

**Institut d'Aéronomie Spatiale de Belgique
(IASB)**

**Rapport annuel
2009**

Belgian Space Aeronomy for the benefit of Society

Avant-propos	7
Mot du directeur	9
<u>Chapitre 1: Activités de recherche en aéronomie.</u>	17
1.1. Physique spatiale	17
1.1.1. <u>Etude des arcs polaires et des arcs auroraux discrets.</u>	17
1.1.2. <u>Etude du vent solaire :</u>	18
- L'environnement spatial des planètes	18
- L'environnement de la Terre	18
- L'environnement spatial de Jupiter et de Saturne	19
1.2. Chimie et physique des atmosphères	20
1.2.1. <u>Observations dans l'infrarouge :</u>	20
- Acceptation officielle par le réseau NDACC des mesures FTIR réalisées par l'IASB à l'Île de La Réunion	21
- Détermination et validation des concentrations de méthane (CH ₄), monoxyde de carbone (CO) et acide nitrique (HNO ₃) dans l'atmosphère terrestre à l'aide des spectres IASI.	21
1.2.2. <u>Observations par spectroscopie de masse (en laboratoire et sur le terrain) :</u>	22
- Mesures des flux de composés organiques volatils biogéniques (COVBs) issus d'une forêt mixte des Ardennes belges (Vielsalm).	22
- Mesures en laboratoire en vue de détecter des Composés Organiques Volatils Biogéniques par Spectrométrie de Masse avec Ionisation Chimique (CIMS)	24
1.2.3. <u>Modélisation de la chimie troposphérique :</u>	24
- Quantification de la source continentale de glyoxal grâce à l'utilisation synergique des observations satellitaires et de la modélisation inverse.	24
1.2.4. <u>Observations dans l'UV-Visible :</u>	26
- La campagne CINDI à Cabauw (Pays-bas)	26
- La mission « Earth Challenge » & l'ULM-DOAS	27
1.2.5. <u>Recherche pour l'exploitation synergique de données atmosphériques</u> :Développements scientifiques pour l'utilisation intégrée de mesures complémentaires de la composition atmosphérique.	28
1.2.6. <u>Modélisation stratosphérique et assimilation de données :</u>	31
- Modélisation du trou d'ozone avec le modèle stratosphérique BASCOE	31
1.3. Etude du rayonnement solaire dans les atmosphères	32

1.3.1. <u>Mesures de sondages au limbe (Limb Remote Soundings)</u> :	32
- La mission ALTIUS	32
- Premières mesures de profils d'OCIO à l'aide de GOMOS	33
1.3.2. <u>Etude du rayonnement solaire</u> :	35
- Le rayonnement UV solaire ; 22 ans de monitoring en Belgique.	35
- Mesure de la radiation extra-terrestre à l'aide de la palette SOLAR sur le module Columbus (ISS)	36
1.3.3. <u>L'aéronomie planétaire:</u>	37
- Venus, le CO ₂ et ses Isotopologues	37
- Des chutes de neige sur Mars	38
<u>Chapitre 2: Services scientifiques à la communauté</u>	41
2.1. <u>Météorologie chimique (Chemical weather)</u> :	41
- L'IASB transfère son système d'assimilation stratosphérique de la recherche aux services opérationnels dans le cadre du programme européen GMES	41
2.2. <u>La « météo spatiale » (Space weather)</u>	41
- Le portail ESWeP et l'outil logiciel SPENVIS	41
2.3. <u>Le B.USOC et les missions spatiales</u>	43
- Centre de mission SOLAR	43
- Centre de mission MICROGRAVITY	44
- Centre de Mission Scientifique PICARD (CMS-P)	45
- Centre de données SATELLITE	45
- Projets de gestion des connaissances	46
<u>Chapitre 3: Structures de support</u>	47
3.1. <u>Service d'ingénierie</u>	47
3.2. <u>ICT (supports informatiques et technologiques)</u>	48
3.3. <u>Administration: budget, personnel</u>	50
3.4. <u>Communication</u>	52
<u>Annexes:</u>	55
Liste des principaux acronymes utilisés dans ce rapport annuel 2009	55

SPACE
POLE

Aéronomie

Accueil



Aëronomie

Onthaal



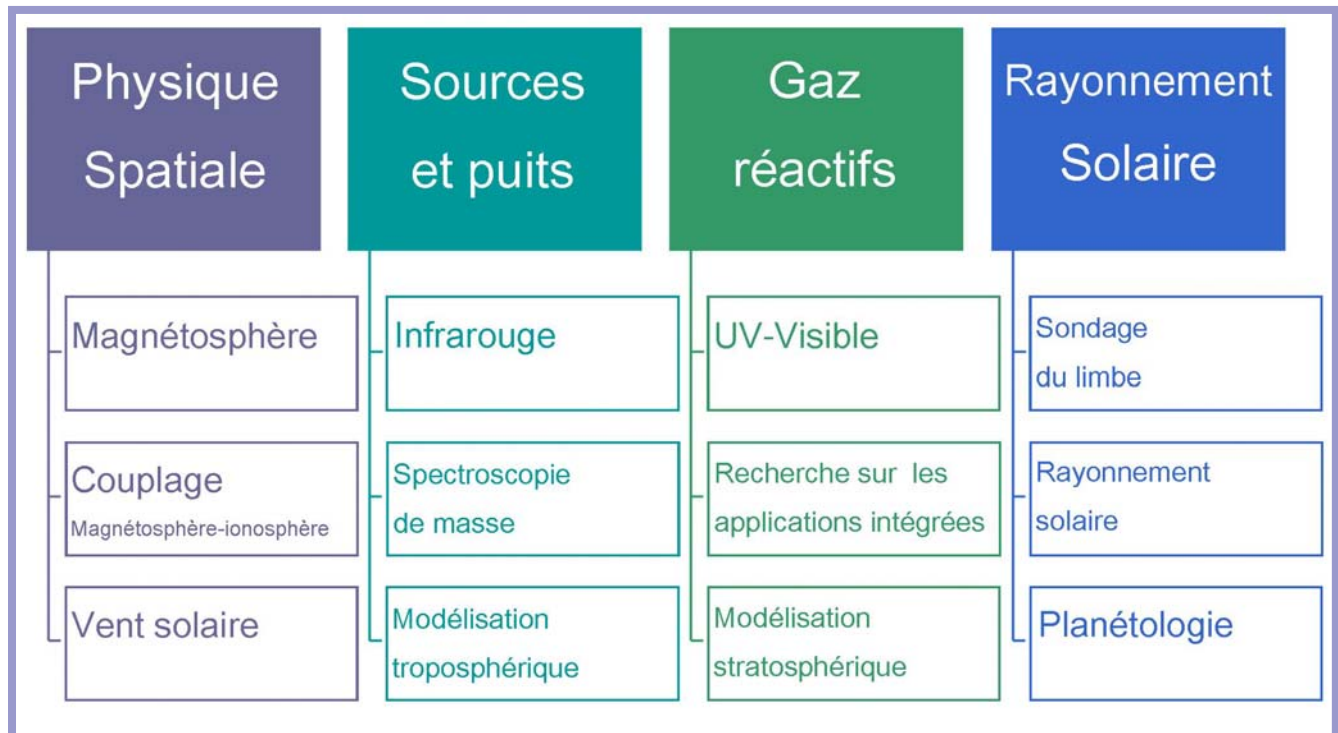
Avant propos

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, où il partage le plateau d'Uccle avec deux autres instituts fédéraux; l'Observatoire Royal de Belgique et l'Institut Royal Météorologique de Belgique.

La recherche qu'effectue l'IASB s'appuie sur deux piliers scientifiques majeurs: la physique spatiale d'une part et d'autre part, la physique et la chimie des atmosphères planétaires.

Voici comment s'organisent les divers groupes scientifiques :



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

- Services liés au temps 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 scientifiques et techniques sur l'environnement spatial ainsi que ses effets, en services utiles pour la société.

Pour plus d'informations, veuillez consulter notre site web:

<http://www.aeronomie.be>

Mot du directeur général



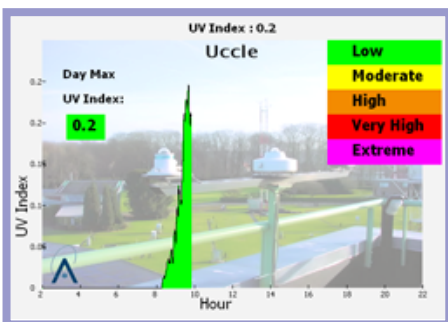
De par sa reconnaissance internationale, on peut considérer l'IASB comme un centre de compétence belge d'excellence pour le 21^e siècle dans le domaine de l'aéronomie spatiale. En s'engageant activement dans de nombreux programmes de recherche au niveau mondial et en se positionnant stratégiquement dans les réseaux scientifiques au sol comme le NDACC, l'IASB peut partager l'expertise qu'il a obtenue dans le domaine de la physique de l'espace et de la chimie et de la physique de l'atmosphère terrestre et des atmosphères d'autres planètes du système solaire.

Les activités sont de plus en plus dirigées vers la recherche de base transposée en recherches appliquées et en services, utiles pour la société.

"L'aéronomie spatiale belge au service de la société"

Plutôt que de vous présenter tout le contenu de nos activités, nous souhaitons plutôt les illustrer par quelques une de nos nouvelles pour l'année 2009.

Rayonnement solaire-mesures au sol en 2008



27 janvier 2009 - L'IASB informe le grand public sur les risques encourus, en termes de santé publique, en cas d'exposition excessive au soleil, et en particulier aux dangereux rayonnements UV. Depuis 1993 et l'installation de sa première station automatique de mesures du rayonnement solaire au sol, sur le toit du bâtiment à Uccle,...

l'IASB s'est progressivement dotée d'un réseau de stations visant à couvrir au mieux, l'ensemble du territoire belge. C'est ainsi qu'après Redu (Ardennes) en 2004, Oostende (côte belge) en 2006 et Virton (Gaume) en 2007, l'IASB vient récemment (Janvier 2009) d'équiper sa cinquième et dernière station de mesures, à Mol en Campines.

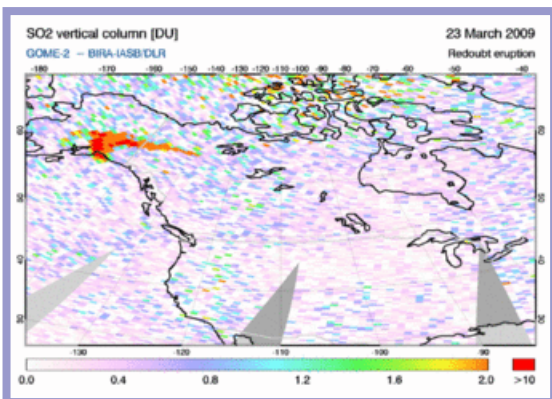
Bourse astronomique et spatiale à Ostende

23 février 2009- L'"Astro Event" permet un regard dans le monde miraculeux de l'astronomie et de l'aéronautique, où la science ancienne et la plus nouvelle se donnent rendez-vous et où tout le monde à la possibilité pour s'immerger.

D'une manière éducative et amusante, via des ateliers, des expositions, des conférences et bien plus encore.



L'IASB surveille de près l'éruption du volcan Redoubt



31 mars 2009 - La semaine passée, en Alaska, le volcan Redoubt est entré plusieurs fois en éruption, crachant ainsi d'importants panaches de fumées et de cendres jusque dans la stratosphère. Comme ces phénomènes d'éruptions subites ont un impact néfaste marqué sur la santé humaine et compliquent aussi largement la navigation des avions, l'Institut d'Aéronomie Spatiale de Belgique (IASB) répertorie minutieusement ces particules atmosphériques sur une carte pour en déduire les principaux déplacements.

Mesure de la pollution par un appareil de l'IASB pendant une tentative de record en ULM

15 avril 2009 - Tentative de records: 6 pilotes belges expérimentés voleront en ULM (Ultra Léger Motorisé) de Sydney vers Bruxelles. L'un de ces ULM, emportera un mini-spectromètre de l'Institut d'Aéronomie Spatiale de Belgique (IASB).

L'ULMDOAS (photo) est optimisé pour la mesure du dioxyde d'azote (NO₂) dans la partie inférieure de l'atmosphère (du sol à 2km environ) et peut apporter des informations sur la concentration en ozone et en particules fines.



Journée de la Terre

22 avril 2009 - La journée de la Terre fait appel à la conscience de notre environnement et incite à la protection de notre planète. Les chercheurs de l'Institut d'Aéronomie Spatiale de Belgique (IASB) font de la recherche continue sur l'atmosphère de la Terre.

En affinant leurs connaissances les scientifiques peuvent apprécier comment les activités humaines, les éruptions volcaniques, les émissions de divers gaz naturels résultant de diverses formes de vie sur notre planète l'influencent. Autant de connaissances précieuses qui devraient nous permettre de ne pas trop « maltraiter » notre planète... et son atmosphère indispensable à notre survie.

Nouvel instrument pour mesurer les gaz à effet de serre



22 avril 2009 - L'IASB dispose d'un nouvel instrument FTIR (Fourier Transform Infra-Red) (Bruker) capable de quantifier très précisément les principaux gaz à effet de serre (CO₂, CH₄).

Ce nouvel instrument possède une bien meilleure résolution que son prédécesseur, installé à Uccle, puisqu'il est pourvu de nombreuses fonctions supplémentaires, comme le choix entre la commande à distance ou le mode entièrement automatique. Il peut aussi suivre le soleil grâce au couplage avec un «Sun Tracker» qui permet à notre instrument de recevoir en permanence la lumière directe du Soleil.

Les scientifiques de l'IASB reçoivent un prix de la NASA

19 mai 2009 - Les scientifiques de l'IASB Frank Daerden et Christian Muller, en tant que membres du groupe d'étude international iMARS, se sont vus décerner un prix très honorifique par la NASA (« NASA Group Achievement Award ») qui les récompense pour leur participation à une exceptionnelle collaboration multinationale visant à planifier une future mission « Mars Sample Return », visant à collecter et rapatrier ensuite des échantillons en provenance de la planète Mars.

La NASA a déclaré que la richesse des travaux réalisés résidait essentiellement dans l'esprit de coopération internationale mis en place et la pertinence du soutien apporté à la recherche pour l'élaboration de ce futur plan de mission d'exploration vers Mars. Rappelons qu'une telle mission apparaît certainement comme la plus difficile mais aussi la plus passionnante à réaliser dans l'histoire de l'exploration planétaire. Le prix a été décerné au cours d'une cérémonie honorifique ayant lieu dans les quartiers généraux de la NASA à Washington DC, le jeudi 16 avril 2009

CINDI, mesure de la pollution

18 juin 2009 - Durant les mois de juin et de juillet, près de trente instruments de mesure à la pointe de la technologie et issus du monde entier ont mesuré la pollution atmosphérique au-dessus d'un mât gigantesque à Cabauw près de Lopik aux Pays-Bas.

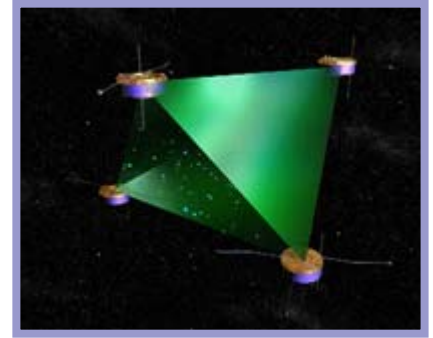
Pendant la campagne internationale CINDI, ces nouveaux instruments seront comparés et étalonnés entre eux. Les mesures ainsi récoltées serviront à soutenir les recherches en matière de pollution et de gaz à effet de serre.



L'IASB particulièrement productive dans ses recherches sur le champ magnétique

25 juin 2009 - Depuis neuf ans, les satellites Cluster de l'Agence Spatiale Européenne ESA fournissent des données intéressantes à propos de différentes régions de la magnétosphère. Ce champ magnétique protège la Terre contre les rayonnements et les particules cosmiques provenant du vent solaire, formant une sorte de bouclier naturel.

Rien que pour les satellites Cluster et Double Star, la communauté scientifique internationale a déjà produit près de 1000 publications. Avec son équipe de chercheurs, J. De Keyser de l'Institut d'Aéronomie Spatiale de Belgique appartient au top10 des auteurs mondiaux les plus productifs et contribue de cette façon à l'augmentation de notre connaissance au sujet de la magnétosphère de la Terre.



La NASA fait appel à un belge pour analyser les chutes de neige sur Mars

03 juillet 2009 - Depuis 2008, la NASA possède un atterrisseur (Phoenix) dans le pôle nord martien. Frank Daerden, scientifique à l'Institut d'Aéronomie Spatiale de Belgique (IASB), est l'unique européen à participer à l'analyse des toutes nouvelles données sur les nuages et la pluie de l'atmosphère martienne. Au cours de cette analyse, le Dr Daerden a mesuré des cristaux de glace de tailles exceptionnelles. L'histoire complète sera publiée dans Science magazine ce 3 juillet 2009.

