de son personnel.

Au terme de cette année 2008, l'IASB peut donc faire un bilan tout à fait positif sur d'importantes réalisations effectuées, tant en termes de recherche qu'en termes de services scientifiques connexes.

Par ailleurs, l'IASB est parfaitement conscient de l'agitation croissante qui s'empare actuellement de notre société, ceci en raison de divers phénomènes naturels perturbateurs tels que le réchauffement climatique, la pollution croissante des villes et des milieux industriels ou encore le trou d'ozone, etc. Ces nombreux symptômes contribuent bien évidemment à sensibiliser le grand public et les décideurs politiques à prendre des mesures concrètes pour tenter de garder l'ensemble de ces phénomènes sous contrôle, afin de nous assurer ainsi un avenir plus ou moins viable.

L'IASB n'étant certainement pas indifférent à cette évolution nouvelle, décide-t-il de mettre l'accent, à travers ses activités liées à la physique des plasmas spatiaux ou à la chimie et la physique des atmosphères neutres, sur les thèmes suivants:

- L'IASB et l'ozone atmosphérique ;
- L'IASB et le climat ;
- L'IASB et la qualité de l'air ;
- L'IASB et l'environnement planétaire.
- L'IASB et les opérations spatiales

Pour ce faire, il peut également compter sur un solide soutien du département engineering, tant pour la mise au point des instruments spatiaux que pour les équipements au sol.

### **Les services scientifiques**

Ces dernières années, l'institut s'est fortement impliqué dans la valorisation et dans l'exploitation de l'expertise qu'il a acquise au fil de son histoire à travers divers services scientifiques proposés à la communauté des chercheurs ou des industriels, ainsi qu'à la société civile.

Les services scientifiques se sont engagés à développer des applications de recherche orientées vers les utilisateurs. Cela inclut également des activités opérationnelles, tel qu'un sérieux appui aux missions spatiales. Cette activité vise par exemple à fournir des informations essentielles aux utilisateurs dans différents domaines, en développant, validant et en améliorant en permanence les services proposés.

Parmi ces services détaillés plus loin dans le rapport, on peut insister sur :

- SPENVIS (un système d'information sur l'environnement spatial), qui est un service s'inscrivant dans le domaine de la météorologie spatiale et qui se veut être une interface web permettant de modéliser l'environnement spatial ainsi que ses effets, en vue d'aider les ingénieurs d'engins spatiaux à effectuer une évaluation rapide des dangers environnementaux subis par ces derniers (<http://www.spennis.oma.be>).
- BASCOE, le système belge mis au point à l'IASB pour réaliser l'assimilation des observations chimiques acquises à l'aide du satellite Envisat (<http://bascoe.oma.be>).
- B.USOC (Belgian User Support and Operation Center) qui est un centre de support et de conduite d'expériences (USOC) mis en place par l'ESA et la Belgique. Son rôle principal est de promouvoir les programmes de recherche spatiale et les occasions de vol auprès de la communauté scientifique belge des universités et des instituts fédéraux. Il fournit ainsi un appui aux scientifiques pour définir le développement et la conduite d'expériences dans différents domaines de la recherche spatiale: microgravité, observations de la Terre, sciences et technologies spatiales (<http://www.busoc.be>).
- TEMIS, un service web permettant un suivi des émissions troposphériques (colonne totale d'ozone, index UV, concentrations de NO<sub>2</sub> troposphérique extraites des instruments GOME et SCIAMACHY, etc. (<http://www.temis.nl>).
- PROMOTE, un protocole de surveillance de l'élément atmosphérique de GMES (Global Monitoring for Environment and Security) s'appuyant sur divers services thématiques: l'ozone, les UV, la qualité de l'air, les supports proposés à l'aviation ainsi qu'à l'étude des changements climatiques (<http://www.gse-promote.org/>).

L'institut se focalise aussi sur le développement de modèles globaux, pour assurer notamment un soutien aux besoins locaux. De par leur nature, ces modèles se veulent interdisciplinaires et de plus en plus souvent associés à des modèles prévisionnels dynamiques.

### **Les principales réalisations pour 2008**

- Le lancement du module européen Columbus (ISS) et les activités de contrôle du Segment Sol du B.USOC liés aux opérations dans la station spatiale internationale. A bord de ce module, ont lieu les activités PCDF (Protein Crystallization Diagnostic Facility) et sur la palette extérieure de Columbus, prend place l'expérience SOLSPEC.
- La naissance scientifique officielle du satellite ALTIUS (Atmospheric Limb Tracker for Investigation of the Upcoming Stratosphere) qui, sur base d'observations par occultation, devrait permettre de réaliser divers sondages atmosphériques, remonte au 4ème congrès international d'observations atmosphériques au limbe qui a eu lieu en 2007 en Virginie, (U.S.A.), et à l'occasion duquel le Dr. D. Fussen présenta son projet à l'ensemble de la communauté scientifique. Depuis lors, diverses conférences ont permis de présenter l'avancement du projet qui est actuellement en phase B0, c'est-à-dire une phase dévolue au développement d'un modèle d'instrument, y compris pour les choix technologiques et techniques appliqués (tests physiques de hardware, etc.), les études de validation de l'instrument à mettre en place ainsi que leur réalisation. Il n'est donc plus présomptueux de dire que le projet ALTIUS est désormais sur des rails puisqu'il reçoit un soutien actif de ses partenaires financiers qui sont la politique scientifique fédérale (BELSPO) et l'ESA. C'est certainement en partie grâce aux premières simulations qui ont permis de valider les objectifs primordiaux d'ALTIUS. (<http://www.altius.oma.be>)
- La mise en place d'une situation «win-win» entre la Belgique et la Chine dans le domaine de la pollution atmosphérique, avec une collaboration entre les chercheurs de l'IASB et leurs homologues chinois à qui ils proposent leur expertise dans l'analyse des données satellitaires relatives à la pollution atmosphérique. Cette collaboration a abouti à la présence d'un instrument de contrôle de la pollution de l'air de l'IASB lors de jeux olympiques de Pékin 2008.
- Des campagnes de mesures au sol réalisées à l'Île de la Réunion contribuant à la validation des données du satellite IASI.
- La participation de l'IASB au réseau NDACC qui a permis la mise en évidence d'une diminution depuis 2002 des concentrations d'oxyde de brome (BrO), ce qui a permis de démontrer son rôle dans le mécanisme de destruction de l'ozone stratosphérique. Cette tendance de décroissance du BrO est vraisemblablement due à l'impact du protocole de Montréal signé en 1988 et visant à contrôler les émissions, voire à bannir totalement l'usage des substances de type fréons (CFC) et halons (HFC).
- Installation d'une cinquième station de mesure de l'index UV à Mol dans le Limbourg afin de mieux couvrir le territoire national, ce qui porte à six, le nombre total de stations distribuées sur l'ensemble des territoires nationaux belge et luxembourgeois. Ainsi, chaque région géographique caractérisée par un climat spécifique est à présent représentée et ceci permet de mieux refléter la diversité du climat de nos contrées.
- 2008 est aussi l'année de l'opérationnalité complète du STCE le Centre belge d'expertise sur les relations étroites existant entre le Soleil et la Terre (STCE: Solar-Terrestrial Centre of Excellence), mis sur pied par les trois instituts fédéraux du pôle Espace (ORB, IRM et IASB) et soutenu et financé par le gouvernement belge. Le centre est désormais largement reconnu par l'ensemble de communauté scientifique et on peut dire qu'il a atteint sa vitesse de croisière. Son expertise concerne toute la physique spatiale qui prend place entre le Soleil et la planète Terre mais le STCE envisage aussi une meilleure valorisation du savoir-faire acquis par ces trois Instituts impliqués dans la recherche sur le Soleil et les liens étroits Soleil-magnétosphère terrestre.
- Durant l'année 2008, J. De Keyser ainsi que son équipe de l'IASB travaillant sur la physique des plasmas spatiaux, se sont largement investis dans la rédaction d'un livre de référence sur la plasmasphère qui devrait paraître aux éditions Springer à la fin de l'année 2009.
- En vue d'établir ou de renforcer les liens structuraux avec les universités et le secteur industriel du pays, l'IASB a aussi organisé une journée d'information, Info-day, en novembre 2008

## **Perspectives nouvelles de services pour l'IASB : la sécurité des vols habités**

La conquête spatiale est sur le point de s'ouvrir à un plus large public avec le projet des vols sub-orbitaux que s'apprête à proposer la compagnie Virgin Galactic du milliardaire Richard Branson. Toutefois, alors que depuis juin 2009, nous en sommes encore au stade des vols tests, à la fois pour l'avion porteur "WhiteKnightTwo", qui amènera le shuttle à une altitude d'environ 15 km, et pour le shuttle lui-même, dénommé «SpaceShipTwo », qui permettra de réaliser ces vols sub-orbitaux. Signalons toutefois que ce projet n'est pas encore à la portée de tout un chacun puisque les premiers billets vendus avoisineront les 110.000 EUR.

De même, les intentions des grandes puissances de renouer contact dans les deux décennies à venir avec la lune ou d'être les premiers à poser le pied sur Mars, nous imposent de mieux connaître l'environnement spatial interplanétaire afin de mieux s'en protéger. En effet, cet environnement particulièrement hostile (présence du vide, températures extrêmes, radiations UV, RX, rayons gamma, exposition aux particules du vent solaire et/ou cosmiques, etc.), font qu'il est très dangereux pour l'homme de s'y aventurer et que cela nécessite dès lors de nombreuses précautions (boucliers, renforts des structures des engins spatiaux, combinaisons, etc.).

Ainsi, l'IASB, qui dispose d'une solide expertise dans le domaine des interactions entre plasmas spatiaux et magnétosphère ainsi que dans la modélisation de cet environnement spatial complexe, semble avoir une sérieuse carte à jouer dans ce domaine.

Je tiens également à souligner l'importance de pouvoir compter sur une équipe dynamique, car le personnel est avant tout notre capital majeur. Ainsi, en 2008, une grande attention a été portée au statut légal du personnel scientifique, avec une entrée en vigueur d'un nouveau statut en mai 2008. Dès lors, de par notre engagement actif dans le travail, nous pourrons ainsi réaliser ces objectifs à la hauteur de nos ambitions. L'environnement de travail étant aussi très important pour le personnel, signalons au passage que le plan de rénovation et d'extension des bâtiments de l'IASB a également été finalisé, en concertation avec la Régie des bâtiments.

De plus en plus, notre environnement apparaît comme une synthèse complexe d'effets liés à de nombreux compartiments, intimement liés entre eux (atmosphère, hydrosphère, cryosphère, biosphère, etc.). Aussi, pour tenter de mieux comprendre ces interactions complexes, la recherche scientifique se doit de mettre en place un cadre multidisciplinaire, où divers spécialistes peuvent confronter leurs points de vue. Cet enjeu, la politique scientifique fédérale semble bien l'avoir compris et en a d'ailleurs fait l'une de ses priorités. Plus que jamais, la poursuite et le développement de ces synergies mises en place, apparaît comme une nécessité pour la recherche scientifique belge.

## **Chapitre 1: Activités de recherche en aéronomie.**

### **1.1) Physique spatiale**

#### **1.1.1) La Plasmasphère Terrestre**

La Plasmasphère terrestre peut être considérée comme l'extension vers le haut de l'ionosphère (zone ionisée de l'atmosphère terrestre) à basse et moyenne latitude. Bien qu'étant située relativement proche de la Terre, sur des lignes fermées du champ magnétique, cette région de la magnétosphère interne reste pourtant particulièrement énigmatique. En effet, largement imprégnée par divers champs électriques variables, et remplie par une grande variété d'ondes radio, elle est constituée de plasma froid d'origine ionosphérique, par ailleurs assez difficile à détecter. Cet environnement est particulièrement dynamique puisqu'il répond de différentes manières aux variations de l'activité géomagnétique.

L'exploration de la Plasmasphère a connu un élan important depuis 2000, avec le lancement des satellites CLUSTER et IMAGE (voir Fig. 1). Aujourd'hui encore, la constellation des quatre satellites CLUSTER de l'ESA continue de graviter en orbite autour de la Terre, parcourant la Plasmasphère à chaque passage au périégée et délivrant ainsi des mesures corrélées entre les différents satellites. Le satellite IMAGE de la NASA, par contre, a cessé de fonctionner après environ six années de bons et loyaux services en tant que véritable pionnier avant-gardiste pour les techniques d'imagerie globale et de sondages par ondes radio. Ces deux missions ont permis d'ouvrir de nouvelles perspectives d'étude de la Plasmasphère. Ainsi, IMAGE et CLUSTER ont révolutionné notre compréhension de la magnétosphère interne et en particulier de la Plasmasphère.

Les chercheurs de l'IASB impliqués dans la mission CLUSTER ont estimé que les communautés scientifiques travaillant sur l'étude de la Plasmasphère à l'aide d'IMAGE et de CLUSTER ne connaissaient pas suffisamment les instruments et les outils mis en place par chacune d'entre elles. Ainsi, il semblait souhaitable d'effectuer des efforts pour exploiter davantage les données produites par ces missions. Cela a conduit notre équipe à organiser un atelier (workshop) intitulé «La Plasmasphère terrestre: des nouvelles perspectives grâce à CLUSTER, IMAGE et à la modélisation». Celui-ci eut lieu à l'Institut d'Aéronomie Spatiale de Belgique durant l'automne 2007 (<http://www.aeronomie.be/en/workshop/plasmasphere/overview.htm>).

Cet atelier a permis de donner un premier aperçu de ce qui avait été réalisé jusque là dans ce domaine par l'ensemble de la communauté. En outre, il fut également le point de départ pour la rédaction d'un livre dédié à la Plasmasphère et composé d'une série d'articles scientifiques. Durant l'année 2008, les chercheurs de l'Institut ont travaillé dur à la rédaction de ces articles ainsi qu'à la préparation de l'ouvrage. Les chapitres s'organisent comme suit :

- Présentation des anciennes et nouvelles techniques pour étudier la Plasmasphère, en mettant l'accent sur la capacité des instruments des missions IMAGE et CLUSTER d'aller au-delà du schéma traditionnel des mesures in situ réalisées par un seul satellite, en décrivant les nouveaux algorithmes d'interprétation des données développés pour ces missions<sup>1</sup>;
- Description du plasma froid constituant la Plasmasphère avec une discussion sur les structures plasmasphériques à grandes, moyennes et petites échelles, à la lumière de ces nouvelles données<sup>2</sup>;
- Description des champs magnétiques et électriques qui dictent le comportement de la Plasmasphère, reflétant la réponse dynamique de la magnétosphère interne et l'interaction du vent solaire et de la magnétosphère<sup>3</sup>;
- Présentation de la grande variété d'ondes radio observées par les instruments CLUSTER et IMAGE<sup>4</sup>;
- Présentation de notre capacité actuelle à modéliser la grande diversité des structures plasmasphériques ainsi que leur évolution à l'aide des observations des satellites IMAGE et CLUSTER<sup>5</sup>.

Ce livre, publié durant l'été 2009 par Springer, apparaît comme une précieuse ressource pour les scientifiques du monde entier s'intéressant à la Plasmasphère. Ce livre devrait aussi être utile pour les chercheurs dans le domaine de la météo spatiale, car la Plasmasphère joue un rôle clé dans le comportement des rayonnements ionisants dans l'environnement proche de la Terre, un thème essentiel en météo spatiale.

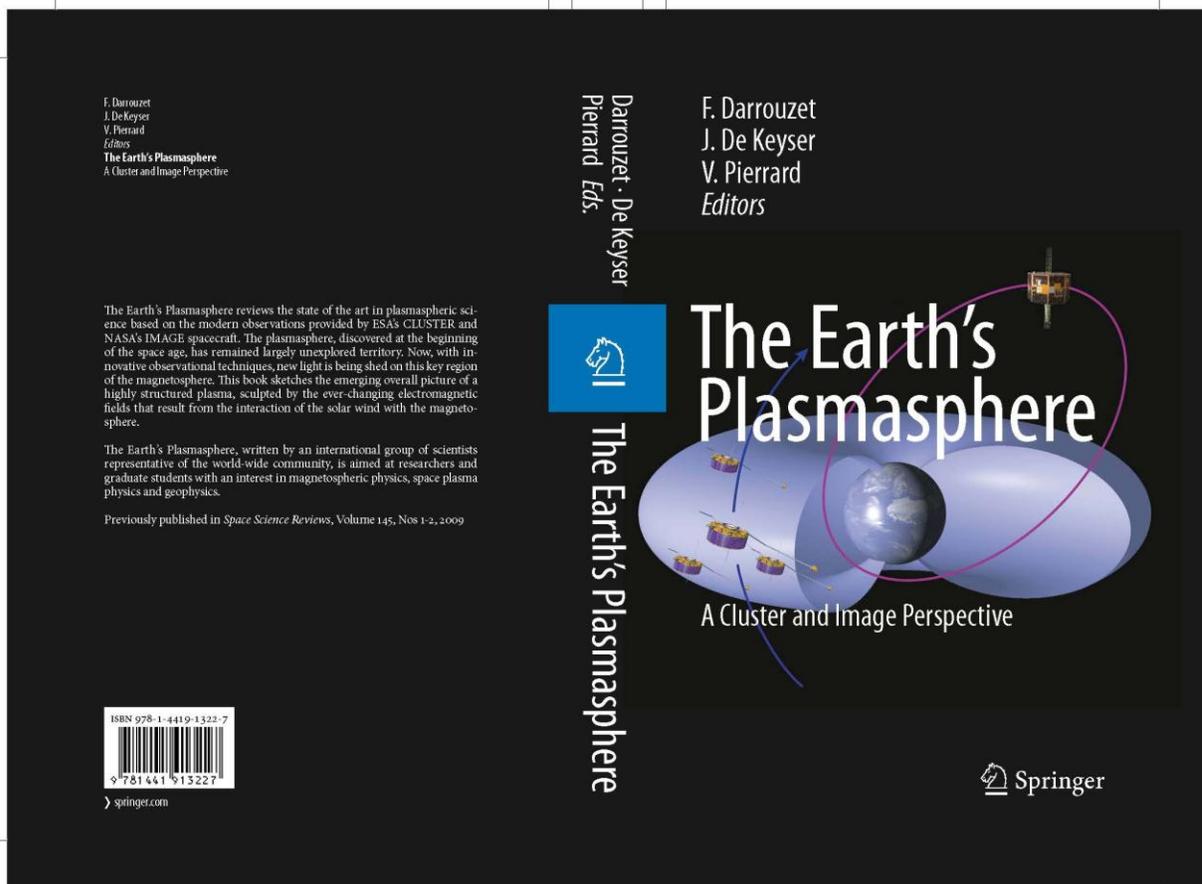


Fig. 1: Couverture du livre. La Plasmasphère autour de la Terre est observée et analysée par deux missions: IMAGE, le long de l'orbite elliptique (en violet,) et CLUSTER, le long de l'orbite polaire (en bleu).

### Références:

- <sup>1</sup>De Keyser, J., D. L. Carpenter, F. Darrouzet, D. L. Gallagher, J. Tu, CLUSTER and IMAGE: New Ways to Study the Earth's Plasmasphere, *Space Sci. Rev.*, 145, 7-53, doi:10.1007/s11214-008-9464-7, 2009.
  - <sup>2</sup>Darrouzet, F., D. L. Gallagher, N. André, D. L. Carpenter, I. Dandouras, P. M. E. Décréau, J. De Keyser, R. E. Denton, J. C. Foster, J. Goldstein, M. B. Moldwin, B. W. Reinisch, B. R. Sandel, J. Tu, Plasmaspheric Density Structures and Dynamics: Properties Observed by the CLUSTER and IMAGE Missions, *Space Sci. Rev.*, 145, 55-106, doi:10.1007/s11214-008-9438-9, 2009.
  - <sup>3</sup>Matsui, H., J. C. Foster, D. L. Carpenter, I. Dandouras, F. Darrouzet, J. De Keyser, D. L. Gallagher, J. Goldstein, P. A. Puhl-Quinn, C. Vallat, Electric Fields and Magnetic Fields in the Plasmasphere: A Perspective from CLUSTER and IMAGE, *Space Sci. Rev.*, 145, 107-135, doi:10.1007/s11214-008-9471-8, 2009.
  - <sup>4</sup>Masson, A., O. Santolík, D. L. Carpenter, F. Darrouzet, P. M. E. Décréau, F. El-Lemdani Mazouz, J. L. Green, S. Grimald, M. B. Moldwin, F. Nemeč, V. S. Sonwalkar, Advances in Plasmaspheric Wave Research with CLUSTER and IMAGE Observations, *Space Sci. Rev.*, 145, 137-191, doi:10.1007/s11214-009-9508-7, 2009.
  - <sup>5</sup>Pierrard, V., J. Goldstein, N. André, V. K. Jordanova, G. A. Kotova, J. F. Lemaire, M. W. Liemohn, and H. Matsui, Recent Progress in Physics-Based Models of the Plasmasphere, *Space Sci. Rev.*, 145, 193-229, doi: 10.1007/s11214-008-9480-7, 2009.
- Reinisch, B. W., M. B. Moldwin, R. E. Denton, D. L. Gallagher, H. Matsui, V. Pierrard, and J. Tu, Augmented Empirical Models of Plasmaspheric Density and Electric Field using IMAGE and CLUSTER Data, *Space Sci. Rev.*, 145, 231-261, doi:10.1007/s11214-008-9481-6, 2009.

### 1.1.2) Etude des aurores polaires

Le magnifique spectacle offert par les phénomènes lumineux des hautes latitudes, mieux connus encore sous le nom d'aurores polaires, résulte de la collision d'électrons en provenance du Soleil, avec les constituants de la haute atmosphère appelée l'ionosphère. Ces électrons ont été accélérés par d'intenses champs électriques le long des lignes du champ magnétique qui entoure la Terre. Ils sont la partie visible d'un plus grand circuit électrique, appelé système de courant auroral, qui relie un générateur magnétosphérique à l'ionosphère. L'IASB s'investit dans trois axes de recherche pour étudier le fonctionnement de ces aurores: la modélisation, les mesures in-situ à l'aide de satellites et les observations optiques. Ceci nous permet par exemple d'apporter quelques éléments de réponses aux questions suivantes:

- Quel est le générateur des arcs auroraux?
- Qu'est-ce qui détermine les propriétés des arcs visibles?
- Quels mécanismes physiques contrôlent les systèmes de courant électrique?

Nous avons développé un modèle auroral qui inclut une description détaillée d'un générateur magnétosphérique, une caractérisation simplifiée de l'ionosphère et une expression physiquement correcte de la connexion entre les deux en utilisant une relation dénommée « cinétique » pour la relation courant-tension. Le générateur magnétosphérique est présumé être l'interface entre deux différentes régions de plasma dans la magnétosphère, chacune avec ses propres caractéristiques de densité, de température et de vitesse. Nous avons étudié l'influence des différents paramètres de ce générateur sur le système de courant auroral et sur les propriétés de l'arc auroral discret qui s'y forme [ECHIM et al. 2007, 2008]. Les résultats du modèle montrent que les arcs auroraux discrets ont tendance à s'amincir lorsque le gradient de pression cinétique à travers l'interface du générateur est plus raide (variation plus rapide), et que les arcs sont plus brillants lorsque la différence de vitesse à travers l'interface est plus importante.

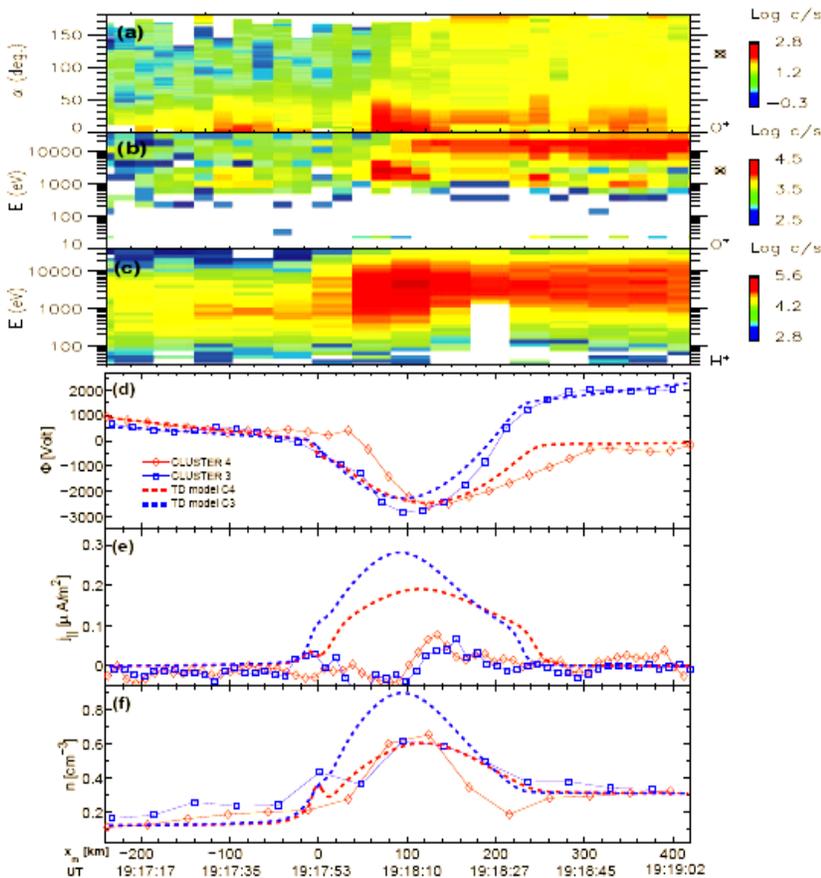
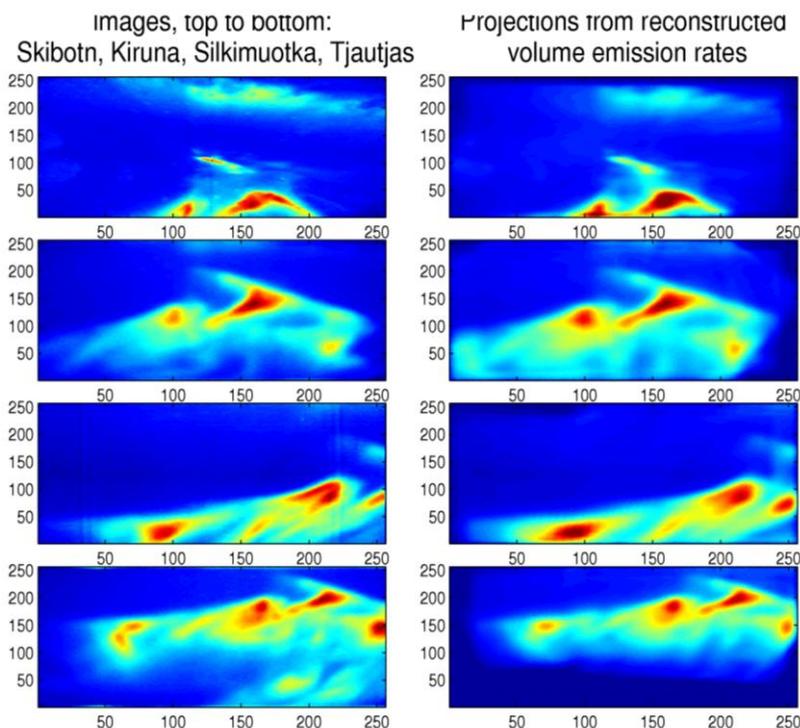


Fig.1: Les profils dans l'arc à l'altitude de la constellation CLUSTER (a) distribution des angles d'attaque des ions O<sup>+</sup>(b) spectrogramme temps-énergie des ions O<sup>+</sup>, (c) spectrogramme temps-énergie des protons H<sup>+</sup>, (d) potentiel électrique, (e) courant aligné au champ magnétique, (f) densité totale d'ions (rouge: CLUSTER 1, bleu: CLUSTER 2, points connectés: observations, lignes en pointillés: modèle).