L'IASB poursuit sa mission de surveillance de l'ozone

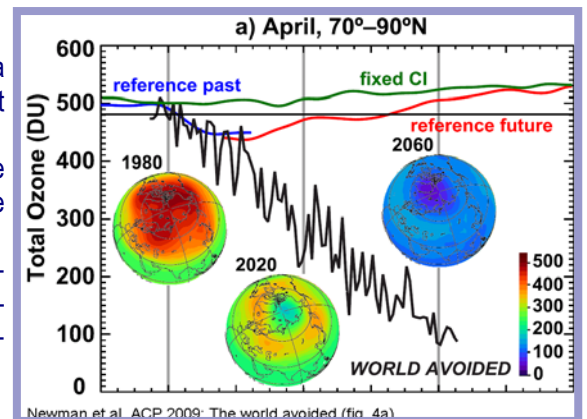
16 septembre 2009: 22 ans après la signature du Protocole de Montréal, la couche d'ozone s'est stabilisée mais les trous d'ozone polaires reviennent chaque année !

Les Nations Unies ont proclamé le 16 septembre "Journée internationale pour la protection de la couche d'ozone" afin de commémorer la signature du Protocole de Montréal le 16 septembre 1987.

Ce protocole régleme la production et l'utilisation de nombreuses substances chimiques libérant dans la stratosphère le chlore et le brome responsables de la destruction à long terme de l'ozone et de la formation printanière des trous d'ozone polaires.

Journées Portes ouvertes, 3 et 4 octobre 2009

L'Observatoire Royal de Belgique, l'Institut Royal Météorologique et l'Institut d'Aéronomie Spatiale de Belgique vous ont ouvert leurs portes le samedi et le dimanche 4 octobre.



Semaine polaire internationale: Ce qui se passe aux pôles nous concerne tous !

6 octobre 2009 - Malgré le fait que la plupart d'entre nous n'iront jamais fouler de leurs propres pieds les glaces de la banquise ou du permafrost du grand Nord, pas plus d'ailleurs que rencontrer les manchots vivants en Antarctique, nous devons toutefois rester pleinement conscients que l'impact du changement climatique très rapide que connaissent les milieux polaires va inévitablement se répercuter sur l'ensemble du système planétaire, bouleversant ainsi également:



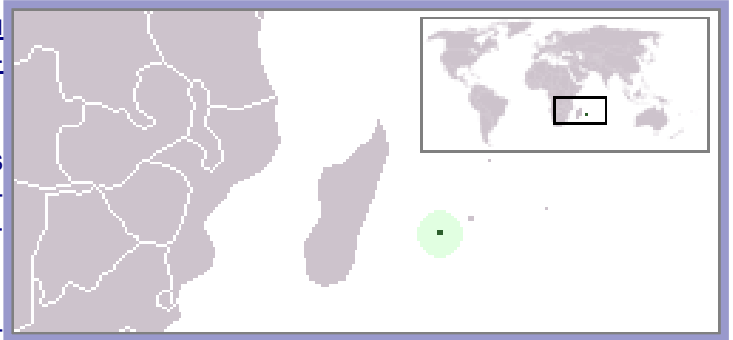
- notre météo,
- notre climat,
- nos coutumes et nos habitudes de vie.

La semaine internationale pour les régions polaires, du 5 au 9 octobre, est là pour nous le rappeler.

Nouvelle expérience de l'IASB officiellement intégrée au réseau pour la détection des changements de la composition atmosphérique

21 octobre 2009 - Depuis 2002, l'IASB réalise des mesures des concentrations des principaux gaz atmosphériques depuis l'île de La Réunion. Ces campagnes utilisent un spectromètre à transformée de Fourier

Sur base des données obtenues lors des 3 campagnes précédentes, les dirigeants (Steering Committee) du réseau NDACC (Network for the Detection of Atmospheric Composition Change) ont reconnu le savoir-faire et l'expertise acquis par l'Institut dans ce présent domaine. L'expérience FTIR de l'IASB à l'île de La Réunion est à présent intégrée officiellement dans le réseau NDACC.



Le compteur de flocons

16 novembre 2009 - Frank Daerden compte pour la NASA les flocons de neige sur Mars. Un élément sensationnel, car l'eau est essentielle pour assurer la vie.

Une vie que le scientifique n'a pas encore découverte sur Mars. Mais dans une dizaine d'années... peut-être.

Passage furtif de la sonde Rosetta à proximité de la Terre

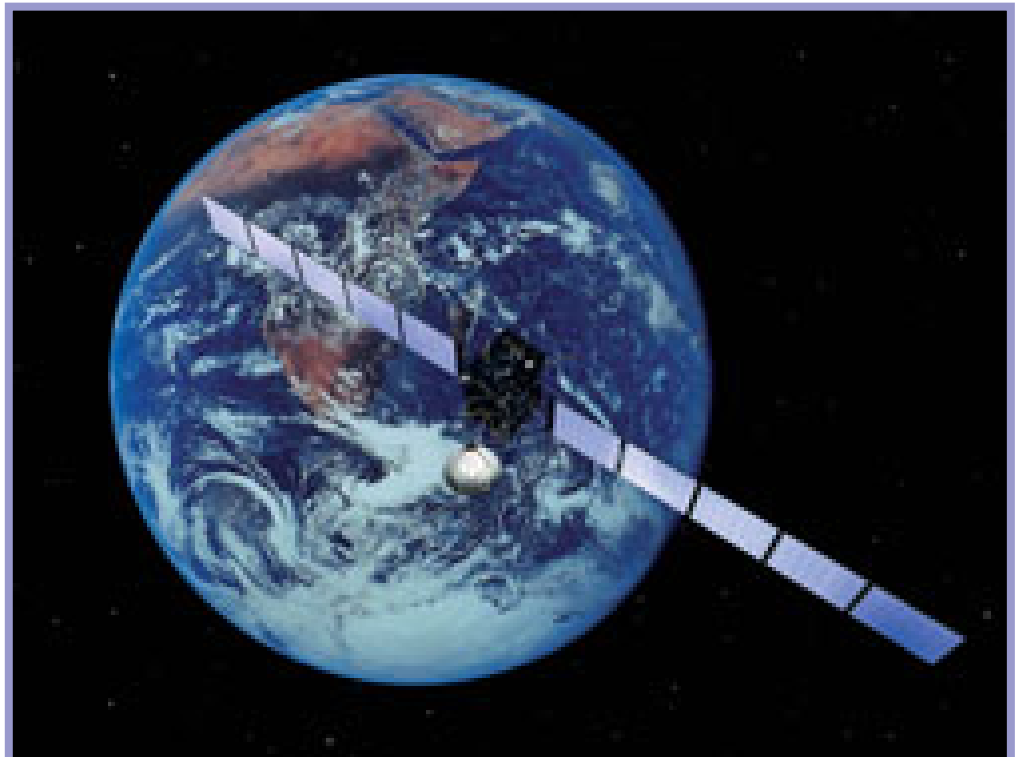
19 novembre 2009 - Ce vendredi 13 novembre 2009, un peu avant 9h du matin, les scientifiques en charge du programme Rosetta de l'Agence Spatiale Européenne (ESA) ont croisé les doigts pour que leurs savants calculs s'avèrent parfaitement exacts. La cause de cette tension ? Le passage de la sonde du même nom, à une distance d'à peine 2500 kilomètres de la Terre.

Lancée en mars 2004, la sonde Rosetta, est à présent arrivée à mi-parcours de sa mission, qui devrait se clôturer par la rencontre avec la comète 67P/Churyumov-Gerasimenko en 2014.

Lors de ce troisième et dernier passage la sonde a frôlé la Terre avec succès. Elle a ainsi pu bénéficier d'un rebond d'accélération gravitationnelle.

Lors des quatre prochaines années, avant ce grand rendez-vous cométaire. Petit cadeau scientifique: Pendant ce voyage, la sonde visitera l'astéroïde 21-Lutetia, le 10 juillet 2010.

Rappelons que la mission Rosetta est un véritable voyage dans le temps, puisque les comètes s'avèrent être de précieux témoins matériels de la naissance du système solaire, il y a 4,6 milliards d'années.



L'IASB s'implique largement dans cette mission à l'aide du spectromètre de masse « Rosina », embarqué à bord de la sonde et auquel elle a participé à la mise au point.

L'ozone sous surveillance

4 décembre 2009 - À l'heure qu'il est, nous devrions tous rôtir sous un soleil implacable, bombardés de rayons UV que la couche d'ozone ne filtre plus. Et pourtant nous avons jusqu'ici été épargnés. Faut-il croire aux miracles?

C'est une réalité: la couche d'ozone s'est stabilisée, du moins sous nos latitudes.

Après avoir diminué inexorablement pendant près de vingt-cinq ans – au point d'inquiéter la communauté internationale qui a ratifié des deux mains, en 1987, le protocole de Montréal – elle a désormais cessé de se réduire.



Tous ces résultats fascinants sont le fruit du travail d'une équipe polyvalente et talentueuse qui jouit d'une reconnaissance aussi bien sur le plan national qu'international. Ces défis demandent toutefois beaucoup de moyens financiers et une politique dynamique de la part du gouvernement fédéral et une étroite coopération avec les organisations internationales comme l'organisation spatiale européenne et la commission européenne. Ils sont des piliers essentiels.

Pour notre plus grand capital, le personnel, une gestion du personnel dynamique est essentielle. De nouveaux systèmes ont été mis au point pour bâtir les possibilités et les perspectives du personnel scientifique ultérieure.

À côté de tout ceci, les services d'appui comme l'ingénierie, le programme de management, la communication externe, l'ICT, l'administration et la gestion des ressources humaines, ont pu - grâce à la réorganisation – s'optimiser pour répondre aux nouveaux besoins de l'institut.

L'IASB a en outre organisé, encore plus de formations pour les scientifiques et a gagné en professionnalisme. Par conséquent de plus en plus de projets interdisciplinaires, des partenariats élargis et des réseaux ont vus le jour, de façon à ce que notre personnel puisse améliorer la qualité, l'importance et la compétitivité de la recherche.

Tous ces services scientifiques et ces activités de recherches, ainsi que les programmes éducatifs, culturels, administratifs et économiques de l'IASB et les résultats qui en découlent en font un centre de renommée internationale. Ceci est uniquement réalisable grâce à l'enthousiasme et au dévouement des presque 150 membres du personnel, le soutien sans faille de la politique scientifique fédérale, de la loterie nationale et des ministères et des administrations concernés.

Le futur:

L'IASB est pleinement conscient du trouble qui existe au sein de notre société suite aux divers phénomènes naturels alarmants, tels que le réchauffement de la Terre, la pollution toujours croissante des villes et des zones industrielles ou encore, le trou d'ozone, etc. Ces nombreux phénomènes ont sensibilisé l'opinion publique mais aussi les responsables politiques qui ont décidé de prendre des mesures concrètes pour maintenir ces phénomènes sous contrôle et ainsi rendre notre avenir plus sûr.

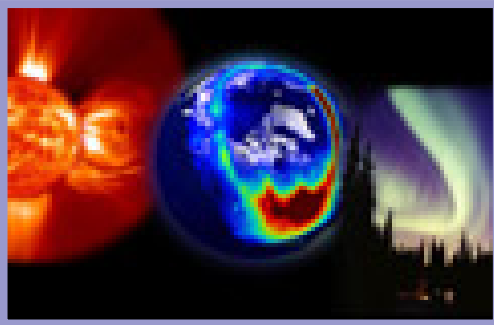
L'IASB n'est certainement pas dépassé par cette évolution et au sein de ses activités dans les domaines de la physique spatiale et de la chimie et la physique des atmosphères, l'accent a été mis sur les thème suivants:

- 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 cela, l'IASB peut compter sur un soutien fort du département d'ingénierie, aussi bien pour les instruments spatiaux que pour les appareils de mesure au sol.

Pour les services scientifiques, l'accent est mis sur:

Météo Spatiale



La Belgique a résolument opté, suite à la décision prise lors de la Conférence Ministérielle de l'ESA de 2008 à la Haye, de jouer un rôle de leadership dans cette initiative européenne. Ceci parce que la météo spatiale joue un rôle grandissant dans nos vies quotidiennes. Les radiocommunications peuvent soudainement disparaître, les systèmes GPS peuvent travailler de façon moins précise, les systèmes de navigation peuvent être perturbés, les pipelines peuvent subir des corrosions et les centrales électriques peuvent se bloquer. L'aviation doit aussi prendre en compte la météo spatiale.

Une tempête solaire peut créer soudainement des problèmes de communication graves. Et qui, au cours d'une tempête de proton vole au dessus du pôle Nord absorbe une dose de rayonnement supplémentaire.

L'IASB et l'ORB sont dans ce domaine deux piliers importants autant pour le développement de services que pour l'exploitation.

Météo chimique

Dans ce domaine, l'Europe a pris une initiative sous la forme du programme GMES, Global Monitoring for Environment and Security. La surveillance mondiale pour l'environnement et la sécurité est une initiative commune de la commission européenne et de l'organisation spatiale européenne, qui cherche à être autonome et opérationnelle pour l'observation de la Terre.

Le but est de rationaliser les données en regroupant plusieurs sources, afin d'obtenir une information opportune et de qualité, d'acquérir des services et des connaissances et de mettre cette information en relation avec l'environnement et la sécurité et de fournir un accès autonome et indépendant. En d'autres mots, mettre en relation toutes informations obtenues par les satellites d'environnement, les stations aériennes et au sol, pour donner une image universelle de la santé de notre Terre.



Les utilisateurs les plus importants du GMES seront les responsables politiques. Le GMES doit leur permettre de préparer la législation nationale, européenne et internationale dans le domaine de l'environnement (en ce compris le changement climatique) et d'en contrôler l'exécution. Le GMES est bâti sur quatre piliers: la composante spatiale (satellites d'observation et le segment sol correspondant); les mesures in-situ, l'harmonisation et la standardisation des données, et des services aux utilisateurs.

Au sein du programme GMES, il y a 2 composantes très importantes pour l'IASB:

- GMES services atmosphériques
- GMES changement climatique

La Belgique veut se positionner fortement dans ces domaines.

Notre environnement est de plus en plus composé d'une série de différents domaines de recherche (les continents, les océans, l'hydrosphère, l'atmosphère, la cryosphère, la biosphère, etc.). Pour comprendre ces liens complexes, la recherche doit se mettre en place dans un cadre multidisciplinaire. La politique scientifique fédérale l'a déjà bien compris et en a fait une de ses priorités. Le développement ultérieur de cette synergie est une tâche importante pour l'avenir.

Noël Parmentier

Chapitre 1: Activités de recherche en aéronomie.

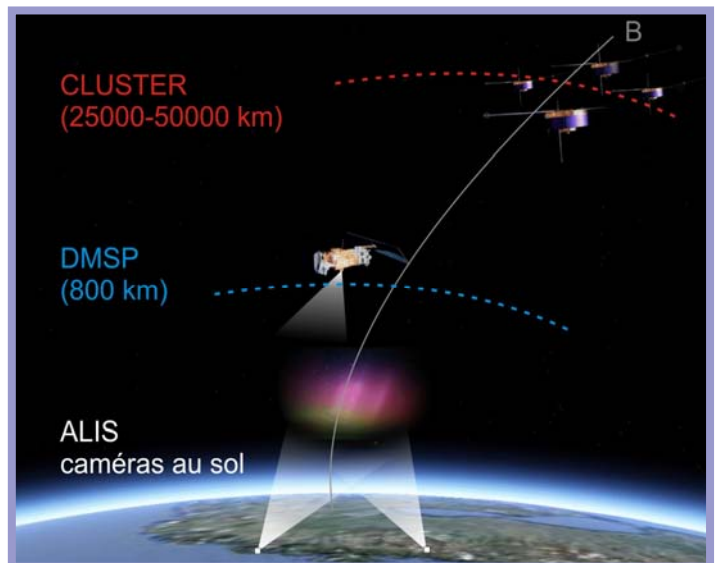
1.1. Physique spatiale

1.1.1. Etude des arcs polaires et des arcs auroraux discrets

Les aurores polaires sont la manifestation la plus spectaculaire de l'interaction entre le vent solaire et la magnétosphère. Elles sont créées par l'accélération d'électrons le long du champ magnétique terrestre, suite à des champs électriques intenses. Lorsqu'ils entrent en collision avec les constituants de la haute atmosphère ionisée, ou ionosphère, ils produisent des émissions lumineuses – les aurores. Les aurores peuvent prendre différentes formes en particulier en fonction de l'activité géomagnétique. Elles peuvent être très dynamiques avec des mouvements rapides dans le ciel accompagnés de changements de forme et de couleur. Elles peuvent aussi prendre la forme d'une bande allongée d'une luminosité intense, émettant constamment de la lumière pendant plusieurs dizaines de minutes. Ce type d'aurores est appelé arcs auroraux discrets.

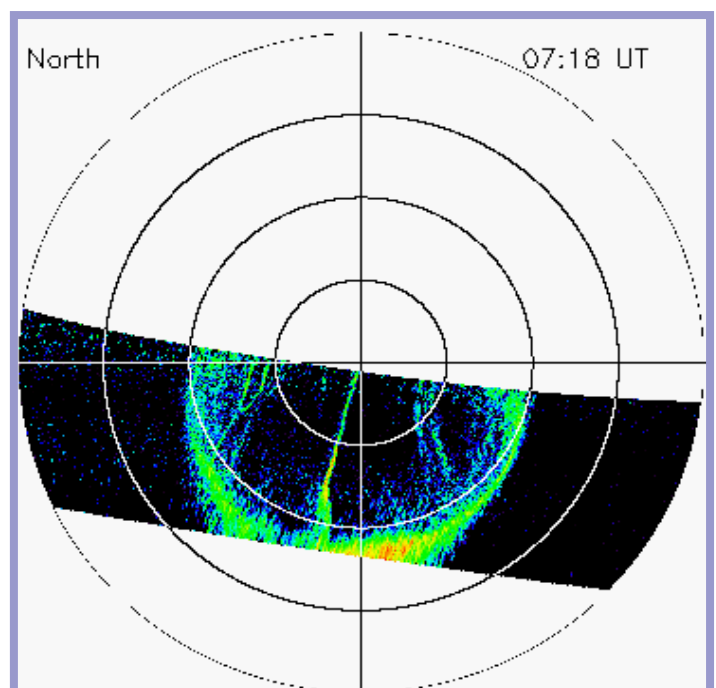
Pour comprendre les processus à la base des émissions aurorales, on peut s'imaginer le principe gouvernant les émissions lumineuses dans les tubes cathodiques des téléviseurs: l'ionosphère terrestre joue le rôle d'écran bombardé par des faisceaux d'électrons accélérés dans la magnétosphère terrestre. L'origine des processus d'accélération électronique dans la magnétosphère n'étant pas encore entièrement établie, nous essayons, ici à l'IASB, de comprendre ces processus. En particulier, nous cherchons à identifier les générateurs qui sont à l'origine des aurores polaires et à déterminer comment ils se couplent à l'ionosphère et au vent solaire. Pour cela nous faisons appel à la modélisation et utilisons des données, soit optiques soit mesurés in-situ par des satellites (voir Figure 1).

Figure 1: Représentation des principaux moyens de mesure utilisés à l'IASB pour l'étude des aurores polaires.



Nous nous sommes intéressés à un type particulier d'arc auroral discret à très haute latitude ; les arcs polaires qui apparaissent pendant des périodes de faible activité géomagnétique (Figure 2). Nous avons effectué une analyse statistique de leurs propriétés en utilisant les données des satellites Cluster de l'Agence Spatiale Européenne [Maggiolo et al. 2010]. Il s'agit de la première étude détaillée des arcs transpolaires effectuée à si haute altitude. Nous avons caractérisé leurs dimensions, leur orientation, l'énergie des particules et le lien entre leur apparition et les propriétés du vent solaire. Nous avons aussi montré que près de la moitié d'entre eux sont associés à la présence de nuages de plasma dans la queue magnétosphérique. Ces résultats constituent un pas important pour identifier les mécanismes, toujours inconnus, qui génèrent ces arcs. Nous continuons l'étude de ces structures en combinant les données de satellites Cluster aux données de satellites DMSP, lancés par la NASA, ainsi qu'aux modèles auroraux développés à l'IASB. Ce type d'étude combinée nous a permis de mettre en évidence un mécanisme à l'origine d'arcs auroraux discrets. Deux études, confrontant les données Cluster et DMSP avec notre modèle, ont montré que les discontinuités de plasma au sein de la magnétosphère génèrent une force électromotrice pouvant donner naissance à des arcs auroraux discrets [Echim et al. 2009, De Keyser et al. 2010]. Les travaux de modélisation se poursuivent afin de caractériser l'influence des paramètres des discontinuités sur les arcs auroraux.

Figure 2 : Image partielle de l'ionosphère polaire dans l'hémisphère Nord obtenue par le satellite DMSP à la longueur d'onde de 1356 Å. On distingue une partie de l'ovale auroral et au niveau de la calotte polaire, plusieurs arcs polaires.



Enfin, nous utilisons aussi des mesures optiques effectuées au sol par les caméras du réseau ALIS. À partir des images obtenues simultanément par plusieurs stations et en utilisant des

techniques de tomographie, nous pouvons reconstruire les émissions en trois dimensions des aurores dans plusieurs longueurs d'onde. Grâce à l'étude de l'émission de la raie bleue, nous pouvons remonter aux paramètres physiques des électrons précipitant dans l'atmosphère. Des campagnes de mesures ont été effectuées à Kiruna et à Tromsø en mars 2008 et décembre 2009. De plus, nous faisons partie d'une collaboration internationale (expérience POLARLIS) qui cherche à caractériser l'état de polarisation des raies d'émissions. Des mesures coordonnées radars-optique-polarisation ont d'ailleurs été menées en décembre 2009.

Références :

Maggiolo, R., M. Echim, D. Fontaine, A. Teste, J. De Keyser C. Jacquey, Locally accelerated ion beams above the polar caps: Cluster statistical results. In preparation.

De Keyser, J., R. Maggiolo, and M. Echim. Parallel and perpendicular energization in polar cap boundary arcs. Geophys. Res. Lett., In preparation.

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, GRL, 2009.

1.1.2. Etude du vent solaire:

1.1.2.1. L'environnement spatial des planètes

Le Soleil nous procure lumière et chaleur, ce qui rend d'ailleurs la vie possible sur Terre. Il détermine aussi l'environnement spatial dans lequel baignent les planètes, comètes et autres objets célestes du système solaire. Il est donc important de déterminer les caractéristiques du vent solaire, c'est-à-dire le flux de particules s'échappant en permanence de la couronne solaire. Ceci est essentiel pour voyager dans l'espace, mais aussi pour mieux comprendre les mécanismes d'accélération de ces particules (Pierrard and Voitenko, 2010). Le vent solaire est un grand laboratoire pour l'étude du comportement des particules chargées formant les plasmas, il prend sa source dans la couronne solaire et c'est pourquoi nous étudions également cette région (Copil et al, 2009) ainsi que les régions plus basses de l'atmosphère solaire telles que la chromosphère (Gogoberidze et al. 2009). Heureusement pour nous, la Terre possède un champ magnétique qui dévie la plupart des particules chargées du vent solaire. Certaines d'entre elles parviennent néanmoins à pénétrer dans l'atmosphère, où elles provoquent, par exemple, les aurores polaires mais aussi d'autres perturbations au niveau de l'environnement spatial terrestre.

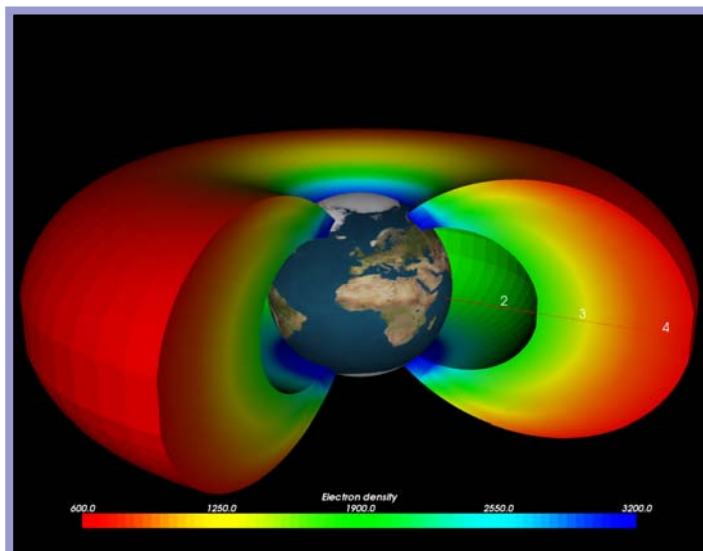
1.1.2.2. L'environnement spatial de la Terre

L'influence du vent solaire sur l'environnement spatial de la Terre est le sujet fondamental des travaux de recherches du groupe de Physique spatiale, à l'IASB. Ce sujet a fait l'objet d'un livre (Pierrard, 2010a) rédigé à l'intention des étudiants du cours de physique de la haute atmosphère et de l'espace, mais dont certains chapitres peuvent également servir d'introduction pour le grand public. Ce livre résume les principaux mécanismes qui interviennent dans les plasmas spatiaux et dans l'atmosphère terrestre. Il présente également les différentes régions de la magnétosphère, telles que les ceintures de radiations de Van Allen, par exemple. Ces régions des ceintures de radiations sont peuplées de particules de haute énergie piégées dans le champ magnétique terrestre. Elles représentent un certain danger pour les satellites et pour les instruments embarqués. Lors des orages magnétiques créés par des perturbations d'origine solaire, ces flux augmentent de façon brutale. Les temps de décroissance des flux d'électrons ont été évalués sur base d'observations des satellites SAC-C et DEMETER (Benck et al., 2010). Une autre région de la magnétosphère interne est la plasmasphère : elle contient du plasma froid d'origine ionosphérique. Cette région a été particulièrement étudiée à l'IASB en 2009 (De Keyser et al., 2009). Les satellites des missions CLUSTER et IMAGE, lancés en 2000, ont permis d'améliorer nos connaissances de la plasmasphère et ont mené à la publication d'un livre résumant les toutes dernières découvertes en la matière [Darrouzet, De Keyser and Pierrard, 2009]. Des articles de revue concernant les progrès récents des modèles physiques de la plasmasphère (Pierrard et al., 2009), ainsi que des modèles empiriques basés sur des observations (Reinisch et al., 2009) ont également été publiés. Ces derniers expliquent comment la densité des particules dans la plasmasphère et la position de la plasmopause (limite extérieure de cette plasmasphère) varient en fonction de l'activité géomagnétique.

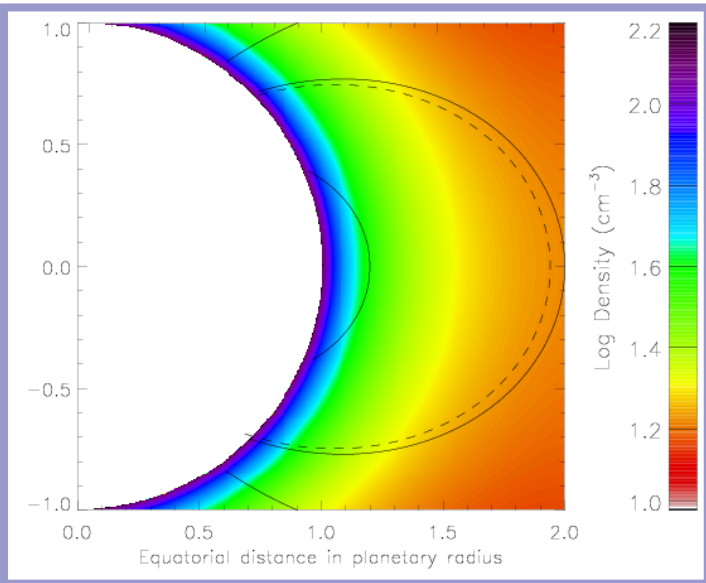
Figure 3: Le modèle dynamique tri-dimensionnel de la plasmasphère développé par Pierrard and Stegen (2008).

1.1.2.3. L'environnement spatial de Jupiter et Saturne

Toutes les planètes qui ont un champ magnétique interne ont également une magnétosphère, qui correspond à la région de



l'espace contrôlée par le champ magnétique de la planète. Le plasma qu'elle contient est en majeure partie originaire de la planète elle-même ou de certains de ses satellites, comme c'est le cas pour « Io » dans la magnétosphère de Jupiter. Le développement de modèles cinétiques a permis d'étudier la distribution du plasma dans différents types d'environnements spatiaux (Pierrard, 2010b). L'environnement spatial des planètes Saturne et Jupiter a été particulièrement étudié cette année (Pierrard, 2009) car la comparaison entre les magnétosphères planétaires apportent de précieux renseignements sur l'influence que peut avoir la taille de la planète, sa masse, sa vitesse de rotation, l'intensité de son champ magnétique, sa température, la composition de son atmosphère, la présence de satellites naturels, etc. La Figure 2 illustre une carte à deux dimensions de la distribution de la densité



des électrons dans la plasmasphère de Saturne, obtenue à l'aide d'un modèle cinétique développé à l'IASB. L'environnement spatial de cette planète a été récemment exploré par la sonde Cassini. Les modèles cinétiques de Jupiter et de Saturne ont permis de montrer que le vent polaire s'échappant de ces planètes géantes est loin d'être négligeable, du fait de la présence de particules de haute énergie qui sont souvent observées dans les plasmas spatiaux.

Figure 4: Exemple de distribution de la densité des électrons obtenue dans la plasmasphère de Jupiter avec le modèle cinétique (Pierrard, 2009).

Références Peer reviewed Publications 2009:

S. Benck; L. Mazzino; M. Cyamukungu; J. Cabrera; V. Pierrard, Low altitude energetic electron lifetimes after enhanced magnetic activity, accepted in *Annales Geoph.*, 2010.

Copil, P.; Voitenko, Y.; Goossens, M. Torsional Alfvén waves in small scale current threads of the solar corona, *Astronomy and Astrophysics*, Volume 510, id.A17, 2009.

Darrouzet F., J. De Keyser and V. Pierrard (Eds), *The Earth's plasmasphere: Cluster and IMAGE – A modern perspective*, Springer, 296p. 2009.

De Keyser J., F. Darrouzet and V. Pierrard, Foreword, *Space Sci Rev.* 145, 3-5, DOI 10.1007/s11214-009-9531-8, 2009.

Gogoberidze, G.; Voitenko, Y.; Poedts, S.; Goossens, M., Farley-Buneman Instability in the Solar Chromosphere, *The Astrophysical Journal Letters*, Volume 706, Issue 1, pp. L12-L16 (2009).

Pierrard V., A kinetic model for the exospheres of Jupiter and Saturn, *Planet. Space Sci.*, 57, 1260-1267, doi : 10.1016/j.pss.2009.04.011, 2009.

Pierrard V., *L'environnement spatial de la Terre*, Presses Universitaires de Louvain, 214 p., 2010a.

Pierrard V., The kinetic approach to model space weather, *Numerical Modeling of Space Plasma Flows*, Astronom2009 Proceedings, ASP Conference series, Vol. 406, 2010b.

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.

Pierrard V., and K. Stegen, A three dimensional dynamic kinetic model of the plasmasphere, *Journal Geophys. Res.*, 113, A10209, doi: 10.1029/2008ja013060, 2008.

Pierrard V. and Y. Voitenko, Velocity distributions and proton beam production in the solar wind, *Proc. Of Solar Wind 12 Conference*, St Malo (France), 2010.

Reinisch B. W., M. B. Moldwin, R. E. Denton, D. L. Gallagher, H. Matsui, V. Pierrard, and J. Tu, Augmented Empirical models of the plasmaspheric density and electric field using IMAGE and CLUSTER data, *Space Sci. Rev.*, 145, 231-261, doi: 10.1007/s11214-008-9481-6, 2009.

1.2. Chimie et physique des atmosphères :

1.2.1. Observations dans l'infrarouge :

1.2.1.1. Acceptation officielle par le réseau NDACC des mesures FTIR réalisées par l'IASB à l'île de La Réunion :

Le groupe « Observations de l'atmosphère et expériences connexes en laboratoire à l'aide de la spectrométrie infrarouge » réalise depuis 2002 des mesures de spectres d'absorption de la lumière solaire dans l'infrarouge à l'île de La Réunion, dans l'Océan Indien (21 °S, 55 °E). Ces spectres fournissent de précieuses informations sur les gaz présents dans l'atmosphère, comme par exemple leur concentration et leur distribution en fonction de l'altitude. Au départ, ces mesures ont été effectuées durant des campagnes en 2002, 2004 et 2007. Depuis mai 2009, l'instrument, un spectromètre à transformée de Fourier de haute résolution, travaillant dans l'infrarouge, est installé de manière permanente dans les locaux de l'université de Saint-Denis et livre des mesures quasiment en continu.

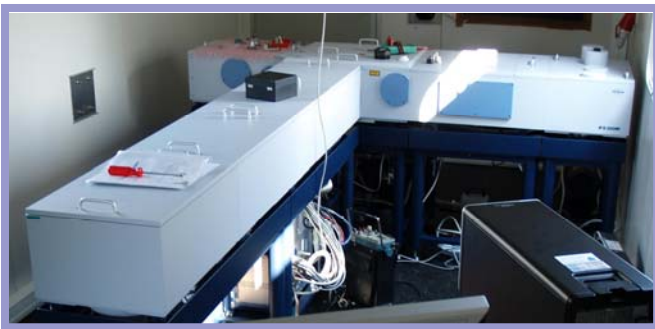


Figure 5: Spectromètre à transformée de Fourier (modèle IFS 125 HR), travaillant dans l'infrarouge et installé à l'île de La Réunion.