Plus récemment, nous avons réalisé pour la première fois une comparaison quantitative entre notre modèle et des données in situ, en exploitant une conjonction entre les quatre sondes CLUSTER et le satellite DMSP-F14 [ECHIM et al. 2009]. Ces cinq satellites traversent de façon synchrone le même arc auroral discret: CLUSTER à haute altitude et à proximité du générateur et DMSP à basse altitude, près de l'ionosphère. En prenant comme entrées les paramètres du plasma mesurés par CLUSTER, de chaque côté de l'interface, notre modèle fournit le potentiel électrique et le champ magnétique dans le générateur, la différence de potentiel et la densité de courant le long du champ magnétique, ainsi que le flux d'énergie précipitée associé à l'arc auroral discret. Le modèle décrit bien les observations à l'altitude de CLUSTER dans la région du générateur, tout en reproduisant bien les observations de DMSP dans la partie supérieure de l'ionosphère. Cette étude souligne avec justesse le principe de base de notre modèle qui veut que les interfaces du plasma magnétosphérique puissent être génératrices d'arcs auroraux discrets.

Dans nos recherches, nous avons également eu recours à des images optiques d'aurores obtenues à partir d'ALIS (Auroral Large Imaging System). ALIS est composé de six stations terrestres situées près de Kiruna. Chacune est équipée de caméras optiques observant un volume commun d'atmosphère à des altitudes voisines de 90 à 100 km. Les images des arcs auroraux sont obtenues à travers plusieurs filtres correspondant aux raies d'émission aurorale les plus importantes (bleu, rouge et vert). A partir de ces séries d'images, nous reconstruisons les taux d'émission volumétriques (3D) de l'aurore avec des techniques de tomographie par inversion. Le taux d'émission volumétrique en 3D est ensuite inversé pour produire une carte à deux dimensions (latitude et longitude) des spectres énergétiques des électrons précipitant dans la haute ionosphère. Un exemple de reconstruction 3D d'un arc auroral est présenté dans la figure 2.



*Fig. 2: Reconstruction 3D d'un arc auroral observé par 4 stations du réseau ALIS le 31/10/05. À gauche : les images originales (pixels); à droite : les projections au niveau des stations de la reconstruction en 3D des taux d'émission volumétrique (pixels). Un excellent accord existe entre les deux.*

Références :

Echim, M. M.; Maggiolo, R.; Roth, M.; De Keyser, J., A magnetospheric generator driving ion and electron acceleration and electric currents in a discrete auroral arc observed by Cluster and DMSP, in press, 2009.

Echim, M. M.; Roth, M.; De Keyser, J: Ionospheric feedback effects on the quasi-stationary coupling between LLBL and postnoon/evening discrete auroral arcs, Annales Geophysicae, Volume 26, Issue 4, pp.913-928, 2008.

Echim, M. M.; Roth, M.; De Keyser: Sheared magnetospheric plasma flows and discrete Auroral arcs: a quasi-static coupling model, Annales Geophysicae, Volume 25, Issue 1, pp.317-330, 2007.

### **1.1.3) Définir l'environnement spatial pour aller sur Mars**

Que ce soit pour combler une pénurie de nourriture, fuir les aléas d'un climat trop rude, coloniser de nouveaux espaces fertiles, pour trouver sa place sur le marché mondial ou simplement par curiosité, les hommes ont toujours été en quête d'exploration du globe terrestre, depuis la nuit des temps. La liste de ces explorations, bien souvent largement périlleuses, semble presque sans fin: celles-ci apparaissent comme une interminable suite de défis à relever : traversées de dangereux océans, rencontres d'animaux féroces, luttés contre les éléments, contre les maladies comme par exemple le "scorbut", causé par la carence en vitamine C, etc. Au cours du XX<sup>e</sup> siècle, nous avons sondé les profondeurs des océans, conquis l'Antarctique, mis le pied sur la Lune, etc., et bien que nous soyons à présent beaucoup mieux préparés et équipés que nos prédécesseurs, les risques liés à la découverte et la conquête de ces environnements extrêmes restent plus que jamais un immense défi pour la communauté scientifique.

L'espace apparaît aujourd'hui comme l'ultime barrière à franchir pour de nombreux pays avec un espoir certain d'un retour sur la Lune au cours de la prochaine décennie. De même, la possibilité pour l'homme de voyager vers la planète rouge, Mars, n'est pas non plus un pur scénario de science-fiction. Outre les problèmes liés à la présence du vide et des extrêmes de température auxquels les vaisseaux spatiaux doivent faire face, ces engins remplis d'électronique et leurs équipages doivent aussi survivre ou fonctionner dans des environnements très hostiles, fortement ionisants (exposition élevée au rayonnement UV, RX, rayons gamma, particules chargées de haute énergie telles que les rayons cosmiques galactiques (RCG) ou les particules énergétiques solaires (SEP), et enfin les impacts avec des débris spatiaux, les poussières cosmiques ou de plus gros météorites. En résumé, l'espace interplanétaire n'est pas sans danger ! Loin de là même puisque d'importants dommages peuvent être occasionnés aux engins spatiaux et aux astronautes eux-mêmes, en route vers Mars ou à la surface celle-ci.

Durant une mission vers Mars, les engins spatiaux et leurs équipages seront exposés aux rayons cosmiques (RCG), aux particules énergétiques solaires (PES), aux nucléons secondaires hautement énergétiques et aux fragments nucléaires lourds produits par l'interaction de particules très rapides avec les matériaux des engins spatiaux. À la surface de Mars, le risque de radiation est encore accru pour les astronautes puisque les interactions des particules RCG et PES avec l'atmosphère et le sol, peuvent donner lieu à davantage encore de rayonnements secondaires.

En 2008, l'Institut d'Aéronomie Spatiale de Belgique (BIRA-IASB) a contribué à la mission MarsREM (Martian Radiation Environment Models), un projet de l'ESA dirigé par la société QinetiQ (Royaume-Uni). L'objectif de MarsREM était de mettre au point des modèles, physiquement précis et faciles d'emploi, pour permettre aux scientifiques et aux ingénieurs de prévoir les conditions de l'environnement radiatif au niveau de l'orbite de Mars, pour l'atmosphère martienne, y compris pour les conditions en surface ou sous celle-ci et enfin pour ses deux lunes; Phobos et Deimos.

Durant le projet MarsREM, l'IASB était responsable de la révision des données RCG et PES ainsi que de la modélisation de ces milieux complexes. L'Institut fut également chargé de créer une base de données pour ces radiations ainsi qu'une interface conviviale pour celle-ci. Afin de représenter au mieux les nombreux types de PES, deux cycles solaires complets furent étudiés (1986-2006) et les données provenant de différents instruments à bord de différents engins spatiaux furent traitées [les instruments PES à bord de la série des satellites GOES (5-6-7-8-9-10-11), IMP 8 (instruments CPME et GME), SOHO (détecteur ERNE) et ULYSSES (détecteur KET)]. La Fig. 1 montre un profil temporel d'un événement type lié à l'observation de protons solaires très énergétiques par le satellite GOES-5.

Les planificateurs des missions spatiales et les concepteurs des engins spatiaux doivent soigneusement prendre en considération les menaces liées aux rayonnements planétaire et interplanétaire et mettre en place, de manière efficace, des mesures visant à atténuer celles-ci. Pour définir l'environnement martien des particules primaires, des spectres énergétiques "standards" ou des modèles pour les RCG et les PES ainsi que les rayons X ont été développés par l'IASB, pour les incorporer dans des codes de transport de radiation qui sont utilisés par les autres membres de l'équipe MarsREM. Au cours de ce travail, l'IASB a élargi les capacités du générateur d'orbite utilisé initialement dans son logiciel de modélisation de l'environnement spatial SPENVIS pour calculer les orbites autour de Mars (voir Fig. 2 pour plus de détails).

Les événements PES sont de nature sporadique ; d'une durée de plusieurs minutes à plusieurs jours et composés principalement de protons et d'autres ions (atomes ou molécules ayant perdu ou gagné un ou plusieurs électrons). Ils dominent à basse énergie, en général entre 1 keV et 1 GeV. D'autre part, les RCG sont toujours présents et, en première approximation, on peut dire qu'ils ont une distribution isotrope. Leur haut niveau énergétique (0.1-1000 GeV) les rend particulièrement dangereux puisqu'il est très difficile de s'en protéger. Depuis que l'on sait que la modulation des flux de RCG est inversement proportionnelle au nombre de taches solaires, les mesures à RCG au minimum solaire sont importantes car elles représentent les pires cas d'estimations de radiation.

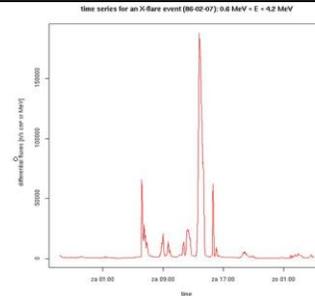


Figure 1. Profil temporel d'un événement protonique solaire observé par GOES-5/EPS.

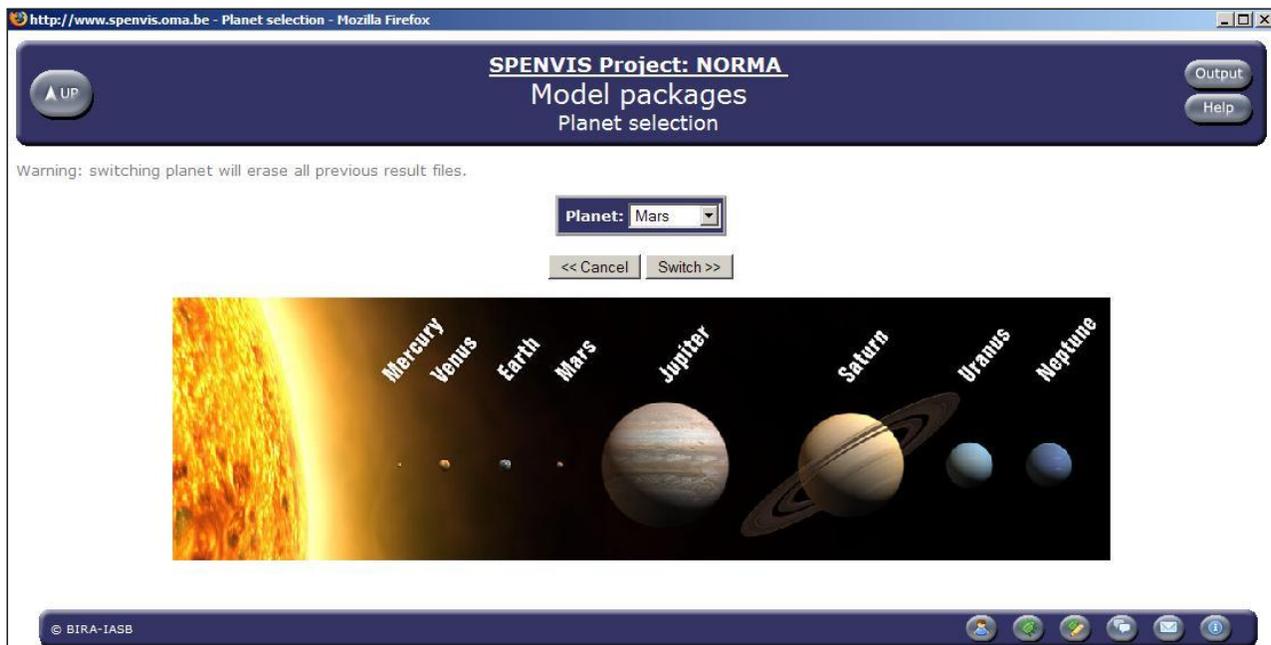


Fig.2: SPENVIS est une interface Web visant à modéliser l'environnement spatial et ses effets [ <http://www.spenvis.oma.be/> ].

### Références :

P. Truscott, F. Lei, A. Keating, S. Valente, P. Gonçalves, L. Desorgher, D. Heynderickx, N. Crosby, H. de Witte, G. Degreef, P. Nieminen, G. Santin, "The Mars Energetic Radiation Environment Models", IEEE NSREC 2008, Tucson, USA.

Page du projet MarsREM : <http://reat.space.qinetiq.com/marsrem>

## **1.2) Sources et puits (Chimie et physique des atmosphères)**

### **1.2.1) Observations dans l'Infrarouge**

#### **1.2.1.1) Les observations du méthane réalisées depuis le sol ou l'Espace :**

Le méthane est le second gaz à effet serre, après le CO<sub>2</sub>, il contribue donc largement au réchauffement de la planète. Sa concentration a presque doublé depuis la révolution industrielle, mais il semble désormais - au moins temporairement - se stabiliser. Il apparaît extrêmement important de suivre l'évolution de sa concentration dans un avenir proche afin de mieux déterminer ses sources. Il existe un gradient pour la concentration du méthane entre les deux hémisphères: le niveau actuel de concentration est d'environ 1,7 ppmv dans l'hémisphère sud, et environ 1,85 ppmv dans l'hémisphère nord (où les sources de méthane sont plus nombreuses).

Le rôle du méthane est particulièrement important dans la chimie troposphérique, car ce gaz y est présent en abondance. Son schéma d'oxydation est initié par sa réaction avec le radical OH, ce qui produit finalement du CO<sub>2</sub>. Un des principaux intermédiaires dans la dégradation du CH<sub>4</sub> est le formaldéhyde (H<sub>2</sub>CO), mais d'autres produits d'oxydation comme le monoxyde de carbone (CO) et en présence de concentrations élevées de NO<sub>x</sub>, l'ozone, peuvent également apparaître.

Les sources de méthane sont variées et correspondent généralement aux zones humides tels que les marécages les lacs, la toundra ou les marais boréaux, le plus souvent déficitaires en oxygène. Le méthane est également produit dans les sols et les sédiments océaniques, comme produit final résultant de la décomposition des matières organiques. Le taux de production du méthane est d'ailleurs le plus élevé dans les régions tropicales humides. Enfin, du méthane est également libéré par l'activité microbienne anaérobie présente dans l'estomac des bovins, des termites, et sans doute de bien d'autres insectes encore. Les principales sources anthropiques sont les mines de charbon, la combustion de la biomasse, les fuites naturelles de ce gaz naturel, la combustion des déchets solides ainsi que la culture de rizières, etc.

A l'heure actuelle, une question essentielle persiste dans les esprits : quelle est l'importance de la végétation en termes de contribution dans la production globale de méthane (par exemple le rôle exact de la forêt amazonienne) ? Une autre question cruciale à présent, c'est de savoir comment le réchauffement de la planète sera accéléré par la libération de méthane suite au dégel partiel du permafrost (par exemple, en Sibérie, sous l'influence du réchauffement planétaire).

Des mesures prises à long terme et à l'échelle mondiale, peuvent apporter quelques éléments de réponses aux questions posées ci-dessus, à condition qu'elles aient un haut degré de précision : on vise une précision de l'ordre de 1%. Cette précision élevée est nécessaire afin de mettre en évidence de faibles variations de méthane dans l'espace et le temps. L'IASB apporte ainsi sa contribution aux mesures atmosphériques du méthane à partir d'observations au sol à l'île de La Réunion (21° S, 55° E), et à l'aide des données de l'expérience satellitaire IASI. Les mesures effectuées au sol sont des mesures de télédétection. Elles sont réalisées par une analyse à haute résolution spectrale de l'absorption solaire infrarouge par le méthane dans l'atmosphère, à l'aide de spectromètres à transformée de Fourier (FTIR). Elles se font dans le cadre du réseau pour la détection des changements de la composition atmosphérique (NDACC : <http://www.ndacc.org>). Ces observations au sol contribuent également à la validation des mesures acquises par satellite (pas seulement IASI à bord de METOP, mais aussi ACE à bord de SCISAT de l'Agence Spatiale Canadienne) et MIPAS et SCIAMACHY à bord d'Envisat) et enfin des modèles couplant chimie et transport.

Dans les projets européens UFTIR (<http://www.nilu.no/uftir>) et HYMN (<http://www.knmi.nl/samenw/hymn>), une stratégie commune au sein du réseau NDACC a été développée pour évaluer de façon cohérente aux différentes stations d'observations les concentrations de méthane à partir des spectres FTIR. A présent, cette stratégie est appliquée aux mesures prises dans les stations européennes du réseau NDACC, mais elle est en cours d'adoption pour l'ensemble du réseau NDACC à l'échelle mondiale.

Dans les projets européens UFTIR (<http://www.nilu.no/uftir>) et HYMN (<http://www.knmi.nl/samenw/hymn>), une stratégie commune a été développée pour évaluer avec cohérence les concentrations de méthane à travers l'application d'une méthode d'observation à haute résolution dans l'infrarouge, appelée méthode « à transformée de Fourier » (IRTF). A présent, les spectres sont enregistrés dans des stations européennes du réseau NDACC, mais cette stratégie est en cours de développement et d'adoption pour l'ensemble du réseau NDACC à l'échelle mondiale.

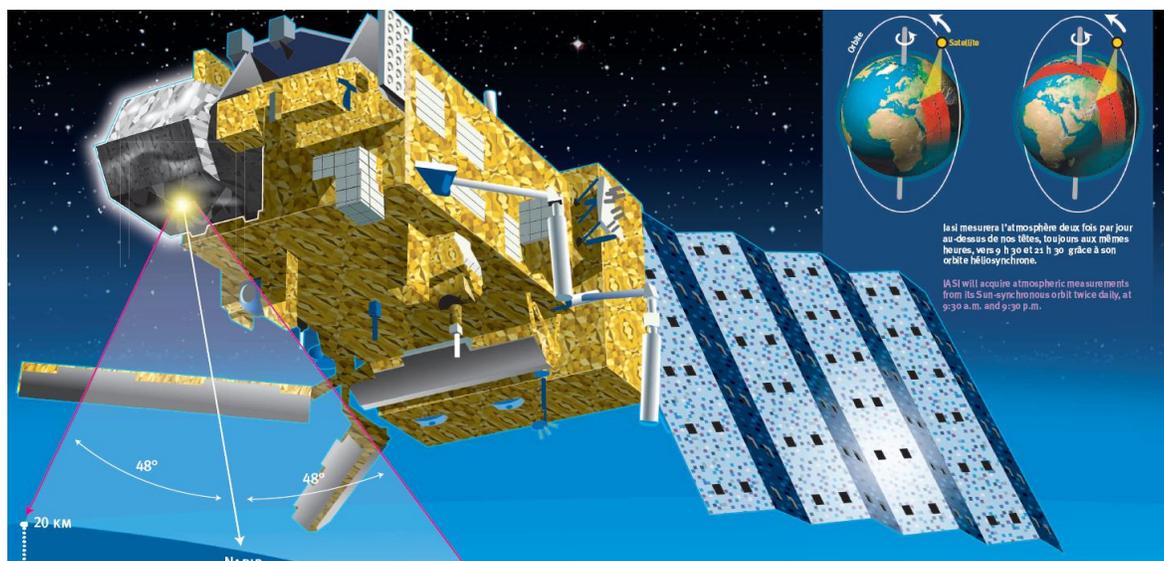
IASI est un instrument FTIR qui fut lancé en octobre 2006 à bord du satellite METOP-1 (EUMETSAT). Un site web spécifique lui est consacré: <http://smsc.cnes.fr/IASI>. Cet instrument pointe au nadir et enregistre le rayonnement infrarouge thermique

(3,6–15,5  $\mu\text{m}$ ) émis par la surface terrestre et les couches atmosphériques. Cet instrument, qui possède une très haute résolution spectrale dans l'infrarouge thermique avec un pouvoir de résolution égal à 2000, fonctionne particulièrement bien.

L'IASB travaille à la détermination des concentrations de méthane à partir des spectres IASI. Jusqu'à présent, l'Institut y est parvenu avec succès pour un certain nombre de sites pour lesquels nous disposons également d'observations au sol (c'est le cas par exemple sur l'île de La Réunion où ces données au sol ont permis de valider les données du satellite IASI). Dans un avenir proche, nous envisageons d'étudier ces sources de méthane sur un certain nombre de régions sélectionnées, telles que l'Australie, l'île du Spitzberg, etc.

Pour identifier les sources du méthane, les observations de plusieurs de ses isotopologues sont utiles. Par ailleurs, déduire ces isotopologues des spectres n'est pas facile et apparaît donc comme un important sujet de recherche à l'IASB.

Il est prouvé que l'on obtient une plus grande précision dans les quantités dérivées de méthane si les spectres sont acquis dans le proche infrarouge, et ne particulier avec les toutes dernières technologies de spectrométrie FTIR. C'est la raison pour laquelle l'IASB s'est équipé d'un nouvel instrument FTIR de grande précision, l'installant à l'île de La Réunion afin de réaliser des mesures simultanées du méthane et du  $\text{CO}_2$  dans le proche infrarouge. L'instrument (un Bruker 125HR) est actuellement installé à Bruxelles pour les phases d'automatisation et de tests. Il sera ensuite installé à l'île de La Réunion, nous permettant ainsi de rejoindre le réseau d'observation de la colonne totale de carbone (TCCON pour « Total Carbon Column Observing Network » : <http://www.tcon.caltech.edu>).



Ce réseau vise à mesurer les quantités totales des colonnes de  $\text{CO}_2$  et de  $\text{CH}_4$ , avec une précision très raisonnable (0,2% à 1-2%, respectivement), afin que celles-ci contribuent à une meilleure compréhension du cycle du carbone ou apportent un soutien plus efficace aux instruments satellites récemment lancés (par exemple GOSAT qui a des objectifs tout à fait semblables).

#### **1.2.1.2) Mesures de formaldéhyde depuis le sol et par satellite au-dessus de l'île de la Réunion, et comparaison avec des résultats de simulations de modèles (collaboration entre les groupes IR, UV-Vis et «modélisation de la troposphère»).**

Les principales sources de formaldéhyde ( $\text{HCHO}$ ) dans l'atmosphère trouvent leur origine dans l'oxydation photochimique du méthane et des composés organiques non-méthaniques (NMVOCs). Les puits du formaldéhyde sont quant à eux représentés par la photosynthèse, l'oxydation des radicaux OH et les dépôts secs et humides (Stravakou et al., 2009). Suite à sa courte durée de vie (seulement quelques heures), la distribution globale du formaldéhyde correspond assez bien à la distribution de ses sources. C'est pourquoi l'observation des sources de formaldéhyde au-dessus des terres, fournit de nouvelles contraintes pour les émissions des réactifs NMVOCs (en particulier l'isoprène), comme ce fut démontré dans plusieurs études d'inversion utilisant les enregistrements de  $\text{HCHO}$  (par ex. Abbot et al., 2003; Stravakou et al., 2009). Bien loin des sources d'émission, par exemple au-dessus des océans, les observations de formaldéhyde peuvent fournir une opportunité de tester nos connaissances actuelles concernant l'oxydation du méthane et de quantifier aussi l'effet de transport à long terme des NMVOCs depuis les régions sources.

Le formaldéhyde est caractérisé par des lignes d'absorption dans les domaines spectraux de l'infrarouge et des ultraviolets. Ces dernières peuvent donc être utilisées pour la détection par spectrométrie infrarouge à transformée de Fourier (FTIR) ou méthodes DOAS.

Ce fut le cas lors de campagnes de mesures réalisées à l'observatoire de l'île de La Réunion, dans l'océan Indien à l'est de Madagascar (21° N ; 55° E). Cette station appartient au réseau NDACC pour la détection des changements de composition atmosphérique (<http://www.ndacc.org>).

Ce site est intéressant à plus d'un titre ; tout d'abord parce qu'il est la seule station du réseau NDACC dans l'hémisphère sud, et ensuite parce qu'il représente un site relativement propre, c'est à dire non affecté par les polluants en provenance de Madagascar ou de l'Afrique du Sud (voire même du continent sud-américain).

Ainsi, les campagnes d'observation effectuées par l'IASB à Saint-Denis de l'île de La Réunion eurent lieu en 2002, 2004-2005 et 2007, avec des instruments FTIR (spectromètre à transformée de Fourier dans l'infrarouge) et MAXDOAS (Multi-AXis Differential Absorption Spectroscopy) qui analysent les absorptions dans les spectres solaires induites par les espèces chimiques lors du passage de la lumière à travers l'atmosphère. A partir de ces observations, on a pu déduire les quantités totales de formaldéhyde présentes dans l'atmosphère. La mesure du formaldéhyde est un véritable défi, en ce sens qu'elle est particulièrement délicate à mesurer sur un site où règne une humidité élevée, comme c'est le cas en dans ces régions tropicales de basses altitudes (St-Denis), où les absorptions par le formaldéhyde restent faibles et interfèrent avec celles dues à la vapeur d'eau.

Dans le même temps, l'IASB a également pu déduire les concentrations de formaldéhyde à partir des spectres UV enregistrés par SCIAMACHY, au-dessus de l'île de La Réunion, et a simulé ces concentrations avec le modèle CTM-3D couplant chimie et transport, nommé IMAGES et développé par l'IASB. Toutes ces données ont également été comparées entre elles, en tenant compte explicitement des incertitudes et caractéristiques de chaque mesure. En effet, chaque instrument n'a pas la même sensibilité. Par exemple, l'instrument MAXDOAS est particulièrement sensible aux basses couches de l'atmosphère (jusqu'à 2,5 km d'altitude), tandis que les instruments FTIR et SCIAMACHY sont les plus sensibles dans la troposphère libre. Si l'on tient compte de ces différences, nous pouvons conclure que toutes ces données sont bien en accord entre elles, et qu'elles nous livrent par ailleurs des informations complémentaires.

Notons que si le modèle IMAGES sous-estime globalement les concentrations de formaldéhyde, il montre en revanche assez bien les variations saisonnières qu'on observe également dans les mesures, avec un minimum en concentration de HCHO pendant l'hiver local (juillet-août) et un maximum en automne (mars). Il est également frappant de constater que les mesures FTIR et SCIAMACHY montrent de plus grandes variations de formaldéhyde, jour après jour, que les données MAXDOAS ou celles issues du modèle. On a trouvé que l'explication la plus probable réside dans le fait que la combustion de la biomasse à Madagascar produit des précurseurs de HCHO qui ont tendance à s'accumuler dans la troposphère libre (à plus de 4 km, sous l'influence de pyro-convections), avant d'être ensuite transportés jusqu'à La Réunion, où ils génèrent du formaldéhyde. MAXDOAS n'est pas assez sensible dans la troposphère libre pour observer ces augmentations en concentration temporaires. De même, le modèle semble sous-estimer les émissions des précurseurs du HCHO à Madagascar et leur injection dans la moyenne à haute troposphère par la convection, qui fait qu'ils peuvent être transportés rapidement jusqu'à l'île de la Réunion.