L'instrument de mesure est associé à un traqueur solaire (sun tracker) qui suit automatiquement le soleil le long de sa trajectoire dans le ciel et capte ainsi la lumière solaire vers le spectromètre. L'expérience comprend également une petite station météorologique, afin de stopper l'expérience lorsque les conditions météorologiques deviennent défavorables, en protégeant le traqueur solaire. D'un autre côté, cela permet aussi de vérifier les

conditions météorologiques par interprétation des spectres. L'ensemble de ces instruments, c'est-à-dire le spectromètre, le traqueur solaire et la station météo, est exploité à l'aide d'un logiciel appelé BARCOS qui fut développé en collaboration avec l'équipe d'ingénierie de l'IASB. BARCOS nous permet donc d'effectuer l'expérience en automatique et/ou de la contrôler à distance par Internet, par exemple depuis l'Institut installé à Uccle.

En septembre 2009, ces observations de la composition atmosphérique réalisées à l'île de La Réunion et utilisant la spectrométrie à transformée de Fourier « FTIR » (infrarouge) ont officiellement été reconnues par le Groupe de travail infrarouge ainsi que par le Comité directeur du Réseau de détection des changements dans l'atmosphère (NDACC; <http://www.ndacc.org>) qui les ont, dès lors, qualifiées de mesures à part entière de ce réseau. Une première série de mesures pour les principaux gaz en traces dans l'atmosphère (HCl, HF, CO, CH₄, N₂O) ont également été archivées dans les bases de données NDACC ([ftp.cpc.ncep.noaa.gov / NDACC](ftp.cpc.ncep.noaa.gov/NDACC)).

Il est utile de rappeler que depuis 1990, l'IASB contribue au réseau NDACC à l'aide de ses mesures de la composition atmosphérique basée sur la spectroscopie d'absorption optique différentielle (DOAS) dans l'ultraviolet ou dans la partie visible de la lumière à l'observatoire du Jungfraujoch (46,5° N, 8° E), situé dans les Alpes suisses. Plus tard, cette contribution s'est renforcée avec des expériences DOAS à Harestua (Norvège, 60° N, 11° E) et à l'Observatoire de Haute Provence (France, 43.5° N, 5.5° E).

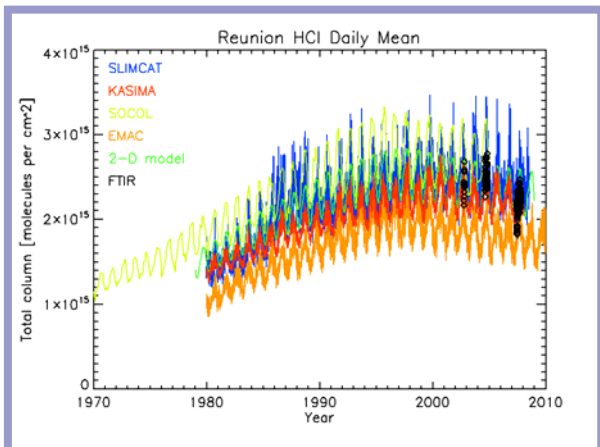
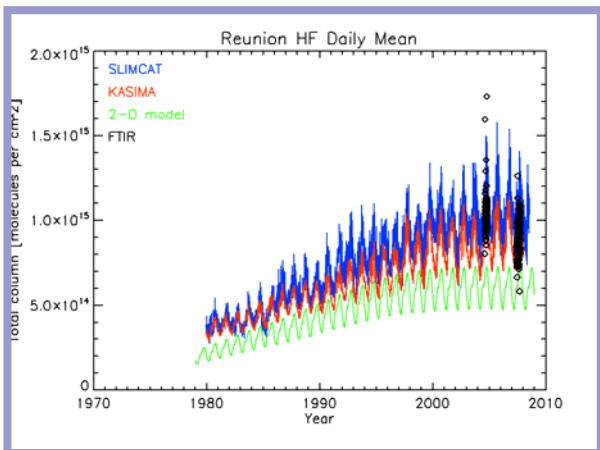
Quel est l'intérêt de ces observations NDACC dans les différentes stations? Les données recueillies contribuent aux objectifs du réseau: (1) étudier la variabilité, dans le temps et l'espace, de la composition atmosphérique ainsi que sa structure, (2) détecter rapidement et surveiller à long terme les changements observés dans l'état de l'atmosphère, (3) établir des liens entre les changements constatés de la couche d'ozone stratosphérique, la quantité de rayonnements UV atteignant la surface et les changements climatiques actuels, (4) fournir des données indépendantes pour l'étalonnage et la validation d'observations réalisées par satellite, tester les modèles numériques de l'atmosphère, et enfin (5) assurer un soutien des campagnes visant à réaliser des études spécifiques des processus atmosphériques.

Pourquoi réaliser spécifiquement ces mesures sur l'île de La Réunion? Cette île est située dans les régions subtropicales de l'hémisphère sud, zone dans laquelle s'effectuent peu de mesures. Ceci devrait donc nous aider à combler les lacunes du réseau. En outre, à la saison sèche, ce site maritime est soumis à la pollution des fumées résultant des combustions de la biomasse en provenance des pays d'Afrique, d'Amérique du Sud ou du continent asiatique. Cette pollution a été clairement mise en évidence dans nos observations, par exemple pour le CO, le formaldéhyde, l'éthane, l'acétylène, ... (Vigouroux et al, 2009).

Les résultats des observations FTIR menées à l'île de La Réunion ont déjà été utilisés, par exemple, pour valider les données satellitaires et les calculs de modélisation, entre autres pour divers produits de l'expérience satellitaire ACE/SCISAT (plusieurs articles dans le numéro spécial «Les résultats de validation pour l'expérience sur la chimie atmosphérique (ACE)», Eds. A. Richter & T. Wagner, Atmos. Chem. Phys., 2008), pour le méthane (CH₄) dans le projet européen HYMN (<http://www.knmi.nl/samenw/hymn>; Dils et al., en préparation, Sussmann et al, idem.) et pour le méthane (CH₄) et le monoxyde de carbone (CO) avec l'expérience satellitaire IASI / METOP-1 (Kerzenmacher et al., en préparation).

Les données pour le HCl et le HF contribuent également à une étude des tendances à long terme de ces deux composés à l'échelle mondiale (Ruhnke et al., en préparation). Elles interviennent dans une évaluation scientifique menée sous l'égide de l'OMM, à propos de l'appauvrissement de l'ozone. (Etude à paraître en 2010) Les figures ci-contre montrent la comparaison de nos mesures réalisées à l'île de La Réunion (en noir), respectivement pour les colonnes de densités du HCl et du HF, avec les

résultats d'un certain nombre de modèles 3D alliant transport et chimie (SLIMCAT, KASIMA), un modèle 2D et deux modèles alliant chimie et climat (SOCOL, EMAC). La première figure montre clairement l'augmentation de HCl jusqu'en 1998, suivie d'une diminution progressive. Pour le composé HF (deuxième figure), il semble que la concentration maximale ait été atteinte vers 2005; et on saura dans les prochaines années s'il y a ou non diminution de sa concentration. L'étude confirme la tendance pour le HCl à l'échelle mondiale. Pour le HF, par contre, il existe un moins bon accord entre les différentes stations, du fait que nous avons actuellement atteint un niveau maximum et que la réduction semble à peine commencer. L'étude montre cependant un bon accord qualitatif entre les observations et les modèles en termes de tendance générale.



Références

Dils et al., Validation of methane data products from chemistry transport models and SCIAMACHY satellite retrieval algorithms, using a quasi-global network of FTIR stations, in preparation.
 Kerzenmacher, T. et al., Validation of HNO₃, CO and CH₄ column amounts from IASI using ground-based FTIR data, in preparation
 Ruhnke, R., et al., Measured and simulated time evolution of HCl, ClONO₂, and HF total columns, in preparation.
 Sussmann, R., et al., Comparisons of FTIR methane observations with SCIAMACHY, in preparation

Vigouroux, C., F. Hendrick, T. Stavrakou, B. Dils, I. De Smedt, C. Hermans, A. Merlaud, F. Scolas, C. Senten, G. Vanhaelewyn, S. Fally, M. Carleer, J.-M. Metzger, J.-F. Müller, M. Van Roozendaal, and

M. De Mazière, Ground-based FTIR and MAX-DOAS observations of formaldehyde at Réunion Island and comparisons with satellite and model data, *Atmos. Chem. Phys. Disc.*, 9, 15891-15957, 2009.

1.2.1.2. Détermination et validation des concentrations de méthane (CH₄), monoxyde de carbone (CO) et acide nitrique (HNO₃) dans l'atmosphère terrestre à l'aide des spectres IASI.

Introduction

Le premier instrument IASI (Infrared Atmospheric Sounding Interferometer; <http://smc.cnes.fr/IASI/>) a été lancé en 2006 à bord du satellite METOP. Les deux prochaines missions METOP sont prévues pour 2012 et 2016, en vue de générer un ensemble de données homogènes sur une très longue période. IASI observe au nadir le rayonnement émis par la Terre et par l'atmosphère. À partir de ces spectres de mesures, on peut déduire les concentrations d'un large éventail de molécules différentes. Au sein de l'équipe «Observations de l'atmosphère et expériences de spectrométrie infrarouge en laboratoire», nous nous sommes consacrés en 2009 à (1) l'inversion des concentrations de CH₄, et (2) la validation des résultats IASI de CH₄, CO et HNO₃ en les comparant aux mesures effectuées à l'aide de spectromètres à transformée de Fourier (FTIR) depuis différentes stations au sol.

Détermination de profils de méthane à l'aide de spectres IASI

La détermination des profils verticaux de la concentration du CH₄ provenant de spectres IASI est effectuée par le code ASIMUT, développé à l'IASB. ASIMUT est un logiciel modulable conçu à la fois pour le calcul du transfert radiatif dans les atmosphères planétaires, et pour l'inversion de spectres atmosphériques de haute résolution. A partir de ces spectres, l'inversion permet de déduire la colonne totale ainsi que les profils de concentration verticale des constituants atmosphériques. Ces spectres peuvent soit provenir de différents instruments, soit être mesurés avec des géométries différentes. La « Méthode d'Estimation Optimale » ou la « Régularisation de Tikhonov » peuvent indifféremment être utilisées.

La détermination du méthane s'effectue en deux étapes. La première détermine la température de surface, le profil de H₂O et la colonne d'O₃. Dans la seconde, ces résultats sont utilisés pour déterminer le profil de CH₄ et la colonne de N₂O à partir des trois régions spectrales suivantes: 1175.5-1185.5, 1228.0-1238 et 1299.0-1309.0 cm⁻¹. Des informations complémentaires (comme les profils a priori) sont choisies de la même façon que celles utilisées par les stations FTIR individuelles afin de simplifier la validation.

La détermination des colonnes de HNO₃ et des profils de CO à partir des spectres IASI a été conjointement réalisée par

l'Université Libre de Bruxelles (ULB) et le laboratoire du CNRS français, LATMOS (Laboratoire Atmosphères, Milieux, Observations Spatiales) à l'aide des algorithmes FORLI-HNO₃ et FORLI-CO permettant de traiter jusqu'à 1,3 10⁶ spectres par jour.

Validation

Ces produits satellitaires ont été comparés à des données similaires obtenues à partir des mesures FTIR de spectres d'absorption solaire de Ny Alesund (Spitzberg), Kiruna (Suède), Bremen (Allemagne), Jungfraujoch (Suisse), Izaña (Tenerife), Saint-Denis (Ile de La Réunion) et Wollongong (Australie), tous membres du réseau NDACC (Network for the Detection of Atmospheric Composition Change; <http://www.ndacc.org>).

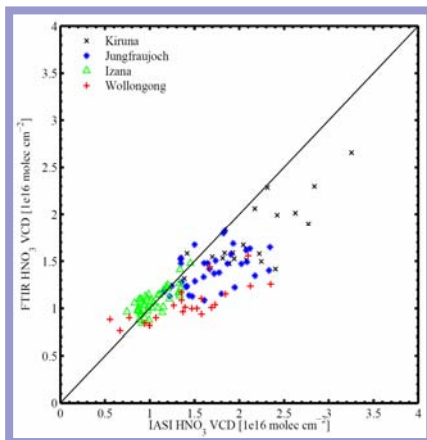


Figure 6. Corrélation entre les colonnes totales de concentration de HNO₃ obtenues depuis IASI et par les expériences au sol dans différentes stations, ceci après correction des éventuelles différences d'altitude.

Au cours d'une première étape, les mesures IASI sont réalisées au même moment que les mesures FTIR, et ceci dans un rayon de 100 km de la station sélectionnée. Toutefois, en raison d'une possibilité de différence significative de hauteur entre l'emplacement de la station au sol et le pixel IASI, une deuxième étape de correction de l'altitude est nécessaire. Cet ajustement s'effectue en fonction des données disponibles s'appuyant sur les données du profil, du modèle de données TM4 ou d'autres informations connues a priori.

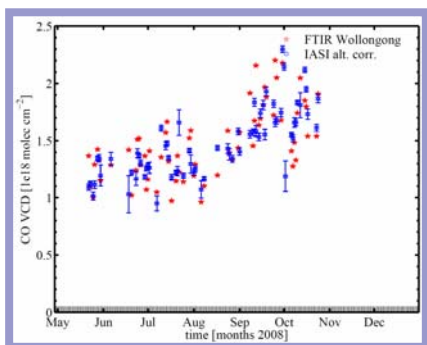


Figure 7. Séries temporelles de la colonne de concentration du CO au-dessus de Wollongong inversées de IASI (rouge) et de l'expérience FTIR au sol (bleu). La correction pour les éventuelles différences de hauteur a déjà été effectuée.

Pour le méthane, on tient également compte des sensibilités verticales respectives des différents instruments.

On note encore, pour la plupart des stations, des déviations significatives entre les produits satellitaires et les données des stations au sol, ce qui fait que les écarts des données IASI restent importants.

Cependant, les premiers résultats de validation sont particulièrement encourageants dans le sens où les différences entre les stations susmentionnées apparaissent clairement.

1.2.2. Observations par spectrométrie de masse

(En laboratoire et sur le terrain)

1.2.2.1. Mesures des flux de composés organiques volatils biogéniques issus d'une forêt mixte des Ardennes belges (Vielsalm).

La végétation terrestre est une source majeure de Composés Organiques Volatils Biogéniques (COVBs). La grande réactivité de la plupart des COVBs vis-à-vis des oxydants atmosphériques implique des effets importants sur la capacité oxydante de l'atmosphère. En présence de NO_x, l'oxydation des COVBs joue un rôle majeur dans la production nette d'ozone et contribue donc à la formation de composés organiques condensables, précurseurs des aérosols organiques secondaires, avec en conséquence, un impact significatif sur la qualité de l'air. Les émissions de COVBs augmentent exponentiellement avec la température, ce qui est susceptible d'avoir un impact important sur la composition atmosphérique et la qualité de l'air, et ce d'autant plus en raison des changements climatiques attendus. De plus, une augmentation des émissions de COVBs peut entraîner une augmentation indirecte des concentrations atmosphériques en méthane (en interférant dans la réaction avec les radicaux OH, puits majeur du méthane dans l'atmosphère), connu pour être un gaz à effet de serre, ce qui impliquerait un effet rétroactif positif sur le réchauffement climatique.

Figure 8: Photo d'une tour installée dans une forêt mixte des Ardennes belges, à Vielsalm.

Afin d'inclure les émissions de COVBs dans les modèles régionaux et globaux et ainsi d'estimer les impacts des modifications des émissions sur le climat et la qualité de l'air, il est nécessaire de définir correctement et de façon détaillée les algorithmes d'émission de COVBs (en considérant plusieurs paramètres environnementaux et écophysologiques). Les mesures à long terme

de flux de COVBs issus de différents écosystèmes permettent la validation et l'amélioration des algorithmes d'émission.

De juillet à mi-novembre 2009, une importante base de données composée des flux d'isoprène, de monoterpène, de méthanol, d'acétone et d'acétaldéhyde a été obtenue à partir de mesures dites de « disjunct eddy covariance » dans une forêt des Ardennes belges (Vielsalm). Le succès de cette campagne de terrain est le fruit de l'expérience conjointe de l'IASB, pour les mesures des concentrations en COVBs par PTR-MS, et de l'Unité de Physique des Biosystèmes de l'Université de Liège (Gembloux Agro-Bio Tech), pour les mesures de flux par « eddy covariance ». Ces expériences entrent dans le cadre du projet SSD IMPECVOC (Impact of Phenology and Environmental Conditions on the emission of Volatile Organic Compounds by forest ecosystems), financé par la Politique Scientifique Fédérale Belge. Les mesures *in situ* seront poursuivies pendant la saison de croissance de la végétation en 2010 (de mi-mars à mi-novembre).