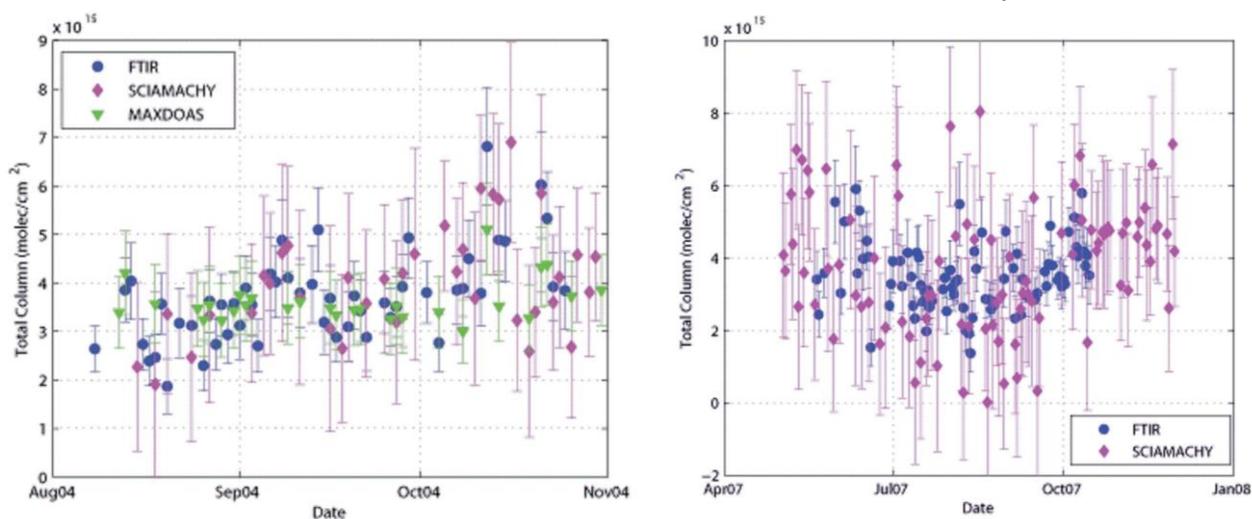


Fig. 2.a/b : Les graphiques ci-dessus montrent des séries temporelles d'observations de la colonne totale de formaldéhyde à la verticale de St-Denis, réalisées en 2004 et 2007. Ces données ont été acquises à l'aide d'instruments au sol de type FTIR et MAX-DOAS, de même que le satellitaire SCIAMACHY. Ces figures montrent par exemple les incertitudes qui persistent au niveau des mesures.

#### Références:

Vigouroux, C., F. Hendrick, T. Stavrakou, B. Dils, I. De Smedt, C. Hermans, A. Merlaud, F. Scolas, C. Senten, G. Vanhalewijn, S. Fally, M. Carleer, J.-M. Metzger, J.-F. Müller, M. Van Roozendael, M. De Mazière, *Ground-based FTIR and MAX-DOAS observations of formaldehyde at Réunion Island and comparisons with satellite and model data*, submitted in June 2009 to ACP.

### 1.2.2) Spectrométrie de masse:

#### 1.2.2.1) Mesures des émissions de composés organiques volatils d'origine biogénique (BVOC) par le hêtre européen (*Fagus sylvatica L.*).

L'émission de Composés Organiques Volatils d'origine Biogénique (COVBs) par la végétation terrestre est connue pour ses effets importants sur la chimie de la troposphère. En effet, en présence de NO<sub>x</sub>, l'oxydation des COVBs peut entraîner la formation d'oxydants, et d'autres produits d'oxydation dont les moins volatils sont susceptibles de former des Aérosols Organiques Secondaires (AOSs). La prise en compte de la végétation dans les modèles régionaux de qualité de l'air nécessite d'une part, une bonne connaissance de la chimie d'oxydation des COVs, et d'autre part, le développement d'algorithmes précis afin d'estimer les quantités émises par chaque source locale. Bien que de nombreuses données d'émission de COVBs soient déjà disponibles pour différentes espèces de plante, les informations sur la dépendance saisonnière des émissions ainsi que sur le lien entre l'écophysiologie des plantes et les émissions sont encore assez rares.

Afin d'améliorer les connaissances sur les émissions de COVBs et les facteurs les influençant, des mesures ont été effectuées selon la « méthode des cuvettes », qui consiste à enfermer une branche à l'intérieur d'un sac (ou cuvette). Cette méthode a été appliquée au cours de l'année 2008 à des hêtres en pleine croissance dans la forêt expérimentale d'"Aelmoeseneie" de l'Université de Gand, dans le cadre du projet IMPECVOC (IMpact of Phenology and Environmental Conditions on the emission of Volatile Organic Compounds by forest ecosystems).

Au total, 4 branches, situées à différents niveaux de la canopée et accessibles à partir d'une tour de 36 m de hauteur, ont été enfermées dans une cuvette conçue et fabriquée à l'IASB et équipée de capteurs de rayonnement photosynthétique entrant (PAR), de température de l'air et des feuilles, et d'humidité relative. De l'air exempt de COV et d'ozone est introduit dans chaque cuvette et une partie de l'air de la cuvette, enrichie en COVBs, est ensuite échantillonnée par pompage à travers un tube chauffé en Téflon vers un multiplexeur, installé dans un local au pied de la tour. Les COVBs sont analysés en ligne par Spectrométrie de Masse à Réaction par Transfert de Proton (PTR-MS). Parallèlement à ces mesures de COVBs, les échanges de CO<sub>2</sub> et d'H<sub>2</sub>O entre la branche et l'air de la cuvette ont également été quantifiés en continu par analyseur infrarouge (Laboratoire d'écologie végétale de l'Université de Gand) et *offline* par des mesures phénologiques. De plus, l'air des cuvettes a été régulièrement prélevé en vue de réaliser une identification sélective des COVBs par GC-MS (Laboratoire EnVOC de l'Université de Gand). Une photographie des installations est présentée en figure 1.



Fig. 1: Installation de la tour de mesure dans la forêt expérimentale de "Aelmoeseneie". Photographies prises au niveau des 2<sup>ème</sup> et 3<sup>ème</sup> plates-formes.

Des mesures *in situ* ont été réalisées durant un cycle foliaire complet, allant de l'éclosion des premiers bourgeons jusqu'à la sénescence des feuilles, à l'exception du mois de juillet. Au cours de cette phase, le PTR-MS a été transféré en chambre de croissance à l'Université de Gand, afin de mesurer les taux d'émission de COVBs sur un segment de branche isolé d'un jeune hêtre, soumis à un stress hydrique contrôlé (surveillance en continue des flux de sève, du diamètre de la tige, du potentiel hydrique du sol, etc.).

Tant les expériences *in situ* que celles réalisées en chambre de croissance ont abouti à un vaste ensemble de données interdisciplinaires, qui sont actuellement en cours d'analyse en étroite collaboration avec les équipes de recherche concernées.

### 1.2.2.2) Mesures en laboratoire des COVBs par Spectrométrie de Masse à Ionisation Chimique (CIMS)

La Spectrométrie de Masse à Ionisation Chimique (CIMS) est devenue un outil indispensable pour détecter de manière à la fois rapide et sensible certains composés présents à l'état de trace dans l'atmosphère. La CIMS possède de nombreuses applications dans le domaine des sciences de l'atmosphère et de l'environnement. Cette technique est basée sur l'ionisation en phase gazeuse de molécules cibles par des ions précurseurs introduits dans un réacteur maintenu à une pression moyenne (drift-tube), et sur la détection, par un spectromètre de masse, des ions précurseurs et produits. Afin d'améliorer la justesse et la sélectivité des techniques CIMS existantes, telles que la SIFT-MS (Selected Ion Flow Tube - Mass Spectrometry) et la PTR-MS, il est nécessaire d'étudier certaines réactions ions-molécules spécifiques.

Au cours de l'année 2008, une source d'ions de type « Flowing Afterglow » a été installée sur le SIFT-MS du Laboratoire de spectrométrie de masse (cf. figure 1), permettant ainsi l'étude de réactions entre molécules et un vaste ensemble de cations et d'anions précurseurs. Le nouveau dispositif a été validé par l'étude, d'une part, des réactions entre des protons hydratés ( $H_3O^+ \cdot (H_2O)_n$ ,  $n = 0-3$ ) et différents composés organiques gazeux (méthanol, éthanol et alcools en  $C_5$  et  $C_6$  biogéniques insaturés), et d'autre part, de réactions secondaires pouvant avoir lieu lorsque des quantités suffisamment grandes de réactifs neutres sont introduites dans le réacteur du CIMS (Dhooghe et al., 2009). Les données obtenues devraient conduire à une quantification plus précise de ces espèces par SIFT-MS en conditions humides.

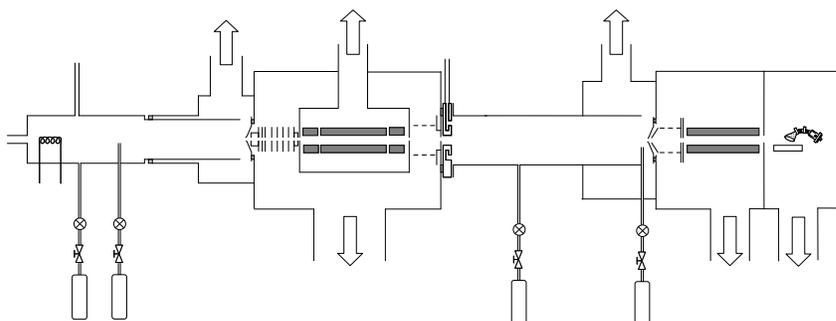


Fig. 1: représentation schématique d'un nouvel instrument FA-SIFT-MS pour l'étude des réactions ions-molécules en phase gazeuse.

Dans le but de développer des méthodes CIMS plus sélectives pour quantifier les COVBs, des alcools en  $C_5$  insaturés ont été introduits dans un Spectromètre de Masse en Tandem (TMS) couplé à un « Flowing Afterglow », initialement optimisé. L'objectif est de mettre en évidence des schémas de Dissociation Induite par Collision (CID) (ayant lieu dans la cellule de collision du TMS) propres aux ions produits par ionisation chimique des réactifs neutres avec les ions précurseurs  $H_3O^+$  ou  $O_2^+$ .

Avant de procéder aux mesures sur le terrain, dans le cadre du projet IMPECVOC, le PTR-MS a été utilisé en laboratoire afin d'étudier l'influence des paramètres instrumentaux et environnementaux sur la détection et la quantification des sesquiterpènes ( $C_{15}H_{24}$ ), composés biogéniques très réactifs (notamment avec l'ozone), de faible volatilité et supposés comme étant des précurseurs d'AOS. Cette étude a été menée suite au manque de données relatives à cette classe de composés et suite aux résultats, publiés par Demarcke et al. (2008), et qui ont suscité un vif intérêt de la part de la communauté scientifique utilisant le PTR-MS.

#### Références:

M. Demarcke, C. Amelynck, N. Schoon, H. Vanlangenhove and J. Dewulf, "Laboratory studies in support of the detection of sesquiterpenes by Proton-Transfer-Reaction-Mass-Spectrometry", *Int. J. Mass Spectrom.* doi:10.1016/j.ijms.2008.10.023

F. Dhooghe, C. Amelynck, J. Rimetz-Planchon, N. Schoon, F. Vanhaecke: 'Flowing Afterglow Selected Ion Flow Tube (FA-SIFT) study of ion/molecule reactions in support of the detection of biogenic alcohols by medium-pressure chemical ionization mass spectrometry techniques', *Int. J. Mass Spectrom.* doi:10.1016/j.ijms.2009.04.001

### 1.2.3) Modélisation de la chimie troposphérique : Utilisation de la modélisation par inversion en comparaison avec des observations réalisées puis l'Espace en vue de déterminer les tendances de distribution des sources d'émission de NOx durant la période 1997-2006.

De par leur influence, à la fois sur l'ozone troposphérique et sur les radicaux hydroxyles, les oxydes d'azote (NOx) sont un sujet de grand intérêt. Le bilan global des émissions de NOx est largement dominé par l'usage massif des combustibles fossiles (env. 60%), alors que les feux de végétation, les émissions naturelles des sols et la foudre interviennent, tous trois combinés, pour le reste. Toutefois, en raison de changements économiques rapides et de politiques concrètes prises en faveur d'une réduction des émissions, un besoin croissant se fait sentir de mettre à jour les estimations des émissions de NOx. Ceci permettrait ainsi de refléter l'état actuel de la pollution de l'air, en particulier dans les régions où les activités humaines sont la principale source de NOx, mais également dans les régions où la quantification des sources naturelles est encore très incertaine.

De longues séries temporelles des colonnes verticales de NO<sub>2</sub> mesurées depuis l'Espace peuvent nous aider à déterminer l'intensité actuelle des émissions, ainsi que leur évolution dans le temps. La technique utilisée pour déduire l'intensité des émissions à partir des observations est appelée «modélisation inverse des émissions». Elle est utilisée pour obtenir de meilleures estimations des émissions des gaz réactifs et non réactifs. Pour appliquer cette méthode, nous avons besoin d'un modèle de chimie et de transport, ainsi qu'un ensemble d'observations chimiques. Ainsi, nous adaptons les émissions dans le modèle de manière à réduire les divergences avec les données, tout en prenant en compte les erreurs. La combinaison de données de NO<sub>2</sub> troposphérique obtenues à l'aide de deux instruments satellite différents; GOME à bord de ERS-2 et SCIAMACHY à bord d'ENVISAT, pour la période allant de 1997 à 2006, offre une possibilité sans précédent d'étudier la variabilité interannuelle des émissions de NOx, ainsi que les tendances sur plus d'une décennie.

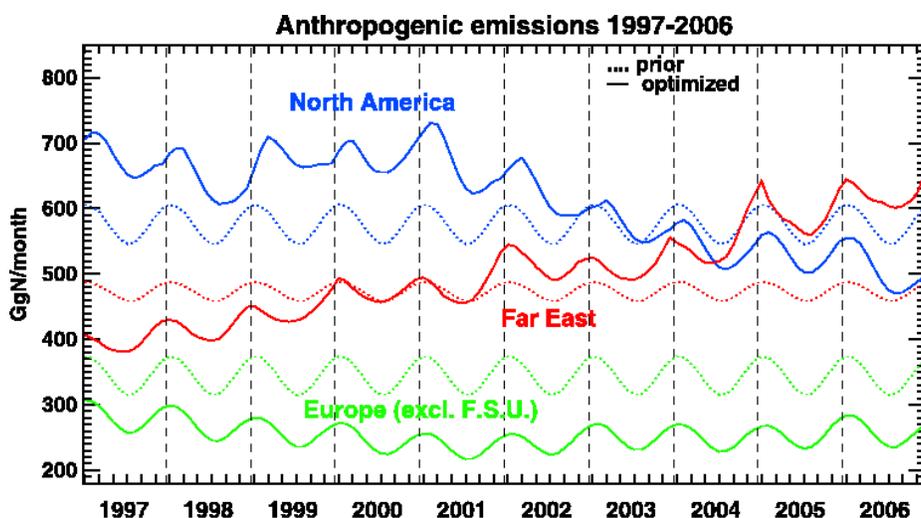


Fig. 1: Évolution temporelle des émissions de NOx d'origine anthropique au-dessus de l'Europe (excluant la partie issue de l'ancien bloc soviétique), l'Amérique de Nord (Etats-Unis et Canada), et l'extrême Orient (Chine, Japon, Corées). Les courbes en pointillés et en trait continu correspondent respectivement aux estimations a priori et a posteriori.

Cette étude, réalisée en collaboration avec le KNMI (Pays-Bas), est la première étude d'inversion portant sur plusieurs années et visant à déterminer l'évolution des émissions. Le modèle global « IMAGES » a été utilisé pour simuler les colonnes de NO<sub>2</sub> observées et l'approche d'inversion adoptée repose sur la technique du modèle adjoint (Muller et Stavrakou, 2005). Les flux d'émission sont optimisés à la résolution horizontale du modèle pour chaque processus d'émission (d'origine anthropique, naturelle, ou provenant de la combustion de la biomasse) et chaque mois de la période 1997-2006 (Stavrakou et Muller, 2006, Stavrakou et al. 2008). Ainsi, pour cette période, les estimations par inversion montrent une tendance à la baisse d'environ 5% par décennie pour le total des émissions mondiales de NOx. L'évolution temporelle de la source d'émission déduite pour les régions industrialisées est illustrée sur la Figure 1. Les émissions en Extrême-Orient augmentent en revanche d'environ 60% par décennie, représentant ainsi 30% de la source anthropique totale de NO<sub>2</sub> en 2006, tandis que d'importantes réductions des émissions sont mises en évidence par cette méthode d'inversion en Amérique du Nord (-26%) et en Europe (-9%).

La tendance à la hausse des émissions anthropiques à Beijing s'élève à 9,6% par an et reflète l'expansion rapide de l'économie chinoise. D'autre part, les stratégies de réduction des émissions des centrales électriques alimentées au charbon sont responsables des réductions des émissions anthropiques observées pour les régions industrielles du bassin du Pô (Italie) et de

la vallée de l'Ohio (US). La tendance à la baisse des émissions est la plus importante dans la vallée de l'Ohio (4,3%/an), où l'on estime que les émissions de NO<sub>x</sub> ont diminué de 35% entre Juillet 1997 et 2006.

Un autre aspect innovant de cette étude d'inversion réside dans sa capacité à représenter la relation non-linéaire qui existe entre les émissions de NO<sub>x</sub> et les colonnes de NO<sub>2</sub>. Par exemple, en Chine, les rétroactions chimiques expliquent la saisonnalité des colonnes de NO<sub>2</sub> observées, alors que les grandes variations déduites pour les émissions conduisent à une tendance significative pour l'ozone de surface, qui s'accroît de 15% par décennie durant l'été, sur de grandes parties de la Chine.

#### Références:

Muller, J.-F. and T. Stavrou, Inversion of CO and NO<sub>x</sub> emissions using the adjoint of the IMAGES model, *Atmos. Chem. Phys.*, 5, 1157-1186, 2005.

Stavrou T. and J.-F. Muller, Grid-based versus big-region approach for inverting CO emissions using Measurement of Pollution in the Troposphere (MOPITT) data, *J. Geophys. Res.*, 111, D15304, doi:10.1029/2005JD006896, 2006.

Stavrou, T., J.-F. Muller, F. Boersma, I. De Smedt, R. van der A, Assessing the distribution and growth rates of NO<sub>x</sub> emissions sources by inverting a 10-year record of NO<sub>2</sub> satellite columns, *Geophys. Res. Lett.*, 35, L10801, doi:10.1029/2008GL033521, 2008.

### **1.3) Les gaz réactifs**

#### **1.3.1) Observations dans l'UV-Vis:**

##### **1.3.1.1) Une nouvelle perspective pour les sources et les tendances du brome atmosphérique:**

En dépit de leur faible abondance (de l'ordre de quelques pptv), les espèces bromées jouent un rôle majeur dans la chimie atmosphérique en raison de leur grande efficacité en tant que catalyseurs de la destruction de l'ozone, à la fois dans la stratosphère et dans la troposphère (voir par exemple le rapport de l'OMM de 2007). Pendant la journée, la forme la plus abondante de brome inorganique est le monoxyde de brome (BrO), qui peut être systématiquement mesuré par spectroscopie d'absorption passive sur base de signatures spectrales bien spécifiques dans l'ultraviolet, aux alentours de 350 nm. Ces dernières années, le groupe DOAS UV-visible de l'IASB a mené de nombreuses études visant à améliorer notre connaissance de la distribution du brome dans l'atmosphère ainsi que sa variabilité à long terme. Deux d'entre elles, chacune publiée dans la revue « *Geophysical Research Letters* » en 2008, sont résumées ci-dessous.

##### **Tendances à long terme du brome stratosphérique révélées par les observations au sol :**

Dans le cadre d'une collaboration entre l'IASB et le NIWA (National Institute of Water and Atmospheric Research, Lauder, New-Zeland), une analyse de tendance des colonnes de monoxyde de brome (BrO) s'étalant sur une décennie (1995-2005) a été effectuée dans deux stations du réseau international NDACC, respectivement Harestua dans le sud de Norvège (60° N ; 11° E) et Lauder en Nouvelle-Zélande (45° S ; 170° E). L'étude se base sur des observations par spectrométrie d'absorption UV-visible réalisées par l'IASB et le NIWA. Un modèle statistique, incluant une tendance linéaire et des composantes saisonnières représentées par des fonctions poly-harmoniques, a été utilisé pour ajuster la densité des séries temporelles pour la colonne verticale de BrO. L'inclusion de telles fonctions dans le modèle permet de prendre en compte la forte saisonnalité du BrO dans la stratosphère (voir Figure 1). Pour ces deux stations, une tendance d'accroissement (environ +2,5% par an) a été mise en évidence pour la période 1995-2001, alors qu'une tendance à la décroissance (environ -1% par an) a été observée entre 2001 et 2005. Compte tenu de l'âge moyen de l'air dans la stratosphère, de l'ordre de (4 ± 1) ans, le déclin observé du brome stratosphérique depuis 2002, suit le déclin des gaz sources à long temps de vie qui sont à l'origine du brome atmosphérique (principalement le bromure de méthyle). Ces résultats confirment que l'impact des restrictions prises dans le cadre du protocole de Montréal pour les substances bromées se fait désormais sentir au niveau de la stratosphère (voir Hendrick et al., 2008, pour plus de détails).

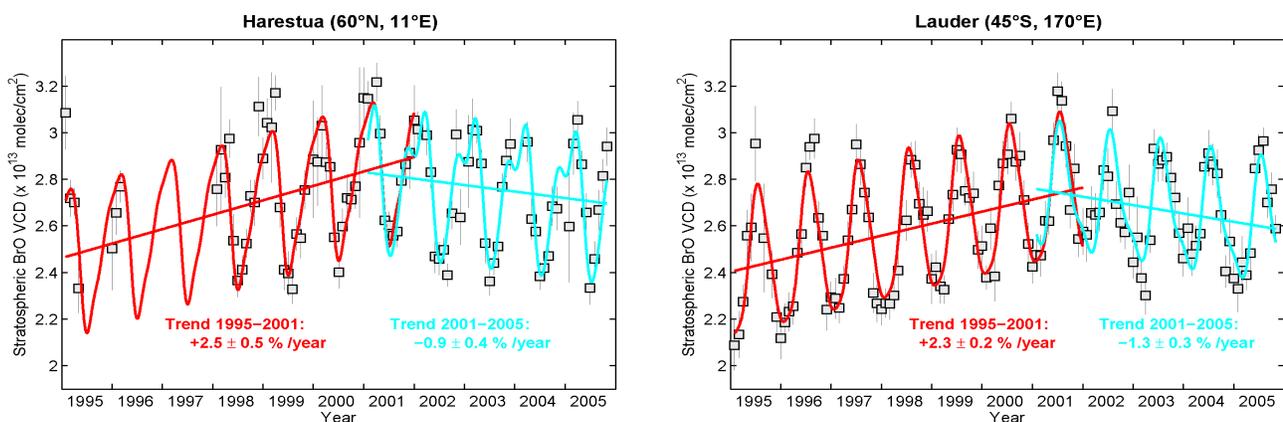


Fig. 1: Séries temporelles des colonnes verticales (VCD) de BrO stratosphérique pour 1995-2005, en moyennes mensuelles à Harestua (graphique de gauche) et à Lauder (graphique de droite). Les résultats des analyses de tendance pour les périodes 1995-2001 et 2001-2005 sont également indiqués.

### Première détection depuis l'espace des émissions volcaniques de brome

C'est en étudiant les spectres enregistrés à l'aide de l'instrument GOME-2, à bord du satellite Metop-A, que les scientifiques de l'IASB ont pu identifier d'importantes signatures d'absorption causées par le monoxyde de brome (BrO) dans les environs du volcan Kasatochi, dans les îles Aléoutiennes (Alaska, 52,2° N ; 175,5° O) après son éruption du 7 août 2008 (pour plus de détails, voir Theys et al., 2009). Bien qu'il ait déjà été démontré dans la littérature (Bobrowski et al., 2003) que des quantités élevées de BrO sont régulièrement émises à proximité de certains volcans en activité, nos résultats obtenus avec l'instrument satellitaire GOME-2 démontrent que d'énormes quantités de brome peuvent être émises lors d'éruptions volcaniques majeures, ce qui pourrait s'avérer important pour la quantification du budget du brome dans la troposphère, et éventuellement également dans la stratosphère. Comme on peut le voir sur la figure 2, le transport du panache de BrO du volcan Kasatochi a pu être suivi durant six jours après l'éruption.

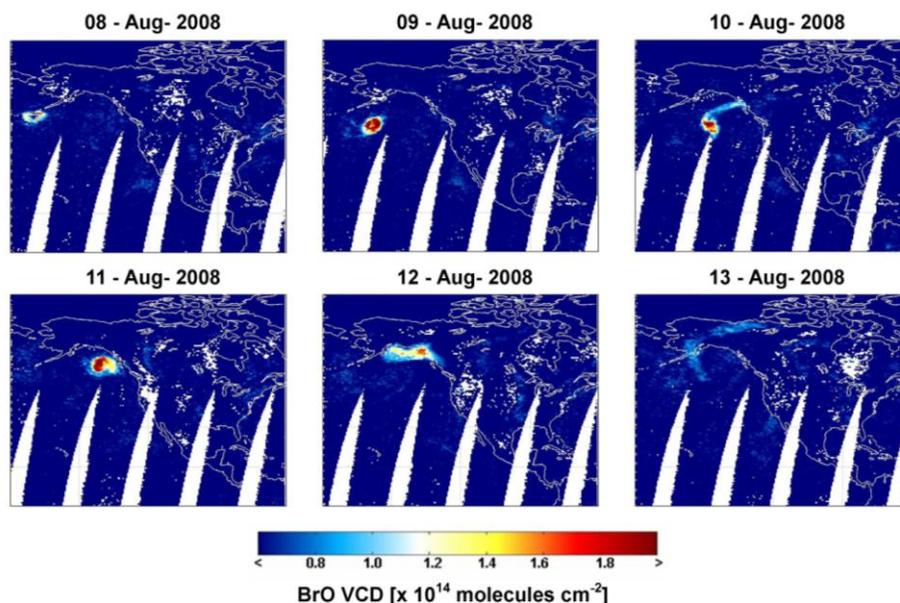


Fig. 2 : Colonnes verticales de BrO mesurées par l'instrument GOME-2 suite à l'éruption du volcan Kasatochi entre le 8 et le 13 août 2008.

Une modélisation par dispersion lagrangienne, également réalisée à l'IASB, a montré que le BrO volcanique est directement injecté dans la haute troposphère et /ou la basse stratosphère à une altitude comprise entre 8 et 12 km, portant ainsi la masse totale de réactif bromé libéré dans l'atmosphère à environ 50 à 120 tonnes. Cela correspond à environ 25% des estimations prévues pour la masse totale de brome réactif produite annuellement par l'activité volcanique. Comme mentionné

préalablement, ceci représente la première observation spatiale des émissions volcaniques de BrO. Ces résultats, d'une importance potentiellement grande pour l'atmosphère planétaire, ont été mis en évidence sur le portail web de l'Agence spatiale européenne (ESA) - Observation de la Terre ([http://www.esa.int/esaEO/SEM5P3XX3RF\\_index\\_0.html](http://www.esa.int/esaEO/SEM5P3XX3RF_index_0.html)).