Concrètement, les flux de COVBs ont été calculés à partir de mesures en ligne et à haute fréquence des concentrations en COVBs et des vitesses de vent dans les trois dimensions, obtenues en un point de l'espace située au-dessus de la canopée. Le site d'échantillonnage est accessible par une nouvelle tour de 50 m de haut installée au printemps 2009 (Figure 8). L'air prélevé est amené, par une ligne chauffée en Téflon PFA, au PTR-MS, situé dans une cabine au niveau du sol (Figure 9). L'instrumentation, et notamment sa calibration et la détermination du bruit de fond, est gérée à distance, ce qui assure une base de données de grande qualité avec un minimum de lacunes liées à d'éventuelles pannes instrumentales. La réussite de la campagne de mesure de 2009 à Vielsalm est également due à l'expérience préalablement acquise au cours d'une campagne de mesures effectuées dans la forêt de Gontrode au printemps 2008. L'analyse des données et leur interprétation est actuellement en cours.



Figure 9: Photo du PTR-MS installé dans la cabine

1.2.2.2. Mesures en laboratoire en vue de détecter des Composés Organiques Volatils Biogéniques (COVBs) par Spectrométrie de Masse avec Ionisation Chimique (CIMS)

La Spectrométrie de Masse à Ionisation Chimique (CIMS) est devenue un outil indispensable aux sciences atmosphériques et environnementales, pour la détection sensible et rapide de composés chimiques présents en traces. Améliorer la précision et la sélectivité des techniques CIMS existantes, telles que la SIFT-MS (Selected Ion Flow Tube Mass Spectrometry) et la PTR-MS (Proton Transfer Reaction Mass Spectrometry), requiert une étude approfondie de réactions ions/molécules spécifiques.



La mesure des émissions de COVBs issus de hêtres communs (*Fagus Sylvatica* L.), menée dans le cadre du projet IMPECVOC (2007-2008), a révélé la présence simultanée de monoterpènes et de linalool (un alcool monoterpénique biogénique) qui ne peuvent pas être distingués par les méthodes SIFT-MS et PTR-MS. Une partie des études effectuées en laboratoire en 2009 a donc porté sur cette problématique. Dans un premier temps, des spectres de masse du linalool et d'une série d'autres alcools biogéniques importants ont été acquis par PTR-MS. Les résultats ont montré des distributions des ions produits différentes en fonction des conditions instrumentales et environnementales. Bien qu'intéressantes, ces informations n'ont pas permis de conclure vis-à-vis du problème d'interférence entre linalool et monoterpène. Dans un second temps, des expériences ont été menées par FA-SIFT (Flowing Afterglow-SIFT). L'objectif était de déterminer si les clusters de l'éthanol protoné pouvaient être utilisés en tant qu'ions réactifs avec le linalool et les monoterpènes dans un instrument CIMS opérant à pression moyenne. Il a été démontré que les clusters d'ions d'ordres élevés réagissaient uniquement avec le linalool, ce qui est une première en termes d'avancée dans la différenciation entre les espèces organiques étudiées.

D'autres études ont aussi porté sur le développement de méthodes CIMS plus sélectives pour la quantification des COVBs. La détection sélective d'alcools insaturés en C₅ et de l'isoprène, par dissociation induite par collision (CID, Collision Induced Dissociation) des ions produits par CIMS (résultant des réactions entre les alcools ou l'isoprène et les ions précurseurs H₃O⁺ et O₂⁺) a ainsi été étudiée en détail. La CID a lieu dans une cellule de collision d'un FA-TMS (Flowing Afterglow - Tandem Mass Spectrometer). Les mesures ont révélé des spectres de dissociation identiques, mais certains groupes d'isomères d'alcools insaturés en C₅ peuvent être distingués en se basant sur les rapports d'intensité des fragments obtenus.

Références:

E. Joo, J. Dewulf, M. Demarcke, C. Amelynck, N. Schoon, J.-F. Müller, K. Steppe, H. Van Langenhove, "Quantification of biogenic volatile organic compounds from *Fagus Sylvatica* L. using PTR-MS and GC-MS technique", *Int. J. Mass Spectrom.* 291, 90-95, 2010.

M. Demarcke, C. Amelynck, N. Schoon, F. Dhooghe, J. Rimetz-Planchon, H. Van Langenhove, J. Dewulf, "Laboratory studies in support of the detection of biogenic unsaturated alcohols by proton transfer reaction mass spectrometry", *Int. J. Mass Spectrom.* 290, pp. 14-21, 2010.

F. Dhooghe, C. Amelynck, J. Rimetz-Planchon, N. Schoon, F. Vanhaecke, "FA-SIFT study of reactions of protonated water and ethanol clusters with α -pinene and linalool in view of their selective detection by CIMS", *Int. J. Mass Spectrom.* 290, 106-112, 2010.

J. Rimetz-Planchon, N. Schoon, C. Amelynck, F. Dhooghe, "Collision-induced dissociation in a flowing afterglow-tandem mass spectrometer for the selective detection of C₅ unsaturated alcohols and isoprene", *Int. J. Mass Spectrom.* 289, pp. 30-38, 2010.

1.2.3. Modélisation de la Chimie troposphérique.

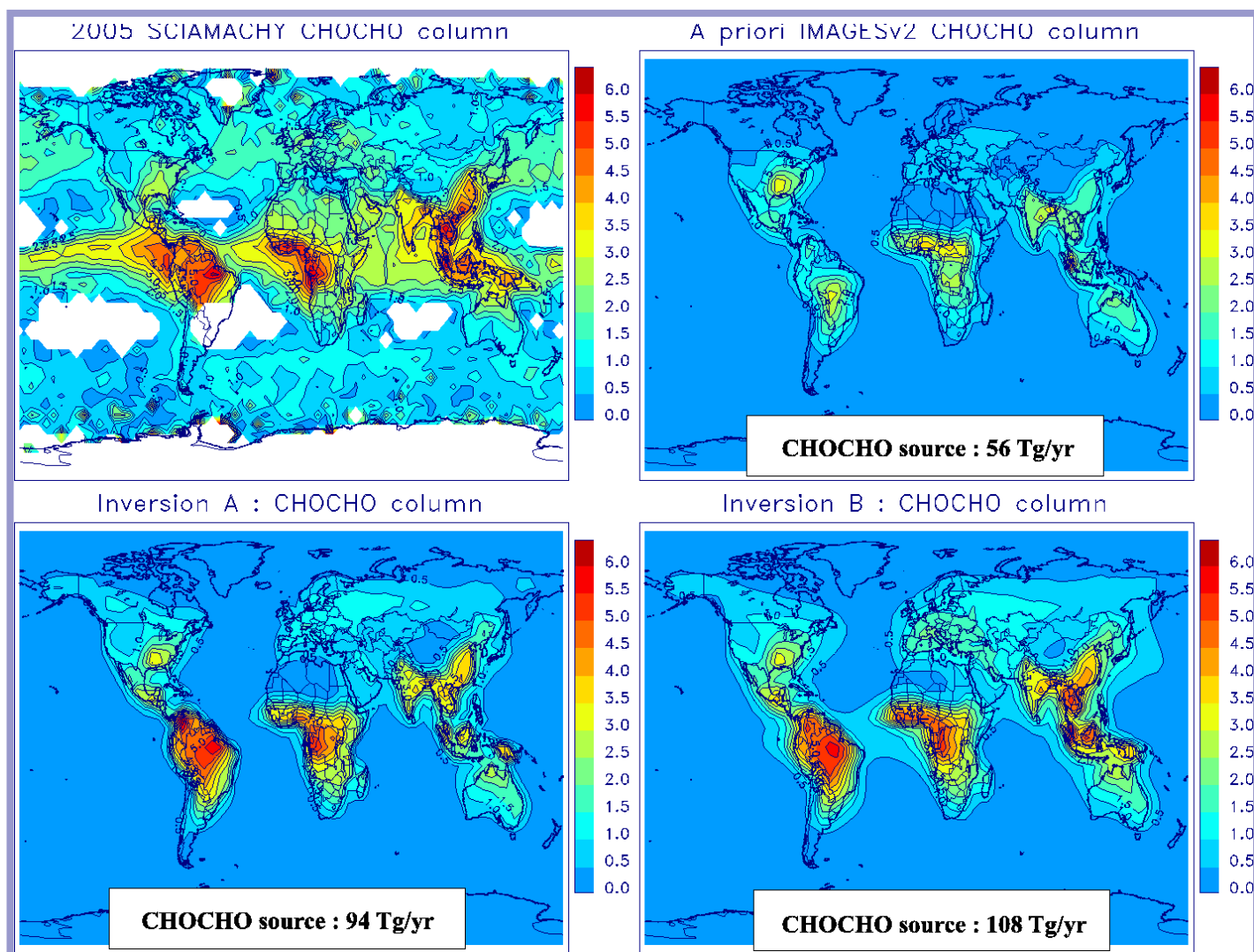
1.2.3.1. Quantification de la source continentale de glyoxal grâce à l'utilisation synergique des observations satellitaires et de la modélisation inverse.

Le glyoxal (CHOCHO) est le plus simple des dicarboxyles. Il est un produit stable formé par l'oxydation atmosphérique d'un grand nombre des composés organiques volatils (COVs) émis par la végétation, les feux et les activités anthropiques. Les premières observations satellitaires de glyoxal, réalisées par l'instrument SCIAMACHY à bord du satellite ENVISAT, suggèrent que l'oxydation des COVs d'origine biogénique dans les régions tropicales est une source très significative de glyoxal à l'échelle globale. Par ailleurs, il est aujourd'hui établi que le glyoxal joue un rôle important dans la formation d'aérosols organiques secondaires. Néanmoins, les études actuelles de modélisation globale, qui synthétisent les connaissances les plus récentes sur les sources et les puits de ce composé, sous-estiment d'un facteur deux à trois les colonnes verticales observées par satellite. De telles différences suggèrent ainsi l'existence d'une source supplémentaire de glyoxal qui n'aurait pas été prise en compte par les modèles atmosphériques globaux.

Notre étude, réalisée en collaboration avec l'Institut de Physique de l'Environnement de l'Université de Bremen, le Département de Chimie de l'Université de Crète, et le groupe UV-Vis DOAS de l'IASB, a permis de déterminer la distribution globale et la magnitude de la source de glyoxal manquante au-dessus des continents. Pour cela, nous avons utilisé en synergie des colonnes de formaldéhyde et de glyoxal observées par SCIAMACHY pour l'année 2005 avec un schéma de modélisation inverse pour les deux composés, basé sur le modèle IMAGESv2 (Muller et Stavrakou, 2005, Stavrakou et al. 2009a). Dans cette approche, l'information obtenue par inversion des colonnes de formaldéhyde est utilisée pour contraindre les sources de glyoxal, puisque les deux composés ont des précurseurs communs et sont chimiquement liés (Stavrakou et al., 2009b,c). Dans notre schéma d'inversion, les émissions primaires et secondaires de formaldéhyde et de glyoxal sont optimisées simultanément, de même qu'une source supplémentaire de glyoxal d'origine biogénique. Deux hypothèses ont été explorées. Dans la première (inversion A), la source supplémentaire correspond à une émission directe de glyoxal, tandis que, dans la seconde (inversion B), le glyoxal est un produit secondaire.

Figure 10: Moyennes annuelles des colonnes verticales de glyoxal observées par SCIAMACHY (en haut à gauche), simulées par le modèle IMAGESv2 a priori (en haut à droite), et optimisées par inversion de deux types : A et B, respectivement avec une source primaire supplémentaire de glyoxal (en bas à gauche) et une source secondaire supplémentaire (en bas à droite).

La comparaison entre les moyennes annuelles pour l'année 2005 des colonnes verticales de glyoxal observées par SCIAMACHY et celles simulées par le modèle avant et après optimisation, est illustrée à la figure 10. Les deux schémas d'inversion améliorent de façon significative l'accord entre le modèle et les données, tandis que l'inversion B fournit une meilleure concordance, y compris



au-dessus des océans. La source continentale de glyoxal, estimée a priori à 56 Tg/an, est presque doublée a posteriori, ce qui signifie que la source manquante de glyoxal est au moins aussi grande en termes de quantité que la source de glyoxal provenant des sources actuellement identifiées. Par ailleurs, la validation des résultats, grâce à des mesures de glyoxal au niveau du sol, suggère que la source manquante de glyoxal est d'origine secondaire.

Références:

Müller, J.-F. and T. Stavrakou, Inversion of CO and NO_x emissions using the adjoint of the IMAGES model, *Atmos. Chem. Phys.*, 5, 1157-1186, 2005.

De Smedt, I., J.-F. Müller, T. Stavrakou, R. van der A, H. Eskes, and M. van Roozendael, Twelve years of global observations of formaldehyde in the troposphere using GOME and SCIAMACHY sensors, *Atmos. Chem. Phys.*, 8, 4947-4963, 2008.

Stavrakou, T., J.-F. Müller, I. De Smedt, M. Van Roozendael, M. Kanakidou, M. Vrekoussis, F. Wittrock, A. Richter, and J.P. Burrows, The continental source of glyoxal estimated by the synergistic use of spaceborne measurements and inverse modelling, *Atmos. Chem. Phys.*, 9, 8431-8446, 2009a.

Stavrakou, T., J.-F. Müller, I. De Smedt, M. Van Roozendael, G. R. van der Werf, L. Giglio, and A. Guenther, Evaluating the performance of pyrogenic and biogenic emission inventories against one decade of space-based formaldehyde

columns, Atmos. Chem. Phys., 9, 1037-1060, 2009b.

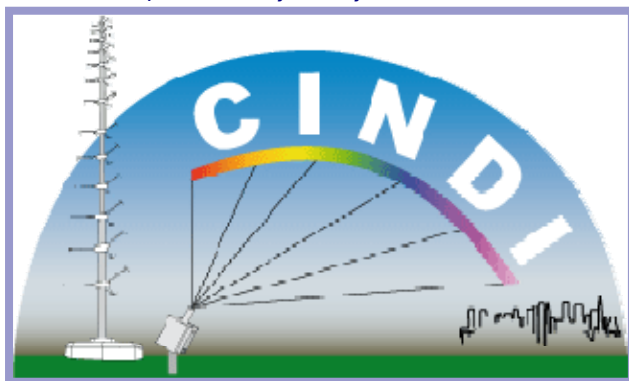
Stavrakou, T., J.-F. Müller, I. De Smedt, M. Van Roozendaal, G. R. van der Werf, L. Giglio, and A. Guenther, Global emissions of non-methane hydrocarbons deduced from SCIAMACHY formaldehyde columns through 2003-2006, Atmos. Chem. Phys., 9, 3663-3679, 2009c.

1.2.4. Observations dans l'UV-Visible:

1.2.4.1. La campagne CINDI à Cabauw (Pays-Bas)

L'objectif principal de la campagne CINDI qui s'est déroulée à Cabauw au Pays-Bas pendant l'été 2009 était d'intercomparer les instruments de mesure pouvant être utilisés pour valider l'observation du dioxyde d'azote (NO₂) troposphérique à partir de satellites. De nombreux instruments de différents types y ont participé. La campagne a permis de mieux apprécier la précision des techniques existantes pour la mesure des colonnes et des profils de concentration du NO₂ dans la basse troposphère. Les résultats obtenus, toujours en cours d'analyse, devraient permettre de déboucher sur de nombreuses publications scientifiques et contribuer à renforcer les moyens existants pour la surveillance de la qualité de l'air à partir du sol et depuis l'espace.

Pendant la période de juin à juillet 2009, les chercheurs de l'IASB participèrent à une campagne d'observation de grande



envergure se déroulant sur le site de Cabauw, un observatoire météorologique situé à 30 km au sud de la ville d'Utrecht aux Pays-Bas. Sponsorisée par plusieurs organisations internationales telles que l'ESA, la NASA, l'Union Européenne (via le projet GeoMON), le CEOS et le NDACC, la campagne CINDI (Cabauw Intercomparison Campaign of Nitrogen Dioxide measuring Instruments) avait pour objectif de rassembler un grand nombre de groupes de recherche concernés par la mesure de polluants atmosphériques tels que le dioxyde d'azote (NO₂), une molécule impliquée dans la formation du smog photochimique et des pluies acides. Au total, plus de 30 instruments permettant la mesure des concentrations du NO₂ et de sa distribution verticale, furent mis en œuvre en vue de constituer une base de

données de référence pour la validation d'instruments satellitaires tels que GOME, SCIAMACHY, OMI et GOME-2. La figure 11 montre un aperçu des instruments installés sur le site de Cabauw, dans des containers spécialement aménagés à cet effet par l'Institut Royal Météorologique Néerlandais (KNMI).

En tant qu'experts internationalement reconnus dans le domaine de la mesure satellitaire et des techniques d'observation au sol, les chercheurs de l'IASB contribuèrent largement à cette campagne, tant via leurs observations à l'aide de deux instruments MAXDOAS développés à l'institut, que par leur implication dans l'organisation et la coordination scientifique de l'événement. Parmi les différentes activités engagées, on comptait un exercice formel d'intercomparaison dont le but était de vérifier la bonne cohérence des mesures effectuées, en accord avec les règles édictées par le réseau international NDACC (Network for the Detection of Atmospheric Composition Change - www.ndacc.org). Par ailleurs, la présence de chercheurs issus de 17 institutions émanant de quatre continents différents, a conduit à fédérer les expertises au profit de l'amélioration des techniques d'observation et des méthodes d'analyse numérique. Si la campagne se focalisait principalement sur le NO₂, d'autres espèces furent également observées tels que le formaldéhyde, le glyoxal, le dioxyde de soufre, l'ozone, les aérosols, etc. Une autre priorité, rendue possible par le grand nombre d'instruments rassemblés, était d'effectuer des observations de la variabilité horizontale des champs de polluant aux alentours du site de mesure, un élément clé pour mieux appréhender la cohérence des mesures au sol avec les données satellitaires.

Au terme des observations poursuivies jusque fin juillet 2009, la campagne se conclut par un workshop tenu au KNMI à Utrecht. Cette réunion offrit l'occasion de discuter les premiers résultats de la campagne, mais surtout de planifier l'analyse ultérieure des données en vue de déboucher sur de nombreuses publications qui seront rassemblées dans une édition spéciale du journal AMT (Atmospheric Measurement Techniques). Par ailleurs, une session spéciale consacrée aux résultats de la campagne fut organisée lors de l'assemblée générale 2010 de l'Union Européenne de Géophysique. De plus amples informations sur la campagne CINDI sont disponibles sur le site web suivant: www.knmi.nl/samenw/cindi.

Figure 11: Vue d'ensemble des instruments mis en œuvre lors de la campagne CINDI sur le site météorologique de Cabauw au Pays-Bas. La tour d'observation, d'une hauteur totale de 213 m, fut utilisée pour effectuer des mesures de référence à différentes altitudes.

1.2.4.2. La mission Earth Challenge à l'aide de l'ULM-DOAS

L'expédition « Earth Challenge », visant à rallier l'Australie à la Belgique en ULM, a été l'occasion pour l'IASB d'expérimenter un



nouvel instrument de télédétection, l'ULM-DOAS. Durant les vols, cet instrument a mesuré la concentration en dioxyde d'azote (NO_2), un polluant atmosphérique majeur notamment impliqué dans la formation du smog photochimique urbain et les pluies acides. Les données récoltées couvrent les régions intertropicales pour lesquelles peu d'information sur la pollution sont actuellement disponibles, et permettront de contribuer à la validation des observations satellitaires du NO_2 .

Pendant l'année 2009, une équipe de 7 pilotes – le team « *Earth Challenge* » - a rallié l'Australie à la Belgique à bord de quatre ULMs. Outre le caractère inédit d'une telle expédition, l'objectif était de sensibiliser le public belge aux problématiques environnementales en rencontrant tout au long du trajet les populations particulièrement concernées, ainsi qu'en

documentant les régions naturelles menacées et les métropoles polluées (voir www.earthchallenge.be). Le groupe UV-Visible de l'IASB s'est investi dans ce projet en réalisant des mesures de dioxyde d'azote (NO_2) à l'aide d'un instrument développé spécialement à cet effet: l'ULM-DOAS. La concentration du NO_2 est l'un des principaux indicateurs de la qualité de l'air. Elle est généralement bien surveillée dans les régions peuplées d'Europe ou d'Amérique du Nord dans lesquelles de nombreux réseaux de surveillance de la qualité de l'air, utilisant des techniques *in-situ*, sont opérationnels. De telles mesures sont cependant peu abondantes voir inexistantes dans les régions moins développées de la planète. Complémentaires aux réseaux sol, les mesures effectuées depuis l'espace à l'aide de senseurs optiques tels que OMI et GOME-2, permettent de couvrir l'ensemble de la planète. Cependant les résolutions spatiale et temporelle de ces mesures restent pour l'instant limitées et les sources d'erreurs sont donc importantes. Les mesures à partir d'ULM, telles que proposées dans le cadre du projet « *Earth Challenge* », devraient permettre d'améliorer la connaissance de la distribution spatiale du NO_2 dans les zones où peu de données sol sont disponibles, ce qui contribuera finalement à la vérification des données satellitaires dans ces régions.

Figure 12: L'instrument ULM-DOAS avec son boîtier construit à l'atelier de mécanique de l'IASB. De la fibre optique permet de transmettre la lumière solaire à l'unité de mesure spectrométrique et un GPS est prévu pour la géolocalisation.

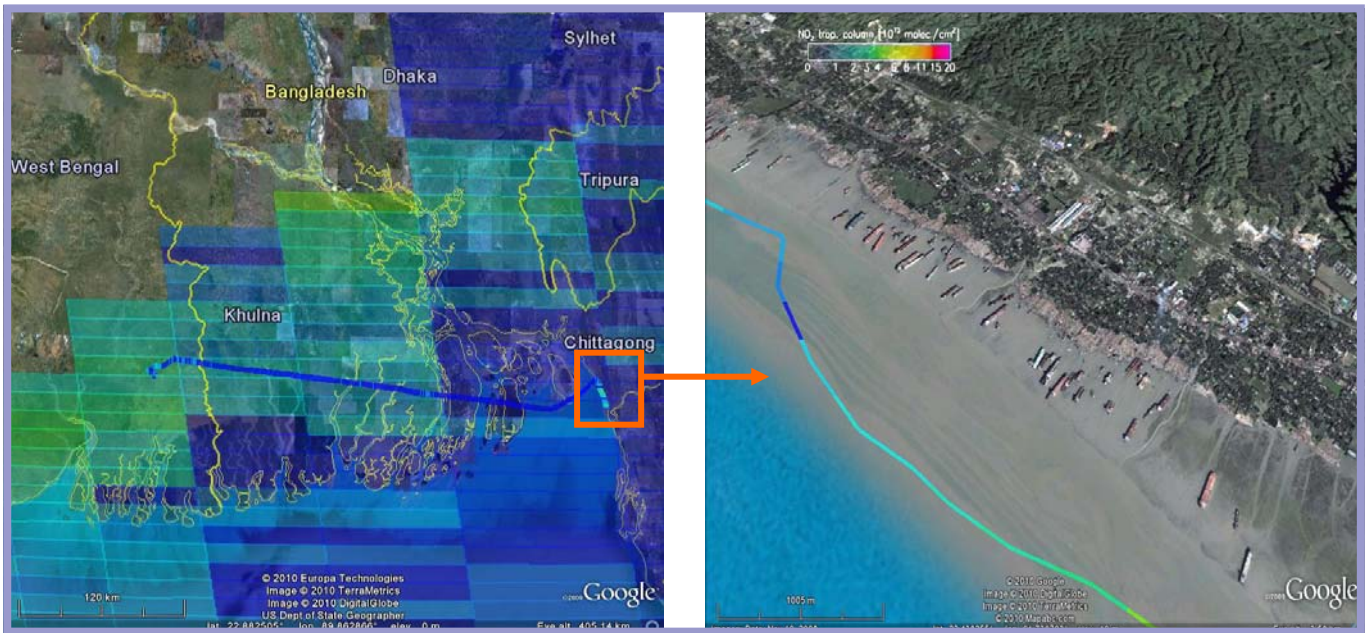


L'instrument développé à l'IASB pour *Earth Challenge* et baptisé ULM-DOAS repose sur l'utilisation d'une technique de télédétection (ou mesure à distance) basée sur la spectroscopie d'absorption optique. Il se compose d'un spectrographe à réseau de diffraction compact, léger et robuste commercialisé par la société Avantes®. Une fibre optique, fixée sous l'aile de l'ULM, transmet la lumière solaire à un boîtier contenant le spectrographe et un micro-ordinateur de contrôle (voir figure 12). Ce dernier assure le pilotage de l'expérience et le traitement des données en temps réel. Un GPS permet le géoréférencement des

mesures.

Grâce aux observations ULM-DOAS et au partenariat avec l'IASB, la mission *Earth Challenge* s'est dotée d'un volet scientifique. Les mesures effectuées présentent une résolution spatiale plus fine que les données satellitaires disponibles et couvrent des régions où les stations de mesure au sol sont inexistantes. Un exemple de résultat obtenu lors du survol du cimetière de bateaux de Chittagong au Bangladesh est illustré dans la figure 13. L'expérience de l'IASB dans l'analyse des données satellitaires et la modélisation atmosphérique permettra d'optimiser l'exploitation scientifique du projet, en valorisant la synergie entre les mesures effectuées en ULM, au sol et à partir des satellites.

Figure 13: Mesures de NO_2 effectuées lors du survol du Bangladesh le 24 novembre 2009, en particulier au voisinage du cimetière de bateaux de Chittagong (image de droite). Sur l'image de gauche, les données de l'instrument OMI sont superposées au trajet



1.2.5. Recherche pour l'exploitation intégrée / synergique de données atmosphériques: Développements scientifiques pour l'usage intégré de mesures complémentaires à la composition atmosphérique

Les recherches sur la chimie atmosphérique et le climat nécessitent des mesures précises sur l'ozone, la vapeur d'eau et les autres gaz en trace depuis le sol jusqu'à la mésosphère, sur toute une série d'échelles géographiques allant des régions sources localisées à l'atmosphère globale. Les dossiers reprenant les données d'observation doivent également comprendre différents échantillonnages et portées au niveau temporel, depuis des échantillonnages intrajournaliers, permettant d'étudier les cycles diurnes, jusqu'aux portées décennales, nécessaires pour la détection de changements subtils dans la composition atmosphérique et leur lien avec le climat. Elles doivent également inclure les différentes tendances causées par les hommes ainsi que la variabilité naturelle associée au cycle solaire, aux saisons et aux autres événements cycliques (par exemple, l'oscillation quasi-biennale). Il est évident qu'aucune technique de mesure peut à elle seule remplir toutes les conditions d'observation : la plage de mesure, l'échantillonnage et la résolution dans les dimensions verticales, horizontales et temporelles ainsi que la variété des espèces mesurables sont déterminés par le type d'observation (par exemple, in situ ou télédétection), le domaine spectral (depuis les domaines ultraviolet et visible jusqu'aux infrarouges et microondes), la source de lumière (le soleil, l'émission atmosphérique, les étoiles), la géométrie de l'observation (par exemple, nadir et limbe) et l'inclinaison orbitale (polaire, géostationnaire etc.)

La figure suivante donne un aperçu des informations accessibles sur la composition atmosphérique grâce à des systèmes de mesure typiques opérant à partir du sol, de ballons et de satellites. Il est clair que chaque système de mesure permet d'obtenir différentes informations sur la composition atmosphérique et le climat. L'un des principaux objectifs de la recherche actuelle ambitionné par l'équipe SYNERGIES à l'IASB est le développement de synergies adéquates entre divers systèmes de mesure afin de profiter au mieux de leurs complémentarités potentielles. Elle offre un soutien scientifique à l'implémentation du *Système mondial des systèmes d'observation de la Terre* (GEOSS) et à sa contribution européenne, le *Global Monitoring for Environment and Security* (GMES).

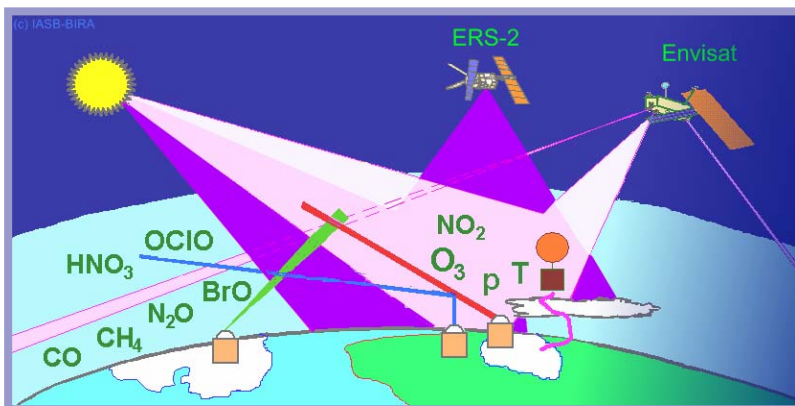


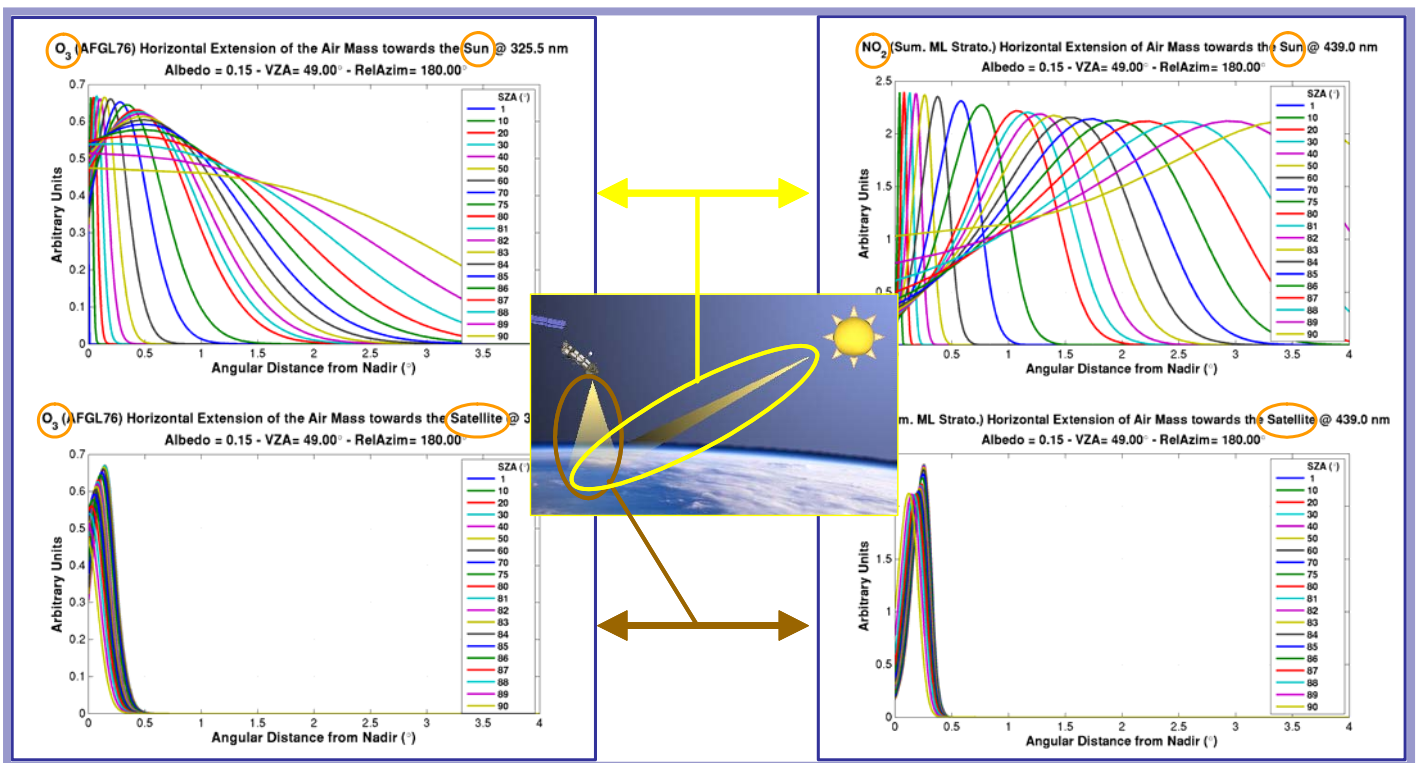
Figure 14: Représentation schématique de la masse d'air sondée par satellite (les zones pourpre et roses) mesurant le rayonnement quittant l'atmosphère tangentiellement (observation en visée au limbe) et à son nadir. La masse d'air est également sondée par des spectromètres au sol dans l'ultraviolet visible (ligne bleue brisée) et dans l'infrarouge (ligne rouge épaisse vers le soleil), par un radiomètre à ondes millimétriques (zone verte) et par une sonde électrochimique sur un ballon (trait rose).

Parmi les principales performances de 2009, on compte une caractérisation tridimensionnelle (propriétés de la portée, de l'échantillonnage et du lissage) des informations atmosphériques récupérables à partir (i) des mesures en émission infrarouge au limbe par MIPAS (à bord d'Envisat depuis avril 2002), (ii) des mesures ultraviolet visible au nadir par GOME (ERS-2 depuis 1995), SCIAMACHY (Envisat depuis 2002) et GOME-2 (MetOp-A depuis 2007), illustré dans le paragraphe suivant, et (iii) des mesures

ultraviolet visible par dispersion de la lumière au limbe par SCIAMACHY et OSIRIS (Odin depuis 2001).