#### Références:

- Bobrowski, N., Hönninger, G., Galle, B., and Platt, U.: Detection of bromine monoxide in a volcanic plume, *Nature*, 423, 273-276, 2003.
- Hendrick, F., Johnston, P.V., De Mazière, M., Fayt, C., Hermans, C., Kreher, K., Theys, N., and Van Roozendael, M.: One-decade trend analysis of stratospheric BrO over Harestua (60°N) and Lauder (45°S) reveals a decline, *Geophys. Res. Lett.*, 35, L14801, doi:10.1029/2008GL034154, 2008.
- Theys, N., Van Roozendael, M., Dils, B., Hendrick, F., Hao, N., and De Mazière, M.: First satellite detection of volcanic bromine monoxide emission after the Kasatochi eruption, *Geophys. Res. Lett.*, 36, L03809, doi:10.1029/2008GL036552, 2009.
- World Meteorological Organization (WMO), Scientific assessment of ozone depletion: 2006, Global Ozone Research Monitoring Project Report n° 50, Geneva, Switzerland, 2007.

#### 1.3.1.2) Étude et suivi de la pollution atmosphérique en Chine

Suite à une croissance industrielle et à une urbanisation galopantes, la pollution de l'air est devenue une question cruciale en Chine avec un impact potentiellement plus large encore, à l'échelle globale. Dans le contexte du programme DRAGON de l'ESA, et en particulier dans le cadre d'un accord de recherche bilatérale conclu entre l'Institut de physique atmosphérique chinois (IAP) et l'Institut d'Aéronomie Spatiale de Belgique (IASB), un instrument a été mis au point pour contrôler la qualité de l'air à Beijing (Pékin) et contribuer à la validation des observations satellitaires pour divers polluants atmosphériques tels que le NO<sub>2</sub>, le SO<sub>2</sub>, l'ozone et les particules fines. Installé sur le toit de l'IAP, à quelques centaines de mètres seulement du stade olympique de Pékin, l'instrument de spectroscopie opérant par absorption optique différentielle multiaxiale (MAXDOAS) est capable de surveiller la distribution verticale de plusieurs polluants atmosphériques clés. Les observations sont exploitées dans le cadre de plusieurs projets nationaux et européens comme AGACC (<http://www.oma.be/AGACC/Home.html>), AMFIC (<http://www.amfic.eu>) et GEOMON (<http://www.geomon.eu>).



Figure 1 : photographie de la tête optique de l'instrument (MAX-DOAS), installé à Pékin.

L'instrument est conçu pour enregistrer la lumière solaire diffusée par l'atmosphère dans différentes directions d'observation depuis l'horizon jusqu'au zénith. De telles observations sont très sensibles à la présence de molécules absorbantes situées à proximité de la surface. Les spectres d'absorption de ces molécules sont enregistrés dans une large gamme spectrale (300-720 nm) avec un très bon rapport signal-bruit, ce qui permet la détection de nombreuses molécules, présentes même en traces. En outre, l'analyse de ces mêmes spectres nous permet de dériver les extinctions imputables aux aérosols ainsi que les profils verticaux de plusieurs polluants atmosphériques.

Un algorithme d'inversion été développé par l'IASB, il fonctionne en deux étapes. Dans un premier temps, les profils d'extinction des aérosols sont enregistrés pour différentes longueurs d'onde, ensuite, l'information obtenue à propos des aérosols est utilisée comme entrée pour en déduire les profils de divers gaz troposphériques. De cette manière, la dépendance entre le trajet lumineux effectif et la présence d'aérosols dans l'atmosphère est bien prise en compte. Nous décrivons brièvement cet algorithme et présentons les premiers résultats de son application pour les mesures réalisées à Pékin.

La détermination des profils d'extinction des aérosols se base sur la mesure des colonnes obliques différentielles du complexe de collision de l'oxygène (O<sub>4</sub>) obtenues à plusieurs longueurs d'onde et pour différentes configurations géométriques. Le principe de la méthode repose sur le fait que la longueur du trajet lumineux à travers l'atmosphère (qui détermine les colonnes obliques mesurées) dépend non seulement de la position du soleil et de la géométrie d'observation mais aussi la distribution verticale et des propriétés optiques des aérosols présents dans l'atmosphère. Par conséquent, lorsque la distribution verticale d'un absorbeur est bien connue (la concentration en O<sub>4</sub> varie proportionnellement au carré de la concentration en oxygène

moléculaire O<sub>2</sub>), la mesure de sa colonne oblique fournit des informations sur les propriétés optiques des aérosols. Une fois les aérosols caractérisés, leur effet sur l'absorption des gaz en trace peut aussi être pris en compte, ce qui permet d'obtenir, dans une dernière étape de l'analyse, le profil de concentration des gaz en traces.

Notre algorithme d'inversion utilise une méthode d'estimation optimale [Rodgers, 2000] ainsi qu'un modèle décrivant le transfert de la radiation solaire dans une atmosphère diffusante (LIDORT, Spurr et al., 2001; Spurr, 2002). Un avantage majeur de ce code est qu'il inclut un calcul analytique des fonctions de pondération nécessaires à l'étape d'inversion. En conséquence, l'algorithme est rapide, ce qui constitue un atout précieux pour des observations en temps réel.

La distribution verticale des aérosols et du NO<sub>2</sub> troposphérique ont été mesurés à Pékin entre novembre 2008 et mars 2009. Pour obtenir une indication sur la qualité des résultats, nous avons comparé la profondeur optique totale des aérosols (AOD), calculée à partir de nos données MAXDOAS avec des mesures d'AOD réalisées par un photomètre solaire de type CIMEL installé sur le même site d'observation. Les colonnes verticales de NO<sub>2</sub> ont été comparées avec des colonnes obtenues au moyen d'une approche géométrique plus simple, basée sur un seul angle de mesure (30° d'élévation).

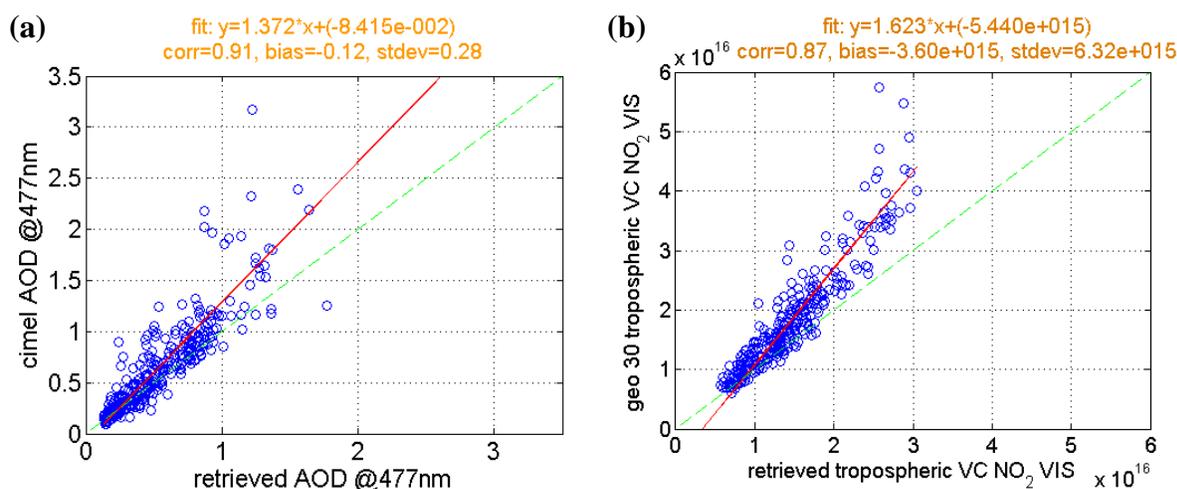


Fig. 2 : Analyse de corrélation entre (a) l'AOD enregistrée à 477 nm par l'instrument MAXDOAS et l'AOD provenant du photomètre solaire CIMEL (b) les colonnes verticales de NO<sub>2</sub> troposphérique obtenues respectivement par notre algorithme et à l'aide de l'approche géométrique (30° d'élévation). Les paramètres statistiques correspondants (coefficients de corrélation, biais et écarts-types) sont également indiqués.

Sur les graphiques de la figure 2, on peut observer une bonne corrélation entre l'AOD et les colonnes verticales (VC<sub>s</sub>) du NO<sub>2</sub>, mais toutefois avec un biais négatif. Ces biais sont probablement liés à un manque d'optimisation des profils a priori, dans l'étape d'estimation optimale. En effet, pour ces premières mesures, les AOD et VC des profils a priori utilisés correspondent à des situations faiblement polluées. Comme l'outil de profil voit sa sensibilité décroître avec l'altitude (au-delà de 1 km), il est nécessaire, en cas de forte pollution, d'utiliser des profils a priori plus appropriés, spécialement pour les hautes altitudes, ce qui sera testé très prochainement.

Malgré ces limites, les premiers résultats de nos mesures MAXDOAS sont très encourageants. Ils indiquent que les mesures MAXDOAS réalisées à l'aide du nouvel instrument installé à Pékin, contiennent les informations nécessaires pour extraire les profils d'extinction des aérosols ainsi que les profils de polluants troposphériques importants comme le NO<sub>2</sub>, le SO<sub>2</sub> et l'ozone. Une copie de l'instrument de Pékin a été récemment réalisée et installée à l'IASB pour une meilleure surveillance de la pollution atmosphérique et un développement plus poussé des algorithmes, dans le cadre du projet AGACC.

#### Références:

Greenblatt G.D., Orlando, J.J., Burkholder J.B., and Ravishankara A.R.: Absorption measurements of oxygen between 330 and 1140 nm, *J. Geophys. Res.* 95, 18577-18582, 1990.

Platt U., Differential optical absorption spectroscopy (DOAS), in *Air Monitoring by Spectroscopic Techniques*, vol. 127, pp. 27-83, John Wiley, Hoboken, N.Y., 1994.

Rodgers C.D.: *Inverse Methods for Atmospheric Sounding: Theory and Practice*, Ser. Atmos. Oceanic Planet. Phys., vol. 2, edited by F.W. Taylor, World Sci., Hackensack, N.Y., 2000.

Spurr R.J.D., Kurosu T.P., Chance K.V.: A Linearized discrete Ordinate Radiative Transfer Model for Atmospheric Remote Sensing Retrieval, *J. Quant. Spectrosc. Radiat. Transfer* 68, 689-735, 2001.

Spurr R.J.D.: Simultaneous derivation of intensities and weighting functions in a general pseudo-spherical discrete ordinate radiative transfer treatment, *J. Quant. Spectrosc. Radiat. Transfer* 75, 129-175, 2002.

### **1.3.2) Recherche pour l'exploitation intégrée de données atmosphériques:**

#### **Développements scientifiques pour la mise au point d'un système intégré de mesures pour la composition globale de l'atmosphère.**

Les investigations menées en vue de relier le climat et la chimie atmosphérique nécessitent l'acquisition de mesures de gaz en traces à différentes échelles géographiques ; c'est-à-dire depuis des régions sources très localisées (par ex. les émissions urbaines ou végétales) jusqu'au vaste domaine de l'atmosphère globale.

Les enregistrements de ce type de données doivent également permettre de réaliser différentes gamme d'échantillons dans le temps, depuis un échantillonnage infra-journalier permettant par exemple l'étude détaillée des cycles diurnes, jusqu'à des ordres de grandeur de plusieurs années voire même décennies – ceci autorise la détection de légers changements dans la composition chimique ainsi que leur lien avec le climat et permet de séparer les tendances induites par l'homme de la variabilité naturelle associée aux cycles solaires, saisonniers ou autres (ex.: l'oscillation quasi-biennale).

Curieusement, aucune technique de mesure n'est capable, à elle seule, de rencontrer les exigences requises pour l'observation. La figure 1 nous donne donc un aperçu de l'information sur la composition atmosphérique accessible par certains systèmes de mesures opérant depuis le sol ou depuis des ballons ou des satellites.

La gamme des mesures, des tailles d'échantillons et des résolutions pour les dimensions verticales, horizontales et temporelles, ainsi que l'étendue des espèces détectables, sont déterminées par le type d'observation (par exemple, la télédétection en milieu in situ), de même que la gamme spectrale, les caractéristiques de la source lumineuse, la géométrie d'observation utilisée, l'inclinaison de l'orbite, etc. Utiliser ces effets en parfaite complémentarité pour les différents systèmes d'observation de la Terre, au lieu de se focaliser sur leurs spécificités individuelles, est un défi scientifique permanent pour notre groupe. Ceci nous permet de nous impliquer activement dans les activités de coordination du système global des systèmes (GEOSS).

Pour ces activités d'implémentation, notre groupe a l'occasion de mettre au point des stratégies qui sont établies en concertation avec les principales instances internationales de ce domaine ainsi que les comités techniques. Certains recommandent d'ailleurs explicitement le développement de certains outils ou méthodes pour réaliser ce type de systèmes d'observation, en particulier dans le domaine du suivi atmosphérique, de la validation de données, et de l'utilisation intégrée de celles-ci.

La recherche réalisée par l'équipe "SYNERGIES" de l'IASB apparaît donc comme une réponse à plusieurs questions scientifiques qui sont progressivement apparues lors de l'implémentation de GEOSS (la contribution européenne) dans GMES (Global Monitoring for Environment and Security), en particulier pour la mise en place du futur service atmosphérique de GMES. Parmi les principales réalisations pour l'année 2008, on peut citer la caractérisation complète de l'information atmosphérique traitée à partir de mesures d'émission au limbe réalisées dans l'infrarouge par le capteur MIPAS, à bord du satellite Envisat (lancé en avril 2002). La figure 2 montre par exemple la résolution horizontale des données de MIPAS pour la vapeur d'eau (H<sub>2</sub>O) et l'ozone (O<sub>3</sub>), deux variables climatiques essentielles. Des calculs similaires furent réalisés pour le dioxyde de carbone (suivi des températures), le méthane (CH<sub>4</sub>), le monoxyde d'azote (N<sub>2</sub>O), le dioxyde d'azote (NO<sub>2</sub>) et l'acide nitrique (HNO<sub>3</sub>). Du milieu de la troposphère vers la stratopause, l'information est traitée dans un rayon de 200 à 300 km autour du point tangent pour les sondages au limbe. Dans la mésosphère, cet étalement horizontal de l'information augmente significativement suite aux effets géométriques. Plus remarquables encore sont les informations pour les résidus d'O<sub>3</sub>, de N<sub>2</sub>O et de NO<sub>2</sub> de la mésosphère qui sont distribués autour du point tangent. Ainsi, des informations sur les quantités d'eau (H<sub>2</sub>O) et de méthane (CH<sub>4</sub>) de la mésosphère sont disponibles dans un rayon de 500km environ à partir du point tangent en direction du satellite. Le dernier effet est attribué à une ligne de saturation dans des micro-fenêtres spectrales utilisées par le processeur de traitement MIPAS.

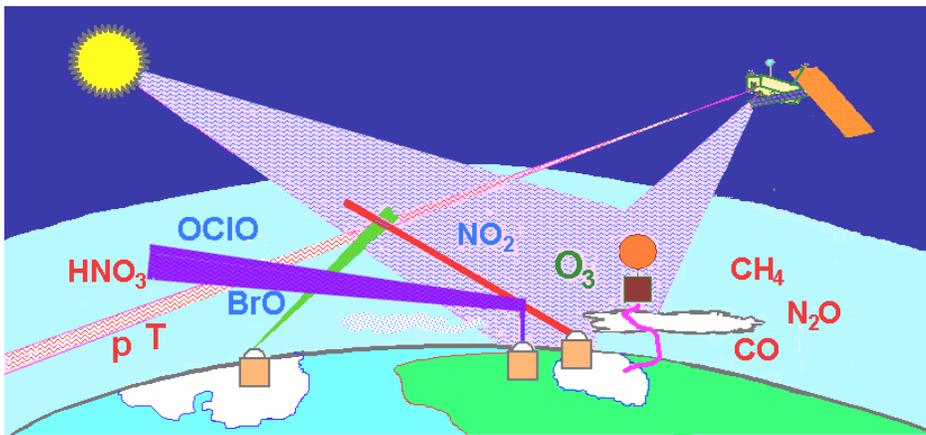


Fig. 1: représentation schématique de l'atmosphère sondée depuis le sol à l'aide de spectromètres travaillant dans l'ultraviolet et le visible (zone en violet) et dans l'infrarouge (ligne épaisse en rouge en direction du Soleil), par radiométrie utilisant des ondes radio millimétriques (zone verte), depuis des sondes transportées par des ballons (profils en rose) et enfin depuis des instruments satellites mesurant la radiation quittant l'atmosphère soit tangentiellement (au limbe), soit perpendiculairement (observation au nadir).

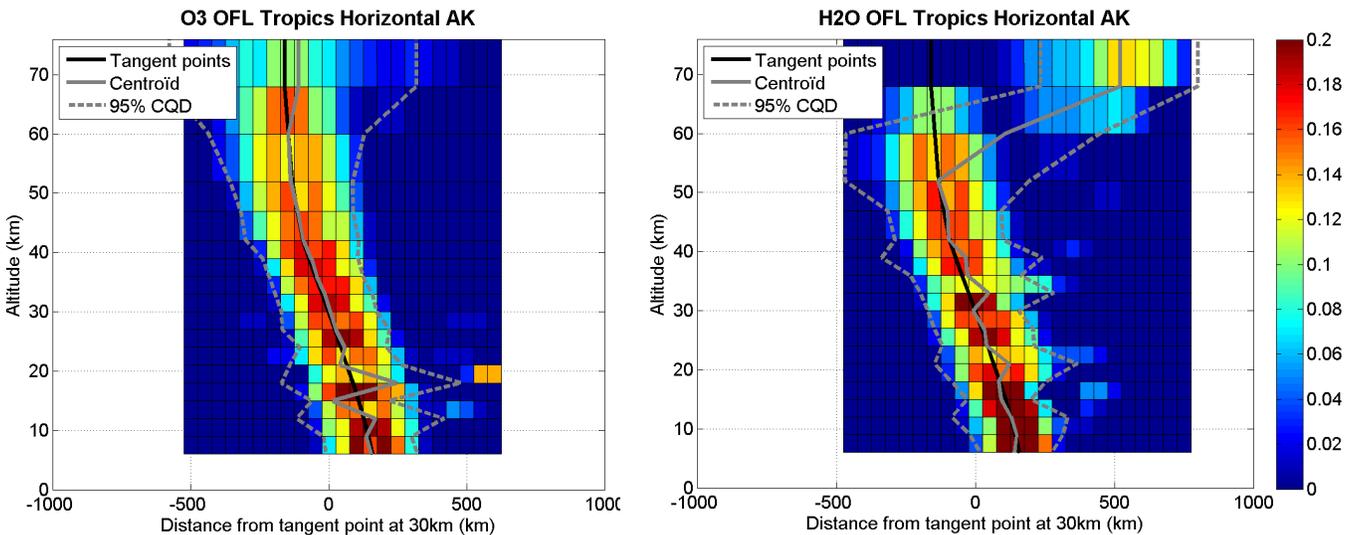


Fig. 2: Résolution horizontale (noyaux de moyennes) des observations MIPAS pour la vapeur d'eau et l'ozone, fonctions de l'altitude à partir du milieu de la troposphère jusqu'à la mésosphère moyenne, et calculée pour une atmosphère standard tropicale (adapté de von Clarmann et al., 2009).

Améliorer et harmoniser continuellement les données enregistrées par les satellitaires est une activité qui s'exerce sur le long terme. La figure 3 présente les données des colonnes d'ozone déduites d'observations et acquises par les capteurs européens GOME, à bord du satellite ERS-2 depuis 1995, SCIAMACHY à bord d'Envisat depuis 2002, et la première des trois missions GOME-2, à bord de MetOp-A, depuis 2007. En 2008, plusieurs évolutions du processeur ont été testées pour le traitement de l'ozone et du dioxyde d'azote, ce qui devrait conduire à des données de colonnes plus homogènes à partir de 1995.

D'autres réalisations importantes de 2008 incluent par exemple le développement d'outils pour faciliter le couplage de séries temporelles obtenues à l'aide de divers satellites consécutifs. L'analyse combine des mesures ayant des caractéristiques très différentes, en vue de les implémenter dans des modèles d'analyse de la composition atmosphérique (chemical weather) et de prévisions météorologiques classiques. Ainsi, nous collaborons à l'établissement d'une stratégie de qualité pour les données atmosphériques de GEOSS et de GMES.

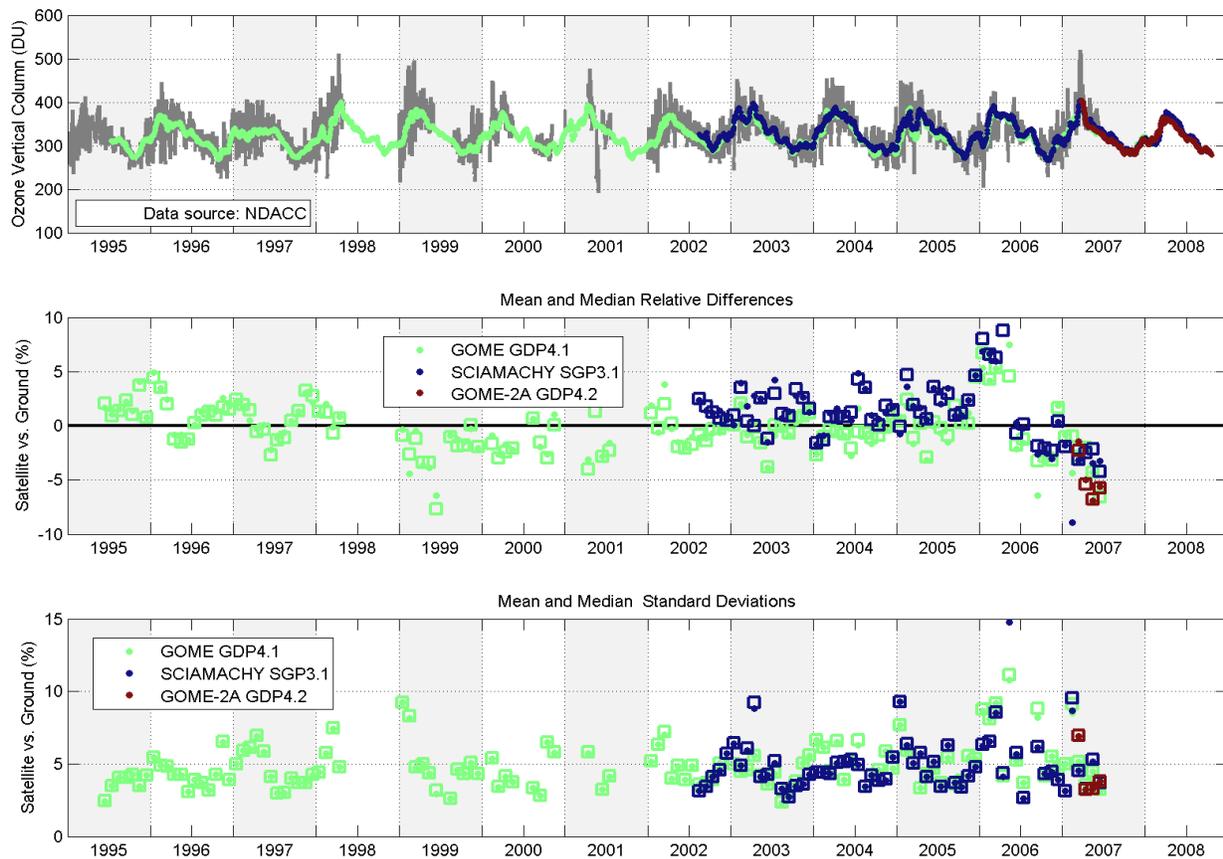


Fig. 3 : Données des colonnes d'ozone, enregistrées par le spectromètre SAOZ (UV-visible) de l'IASB dans la station du Jungfraujoch (Switzerland, 47°N, 8°E) depuis 1990, et depuis les satellites européens GOME, SCIAMACHY et GOME-2. Différence relative entre les données de SAOZ et du satellite (au milieu) et déviation standard de celles-ci (en bas).

### Références:

- Delgado, R., P. Skarlas, M. Snellings, and J.-C. Lambert, Benefits and challenges of a coordinated Validation and Quality Assessment for the GMES Atmospheric Service (GAS), 37th COSPAR Sci. Ass., Montréal, Canada, July 13-19, 2008.
- Lambert, J.-C., G. Pinardi, N. Hao, and P. Valks, "GOME-2 GDP 4.2 total NO<sub>2</sub> validation update (March 2007 – July 2008) and tropospheric NO<sub>2</sub> validation set-up", IASB-BIRA/EUMETSAT Technical Report TN-IASB-GOME2-O3MSAF-NO2-02\_ORR-B\_1, Issue ORR-B, Revision 1, 52 p., 24 November 2008.
- Loyola, D., T. Erbertseder, D. Balis, J.-C. Lambert, R. Spurr, M. Van Roozendael, et al., Operational Monitoring of the Antarctic Ozone Hole: Transition from GOME and SCIAMACHY to GOME-2, in *Ozone Depletion: From its discovery to Envisat and Aura*, Book commemorating the 20<sup>th</sup> anniversary of the Montreal Protocol, C. Zerefos et al. (eds.), Twenty Years of Ozone Decline, © Springer Science + Business Media B. V., pp. 215-238, 2009.
- Von Clarmann, T., C. De Clercq, M. Ridolfi, M. Höpfner, and J.-C. Lambert, The horizontal resolution of MIPAS, *Atmospheric Measurement Techniques*, Vol. 2, 47-54, 2009.

### 1.3.3) Modélisation stratosphérique et assimilation de données:

#### Assimilation des observations chimiques de MIPAS: analyses pour l'ozone (O<sub>3</sub>) et le dioxyde d'azote (NO<sub>2</sub>)

Un des principaux défis à relever pour la communauté scientifique en charge d'étudier l'atmosphère consiste à prévoir la manière dont l'ozone retrouvera son niveau d'avant les émissions massives de chlorofluorocarbures (CFC). Ces prévisions sont généralement basées sur des simulations de modèles climatiques couplés à des modèles de chimie (CCM). Démarrées au milieu du XX<sup>e</sup> siècle, ces simulations calculent l'évolution de l'ozone sur une centaine d'années environ. Dans le cadre de l'organisation internationale SPARC (Stratospheric Processes And their Role in Climate), le groupe de travail CCMVal a été mis en place pour évaluer les capacités des modèles CCM. Pour ce faire, les résultats des CCM sont comparés aux observations des satellites disponibles depuis 1991 qui correspondent au lancement du satellite de recherche sur la haute atmosphère (UARS : Upper Atmosphere Research Satellite).

Dans le cadre du réseau PROMOTE, CCMVal a demandé au service OPR (Ozone Profile Record) de lui fournir des analyses du gaz O<sub>3</sub> ainsi que d'autres molécules liées à celui-ci, sur base d'assimilations d'observations. En utilisant le système BASCOE (Belgian Assimilation System of Chemical Observations, mis au point par Errera et al. en 2008), ces derniers ont assimilé des observations chimiques de l'instrument MIPAS (Michelson Interferometer for Passive Atmospheric Sounding) entre juillet 2002 et mars 2004, c'est-à-dire pour l'ensemble des données MIPAS disponibles à la résolution nominale de l'instrument.