La figure 16 illustre l'étendue horizontale des données prises par GOME-2 sur l'ozone atmosphérique (O₃), une variable climatique importante, et sur le dioxyde d'azote (NO₂), un gaz en traces contrôlant l'abondance d'ozone. L'information obtenue par les capteurs en observation nadir est intégrée dans deux trajets optiques consécutifs : du soleil au diffuseur (diffusion optique du rayonnement solaire par les molécules d'air, les nuages et les particules vers le satellite) et du diffuseur au satellite. À des angles proches de la direction nadirale (soleil au zénith et le satellite dirigé vers le rayonnement diffus au nadir), les informations se concentrent au niveau spatial sur 10 kilomètres à peine (angle solide < 0,5 degré), ce qui donne une limite plus basse à la résolution horizontale réalisable par des capteurs mesurant la lumière diffuse ultraviolette visible. À des angles plus larges (soleil bas sur l'horizon et les angles de vue du satellite dans une direction nadirale stricte), les informations mesurées réellement peuvent être prises sur plusieurs centaines de kilomètres. En raison de cette grande sensibilité à l'angle zénithal du soleil, la résolution effective réalisable par un satellite au nadir varie en fonction de la latitude et de la saison, deux paramètres déterminant l'élévation du soleil. La résolution effective dépend également de l'angle de vue du satellite, et par conséquent varie progressivement entre la partie orientale et la partie occidentale du couloir d'observation au nadir. Des exemples sont présentés dans la figure 16.

Figure 15: Étendue horizontale (en abscisses, donné en unités angulaires par rapport à la direction nadirale) des observations de GOME-2 de l'ozone (à gauche) et du dioxyde d'azote (à droite) en fonction de l'angle zénithal du soleil (code de couleurs), pour le trajet optique du soleil au diffuseur (représentation graphique supérieure) et du diffuseur au satellite (représentation graphique inférieure).



L'amélioration et l'harmonisation continues des données acquises par des filières de satellites avec des perspectives à long terme est une activité de longue haleine. En 2009, plusieurs mises à niveau de processeurs pour l'extraction de colonnes atmosphériques d'ozone et de dioxyde d'azote ont été testées et un retraitement des données de colonnes plus homogènes à partir de 1995 est en cours. L'équipe a également effectué l'analyse systématique de données de la courbe d'ozone acquises par dix limbosondeurs entre 1984 et 2008, avec pour objectif l'identification des plages d'altitude et de latitude où la cohérence des mesures suffit pour combiner les données dans le cadre d'études sur le changement climatique, et des plages où la cohérence des mesures reste un problème. En particulier, les interférences avec les aérosols et les nuages limitent l'accès au limbosondage pour affiner les informations sur la haute troposphère et la basse stratosphère, ce qui constitue un centre d'intérêt pour la recherche sur le climat. Par conséquent, sous une certaine latitude, généralement variant entre 10 et 20 km, la qualité des profils individuels peut changer de manière significative. Au dessus de cette altitude, les courbes d'ozone sont en accord statistiquement avec les données du réseau de référence au sol et des autres satellites. La figure 17 présente une estimation de l'altitude limite respective de neuf limbosondeurs. L'altitude limite varierait en fonction de la latitude – suivant vraisemblablement la variation méridienne de la hauteur de la tropopause, de 8 km dans l'Arctique jusqu'à 18 km à basses latitudes. Elle varie également essentiellement en fonction de la technique d'observation et de sa source de rayonnement : elle est au plus bas (de 5 à 15 km) pour les microondes et l'infrarouge (MLS, MIPAS, ACE-FTS) et au plus haut (de 15 à 20 km) pour la diffusion ultraviolette visible (SCIAMACHY) et l'occultation d'étoiles (GOMOS). Dans le cas de l'occultation d'étoiles, la scintillation atmosphérique, qui augmente au fur et à mesure que l'atmosphère devient dense, vient s'ajouter aux perturbations du transfert radiatif causées par les aérosols et les

nuages.

Figure 16: Projection horizontale des informations mesurées par GOME-2 à cinq endroits et à cinq dates différentes, superposée au champ de la colonne atmosphérique d'ozone correspondante. Les petites parcelles montrent tous les deux éléments d'image au sol de GOME-2 sur un couloir d'observation complet de l'Occident à l'Orient. L'épais rectangle est la projection du champ de vision de GOME-2; les autres contours délimitent la projection de la masse d'air mesurée à la fois dans la direction soleil-diffuseur et dans la direction diffuseur-satellite. À basses latitudes, comme en Inde (angles zénithaux du soleil moyens), la masse d'air mesurée se concentre principalement dans le champ de vision. À hautes latitudes, la masse d'air mesurée se dilue, principalement dans la direction du soleil, et interfère avec les larges gradients d'ozone qui se déroulent dans les régions polaires.

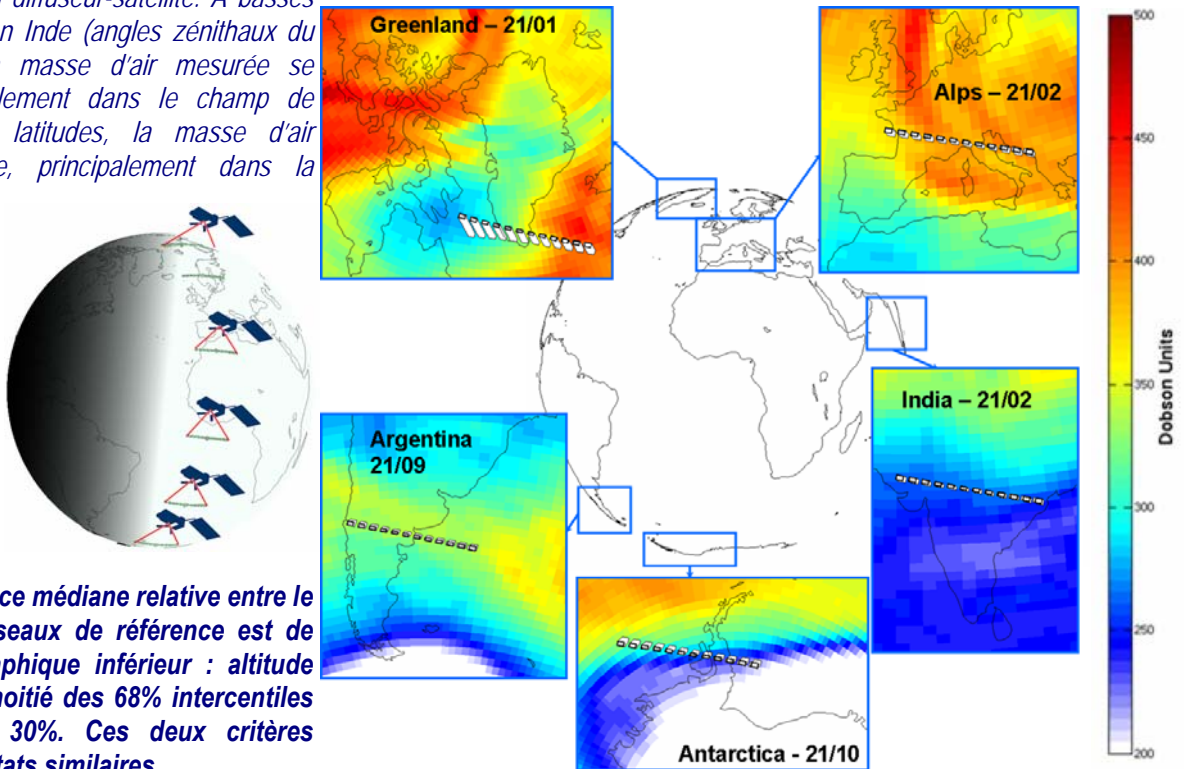
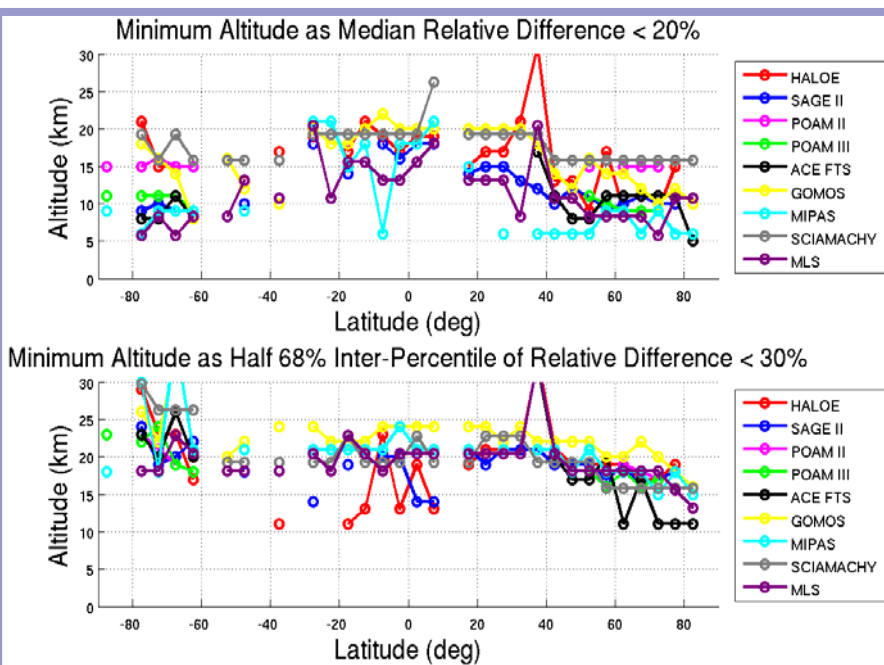


Figure 17: Graphique supérieur : altitude sous laquelle la différence médiane relative entre le satellite et les réseaux de référence est de plus de 20%; graphique inférieur : altitude sous laquelle la moitié des 68% intercentiles est de plus de 30%. Ces deux critères donnent des résultats similaires.

Parmi les autres réalisations de 2009, on notera le développement d'outils pour faciliter le couplage des séries temporelles obtenues par des satellites consécutifs, l'analyse combinée de mesures avec des caractéristiques très différentes, ainsi que leur ingestion dans des modèles pour l'analyse et la prévision en météorologie (météo classique) et en composition atmosphérique (météo chimique), et enfin, le soutien pour la mise en place de stratégies sur la qualité de données GEOSS et GMES/Atmosphere.



Références

Lerot, C., M. Van Roozendaal, J.-C. Lambert, J. Granville, J. van Gent, D. Loyola, and R. J. D. Spurr, The GODFIT algorithm: a direct fitting approach to improve the accuracy of total ozone measurements from GOME, *International Journal of Remote Sensing*, Vol. 31: 2, 543 - 550, 2010 (DOI: 10.1080/01431160902893576)

Viscardy, S., Q. Errera, Q. Y. Christophe, S. Chabrillat, and J.-C. Lambert,

Evaluation of ozone analyses from UARS MLS assimilation by BASCOE between 1992 and 1997, *Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, Vol. 3:2, 190-202, 2010 (DOI: 10.1109/JSTARS.2010.2040463)

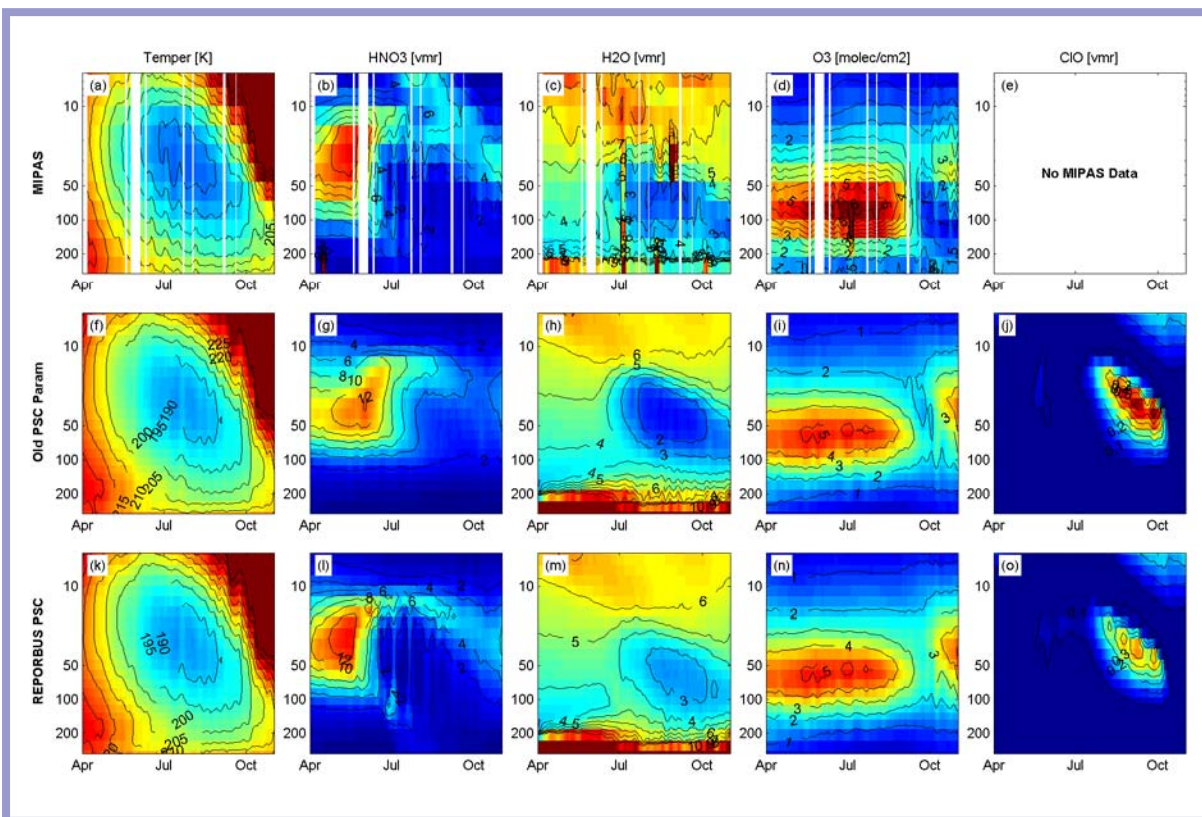
Von Clarmann, T., C. De Clercq, M. Ridolfi, M. Höpfner, and J.-C. Lambert, The horizontal resolution of MIPAS,

1.2.6. Modélisation stratosphérique et assimilation de données :

1.2.6.1. Modélisation du trou d’ozone avec le modèle stratosphérique BASCOE

Lors de chaque printemps austral (entre septembre et octobre), les conditions stratosphériques entre 18 et 25 km d’altitude (entre environ 100 et 50 hPa) sont telles que des processus physico-chimiques très particuliers s’activent et détruisent presque totalement l’ozone, formant ce qu’on appelle traditionnellement le « trou d’ozone ». Ce phénomène trouve son origine dans la formation d’un vortex polaire robuste, lequel maintient, au sein de la barrière dynamique qu’il engendre, des températures particulièrement basses (185 K – 190 K), et ce, tout au long de la nuit polaire. Ces conditions favorisent la condensation de la vapeur d’eau (H₂O) et de l’acide nitrique (HNO₃) sur les aérosols sulfatés, formant ainsi les « nuages stratosphériques polaires » (PSC). Les microparticules composant ces nuages grossissent de plus en plus jusqu’à ce qu’ils atteignent une masse suffisante, ce qui entraîne leur précipitation et, par conséquent, la dénitrification et la déshydratation de la stratosphère.

La figure 18 ci-contre montre l’évolution (entre avril et novembre 2003) de la température ainsi que de l’abondance relative de l’acide nitrique, de la vapeur d’eau et du monoxyde de chlore (ClO). De haut en bas sont présentées successivement les séries temporelles obtenues par (i) les observations MIPAS (l’un des instruments à bord du satellite ENVISAT), (ii) le modèle BASCOE utilisant la paramétrisation des PSC habituelle et (iii) celle développée dans le modèle REPROBUS (voir plus bas).



Les particules formant les PSC jouent le rôle de catalyseur hétérogène de réactions chimiques impliquant des molécules qui, en phase gazeuse, sont chimiquement inertes l’une pour l’autre. Ces réactions, faisant intervenir, entre autres, des espèces dites « réservoirs » de chlore (acide chlorhydrique HCl et nitrate de chlore ClONO₂) ou de brome

(acide bromhydrique HBr et nitrate de brome BrONO₂), ont pour effet de transformer ces molécules relativement inertes en d’autres qui, au retour des premiers rayons du soleil, seront source de Cl ou Br. Or, ces radicaux sont les principaux responsables de la destruction massive de l’ozone : Cl (Br) + O₃ → ClO (BrO) + O₂. Bien que certains composés azotés puissent inhiber ce pouvoir destructeur des radicaux Cl et Br, la dénitrification réduit significativement la création de telles molécules dans la stratosphère, laissant ainsi opérer ces radicaux. A la fin du mois d’octobre, le vortex polaire se désagrège, ce qui permet à l’air, jusque là confiné à l’intérieur de la barrière dynamique, d’être mélangé à l’air environnant. De cette façon, la couche d’ozone des hautes latitudes australes, détruite en grande partie, se régénère, et le trou d’ozone disparaît.