Pour mettre en lumière cette étude, deux graphiques sont présentés. Chacun illustre la qualité des analyses proposées par BASCOE, à la fois pour l'O<sub>3</sub> et le NO<sub>2</sub>. La figure 1 montre par exemple la série temporelle de l'ozone au-dessus du pôle Sud à partir des observations du satellite POAM-III et l'analyse correspondante de BASCOE. L'accord entre les deux sources de données est excellent et ce malgré le fait que les observations de POAM III ne sont pas assimilées. Le trou d'ozone de 2003, représenté par de faibles valeurs d'ozone autour de 100 hPa durant le mois d'octobre, est très bien reproduite par BASCOE. Le même graphique est fourni pour le NO<sub>2</sub> (Fig. 2), il montre une fois de plus le bon accord entre POAM III et BASCOE.

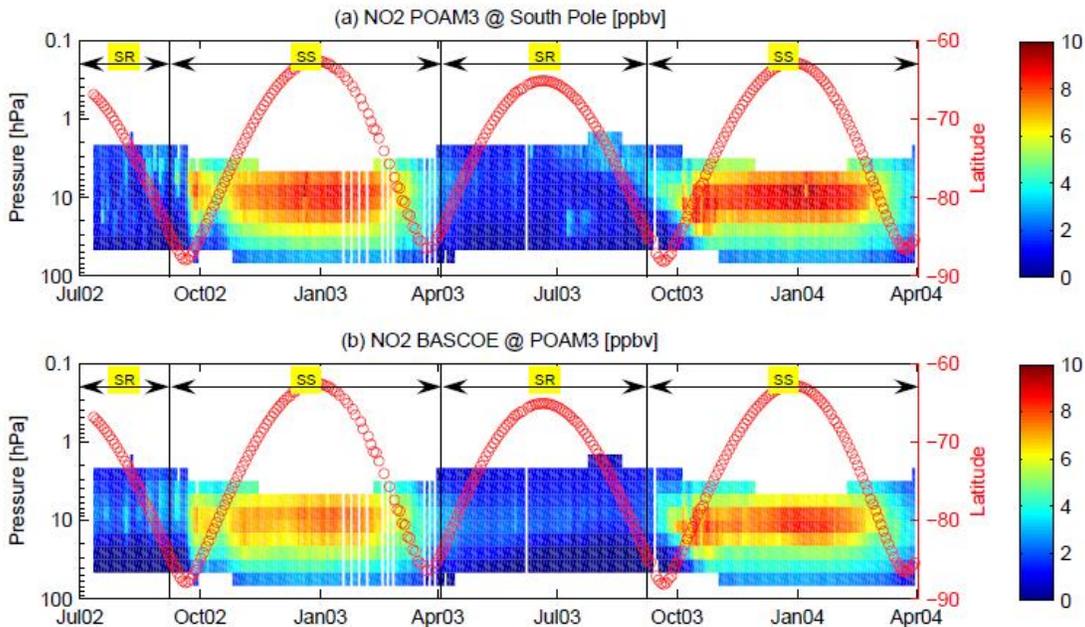


Fig. 1: séries temporelles de l'ozone (valeurs moyennées sur deux jours) au-dessus du pôle Sud et à l'aide du satellite POAM-III (en haut). Analyses de BASCOE pour l'ozone (molécules/cm<sup>3</sup>) en bas. Les cercles rouges correspondent à la latitude moyenne des observations de POAM-III (axe y à droite).

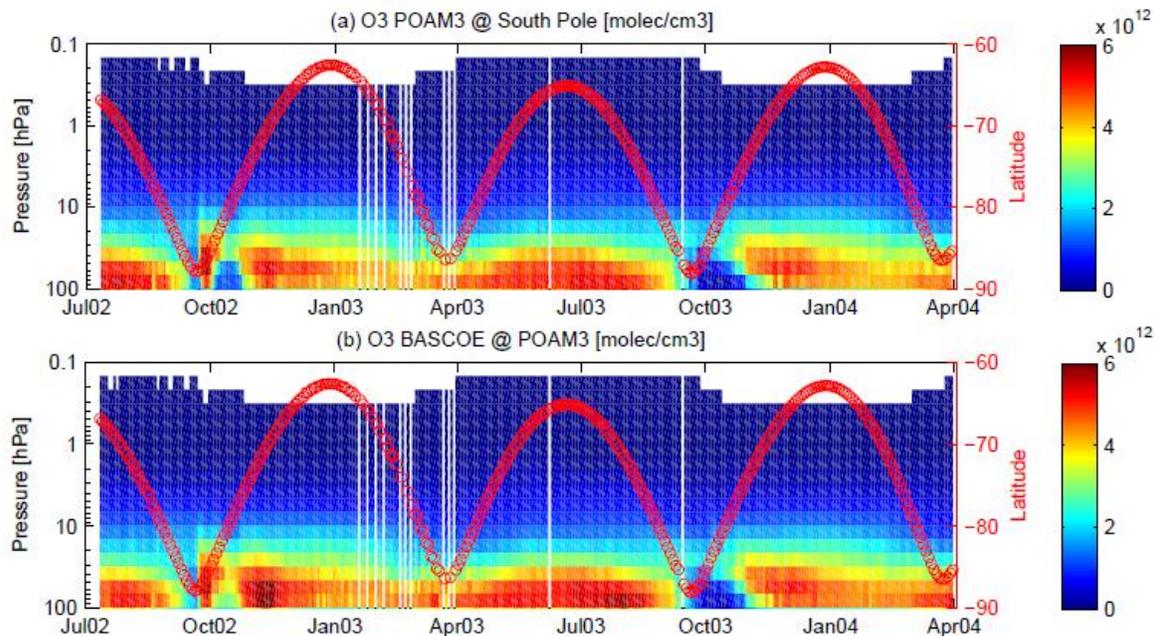


Fig. 2: séries temporelles d'oxyde d'azote ( $\text{NO}_2$ ) réalisées par le satellite POAM-III et moyennées sur deux jours au pôle Sud (en haut) et suivi du  $\text{NO}_2$  (ppmv) par BASCOE (en bas). Les flèches horizontales indiquent les périodes d'observation de levers de soleil (SR = Sunrise) et de couchers de soleil (SS= Sunset) à l'aide de POAM-III. Les cercles rouges correspondent à la latitude moyenne des observations de POAM-III (axe y de droite).

#### Références:

Errera, Q., Daerden, F., Chabrilat, S., Lambert, J. C., Lahoze, W. A., Viscardi, S., Bonjean, S., and Fonteyn, D.: 4D-Var assimilation of MIPAS chemical observations: ozone and nitrogen dioxide analyses, *Atmos. Chem. Phys.*, 8, 6169-6187, 2008.

## 1.4) Etude du rayonnement solaire UV-Visible

### 1.4.1) Sondage au limbe (Limb Remote Sounding)

#### Traitement des aérosols et des profils d'extinction à l'aide de mesures de GOMOS.

Bien qu'à l'origine, l'expérience d'occultation stellaire GOMOS (Global Ozone Monitoring by Occultation of Stars), à bord du satellite ENVISAT, fut conçue pour mesurer des profils de concentration de divers gaz en traces en altitude, une priorité a rapidement été donnée à l'ozone stratosphérique. Toutefois, notre groupe s'intéresse également de plus en plus à d'autres produits additionnels.

Ainsi, depuis une quinzaine d'années environ, notre groupe s'intéresse par exemple aux particules atmosphériques (aérosols, nuages, etc.), et la reconnaissance de notre savoir-faire est à présent mondiale puisque nous contribuons activement à l'acquisition de précieuses connaissances dans ce domaine. GOMOS étant un spectromètre travaillant dans l'UV-Visible-NIR (248-690 nm; 750-776 nm; 916-956 nm), les spectres de transmittance qu'il mesure contiennent les signatures de différents phénomènes particuliers tels que :

- **Les nuages nacrés (Polar Stratospheric Clouds ou PSCs)** qui sont des nuages présents en Antarctique et dans une moindre mesure dans l'Arctique, et qui jouent un rôle crucial dans la destruction de l'ozone.
- **Les nuages cirrus des régions tropicales** qui se composent de fins cristaux de glace et apparaissent au sommet de nuages convectifs de type cumulonimbus, présents dans les régions tropicales.
- **Les aérosols stratosphériques de fond** qui sont des gouttelettes d'acide sulfurique originaires de gaz précurseurs tels que des OCS

- **Les aérosols stratosphériques d'origine volcanique** qui sont des gouttelettes d'acide sulfurique provenant du gaz SO<sub>2</sub> injecté dans la stratosphère lors de violentes éruptions volcaniques.

Pour la communauté scientifique, la principale importance au niveau chimique et physique de ces particules est double : (1) Ce sont des agents actifs ou passifs dans le budget radiatif de l'atmosphère terrestre. (2) ils sont également d'un intérêt crucial dans le processus de destruction de l'ozone.

### **Bilan des opérations de GOMOS :**

Depuis le lancement de la mission ENVISAT, le 1<sup>er</sup> mars 2002, et le démarrage des opérations de routine de l'instrument GOMOS, au mois d'août de la même année, ce dernier a réalisé un nombre impressionnant d'observations d'étoiles par occultation. Au mois de mai 2008, sur un total d'environ 600.000 événements d'occultations, nous n'exploitions uniquement que les mesures ayant été réalisées dans des conditions les plus sombres, c'est-à-dire en évitant les périodes de lever ou de coucher d'étoiles car le signal au limbe ne peut pas être correctement retiré du signal d'intérêt (lumière directe en provenance de l'étoile). Il nous reste environ 301.000 occultations de qualité à exploiter.

La situation n'est cependant pas parfaite car les étoiles scintillent et l'algorithme de GOMOS doit donc être capable de corriger cette perturbation en utilisant son photomètre à mesures rapides. Toutefois, cette correction n'est pas parfaite puisque certains scintillements résiduels persistent malgré tout dans les signaux. Pour ce que l'on en sait actuellement, ces perturbations toucheraient uniquement certains profils d'extinction des aérosols. Ainsi, en réalisant une moyenne sur un grand nombre de profils, on peut donc éliminer la plupart de ces perturbations. Des climatologies sont actuellement dressées pour répertorier les états moyens de l'atmosphère ainsi que les perturbations qui y ont lieu.

Heureusement, ceci affecte uniquement les profils individuels d'aérosols, alors que les perturbations sont en grande partie supprimées en faisant la moyenne d'un large nombre de profils (états moyens). Par ailleurs, les spectres des aérosols / nuages sont actuellement modélisés à l'aide d'une fonction quadratique, elle-même fonction de la longueur d'onde. En théorie, ceci devrait fonctionner. Toutefois, en pratique, l'implémentation incomplète du code, combinée à une contrainte de lissage en altitude, conduit à des résultats erronés pour les coefficients d'extinction des aérosols à des longueurs d'onde différentes de la référence à 500 nm pour laquelle les profils d'extinction sont assez bon. Depuis février 2009, nous essayons d'améliorer la situation avec une nouvelle étude dédiée aux problèmes d'acquisition de données sur des aérosols via GOMOS (le projet ESA-AERGOM).

Ces ensembles de données peuvent être résumés comme suit :

- Période échantillonnée allant d'août 2002 à mai 2008. Notez bien que les années 2002 et 2008 n'ont pas été entièrement couvertes. Il en va de même pour l'année 2005 où l'instrument est tombé en panne.
- Conditions d'illumination nocturne (angle zénithal > 100)
- Nombre d'occultations réalisées : 301.000
- Longueur d'onde considérée : 500nm
- Loi spectrale utilisée pour l'analyse des aérosols : polynomiale quadratique

### **Premiers résultats :**

#### **Statistiques zonales et annuelles**

On peut se faire une première idée de la présence d'aérosols et de nuages dans la haute troposphère / basse stratosphère en considérant les statistiques zonales et annuelles de répartition de ces derniers. Pour ce faire, nous utilisons des percentiles comme estimateurs statistiques car d'une part, les valeurs d'extinction ne sont pas nécessairement distribuées selon une loi

normale, et d'autre part, la médiane (50<sup>ème</sup> centile) est plutôt insensible aux valeurs aberrantes. La valeur médiane pour l'extinction des particules inférieures à 500 nm est représentée à la figure 1, pour chaque mission annuelle de GOMOS. Quelques phénomènes sont facilement observés: (1) la couche d'aérosols stratosphériques en forme de parasol, qui est la plus élevée à l'équateur et la plus basse aux pôles, (2) des valeurs maximales dans la stratosphère de l'Antarctique (et dans une moindre mesure celle de l'Arctique) qui sont causées par la présence de nuages de type PSC, et (3) des valeurs très élevées dans la zone intertropicale, à 16-17 km d'altitude environ, suite à la présence de cirrus bien matérialisés.

L'image est bien caractéristique pour chaque année, avec une exception majeure toutefois: les niveaux d'extinction des aérosols sont beaucoup plus élevés en 2007, ainsi qu'en 2008, ce qui suggère un apport complémentaire d'aérosols sous forme d'éruptions volcaniques.

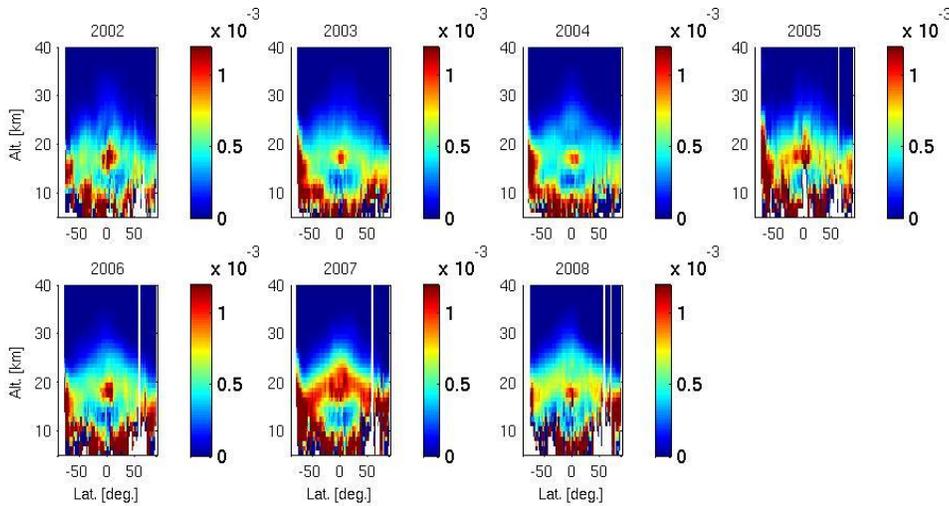


Fig. 1: les valeurs médianes des mesures d'extinction des aérosols, en valeurs annuelles et zonales, à 500 nm (observations au limbe) pour l'ensemble de la mission GOMOS. La couche d'aérosols stratosphériques, les nuages de type PSC dans la région antarctique, les hauts cirrus de la zone intertropicale, tout est présent. Remarquez la couche d'aérosols stratosphériques particulièrement élevée en 2007, résultant de l'éruption du volcan de la Soufrière en Mai 2006. Les années où les échantillonnages sont incomplets: 2002 (début de la série de données en août 2002), 2005 (panne d'instrument) et 2008 (fin de l'ensemble des données disponibles).

La variabilité zonale et annuelle des extinctions optiques pour les particules inférieures ou égales à 500 nm est tout aussi intéressante. Cette quantité est calculée comme étant la moitié de la différence entre le 84<sup>ème</sup> et le 16<sup>ème</sup> centile. Une fois de plus, les années 2002 et 2008 n'ont été que partiellement l'échantillonnées, de sorte que le tableau est incomplet. Cela dit, les résultats de la figure 2 montrent une forte variabilité causée par les nuages stratosphériques (PSC) en Antarctique, les cirrus élevés des tropiques ou présents à plus basse altitude dans les autres latitudes. L'interprétation est simple: (1) les PSC apparaissent en mai et disparaissent en septembre, (2) les cirrus comme les nuages troposphériques sont des événements «on/off». Par ailleurs, la couche de fond des aérosols stratosphériques demeure remarquablement constante sur une année.

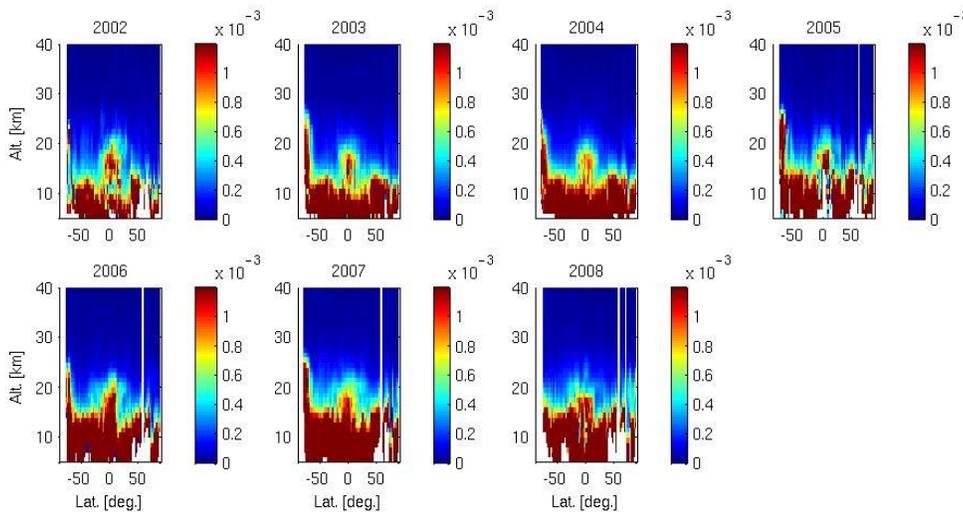


Fig. 2: variabilité annuelle et zonale des valeurs d'extinction pour les aérosols à 500 nm (observation au limbe sombre), pour l'ensemble des missions GOMOS. La variabilité est calculée comme étant la moitié de la différence entre le 84<sup>ème</sup> et le 16<sup>ème</sup> centile, elle est donc déterminée par l'erreur de mesure et surtout par la variabilité naturelle entre aérosols et nuages. Les événements «On/Off» tels que la présence/absence de nuages de types cirrus tropicaux ou nuages PSC en Antarctique, montrent naturellement de grandes variations, alors que de petits changements des caractéristiques (par exemple dans les couches originelles d'aérosols) restent quasi sans influence.

Rem : Certaines années sont incomplètes, c'est le cas de 2002 (début de la série de données en août 2002), 2005 (panne instrumentale) et 2008 (fin de jeu de données disponibles).

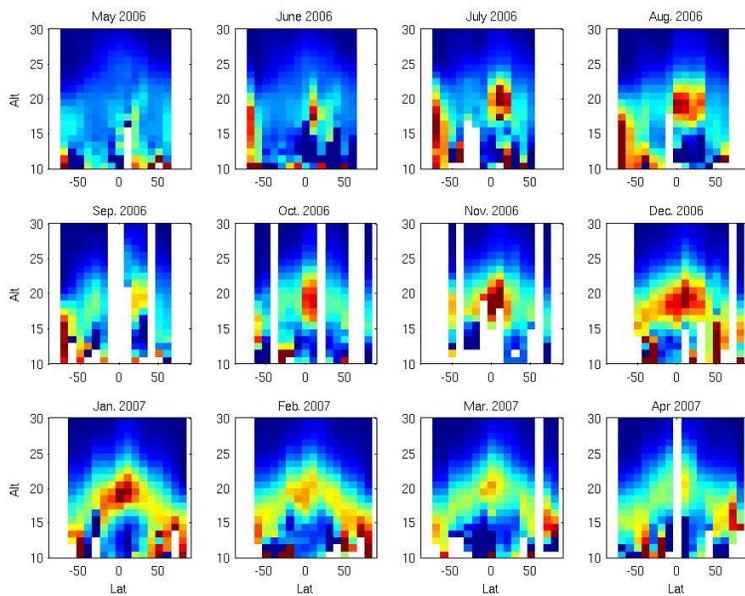


Fig. 3: Évolution des aérosols stratosphériques d'origine volcanique résultant de l'éruption du volcan de la Soufrière sur l'île de Montserrat dans les Caraïbes (16.4°N, 62.1°W), en mai 2006. Les coefficients d'extinction des aérosols, en valeurs médianes mensuelles et zonales et à 500 nm sont présentés. La dispersion des aérosols au sein de l'atmosphère, suite à cette éruption volcanique, fut globale. Ce comportement est typique des aérosols volcaniques libérés par les éruptions violentes en régions tropicale avant une prise en charge par les courants atmosphériques globaux.

### Aérosols sulfatés d'origine volcanique: éruption du volcan de la Soufrière

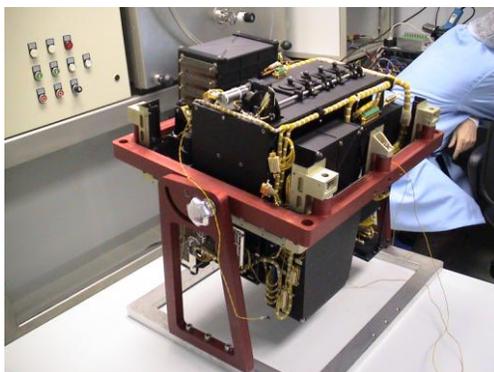
Les niveaux élevés d'aérosols identifiés en 2007 trouveraient leur origine dans l'éruption du volcan de la Soufrière sur l'île de Montserrat (16,4° N, 62.1° W, dans les Antilles), le 20 Mai 2006. En comparaison avec la spectaculaire éruption du Mont Pinatubo aux Philippines (1991), cette éruption est certes restée très modeste, mais néanmoins, l'effet sur les valeurs d'extinction optique est pourtant clairement illustré à travers la figure 3. Nous pouvons y observer une forte augmentation des niveaux d'aérosols après l'éruption. D'autre part, les valeurs médianes mensuelles et zonales de la figure 4 indiquent clairement le moment de l'éruption avec la formation de nuages d'aérosols se propageant ensuite à l'échelle du Globe tout entier.

### Conclusions et perspectives

Depuis le lancement de la mission ENVISAT, GOMOS nous a fourni quantité d'informations sur les aérosols et les nuages de la haute troposphère/basse stratosphère: PSCs, cirrus tropicaux, aérosols de fond ou d'origine volcanique sont constamment observés, ce qui permet de bien mettre en évidence leur variabilité temporelle ou spatiale. Néanmoins, nos capacités sont actuellement réduites pour la simple raison que seuls les coefficients d'extinction à 500 nm peuvent être utilisés avec une certaine confiance. L'adaptation d'un algorithme de traitement sera nécessaire pour saisir plus adéquatement les profils de qualité à d'autres longueurs d'onde. Ceci permettra par exemple d'étudier la distribution des tailles de particules et c'est ainsi que le nouveau projet AERGOM de l'ESA, initié par notre équipe, va pleinement en ce sens.

### 1.4.2) Etude du rayonnement solaire :

#### 1.4.2.1) SOLPEC à bord de l'ISS



Le 7 février 2008, SOLSPEC, un des trois composants de la palette « SOLAR » a été lancé depuis le Kennedy Space Center (USA) conjointement avec le module Columbus, vers la Station spatiale internationale (ISS).

Cet instrument, fruit d'une collaboration entre l'Institut d'Aéronomie Spatiale de Belgique et le Service d'Aéronomie du CNRS (France) est destiné à mesurer, dans l'absolu, le spectre solaire extra-terrestre sur une plage de longueur d'onde allant de l'ultraviolet (~180 nm) jusqu'à l'infrarouge (~3 µm) pour une période allant jusqu'à 3 ans et les

variations du spectre UV en fonction du cycle solaire.

Date de mise en service :

- Premier étalonnage avec les lampes internes : 27 février 2008
- Première mesure solaire : 5 avril 2008

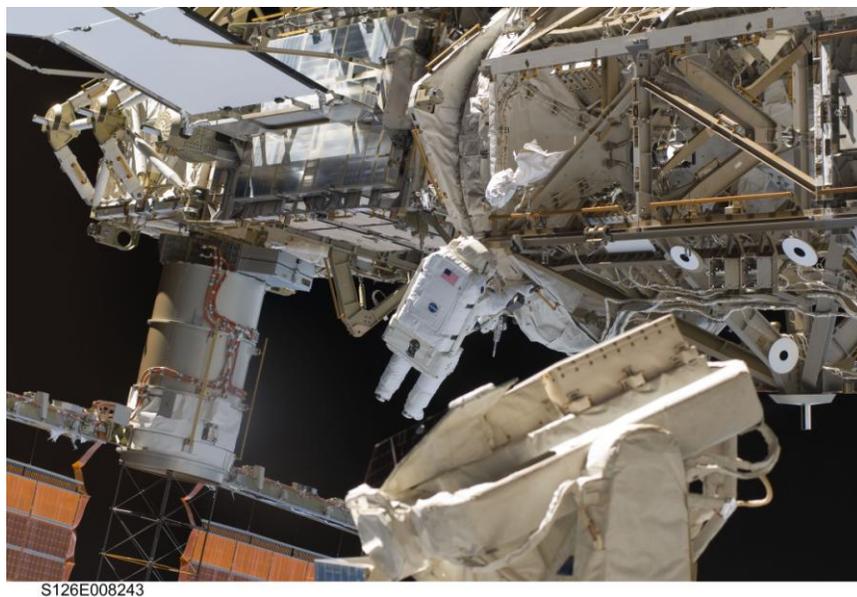


Fig. 1: Montage de la palette "SOLAR" sur le module de laboratoire « Columbus » de l'ISS.)

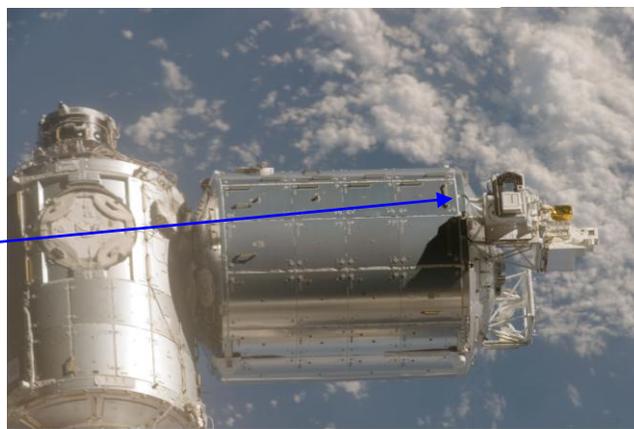
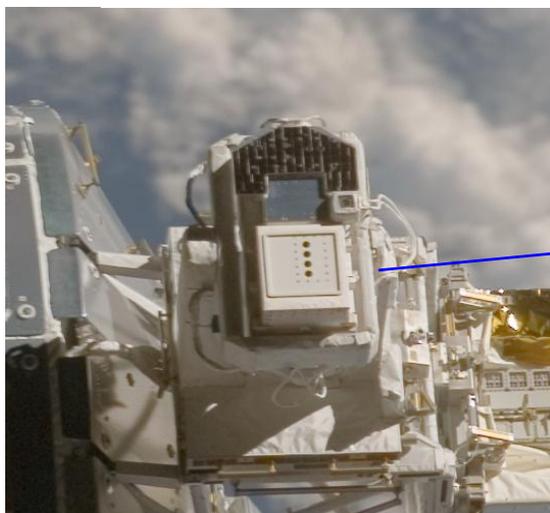


Fig.2 : Position de l'instrument SOLSPEC sur la structure externe du module Columbus (ISS)

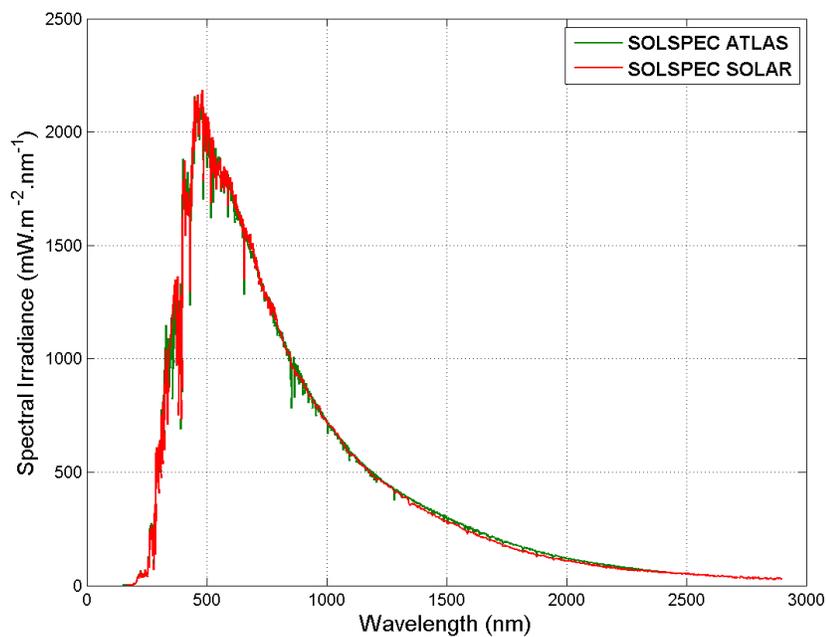


Fig.3: Spectre solaire mesuré par SOLSPEC depuis l'ISS et comparé avec le spectre mesuré durant les missions ATLAS (résultats primaires).

#### 1.4.2.2) Réseau de mesures au sol dans l'« UV-Visible »

L'année 2008 a vu la finalisation de couverture du réseau de mesure UV-Visible depuis le sol en Belgique avec la mise en service de la station de Mol.



Fig.1 : Vue générale de la station de MOL située sur le toit du bâtiment administratif du VITO

Notre réseau de mesures se compose ainsi de 5 stations couvrant l'ensemble du territoire belge (une station par zone météorologique), auxquelles se joint également une station basée au Grand Duché de Luxembourg (Lycée classique de Diekirch) qui vient compléter cet ensemble.

**Voici comment se répartissent ces stations:**

**En Belgique:**

- Centre: Uccle (IASB)
- Côte : Oostende (Earth Explorer)
- Ardennes : Redu (Euro Space Center)
- Gaume : Virton (Hôtel de Ville)
- Campine : Mol (VITO)



1

2

**Au Luxembourg:**

- Diekirch (Lycée Classique de Diekirch)

Chaque station est équipée au minimum des instruments suivants :

- 1 set de 3 "broadbands radiometer" (UVB-UVA & Total Solar Irradiance). (1)
- 1 Radiomètre à filtre (6 canaux de mesure UV). (2)
- 1 CIR (qui mesure la couverture nuageuse). (3)
- 1 Station météo (4)

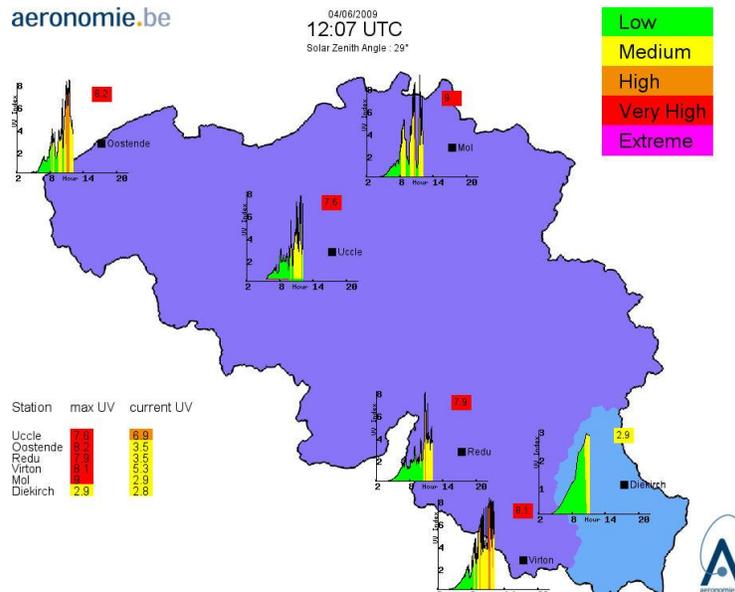


3



4

Le site WEB <http://www.aeronomie.be/uv> a également fait peau neuve puisqu'il permet à présent de suivre en temps réel l'évolution des mesures UV-Visible, et en particulier des Index UV, dans les 6 stations précitées. Il donne en outre accès à toute une série d'informations à propos de l'historique de ces mesures, les caractéristiques des instruments, les données disponibles, etc.



L'ensemble des données obtenues par les cinq stations du réseau belge (Uccle 20 ans, Redu 6 ans, Ostende 4 ans, Virton 2 ans et Mol 1 an), permettent de quantifier la variabilité saisonnière, annuelle et à long terme (trends) du rayonnement UV atteignant la surface de la Terre, et de mettre cette variabilité en fonction de la variabilité de l'ozone, de la couverture nuageuse, des aérosols, etc.

### 1.4.3) Détection des aérosols dans l'atmosphère de Vénus :

L'instrument SOIR (Solar Occultation in the InfraRed) est un spectromètre de très haute résolution spectrale, développé à l'IASB et volant à bord de la mission Venus Express de l'ESA depuis novembre 2005. Aujourd'hui encore, cet instrument continue de fournir des spectres de haute précision qui permettent d'obtenir divers profils de concentration verticale pour les principaux constituants de l'atmosphère vénusienne [Belyaev et al., 2008; Fedorova et al., 2008; Vandaele et al., 2008]. L'instrument SOIR s'est également avéré très utile pour mesurer les aérosols présents dans l'atmosphère de Vénus [Wilquet et al., 2009]. Dans la figure 1, divers profils d'extinction sont présentés, ils permettent par exemple de déduire la forte variabilité temporelle des contenus d'aérosols dans l'atmosphère. A partir de ces profils, les nombres de densité et les tailles de rayon des aérosols sont également déduits. Ils sont ensuite comparés à des résultats similaires obtenus à partir des deux autres canaux de SPICAV (UV et IR).

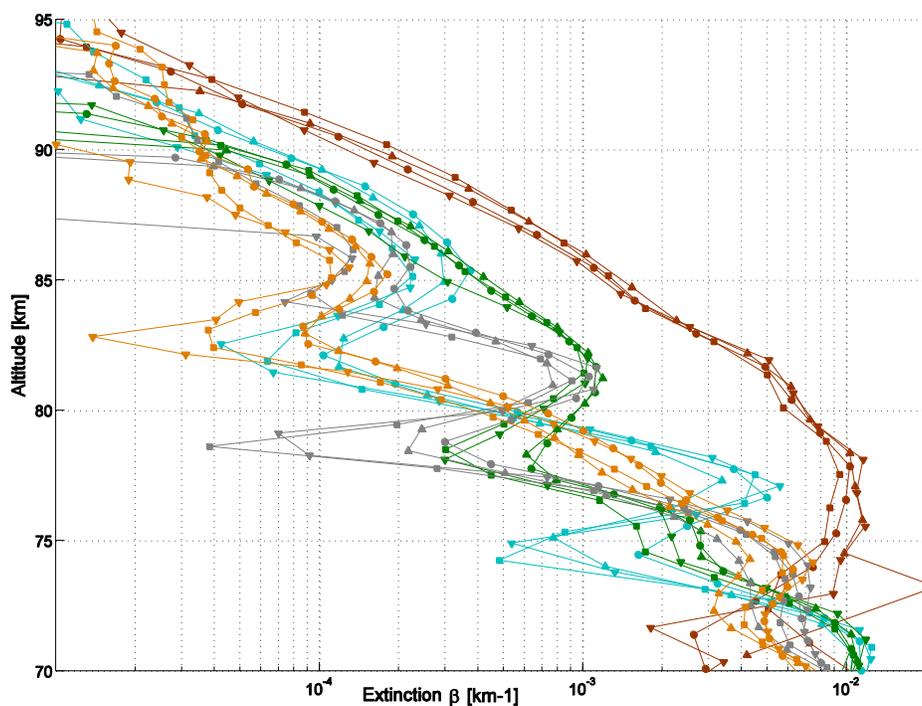


Fig. 1: variation temporelle d'une couche dans les profils d'extinction observés pour le canal SOIR.

Coefficients d'extinction en fonction de l'altitude: l'orbite 482 (marron), les ordres de diffraction (O) 111, ( $\Delta$ ) 121, ( $\square$ ) 137, ( $\nabla$ ) 171; orbite 484 (bleu), des ordres de diffraction (O) 125, ( $\nabla$ ) 149, ( $\square$ ) 172, ( $\nabla$ ) 180; orbite 485 (vert), ordres de diffraction (O) 112, ( $\Delta$ ) 119, ( $\square$ ) 149, ( $\nabla$ ) 174; orbite 486 (gris), les ordres de diffraction (O) 112, ( $\Delta$ ) 119, ( $\square$ ) 149, ( $\nabla$ ) 174; orbite 486 (gris), ordres de diffraction (O) 121, ( $\Delta$ ) 149, ( $\square$ ) 171, ( $\nabla$ ) 190 et orbite 487 (orange), ordres de diffraction (O) 121, ( $\Delta$ ) 149, ( $\square$ ) 171, ( $\nabla$ ) 190.

La figure 2a montre la distribution verticale des tailles de particules pour l'occultation solaire réalisées durant l'orbite 486. Les canaux ne peuvent pas distinguer les particules d'un rayon supérieur à la longueur d'onde à laquelle les données ont été acquises, c'est-à-dire pour cette orbite en particulier, un rayon maximal de 0,3  $\mu\text{m}$  pour SPICAV-UV, de 1,6  $\mu\text{m}$  pour SPICAV-IR et de 3,7  $\mu\text{m}$  pour SOIR. Les données obtenues avec le canal UV indiquent la présence de particules de rayon grandissant, passant de  $\sim 0,1 \mu\text{m}$  à 100 km jusqu'à  $\sim 0,3 \mu\text{m}$  à 75 km. La distribution verticale pour ce canal présente une faible variabilité d'une orbite à l'autre. Des canaux SOIR et SPICAV-IR, la distribution verticale des tailles de particules est limitée à des altitudes comprises entre 70 km et 90-95 km. Les rayons déterminés avec les deux canaux sont en assez bon accord l'un avec l'autre et sont compris entre 0,4 et 1,0  $\mu\text{m}$ . Les particules d'environ 1  $\mu\text{m}$  ont été détectées entre 74 et 77 km d'altitude environ, au cours de toutes les orbites. Les couches d'aérosols montrent également des variations spatiales et/ou temporelles en termes de taille pour les particules à l'intérieur de la couche, de 0,4 à 1,0  $\mu\text{m}$  de rayon.

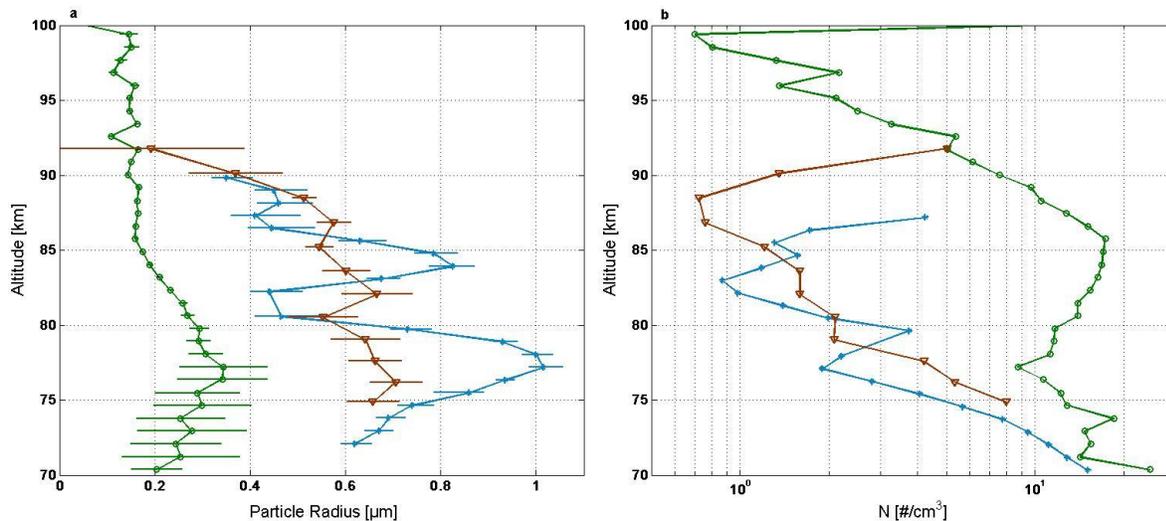


Fig. 2: Caractérisation de la brume supérieure présente dans l'atmosphère de Vénus. (a) distributions verticales des tailles de particules et (b) profils verticaux des nombres de densité totaux pour les particules au cours de l'orbite 486. Rayons dérivés par ajustement des extinctions normalisées au modèle de brume qui ont permis d'obtenir N ; (o) 2 longueurs d'onde avec le canal SPICAV-UV pour les particules du mode 1, (▽) 10 longueurs d'onde avec le canal SPICAV-IR et (\*) 4 longueurs d'ondes avec canal SOIR pour les particules du mode 2.

La figure 2b montre les nombres de densité des particules qui sont déduits de la gamme spectrale UV pour les particules d'aérosols comprises entre 0.1 et 0.3 μm avec le canal SPICAV-UV et d'environ 0.4-1.0 μm avec les canaux SPICAV-IR et SOIR, selon l'altitude. La densité de nombre pour les particules les plus grosses (mode 2) diminue de 10-15 cm<sup>-3</sup> à 70 km à moins de 1 cm<sup>-3</sup> à 90 km. Il est important de préciser que les résultats obtenus à l'aide des 2 canaux IR sont très comparables, bien qu'ils aient été calculés à partir d'ensembles de données indépendants, mesurés toutefois simultanément.

La présente étude a démontré l'existence d'au moins 2 types de particules, un type avec un rayon compris entre ~ 0,1 et 0,3 μm et mis en avant par le canal UV et le second type, détecté dans l'infrarouge, avec un rayon variant entre 0,4 et ~1 μm en fonction de l'altitude. Par conséquent, le modèle décrivant la partie supérieure de la brume atmosphérique de Vénus devrait inclure une population bimodale. À notre connaissance, c'est la première fois que l'existence de particules de mode 2, à des altitudes supérieures à 70 km, est démontrée dans l'atmosphère de Vénus. Cela a été découvert de façon indépendante à l'aide des 2 canaux IR de l'instrument SPICAV / SOIR, démontrant ainsi de manière formelle son existence.

## Références :

- Belyaev, D., O. Korablev, A. Fedorova, J.-L. Bertaux, A.-C. Vandaele, F. Montmessin, A. Mahieux, V. Wilquet and R. Drummond (2008). "First observations of SO<sub>2</sub> above Venus' clouds by means of solar occultation in the infrared." *J. Geophysical Research* 113, E00B25: doi:10.1029/2008JE003143.
- Fedorova, A., O. Korablev, A. C. Vandaele, J.-L. Bertaux, D. Belyaev, A. Mahieux, E. Neefs, V. Wilquet, R. Drummond, F. Montmessin and E. Villard (2008). "HDO and H<sub>2</sub>O vertical distribution and isotopic ratio in the Venus mesosphere by Solar Occultation at Infrared spectrometer on board Venus Express." *JGR* 113, E00B22: doi:10.1029/2008JE003146.
- Vandaele, A. C., M. De Mazière, R. Drummond, A. Mahieux, E. Neefs, V. Wilquet, D. Belyaev, A. Fedorova, O. Korablev, F. Montmessin and J.-L. Bertaux (2008). "Composition of the Venus mesosphere measured by SOIR on board Venus Express." *J. Geophys. Res.* 113, E00B23: doi:10.1029/2008JE003140.
- Wilquet, V., A. Fedorova, F. Montmessin, R. Drummond, A. Mahieux, A. C. Vandaele, E. Villard, O. Korablev and J.-L. Bertaux (2009). "Preliminary characterization of the upper haze by SPICAV/SOIR solar occultation in UV to mid-IR onboard Venus Express." *J. Geophysical Research* (accepted).

## Chapitre 2: Services scientifiques à la communauté

### 2.1) Le « temps chimique »:

#### L'IASB installe un modèle belgo-canadien performant pour la prévision du temps chimique.

GEM-BACH, un modèle global opérationnel alliant chimie et climat, a été installé à l'IASB et fonctionne désormais sur le supercalculateur du Pôle Espace. Ceci procure à la Belgique de nouvelles capacités en termes de surveillance de la composition chimique de la stratosphère, ceci à l'échelle mondiale, avec une très haute résolution et potentiellement en temps réel.

GEM-BACH est basé sur un modèle opérationnel de prévisions météorologiques (GEM) développé par Environnement Canada et sur un module de chimie atmosphérique développé par l'IASB pour son système d'assimilation de données chimiques, appelé BASCOE. L'implémentation de ce module de chimie dans le GEM a été réalisée en 2006, dans le cadre d'un contrat de recherche commandité par l'ESA, pour étudier la possibilité d'assimilation couplée des observations chimiques et dynamiques. Cette étude a montré que les prévisions météorologiques sont nettement améliorées lorsqu'elles utilisent des distributions réalistes pour l'ozone stratosphérique, telles que celles délivrées par GEM-BACH, en parallèle avec l'assimilation des observations Envisat / MIPAS.

Ces résultats ont conduit l'IASB et Environnement Canada à développer une collaboration sous le nom de BACCHUS (Belgium and Canada for Chemical weather User Services). Une des premières étapes consistait à installer GEM-BACH sur le supercalculateur du Pôle Espace, afin de permettre à l'IASB de tester et de développer le modèle de manière autonome. Les modèles de prévision numérique du temps étant des systèmes complexes de logiciels, leur migration vers un autre système informatique est toujours une tâche compliquée à réaliser au niveau technique. Ainsi, avec l'aide d'Environnement Canada, cet objectif fut atteint durant la seconde moitié de l'année 2008 et les premiers résultats de simulations furent obtenus dès novembre 2008.

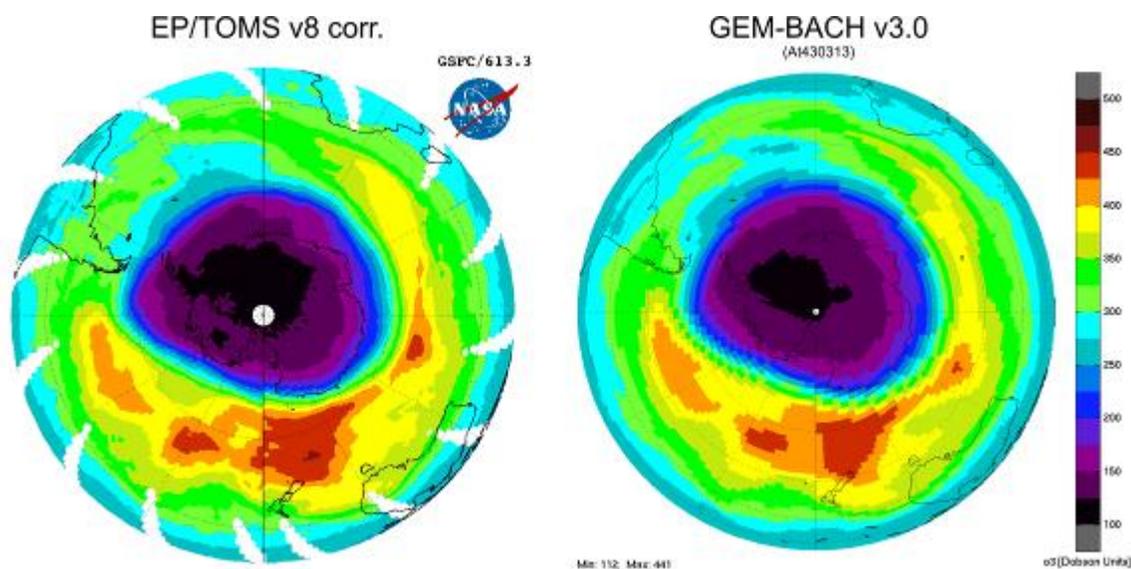


Fig. 3: Colonne d'ozone mesurée au-dessus du continent Antarctique le 3 octobre 2003 et observée par l'instrument satellite TOMS de la Nasa (à gauche) et simulée par GEM-BACH (à droite).

La figure 1 montre qualitativement la précision et le niveau de détail tous deux fournis par GEM-BACH pour les simulations du " trou d'ozone " au-dessus de l'Antarctique. Ces excellents résultats sont principalement dus à la résolution horizontale de 1,5 ° en longitude par 1,5 ° en latitude, nettement plus fine que ce qui avait été réalisé jusque-là à l'IASB. Précisons également que la simulation chimique s'effectue à présent directement dans le modèle dynamique, plutôt que dans un modèle séparé de chimie-transport, établi sur une grille plus grossière.

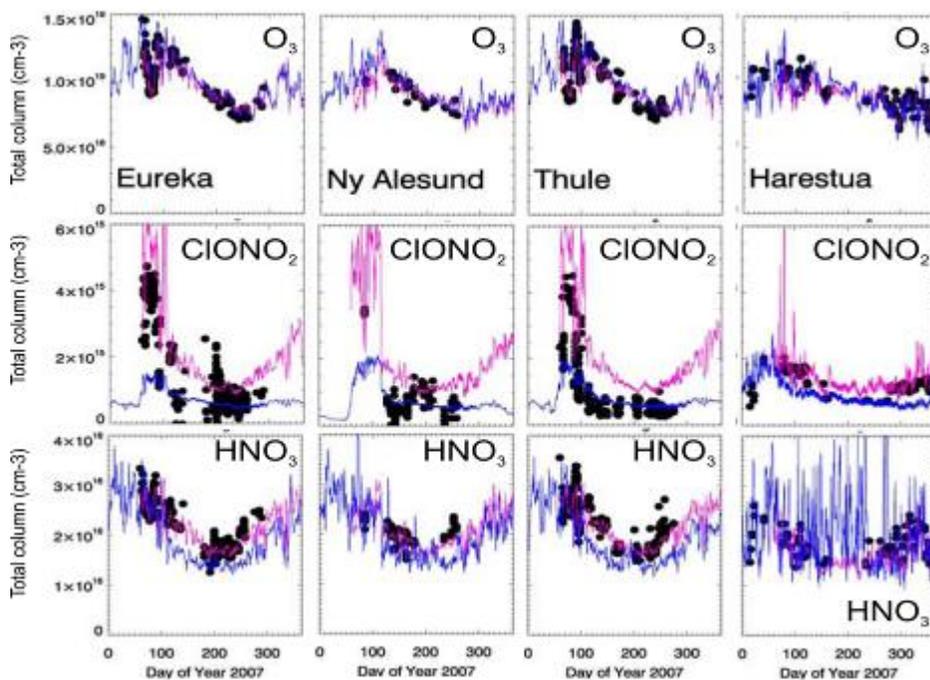


Fig. 4: Évolution temporelle de la colonne totale d'ozone (rangée supérieure), des chloro-nitrates (rangée du milieu) et de l'acide nitrique (rangée inférieure) durant l'année 2007 et pour quatre sites de l'Arctique: comparaison des observations (points) avec les modèles CMAM-DA (ligne bleue) et GEM-BACH (ligne rose). Avec l'autorisation de R. Batchelor (Univ. Toronto)

La Figure 2 est extraite d'une étude réalisée dans le cadre de l'Année Polaire Internationale (IPY). Elle montre quantitativement deux choses : d'une part, l'accord est excellent entre GEM-BACH et les observations, non seulement pour l'ozone mais aussi pour les espèces responsables de la destruction de celui-ci. D'autre part, le modèle peut fournir des prévisions chimiques de très bonne qualité, non seulement pour une carte globale mais aussi pour des localisations spécifiques.

Grâce à cette collaboration avec le ministère canadien de l'environnement, l'IASB est maintenant en mesure de délivrer des prévisions de haute qualité pour la composition chimique de la stratosphère. Nous travaillons actuellement à la livraison de produits en temps réel et à l'extension de ce service à la chimie de la troposphère.

## 2.2) « Space weather » :

### Un portail européen de météo spatiale (ESWeP)

Le portail européen de météo spatiale (ESWeP) est un site Web qui permet d'avoir accès aux publications de la communauté scientifique travaillant dans ce domaine. Il permet aux chercheurs de partager leurs connaissances et leurs résultats. Mis en place dans le cadre de l'action COST 724 et hébergé par l'Institut, ESWeP sera développé dans le cadre de l'action COST ES0803, visant au développement de la météo de l'espace, des produits et des services en Europe). Le portail fournit des liens croisés vers différents sites web existants ainsi qu'une plate-forme pour exécuter des modèles locaux ou distants. Mais le portail comprend également une large section consacrée à l'éducation et à la sensibilisation comme service au grand public. La plupart des pages de sensibilisation sont traduites en différentes langues (par exemples en arménien, danois, finnois, français, grec ou slovène), grâce à la contribution des membres de l'action COST. Le site comprend également des œuvres d'art illustrant la météo de l'espace réalisées par les élèves des écoles primaires de plusieurs pays. Les photos illustrent quelques-uns de ces travaux. Le portail a également été présenté lors de réunions scientifiques, par exemple:

- l'assemblée générale de l'Union européenne de Géoscience, 15 au 20 avril 2007, Vienne, Autriche.
- divers cycles de conférences de météo spatiale, organisés à ESTEC (Pays-Bas) le 4 juin 2008.

### Le système d'information sur l'environnement « SPENVIS »

SPENVIS (Space Environment Information System) est un logiciel opérationnel de l'ESA développé et mis à jour à l'Institut depuis 1996. À travers une interface Web conviviale, il fournit un accès standardisé à la plupart des modèles récents traitant de la dangerosité de l'environnement spatial. Ce faisant, ce système permet aux ingénieurs en

charge de divers engins spatiaux, d'effectuer une analyse rapide des problèmes environnementaux liés aux ceintures de radiation, aux particules solaire de haute énergie, aux rayons cosmiques, plasmas, gaz, champs magnétiques et autres microparticules. Divers rapports, outils graphiques et services d'aide au public sont également inclus pour permettre aux ingénieurs encore relativement peu expérimentés de produire des résultats fiables.

SPENVIS est disponible sur <http://www.spennis.oma.be/>. Le système comprend des modèles standards internationalement reconnus de l'environnement spatial et de ses effets. Il utilise un générateur pour produire des fichiers orbitaux pour de nombreux aspects de la mission d'analyse, et il peut également générer des cartes et des profils pour étudier la distribution des paramètres du modèle. Les résultats de chaque modèle d'exécution sont présentés sous la forme de rapports et de fichiers de données qui peuvent être téléchargés. De même, une variété de types de graphiques, dans différents formats, peuvent être générés. Des formulaires d'aide supplémentaires sont fournis sous forme de pages d'aide avec mise en contexte, guides d'utilisation, etc.

En 2008, le nombre d'utilisateurs enregistrés a augmenté de 769, pour atteindre un total de 5424 utilisateurs. Au cours de cette année, 1204 personnes ont activement utilisé le système SPENVIS. La figure illustre les activités des utilisateurs durant toute l'année. Chaque mois, environ 225 utilisateurs ont accédé au système, et chaque jour, environ 360 requêtes d'exécutions de modèle ou de sorties graphiques ont été demandées. Si l'on examine la répartition des utilisateurs, environ 35% étaient américains et 45% européens. Plusieurs grandes agences et sociétés utilisent SPENVIS pour accomplir leurs activités. SPENVIS est également utilisé par les universités techniques dans leurs programmes éducatifs. Le tableau ci-dessous donne un aperçu de l'utilisation de SPENVIS la plus active.

La communauté toujours croissante des utilisateurs démontre la valeur du système SPENVIS pour l'analyse rapide des effets de l'environnement spatial. Les mises à jour régulières du système avec de nouvelles caractéristiques de modèles contribuent au succès de cet outil.

Affiliations	Pays	Utilisateurs enregistrés au 31 décembre 2008	Utilisateurs actifs en 2008	Requêtes d'exécutions de modèles en 2008
Swedish Institute of Space Physics	Sweden	76	58	9594
Technischen Universität Berlin	Germany	13	6	6549
European Space Research and Technology Centre (ESTEC)	The Netherlands	111	22	5530
University of Michigan	U.S.	220	83	3992
United States Naval Academy	U.S.	9	4	3055
Center for Space Science and Applied Research	China	21	9	2963
Astrium GmbH	Germany	100	23	2927
National Aeronautics and Space Administration (NASA)	U.S.	243	36	2480
The Johns Hopkins University	U.S.	33	5	2258
The Aerospace Corporation	U.S.	65	20	2164
Institute for Biomedical Problems	Russia	4	2	1880
ITT Aerospace/Communication	U.S.	16	7	1799
Bradford Engineering	The Netherlands	3	1	1648
Chalmers University of Technology	Sweden	31	16	1638
Politecnico di Torino	Italy	21	11	1613
University of Surrey	United Kingdom	8	2	1551
Amirkabir University of Technology	Iran	4	3	1520
York University	Canada	60	14	1394
Carlo Gavazzi Space SpA	Italy	23	9	1386
Boeing Company	U.S.	94	13	1372

Table 1: Top 20 des organisations utilisant SPENVIS in 2008

En vue de contribuer à l'éducation et à la sensibilisation du grand public, le portail européen de météo spatiale (ESWeP) a décidé d'organiser un concours de dessins sur le thème de la météorologie spatiale au sein des écoles primaires de l'Union européenne. Voici quelques beaux exemples de travaux récoltés dans le cadre de ce concours.

### **D52-2008-ESWeP-F01**



Fig. 1 : Dessin réalisé par Hugh James (6 ans) à l'école Rowans de Londres, Grande-Bretagne, mai 2008.

### **D52-2008-ESWeP-F02**



Fig. 2 : Dessin réalisé par Boriana Dechkova Nazarova (13 ans) à l'école des arts de Kazanlak, Bulgarie, mai 2008.

### **D52-2008-ESWeP-F03**

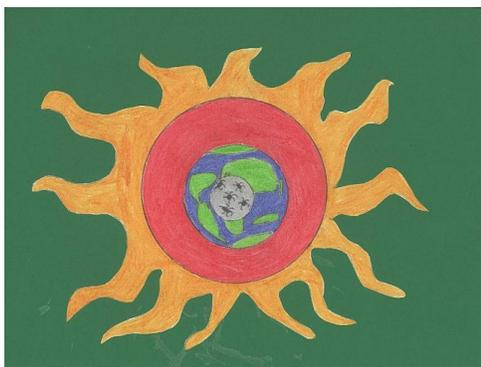


Fig. 3 : Dessin intitulé "Eclipsi Lluna" réalisé par Arnau, Espagne, juin 2008.

## D52-2008-SPENVIS-F01

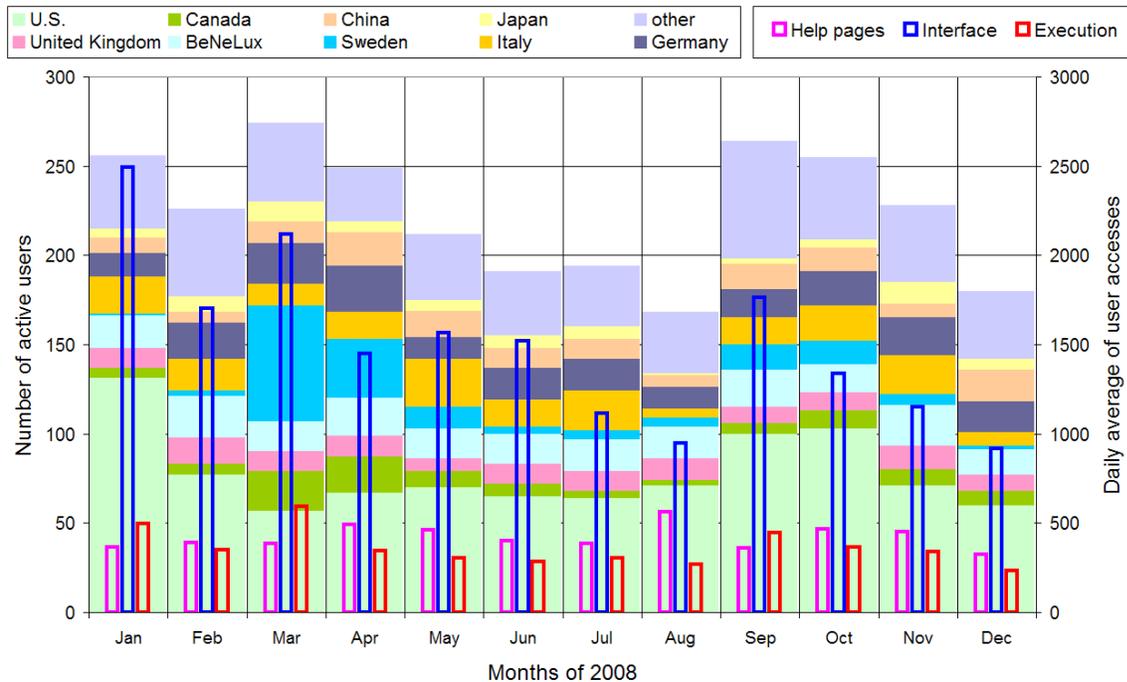


Fig. 4 : Les statistiques d'utilisation de SPENVIS pour l'année 2008. L'histogramme ci-dessus indique le nombre d'utilisateurs actifs par mois, classés par pays (cadre de gauche) et types de requêtes (cadre de droite). Ainsi, au premier plan, on peut également observer le nombre moyen journalier d'utilisateurs ayant accès aux pages d'aide, à l'interface du système et à l'exécution de modèles (ou sorties graphiques).

### 2.3) Le B.USOC et les missions spatiales :

Le B.USOC (Belgian User Support and Operation Centre), a été créé par l'Agence Spatiale Européenne (ESA) et la Politique Scientifique Fédérale belge (BELSPO) dans le cadre notamment de la participation belge au programme d'exploitation de la Station Spatiale Internationale (ISS).

#### Les missions du B.USOC

1. Apporter une assistance technique et opérationnelle lors de la préparation et de l'exécution d'expériences scientifiques belges dans l'espace ;
2. Assurer des fonctions opérationnelles dans le cadre de missions spatiales.

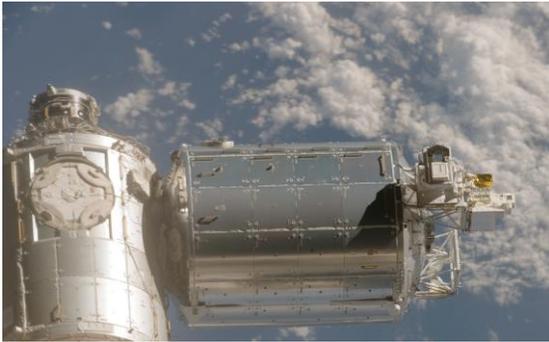
Le centre comprend deux systèmes principaux:

1. Un système d'infrastructure, incluant des salles de contrôle d'opérations, salles de réunions, des modèles et des équipements de laboratoires ainsi que des bureaux pour les équipes opérationnelles en place.
2. Un système d'information qui contient tout le hardware et le software pour la gestion et le traitement des données, un réseau local et des interfaces pour la communication externe.

Selon la convention passée entre la Politique Scientifique belge et l'Institut d'Aéronomie Spatiale de Belgique, les activités du B.USOC sont réalisées dans la division des services scientifiques et opérationnels de l'Institut d'Aéronomie Spatiale de Belgique (IASB/BIRA).

Afin de réaliser ses missions, le B.USOC est organisé et géré par un comité d'accompagnement constitué des représentants de BELSPO (DG ou délégué), de l'IASB (DG ou délégué) et du B.USOC (responsable fonctionnel), chacun accompagné de un ou deux expert(s).

## Columbus, le laboratoire spatial européen.



La Station Spatiale Internationale (ISS) représente le projet le plus important de coopération internationale jamais entreprise dans le domaine de la recherche civile. Il s'agit de l'un des plus ambitieux projets de coopération technologique internationale, de par son importance stratégique mais aussi de par son coût.

À son achèvement, elle sera un gigantesque « oiseau de métal » d'une envergure de pratiquement deux terrains de football.

Le module Columbus, lancé en février 2008 représente le laboratoire scientifique européen de la station. Columbus est une des pierres angulaires de la participation de l'Europe à l'ISS et le premier laboratoire européen destiné à la recherche spatiale à long terme dans l'espace.

### Le BUSOC et le laboratoire européen Columbus

Dans le cadre général de la mission Columbus, le B.USOC assure depuis le lancement du module la gestion du FRC (Facility Responsible Centre) de l'observatoire de surveillance du Soleil (SOLAR), et prépare la gestion du FSC (Facility Support Centre) pour le European Drawer Rack (EDR)/Protein Crystallization Diagnostics Facility (PCDF) en collaboration avec le centre ERASMUS (USOC situé à l'ESTEC) comme FRC.

Dans ce contexte, le B.USOC comme chaque USOC (User Support and Operation Center), fait partie du réseau opérationnel de la Station Spatiale Internationale (ISS) et est relié au segment sol des vols habités et de la microgravité par un réseau de télécommunication propre à l'ESA : L'IGS-Interconnecting Ground Subnetwork.

#### Partenariat entre le Space Application Services (SAS) et le B.USOC

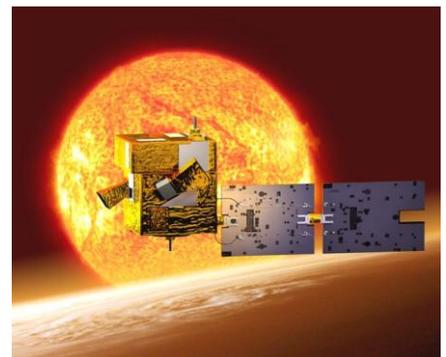
Dans le cadre du programme ISS, le BUSOC et SAS ont conclu un accord de coopération pour la mise en œuvre et la gestion opérationnelle du centre. Pour la préparation et l'exécution des opérations des charges utiles de l'ISS, le B.USOC et SAS ont mis en place une équipe intégrée d'ingénieurs d'opérations, d'opérateurs et de « contrôleurs au sol ». Les équipes au sol sont responsables de la gestion, du contrôle et de l'envoi des commandes vers les expériences, ainsi que de la redistribution des données recueillies vers les équipes scientifiques ayant conçu les expériences.

### Centre de Mission Scientifique PICARD — CMSP

#### Première mission de mesure météorologique de diamètre du soleil hors atmosphère

PICARD est le troisième microsatellite du programme CNES « Myriade ». Il a pour objectif de contribuer à la connaissance de la variabilité du Soleil pour pouvoir modéliser précisément son fonctionnement et évaluer les effets de ses variations d'activité sur le climat terrestre. Les mesures qui sont réalisées par PICARD, après correction des données brutes par traitement scientifique au sol, sont :

1. La variation du flux solaire total à au-moins  $10^{-4}$ ,
2. Le diamètre absolu à au-moins 10 mas,
3. La variation du diamètre à au moins 3 mas.
4. La variation du flux solaire dans deux domaines spectraux caractéristiques de la photochimie de l'ozone.



Dans le cadre de la mission PICARD du CNES, le **BUSOC** implémente le **Centre de Mission Scientifique (CMS-P)**. Les fonctions essentielles du CMS-P sont de :

1. réaliser la programmation de la Charge Utile. Cette programmation est ensuite transférée au MIGS qui la télécharge au Satellite.
2. assurer la surveillance du temps différé de la Charge Utile.
3. récupérer la télémessure scientifique et la traiter pour obtenir des données suivant les différents niveaux,
4. récupérer, archiver et traiter les données fournies par le CCC

5. récupérer et archiver les données externes d'aide à la mission (divers observatoires dont celui de la Côte d'Azur, ...)
6. archiver et distribuer les produits aux utilisateurs scientifiques.

## **Chapitre 3: Structures de support**

### **3.1) Service d'ingénierie:**

#### **3.1.1) PROJET "VENUS EXPRESS – SOIR"**

À la fin du mois de mai 2006, la sonde Venus Express fut placée sur son orbite nominale autour de la planète Vénus. Depuis, des observations systématiques sont effectuées conformément au plan de la mission scientifique de celle-ci. Au mois d'octobre 2007, la mission fut prolongée en raison de son grand succès. À son bord, l'instrument SOIR, un spectromètre conçu pour réaliser des occultations solaires dans l'infrarouge, lui-même faisant partie de SPICAV (acronyme utilisé pour désigner l'instrument de spectroscopie conçu pour l'étude de l'atmosphère vénusienne), travaille depuis le début de la mission nominale. Jusqu'à présent, aucune anomalie n'est à déplorer, que du contraire ! Comme SOIR utilise une technique d'observation par occultations (éclipses solaires), les principales activités de ce dernier se concentrent durant la saison des éclipses. Toutefois, les périodes sans éclipse à intervalles de temps réguliers servent également pour l'étalonnage et les tests de pointage.

Les tâches opérationnelles de l'instrument SOIR incluent: la planification des observations en collaboration avec les partenaires de l'équipe SPICAV, la définition de pointages adéquats, en tenant compte de la réfraction de la lumière dans l'atmosphère de Vénus (routines de logiciels développés à cet effet à l'Institut), la compilation des télécommandes à distance pour chaque observation, les essais de télécommande opérés en laboratoire sur un modèle de réserve de SOIR à l'IASB, l'échange d'informations (planning des observations, séquences de télécommandes et acquisition de télémessures) avec le VSOC (Venus Express Science Operations Team) de l'ESTEC et le VMOC (Venus Express Mission Operations Team) de l'ESOC), la participation à des téléconférences hebdomadaires pour la planification et les aspects opérationnels, etc.

Les données de l'instrument SOIR sont rapatriées depuis un système d'accès aux données DDS (Data Dispositioning System) de l'ESOC avant d'être stockées ensuite sur un serveur de l'IASB. Un logiciel d'utilisation convivial fut développé et affiné en collaboration avec l'équipe scientifique, de telle manière que les étapes primordiales d'étalonnage puissent être réalisées de façon optimale.

Un archivage complet PSA (Planetary Science Archive) fut mis en place, ce dernier est d'ailleurs régulièrement mis à jour grâce à l'acquisition de nouvelles données à chaque enregistrement SOIR. Il est formaté dans le standard PDS (Planetary Data Standard) et réparti en séries de données qui sont livrées à heures fixes aux archives de l'ESA.

C'est le contrat PRODEX, passé entre l'IASB et l'ESA, qui a déjà fourni un soutien financier durant la phase de développement de l'instrument SOIR, celui-ci fut prolongé à deux reprises pour assurer une phase opérationnelle complémentaire à la mission nominale.

En 2008, l'IASB a participé à des réunions techniques et scientifiques avec les différents partenaires du projet, le « Venus Science Operations Center » de l'ESTEC (Noordwijk, Pays-Bas), le « Venus Mission Operations Center » à l'ESOC (Darmstadt, Allemagne), le SA-CNRS (Verrières-le-Buisson, France) ainsi que les Instituts du PI pour les autres instruments à bord de Venus Express.

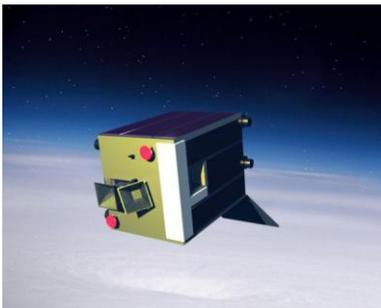
#### **3.1.2) PROJET « SOIR-DELTA »**

Le succès de SOIR sur Venus Express nous pousse à approfondir certains principes de base. Dans l'instrument SOIR, certaines techniques peuvent encore être ajustées en vue d'une amélioration substantielle. Quatre de ces éléments ont été rassemblés dans un projet appelé SOIR Delta. Ce travail a d'abord été initié dans le cadre du projet de la NASA Mars-Scout. Le contenu de SOIR Delta est le suivant:

- achat d'un AOT avec suppression de lobe latéral : des contacts ont été engagés avec la société Gooch et Housego. Cette entreprise a développé une technologie (apodization captor) qui permet de réprimer sensiblement les lobes latéraux d'un AOTF. Des lobes secondaires réduits représentent un grand avantage dans l'analyse des spectres.

- achat d'une grille: la grille (BACH), qui fut utilisée dans SOIR n'est pas parfaite. Certaines zones de la grille sont mal couvertes ou manquent d'homogénéité, c'est le cas lorsque des pics surviennent au niveau du satellite, or ce n'est pas acceptable. Les pics peuvent être évités en se protégeant des zones pauvres de la grille à l'écran. La société VDL technologies serait en mesure de produire une grille qui répond aux spécifications de la grille-SOIR mais utilise pour cela un autre type d'aluminium, extrait par fusion spinning. Ainsi, l'aluminium possède une structure en flocons, ce qui permet une meilleure usinabilité du matériau choisi (c'est-à-dire le travail de ce dernier. Les charges mécaniques et thermiques pour la réalisation des rainures seraient ainsi beaucoup plus faibles et la déformation du support pourrait alors être évitée.
- étude concernant l'utilisation des deux polarisations dans SOIR : dans la configuration actuelle, l'ordre 0 et le o-faisceau d'ordre 1 (ordinaire) ont été arrêté dans le AOTF. Seuls un e-faisceau de premier ordre (extraordinaire) est envisageable afin de ne pas trop compliquer le chemin optique. Toutefois, pensez à l'option d'utiliser deux faisceaux (e, o) pour le détecteur, rendant ainsi son utilisation de la surface du détecteur plus efficace. Une étude a d'ailleurs été préparée à cet égard.
- L'utilisation de la colonne de grille FPGA dans les applications spatiales : dans une prochaine génération de l'instrument, il sera nécessaire de lire une plus grande partie du détecteur à un plus haut débit. Un certain nombre de caractéristiques qui actuellement ne sont pas encore mises en œuvre dans SOIR (communication avec le S/C) pourront être incluses dans le FPGA. On visera donc employer un FPGA avec de plus grandes dimensions que ce qui ce fait jusqu'ici. Le choix s'est porté sur une colonne de céramique Grid Array (GCAC) de XILINX. Une étude va être lancée pour déterminer si ce type de dispositif d'accueil peut survivre dans pareil environnement (test de vibration et de vide thermique).

### 3.1.2) SOUTIEN AU PROJET ALTIUS



La naissance scientifique officielle d'ALTIUS (Atmospheric Limb Tracker for Investigation of the Upcoming Stratosphere) remonte au 4<sup>ème</sup> congrès international d'observations atmosphériques au limbe qui a eu lieu en 2007 en Virginie, (U.S.A.), et à l'occasion duquel le Dr. D. Fussen de l'IASB présenta son projet à l'ensemble de la communauté scientifique. En 2008, la phase A de documentation s'est poursuivie avec diverses présentations au cours de conférences pour témoigner de l'avancement du projet. Le passage en phase B, une phase dévolue au développement d'un modèle d'instrument, y compris pour les choix technologiques et techniques appliqués (tests physiques de hardware dans le cadre du lancement du programme Star Tiger de l'ESA, etc.), les

études de validation de l'instrument à mettre en place ainsi que la réalisation, est prévu au cours de l'année 2009. Il n'est donc plus présomptueux de dire que le projet ALTIUS est désormais sur des rails puisqu'il reçoit un soutien actif de ses partenaires financiers qui sont la politique scientifique fédérale (BELSPO) et l'ESA. Ce succès s'explique certainement en partie grâce aux premières simulations qui ont permis de valider les objectifs primordiaux d'ALTIUS.



Plus d'informations sur :

[http://www.nasa.gov/centers/langley/news/researchernews/rn\\_fourthinternational.html](http://www.nasa.gov/centers/langley/news/researchernews/rn_fourthinternational.html)

### 3.1.3) SOUTIEN AU PROJET EPT

En 2008, nous avons poursuivi nos travaux sur la conception mécanique de l'instrument spatial EPT. Si la conception mécanique des modules absorbeurs était déjà finalisée pour 2007, en 2008, il nous fallait encore travailler à la conception des cadres EIB (Electric Interface Board). Ceci fut réalisé en collaboration avec Verhaert durant les mois de janvier à mars.

Avant de commencer une phase C/D, il a été décidé de réaliser un certain nombre de tâches préparatoires durant une phase C1. Ainsi, en préalable à la réunion de lancement qui eut lieu début juillet, une phase de proposition écrite s'étira d'avril à juin. Divers projets de modèles d'interfaces furent mis au point avant des essais de vibration (juillet-août) pour les différents cadres PCB dans lesquels l'électronique de Verhaert devait ensuite venir se loger (juillet-août) et le « modèle court » EPT (août). La

phase C1 s'est terminée en septembre. En Octobre, les tests de vibration eurent lieu sur le DAM (module absorbeur) et la garniture en Mylar à l'ESTEC. Enfin, la fin de l'année a vu le début de la rédaction de la proposition de la Phase C/D (Décembre)

### **3.1.4) SOUTIEN AU PROJET IMPECVOC**

L'année dernière, un package logiciel LabVIEW, qui contrôle l'instrument PTMRS (spectromètre de masse) fut mis en service. Ce dernier est construit autour d'un enregistreur de données et d'une unité de commutation, avec logiciel associé, qui est capable d'analyser et de contrôler une large gamme de paramètres environnementaux, de brancher ou débrancher différents appareils de mesure et définir les principaux niveaux de valeurs seuils. En 2008, la dernière touche fut apportée à la couche des scripts logiciels et l'ensemble fut placé dans une parcelle d'essais située dans une forêt à proximité de Gand (en collaboration avec l'Université de Gand). Nous avons veillé à ce que cette installation puisse être exploitée à distance et les données rapatriées via Internet. L'atelier de mécanique de l'IASB a bien évidemment apporté son soutien en réalisant les « cuvettes », c'est-à-dire les récipients dans lesquels les mesures sont effectuées, et en veillant à l'installation de celles-ci.

### **3.1.5) SOUTIEN AU PROJET NDACC-FTIR**

La conception et la réalisation d'un nouveau suntracker compact fait également partie des projets de notre département. En 2007, un premier prototype fut livré et testé, et cette étude révéla un certain nombre d'imperfections. Par exemple, le système d'ouverture fut, entre autres, complètement revu pour garantir une plus grande robustesse à ce dernier. En outre, les composants mécaniques nécessaires à l'installation du suntracker furent également conçus, réalisés et installés sur la tour de mesure de l'IASB. En 2008, les essais en situation réelle (rayons solaires véritables) ont été réalisés. De même, les logiciels de contrôle du LabVIEW furent également développés. Le traqueur ne doit pas seulement être en mesure de suivre le soleil, il doit permettre de prédire sa course théorique, même si ce dernier reste caché. Enfin, il doit basculer entre deux modes de fonctionnement possibles.

### **3.1.6) APPUI AUX DIVERS PROJETS AU SOL ET SUPPORT GENERAL DE L'IASB**

En 2008, l'équipe d'ingénierie a également fourni son soutien à d'autres projets au sol (FTIR, UV-VIS, tests en chambre stérile, tests de sources d'ions, laboratoire de spectrométrie de masse, ...), de même qu'à la logistique générale de l'IASB (entretien des bâtiments, des installations électriques et IC, ...).

## **3.2) ICT:**

Le service ICT gère et développe l'infrastructure IT de l'institut, il assure aussi un soutien pour toutes les activités IT. Les tâches comprennent le développement et l'entretien de l'infrastructure de base (réseaux, serveurs, dispositifs de stockage, services), l'achat, l'installation et l'entretien des postes de travail des utilisateurs (PC et terminaux + logiciels associés) et enfin le soutien aux utilisateurs pour le traitement et la gestion des données ainsi que le développement des applications pour ces dernières.

L'infrastructure actuelle de l'IASB (situation fin 2008) comprend entre autres:

- quelque 200 postes de travail (PC, portables et terminaux)
- une trentaine de serveurs (Linux, Windows, HP-UX et VMware)
- des réseaux de stockage avec une capacité totale utilisée de plus de 60TB

### **Parmi les principaux projets de 2008, on retrouve l'installation et la configuration d'un système de stockage HSM :**

Pour faire face au flux croissant de données entrantes, de profondes modifications de la structure de stockage existante furent nécessaires. La modification la plus importante consistait dans l'installation du système « Hierarchical Storage Management ». Il s'agit d'un système de stockage automatisé permettant de stocker les données sur différents types de média (dans ce cas-ci disques durs et bandes magnétiques), en fonction de quelques paramètres bien spécifiques, tels que l'espace requis, l'âge ou la taille des données. Ce genre de système nous permet de dépasser les limites et surtout de réduire les coûts liés à un système de stockage classique à l'aide de disques durs. En utilisant des bandes magnétiques pour stocker les données, il est possible d'augmenter la capacité du système quasi à l'infini, sans devoir à chaque fois refaire de très lourds investissements

matériels. Dès que les données ne nécessitent plus un accès instantané ou lorsqu'elles ont atteint un certain âge, elles sont supprimées des systèmes de disque dur et copiées vers des bandes magnétiques de très grande capacité. Ce processus est entièrement automatisé et se déroule sans que les utilisateurs ne s'en aperçoivent. Les données transcrites vers la bande magnétique restent visibles pour les utilisateurs et peuvent être transférées automatiquement et à n'importe quel moment sur le stockage disque. Ce projet important a été réalisé dans le courant de l'année 2008 en collaboration avec le département 'Software Services' d'IBM, firme qui a également fourni les logiciels. Après une période de test et de migration de quelques mois, le système est maintenant entièrement opérationnel. Dans une première phase, cette installation a permis une capacité supplémentaire de 50TB.

### **Installation et configuration d'un cluster pour des machines virtuelles:**

De plus en plus souvent, des services spécifiques (tels que les serveurs web) doivent être mis en place pour des projets individuels. Le nombre de services réseaux offerts à tous les utilisateurs comme faisant partie de l'infrastructure de base augmente aussi très vite. Dans le passé, un nouveau serveur devait être installé dès qu'un nouveau service apparaissait. Cette opération, en plus d'être coûteuse et laborieuse, était peu efficace, puisqu'en général, la plupart des serveurs n'étaient chargés que partiellement. Une solution consistait à utiliser des machines virtuelles car cette technique permet de faire tourner plusieurs serveurs logiques sur une seule et même machine physique. Par ailleurs, un tel système permet d'exploiter l'infrastructure hardware de manière beaucoup plus efficace. Le gain de temps offert par une machine virtuelle, nous permet de répondre plus vite et de manière plus efficace aux besoins changeants des utilisateurs.

Une autre réalisation importante de 2008 fut la mise en place d'un cluster VMware qui permet de faire tourner simultanément une grande quantité de machines virtuelles, avec un niveau de disponibilité très élevé. Le logiciel utilisé pour le cluster, permet même de déplacer automatiquement les serveurs virtuels vers une autre machine physique en cas de problème de hardware. Cela garantit une grande disponibilité pour les services critiques. VMware VI3 a été choisi comme logiciel pour le cluster. L'installation et la configuration de ce cluster a été réalisée par l'équipe ICT de l'institut. Le cluster est maintenant entièrement opérationnel et une quinzaine de machines virtuelles tournent sur les 3 serveurs-hardware redondants. Cette opération a pu être réalisée grâce à l'engagement d'un Data Manager et d'un spécialiste en HPC (High Performance Computing).

Le Data Manager est chargé de la gestion intégrale des flux de données scientifiques au sein de l'institut : gestion, réception, stockage des données des différents groupes de projet, élaboration de l'inventaire et gestion finale des processus automatiques de traitement des données des différents projets.

Le spécialiste HPC est chargé du soutien aux utilisateurs lors de l'utilisation de la structure complexe de l'institut pour le traitement des données. Sa tâche consiste à informer les utilisateurs sur les outils disponibles et leur utilisation, ainsi que d'aider les utilisateurs lors de l'implémentation et l'optimisation de leurs codes sur l'infrastructure.

Ces deux fonctions représentent une aide importante pour les scientifiques, qui se voient ainsi précieusement déchargés de tâches purement ICT. Elles permettent aussi une meilleure exploitation de l'infrastructure existante et offrent une plus-value importante lors du planning des évolutions nécessaires à l'avenir afin de pouvoir répondre au mieux aux futurs besoins.

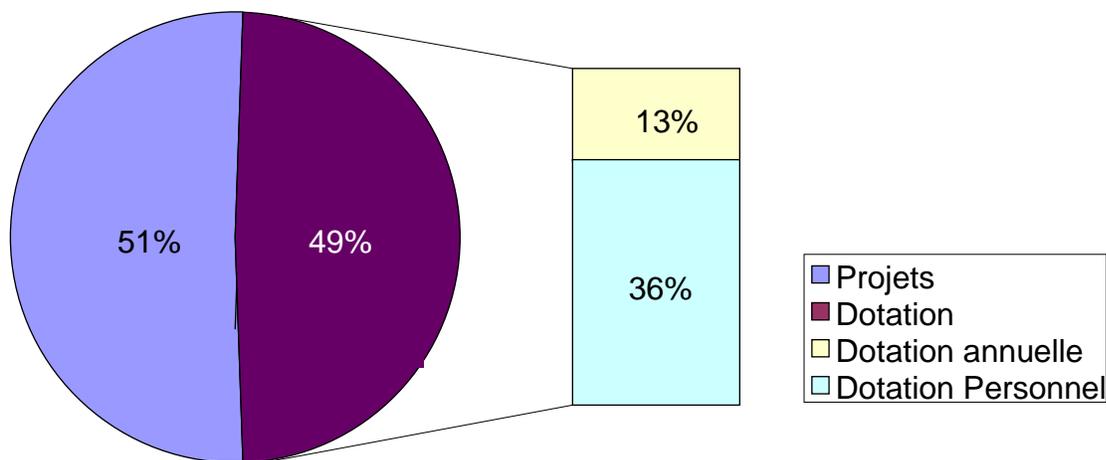
## **3.3) Administration: budget, personnel.**

### **3.3.1) Budget :**

Le budget total pour l'année 2008 se répartit comme suit :

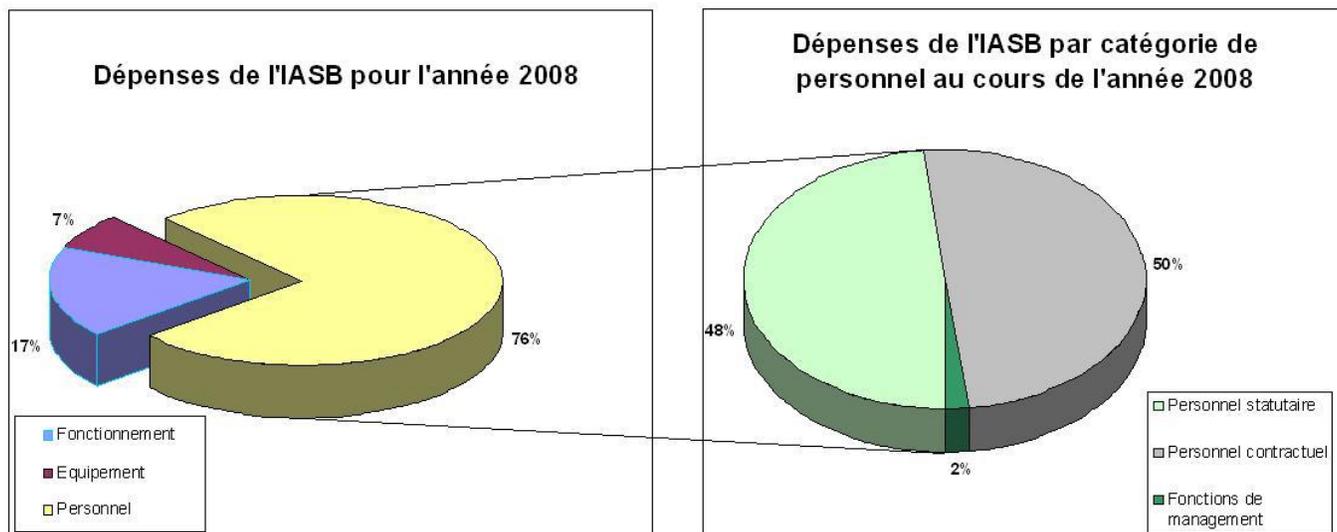
#### **Recettes :**

- Projets de recherche : 51%
- Dotation fédérale :49%, dont
  - o – 28% de dotation annuelle
  - o – 72% de dotation pour le personnel.



**Dépenses :**

- Fonctionnement : 17%
- Equipement : 7%
- Personnel : 76%, dont
  - o - 48% pour le personnel statutaire
  - o - 50% pour le personnel contractuel
  - o - 2% pour les fonctions de management



**3.3.2) Personnel :**

Après une forte croissance du personnel contractuel durant l'année 2007 ainsi qu'une expansion substantielle des sources de financement externes pour des programmes de recherche, l'année 2008 met résolument l'accent sur la consolidation des ressources existantes en termes de personnel. Grâce à une telle politique de conservation et de renforcement, l'institution s'appuie à présent sur différents piliers et départements et bénéficient de conditions de travail et d'évolution de carrière particulièrement attrayantes.

Le 1<sup>er</sup> mai 2008, un nouveau statut pour le personnel scientifique fut mis en place, il s'applique dans une première phase, uniquement au personnel statutaire. Plus tard, cette réforme s'appliquera également au personnel scientifique contractuel.

### 3.3.2.1) Effectifs du personnel et évolution

Dans le domaine de l'emploi et du contrat de financement, on peut distinguer deux grandes catégories de personnel, certains font partie du :

- personnel nommé, ce sont les statutaires qui sont financés par une enveloppe spéciale prévue à cet effet.
- personnel contractuel financé sur base de programmes externes et de projets à durée déterminée. Ces derniers sont souvent initiés par le gouvernement fédéral via sa politique scientifique fédérale belge (BELSPO), la Commission européenne ou l'ESA, en fonction de besoins bien spécifiques et/ou temporaires.

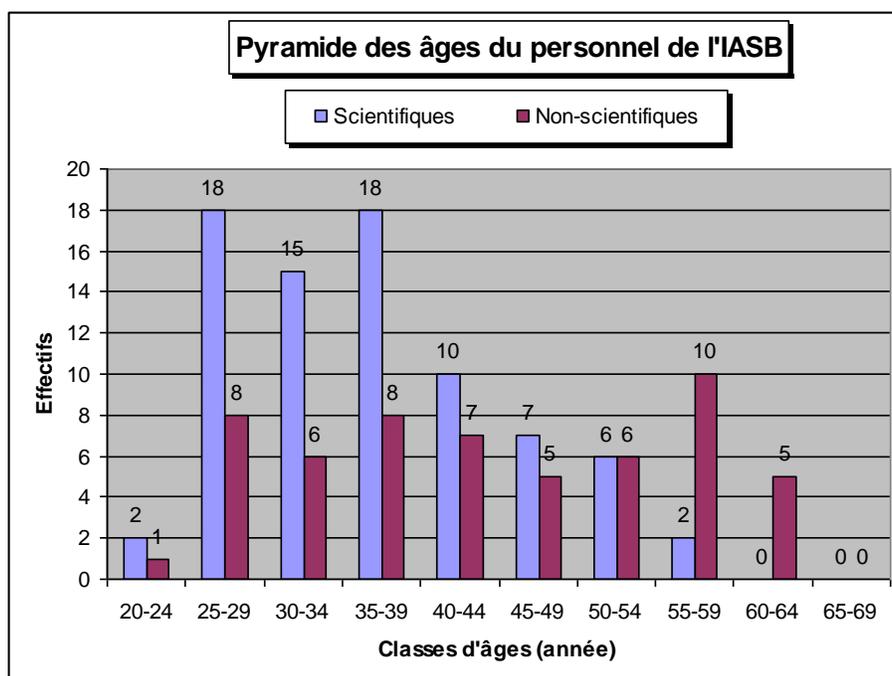
Le graphique ci-dessous montre l'évolution qu'a connue la population active totale de l'IASB entre le 31 décembre 2004 et 31 décembre 2008, date à laquelle l'IASB comptait 134 employés.

Il semble bon de préciser qu'au cours de l'année 2008, derrière cette légère augmentation de 4 unités (134 contre 130 au 31/12/2007), se cachent de nombreux mouvements du personnel qui n'apparaissent peut-être pas sur le graphique.

Par ailleurs, signalons également que le 1<sup>er</sup> mai 2008 correspond à la mise en œuvre initiale du nouveau règlement pour le statut du personnel statutaire. Le tableau ci-dessous indique d'ailleurs la répartition du personnel (134 employés au 31/12/2008) au sein des différentes catégories de l'institut.

	Personnel statutaire	Personnel contractuel	Total	ETP
Personnel scientifique	24	54	78	76.3
Personnel administratif	33	23	56	54.7
Total	57	77	134	/
ETP	56.4	74.6	/	131

En termes de répartition au sein des différentes classes d'âges, voici comment se compose le personnel de l'IASB :



Si l'on s'intéresse cette fois au statut du personnel de l'IASB, il faut à la fois distinguer différents types de contrats et de niveaux hiérarchiques au sein de la catégorie des scientifiques.

Pour résumer, dans la catégorie des scientifiques, on distingue à la fois différents statuts d'engagement (contractuels, contractuels sous contrats spécifiques et statutaires) et différents niveaux hiérarchiques (a, b, c, d et spécialistes)

Le nombre de départs d'agents contractuels (11 départs en tout, soit 8,5% des effectifs totaux) était est relativement élevé en 2008, et ce malgré de réels efforts de conservation (voir ci-dessous).

Cela s'explique largement par 2 principaux facteurs:

- l'augmentation de la sensibilité, pour certaines catégories d'activité, au contexte économique global et perspectives de développement extérieur: 7 personnes sur 11 étaient engagées en tant que personnel IT (directement ou non en appui d'activités scientifiques).
- la continuité du projet de financement.

Les départs du personnel statutaire correspondent à trois licenciements naturels et une démission.

Les engagements au sein du groupe de météorologie spatiale en combinaison avec quelques demandes de réduction temps de travail ont permis de consolider un noyau dur. Parallèlement, le service IT ainsi que le B.USOC ont tous deux connu une croissance significative au cours de 2008.

### **3.3.2.2) Politique de conservation / fidélisation**

Une politique de conservation implique que l'on développe divers domaines d'initiatives qui conduisent à un environnement de travail où l'employé se sent bien dans sa fonction, valorisé, y compris au niveau financier, qu'il puisse s'y développer et continuer ainsi à progresser. Cette reconnaissance passe aussi par l'octroi d'une certaine souplesse et flexibilité dans le travail (télétravail, aménagement de temps de travail pour concilier avec la vie de famille, etc.). Pour conclure, cette politique de conservation/fidélisation englobe finalement tout ce qui contribue au bien-être d'un employé heureux et satisfait dans son travail.

#### **3.3.2.2.1) Sécurité et stabilité**

L'Institut a pour but de valoriser les compétences fondamentales de son capital humain dans des relations de travail stables. Cela se réalise tout d'abord en offrant un contingent suffisant de personnels statutaires au sein de chaque groupe de recherche. Ensuite, en proposant des contrats de travail à long terme, conjugués à une certaine pérennité liée aux travaux de recherche. La politique de l'Institut a pour but, et ce en dépit de la durée limitée des financements externes liés aux projets de recherche, d'offrir au fil du temps à son personnel des contrats à durée indéterminée. La structure hiérarchique et les projets scientifiques, en particulier, y ont une contribution importante. La demande d'extension de projets ou de la présentation de nouveaux projets permet aux scientifiques de l'Institut de poursuivre leurs recherches dans leur domaine d'expertise ou tout autre domaine d'intérêt. Cette hiérarchie est par ailleurs soutenue grâce à un système de management qui suit en détail l'état d'avancement de chaque projet.

L'ouverture de postes statutaires à des scientifiques expérimentés offre donc la possibilité d'un engagement permanent à long terme pour les meilleurs scientifiques contractuels. Comme indiqué ci-dessus, neuf scientifiques et un employé de soutien scientifique IT, tous contractuels, ont bénéficié de telles mesures de promotion en 2008.

#### **3.3.2.2.2) Développement de carrière et possibilités d'évolution**

Après défense devant un jury d'évaluation scientifique, deux membres du personnel scientifique ont été promus au grade de chef de travaux agréé.

En outre, les fonctions dirigeantes pour les postes scientifiques, telles que prévues par le plan du personnel en 2007 furent elles aussi définitivement attribuées. La nomination de deux chefs de division et de un chef d'équipe s'est révélée nécessaire pour consolider la structure d'exploitation scientifique, et ce compte tenu du nombre de départs à la pension de divers postes dirigeants ou de gestion, ces dernières années.

Dans la carrière administrative, aucune promotion n'a eu lieu. En coopération avec OFO, les formations certifiant l'acquisition du niveau D ou de niveau A ont respectivement démarré ou atteint leur vitesse de croisière (réalisation d'une partie importante des arriérés).

#### **3.3.2.2.3) Télétravail**

Introduit en 2006 comme projet pilote et formellement concrétisé en 2007, le télétravail est progressivement devenu une partie intégrante des travaux menés par l'Institut. Ainsi, les membres du personnel peuvent travailler depuis leur domicile, et ce de manière soit systématique (certains jours précis, définis avec l'employeur) ou de manière plus occasionnelle, pour la réalisation de certains travaux spécifiques. Les mesures techniques nécessaires ont donc été prises pour rendre ceci possible. Ainsi, en 2008, 15% du personnel structurel a donc pu travailler partiellement depuis son lieu d'habitation.

#### **3.3.2.2.4) Développement et coaching**

De nouvelles bases furent jetées pour la mise en place d'un système d'évaluation des carrières ainsi que la promotion d'un dialogue actif entre les employés et leur hiérarchie. Publié en avril 2008, celui-ci s'applique dans le cadre du nouveau statut scientifique et son introduction est prévue pour 2009.

Les personnels administratif et technique bénéficieront également à l'avenir (2009-2010) d'un tel système d'évaluation, envisageant diverses étapes de développement personnel. Outre le suivi des opérations, l'accent sera mis sur le développement des compétences de l'employé (ou de son équipe) en vue d'une meilleure performance.

La prévision d'un dialogue structurel régulier forme une base solide pour la communication ouverte, qui réponde à la fois aux besoins de l'employé, de l'organisation et du service de gestion.

Les employés de l'IASB ont accès aux formations OFO, à la fois pour les niveaux de formation standards et les formations certifiées. En particulier, de nombreuses formations de certification ont été suivies en 2008.

De même, l'acquisition de nouvelles connaissances ainsi que le partage de celles-ci par le personnel scientifique se réalise principalement via la participation à des séminaires organisés en interne, des workshops, des colloques nationaux ou internationaux, des congrès, etc. Cette année encore, les opportunités en ce sens furent nombreuses et pleinement exploitées. Enfin, des cours de langues (néerlandais et français) pour les débutants ont également été donnés en interne par une firme extérieure ; cette initiative fut accueillie avec succès puisque 38 participants y ont pris part. Après une évaluation positive, il a été décidé que cette initiative serait poursuivie et élargie en 2009.

#### **3.3.2.2.5) Dynamique de groupe**

Divers événements réguliers, résultant d'initiatives formelles ou informelles reçoivent toujours beaucoup d'intérêt : réunions d'information, séminaires scientifiques, conférences de scientifiques invités ainsi que divers événements sociaux en sont quelques exemples.

#### **Nouveau statut du personnel scientifique**

Après la réforme de la filière des carrières administratives (réforme Copernic), l'année 2008 a également été l'occasion de revoir les statuts de carrières au sein de la filière scientifique. Toute l'attention s'est portée sur les possibilités d'évolution au sein de la communauté scientifique car l'ancienne loi régulant les statuts du personnel datait de 1965 ! A présent obsolète puisque construite autour de la définition type d'un chercheur, elle prend aujourd'hui plus largement en compte la diversité des fonctions et des tâches qui incombent aux scientifiques.

Les textes réglementaires ont été publiés au Moniteur belge durant le mois d'avril 2008. Ils s'appliquent dans un premier temps, uniquement aux membres du personnel statutaire, mais un projet similaire de révision du statut des carrières scientifiques, y compris pour les contractuels, est également en préparation. C'est ainsi que l'introduction des nouvelles perspectives de carrière et procédures liées à celles-ci se met progressivement en place.

En 2008, les actions suivantes ont été réalisées:

- Classification du personnel statutaire à l'aide de nouvelles échelles de salaires et de grades. L'impact financier de cette réévaluation a également été appliqué rétroactivement jusqu'au 1<sup>er</sup> décembre 2006.
- Répartition de chaque membre du personnel scientifique nommé à un groupe de recherche. On distingue ainsi deux groupes différents:
  - Le groupe d'activités n°1 qui comprend le personnel en charge de la recherche fondamentale, de la recherche appliquée ou du développement expérimental.
  - Le groupe d'activités n°2 qui regroupe le personnel dont la tâche principale est la mise à disposition de services scientifiques à la communauté.
- Attribution pour un membre d'un groupe précis a bien évidemment son intérêt pour le suivi et le développement de carrière, y compris dans le cadre de promotions.
- Un groupe de travail composé de scientifiques de l'IRM, de l'ORB et de l'IASB, a élaboré les paramètres d'une matrice d'évaluation s'appliquant au personnel scientifique de tout le pôle Espace d'Uccle.
- La présentation d'une nouvelle structure organisationnelle et le développement d'un vaste organigramme fonctionnel.
- La composition du nouveau jury.

Au cours de l'année 2009, ce nouveau plan d'évaluation de carrière sera donc mis en place, il s'accompagnera d'un cycle d'évaluation basé sur la préparation de fiches de fonction ainsi que l'ouverture progressive de fonctions mandataires dirigeantes au sein de la communauté scientifique.

### **3.4.) Communication :**

#### **Introduction**

L'Institut d'Aéronomie Spatiale de Belgique (IASB) a pour mission d'acquérir une expertise scientifique et technologique dans le domaine de l'aéronomie spatiale et de communiquer l'information en lien avec ce domaine.

#### **Fonctionnement de la cellule communication:**

L'IASB dispose d'outils didactiques variés pour promouvoir l'aéronomie auprès du grand public.

Il existe un site web général (<http://www.aeronomie.be>), se déclinant en français, en néerlandais et, pour une bonne partie, en anglais. Ce site suit également l'actualité scientifique internationale liée à l'aéronomie en proposant de nombreuses «News». Il existe aussi plusieurs sites spécialisés, dédiés à un projet particulier comme par exemple le site du B.USOC (<http://www.busoc.be>), le site du projet Altius (<http://www.altius.oma.be/index.php>), etc.

Des bornes avec des quiz interactifs ont été créées, elles sont utilisées dans différents lieux d'exposition en Belgique et les questions (en français, néerlandais et anglais) sont régulièrement mises à jour.

Divers posters, brochures ou folders sont également créés à la demande pour participer à des événements plus spécifiques.

#### **Les principaux événements et expositions**

L'IASB s'expose fréquemment dans divers lieux d'exposition permanents comme au Planétarium de l'Observatoire royal de Belgique (vitrine officielle de l'Institut), à l'Euro Space Center de Redu ou encore à l'Earth Explorer, situé à Ostende. Il participe enfin à des expositions temporaires afin de coller au mieux à l'actualité, en mettant du matériel à disposition ou en en créant pour l'occasion.

#### **D'étroites relations avec la presse**

En collaboration avec les scientifiques impliqués, la cellule communication diffuse régulièrement des communiqués vers la presse belge.

Nos thèmes de recherche et nos activités ont trouvé un large écho auprès de divers medias tels que les chaînes de télévision : RTBF, VRT, VTM, RTL, etc., la presse écrite et les principaux quotidiens tels que De Standaard, Le Soir, L'Echo, Het Laatste Nieuws, de Gazet van Antwerpen, De Tijd, Knack, pour n'en citer que quelques uns, et enfin divers sites web de référence: l'ESA, Fedra, Urania, Skynetnieuws, etc.

Quelques exemples de communiqués de presse diffusés en 2008 :

- Lancement du laboratoire européen Columbus vers la Station Spatiale Internationale, février 2008.
- L'Institut d'Aéronomie Spatiale de Belgique (IASB) s'invite aux jeux olympiques de Pékin, juillet 2008
- «Top of Europe» prend le pouls du climat, décembre 2008

### **La communication scientifique**

Une communication pertinente du savoir scientifique et des recherches menées à l'IASB passe évidemment par une bonne interaction entre les équipes de chercheurs en place et la cellule de communication de l'Institut. Aussi, pour que ce travail de diffusion et de promotion soit le plus optimal possible, un dialogue permanent doit avoir lieu entre ces deux types de collaborateurs. Lui seul autorise, à nos yeux, un regard extérieur complémentaire et donc indispensable à l'élaboration d'une politique de communication efficace.

### **Focus 2008. la communication interne et le développement de l'intranet**

La cellule communication s'occupe également de la communication interne.

Elle est sensible à l'équilibre du personnel et soutient activement toute idée d'activité susceptible de promouvoir la convivialité et l'esprit d'équipe au sein de l'institution ; les départs en retraite sont également fêtés comme il se doit, à l'aide de présentations « power point », réalisées à cet effet. Elles sont l'occasion de retracer le parcours des intéressés au sein de l'institut.

En 2008, de gros efforts ont été concentrés sur le développement du site interne, l'intranet, toujours en collaboration avec d'autres équipes d l'IASB. L'équipe de communication a développé le répertoire téléphonique en ligne et a renouvelé le lay-out ainsi que la structure toute entière du site web principal. Le personnel a pour cela reçu l'accès à de nouvelles rubriques comme "HR-Administration" et "Green". De même, les membres de la cellule de communication ont réalisé l'enregistrement vidéo d'un cycle de conférences donné par un scientifique de renom, M. Piet Stammes du KNMI (Pays-Bas) et à rendre ces enregistrements accessibles sur l'intranet.

Le site web interne se développe progressivement, il est un instrument précieux, tant pour la communication d'informations scientifiques qu'administratives.

## **Annexes:**

### **Liste des principaux acronymes utilisés dans ce rapport annuel 2008:**

**ALTIUS:** Atmospheric Limb Tracker for Investigation of the Upcoming Stratosphere

**BACCHUS :** Belgium and Canada for Chemical weather User-oriented Services

**BASCOE :** Belgian Assimilation System for Chemical Observations from Envisat

**B.USOC :** Belgian User Support and Operation Center

**BVOC :** Biogenic Volatile Organic Compounds

**CFC :** Chloro-fluorocarbures ou freons

**CLUSTER :** Mission phare de l'ESA visant à explorer l'interaction entre le Soleil et la magnétosphère terrestre à l'aide d'un quatuor de satellites (Salsa, Samba, Rumba et Tango), lancés par paires, en juillet et en août 2000.

**DOAS :** Differential Optical Absorption Spectroscopy

**ESA :** European Space Agency

**ESWEP :** European Space Weather Portal

**FTIR :** Fourier Transform Infrared Spectroscopy

**GMES :** Global Monitoring for Environment and Security

**GOMOS :** Global Ozone Monitoring by Occultation of Stars

**IASB:** Institut d'Aéronomie Spatiale de Belgique

**IMPECVOC:** Impact of Phenology and Environmental Conditions on BVOC Emissions from Forest Ecosystems

**ISS:** International Space Station

**IRM:** Institut Royal de Météorologie

**ORB:** Observatoire Royal de Belgique

**MAX-DOAS:** Multi Axis Differential Optical Absorption Spectroscopy

**MIPAS:** Michelson Interferometer for Passive Atmospheric Sounding

**NDACC:** Network for the Detection of Atmospheric Composition Change

**PCDF:** Protein Crystallization Diagnostic Facility

**PROMOTE:** PROtocol MONiToring for the GMES Service Element

**PTR-MS:** Proton Transfer Reaction Mass Spectrometry

**SIFT MS :** Selected-Ion Flow Tube Mass spectrometry

**SOIR :** Spectromètre réalisant des mesures par occultation dans l'infrarouge en vue d'examiner la composition des atmosphères planétaires de Mars et de Vénus, par exemple.

**SOLSPEC :** SOLar SPECTrum. Ce spectrographe, conçu en collaboration entre l'IASB et le CNRS (France), est prévu pour mesurer le rayonnement solaire depuis l'ultraviolet jusqu'à l'infrarouge (de 180 à 3100 nm).

**SPENVIS :** Space Environment for Information System

**STCE:** Solar-Terrestrial Centre of Excellence

**TEMIS:** Tropospheric Emission Monitoring Internet Service