Durant l’année 2009, le groupe s’est efforcé d’améliorer le modèle BASCOE, plus particulièrement sa capacité à reproduire l’évolution de la composition de la stratosphère durant les hivers et printemps polaires. Auparavant, BASCOE disposait d’une paramétrisation relativement simpliste des PSC, ce qui limitait les capacités de BASCOE à reproduire de façon satisfaisante, d’une part, l’appauvrissement en HNO₃ et en H₂O, et d’autre part, la production de composés chlorés dits « actifs ». Ainsi, le modèle utilisant cette paramétrisation produisait des analyses sous-estimant la dénitrification (Fig. 18 g) alors que la perte en H₂O était surestimée (voir Fig. h ainsi que Thornton et al., 2009). Cependant, en dépit de sa simplicité, la destruction de l’ozone était qualitativement acceptable (voir la comparaison entre les Figs. d et i. ainsi que Viscardy et al., 2010). Par ailleurs, une production importante de ClO est observée. Cette molécule étant le produit de la réaction Cl+O₃, elle mesure donc l’activité de destruction

d'ozone par le chlore. Notons que les résultats présentés ici sont réalisés en considérant une grille horizontale relativement grossière. Des simulations à plus haute résolution ont montré une nette amélioration, au point qu'un bon accord général soit trouvé entre les résultats du modèle et les observations de MIPAS.

Au cours de l'année 2009, nous avons implémenté dans notre modèle une nouvelle paramétrisation des processus physico-chimiques impliqués dans la formation et la précipitation des PSC ainsi que dans la catalyse hétérogène dont ces derniers jouent le rôle de support. L'élaboration de cette paramétrisation REPROBUS est basée sur différents modèles thermodynamiques et cinétiques. Trois types de microparticules sont considérés : les cristaux d'acide nitrique trihydrate (NAT), les cristaux de glace et les gouttelettes composées d'acide sulfurique (H_2SO_4), d'acide nitrique et d'eau. Lorsque les conditions de formation de ces différentes particules sont satisfaites, leur composition respective est évaluée. Enfin, les constantes des réactions chimiques sont calculées en fonction de certaines grandeurs thermodynamiques (solubilité de réactifs tels que HCl et $ClONO_2$, etc.) et cinétiques (coefficients de diffusion) qui dépendent essentiellement de la composition des particules et d'autres facteurs comme la température. D'autre part, si les conditions de précipitation des particules sont satisfaites, la vitesse de sédimentation est calculée en fonction des propriétés hydrodynamiques des particules se déplaçant dans l'atmosphère (nombre de Reynolds, etc.). Par conséquent, une estimation de l'appauvrissement en HNO_3 et H_2O peut ainsi être réalisée.

Cette nouvelle paramétrisation permet de trouver un meilleur accord avec les observations de la perte en acide nitrique et en vapeur d'eau stratosphériques. Malgré cela, la destruction de l'ozone est moins importante que dans la version antérieure. La production de ClO est également moins notable que lorsque l'ancienne paramétrisation des PSC était utilisée. Ceci pourrait être expliqué comme suit: les microparticules grossissent relativement vite au début de l'hiver et quittent la stratosphère prématurément. Cela interrompt la formation de l'acide hypochloreux (HOCl) ou de dichlore (Cl_2) par catalyse hétérogène, lesquels sont source de radicaux Cl au retour des premiers rayons du soleil. Par conséquent, une diminution de la perte d'ozone au printemps est observée.

Références:

H. Thornton, N. Borman, Q. Errera, A. J. Geer, D. R. Jackson, W. A. Lahoz, and S. Rharmili, "The ASSET intercomparison of stratosphere and lower mesosphere humidity analyses", *Atmos. Chem. Phys.*, 9, 995-1016, 2009.

S. Viscardy, Q. Errera, Y. Christophe, S. Chabrilat, and J.-C. Lambert, "Evaluation of ozone analyses from UARS MLS assimilation by BASCOE between 1992 and 1997", *JSTARS*, in press, 2010.

1.3. Etude du rayonnement solaire dans les atmosphères

1.3.1. Mesures de sondage au limbe (Limb Remote Sounding):

1.3.1.1. La mission ALTIUS

L'origine du projet ALTIUS est née avant tout d'un constat : le nombre d'instruments satellitaires pouvant mesurer des profils de concentration gazeuse de différentes espèces chimiques jusqu'à très haute altitude (~60 km) est en train de diminuer fortement, avec comme risque principal de mener à une discontinuité des séries de mesures à l'horizon 2015. C'est dans ce contexte qu'ALTIUS (« Atmospheric Limb Tracker for the Investigation of the Upcoming Stratosphere ») a été proposé par l'IASB dans le courant de l'année 2006. Les objectifs de cet ambitieux projet sont clairs : il s'agira de réaliser un instrument spatial capable d'observer certaines espèces chimiques présentes en traces dans l'atmosphère terrestre. Ainsi, ALTIUS visera également à améliorer significativement les connaissances actuelles en terme de distribution verticale de gaz importants pour le bilan radiatif de la Terre comme l'ozone, le méthane, la vapeur d'eau, le dioxyde de carbone, etc...

Dans le passé, de nombreuses expériences spatiales ont été menées afin d'apporter des données globales nécessaires à la compréhension et à la résolution des problèmes environnementaux et climatiques qui se posent actuellement. Mais c'est la première fois que la Belgique s'implique à ce point dans le développement d'un instrument satellitaire qui sera par ailleurs réalisé dans notre pays.

Ce projet ALTIUS se veut à la fois polyvalent et novateur, tout en se basant sur l'expérience que l'Institut a pu acquérir grâce à ses participations dans d'autres projets de télédétection spatiale comme GOMOS et ORA, par exemple.

Pourquoi est-il polyvalent ? ALTIUS sera embarqué sur le microsatellite PROBA développé par Verhaert Space à Anvers qui a obtenu d'excellents résultats avec ses deux premières versions. Ses principales qualités sont la maniabilité – lui permettant d'orienter la plate-forme dans n'importe quelle direction et de maintenir cette orientation avec une grande précision (de l'ordre de la dizaine de microradians) – et son autonomie de puissance grâce aux panneaux solaires qui tapissent ses flancs. Placé sur une orbite héliosynchrone à environ 700 km d'altitude, ALTIUS pourra sonder l'atmosphère suivant trois géométries d'observation différentes : par rétrodiffusion de la lumière solaire au limbe dans la partie éclairée de l'orbite, par occultation solaire lors de l'éclipse et par occultation stellaire dans l'ombre de la Terre. Ces modes complémentaires, couplés à son orbite, garantiront à ALTIUS une couverture globale terrestre en trois jours seulement.

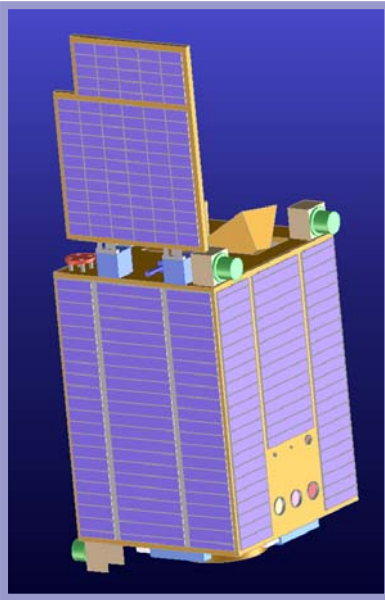


Figure 19: Concept de la plate-forme montrant les panneaux solaires, les différents trous d'entrée du système optique (les 3 grands orifices pour les trois canaux spectraux en mode occultation stellaire et les 3 plus petits pour le limbe et l'occultation solaire). Sont présentes également les antennes de télécommunication (en vert) ainsi qu'un des trois pointeurs stellaires utilisés pour la calibration de l'altitude du satellite.

En quoi est-il novateur? ALTIUS profitera des développements récents dans le domaine des AOTF's (Acousto-Optical Tunable Filter) afin de proposer une réponse originale aux problèmes de détermination d'altitude tangente auxquels font face les autres instruments mesurant la diffusion au limbe. Grâce à ces AOTF's – un cristal dont l'indice de réfraction est modulé par une onde acoustique créant ainsi un filtre réglable en longueur d'onde – ALTIUS prendra des images spectrales du limbe instantanément (évitant de devoir balayer l'atmosphère verticalement). Ceci facilitera la calibration du pointage grâce aux étoiles visibles en arrière-plan (sans oublier les informations des pointeurs stellaires de la plate-forme ou les détails géographiques). Afin de couvrir une large gamme spectrale et pour minimiser le risque d'échec de la mission, l'instrument sera décomposé en trois canaux distincts qui posséderont leur propre module AOTF + détecteur + électronique pour une gamme spectrale définie comme suit: UV (250-400 nm), visible (400-800 nm) et proche infrarouge (800-1800 nm).

Depuis le lancement officiel du projet, des études de faisabilité du concept (phase A) ont été menées, aboutissant à une évaluation positive de la part de l'ESA (ESTEC – juin 2009) et ouvrant la porte à une phase transitoire (phase B0) visant à synthétiser les exigences scientifiques et les réponses apportées par les partenaires industriels. L'objectif est maintenant de finaliser le concept d'instrument et d'identifier les composants principaux : les détecteurs dans les trois domaines spectraux (UV-Vis-NIR), le type de cristal pour les AOTF's, les mécanismes, etc

Concrètement, plusieurs études ont été accomplies à ce jour :

- Des simulations utilisant des codes de transfert radiatif ont été menées afin de tester les capacités de l'imageur (couple AOTF-détecteur) à acquérir suffisamment de signal pour assurer que les mesures des concentrations de gaz resteront sous des seuils d'erreur acceptables, et ce pour toutes les géométries d'observation.

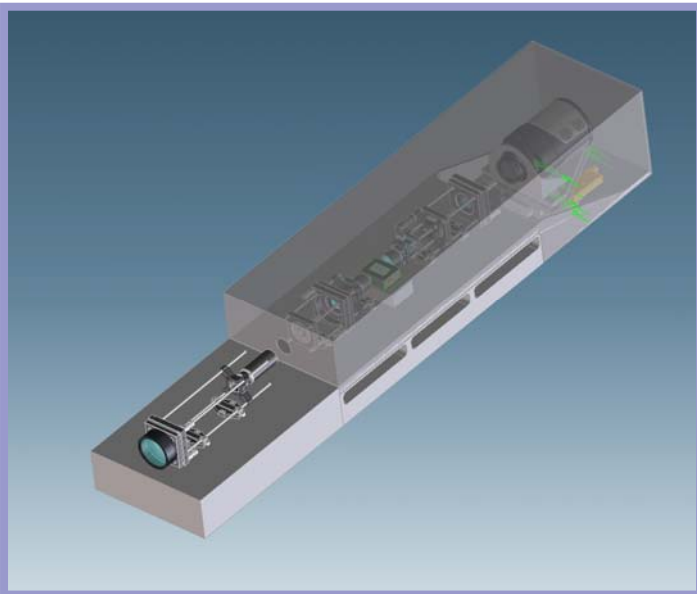


Figure 20: Modèle de test du canal visible où sont représentés l'optique sur montures, l'AOTF (cube au centre à bords verts) et le détecteur.

- Une architecture optique maximisant le signal détecté et répondant aux contraintes des AOTF's a été développée et est en phase de réalisation pour le canal visible. Les tests de détecteur et d'AOTF ont été menés séparément avant de les réunir dans un modèle de test fonctionnel.

- L'exploitation des possibilités d'imagerie d'ALTIUS est actuellement étudiée dans l'analyse numérique des images solaires que l'instrument devrait saisir deux fois par orbite (lors de l'occultation solaire). Un modèle d'inversion des profils de température de l'atmosphère est à l'essai sur base de l'analyse mathématique des images du disque solaire (et de sa

déformation lors de sa déclinaison apparente dans l'atmosphère) à l'aide de fonctions orthogonales (les polynômes de Zernike utilisés en optique adaptative notamment). Les données de l'instrument canadien ACE permettront de tester la méthode sur des images réelles.

1.3.1.2. Premières mesures de profils d'OCIO à l'aide de GOMOS

L'instrument d'occultation stellaire GOMOS (Global Ozone Monitoring by Occultation of Stars), à bord de la plate-forme satellitaire ENVISAT depuis mars 2002 est principalement dédié au suivi global des profils de concentration en ozone et en dioxyde d'azote. Cependant, cet instrument dont la gamme spectrale s'étend de l'UV jusqu'au proche infrarouge (248 - 690 nm ; 750 - 776 nm ; 915 - 956 nm), permet également la détection d'autres constituants de la stratosphère tels les aérosols ou les gaz NO₃, BrO ou OCIO.

Ainsi, notre groupe s'intéresse depuis quelques années à la détection de OCIO. Cette molécule est formée par la réaction entre ClO et BrO et s'avère donc un bon indicateur de la présence de composés actifs chlorés dans les vortex polaires. La détection de

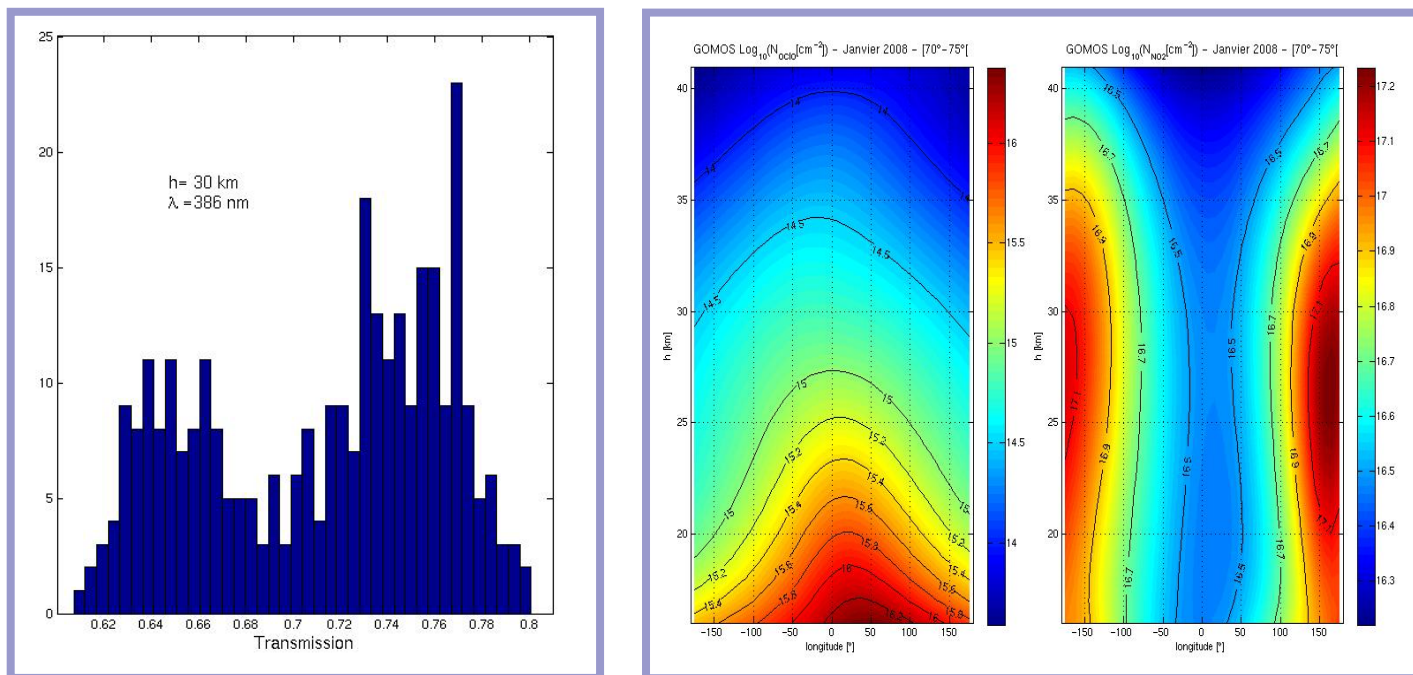
cette espèce dans le spectre de GOMOS est d'autant plus difficile que ses concentrations dans la stratosphère sont basses (10^7 à 10^8 molécules/cm³) et que le rapport signal-sur-bruit des mesures d'occultation stellaire par GOMOS est faible.

La méthode développée pour détecter OCIO consiste à augmenter artificiellement ce rapport signal-sur-bruit en combinant spatialement et temporellement différentes mesures. Ainsi, les mesures GOMOS sont regroupées par bande de 10° de latitude et par mois. Chaque sous-ensemble de mesures est alors analysé afin de supprimer d'éventuelles valeurs aberrantes (outliers) et de détecter d'éventuelles distributions bimodales. Un spectre virtuel représentatif de la bande de latitude et du mois considéré est ainsi généré en calculant les médianes pondérées des transmissions individuelles. Une méthode DOAS (dans la région [350 nm – 400 nm]) est appliquée à ces transmissions virtuelles dans la région pour obtenir les colonnes obliques de OCIO ainsi que de NO₂.

Cette méthode a été notamment appliquée dans le cas de la bande de latitude [70 – 80°] pour janvier 2008. Le vortex n'étant alors pas centré sur le pôle nord, certaines mesures de GOMOS sélectionnées dans cette bande furent effectuées à l'intérieur du vortex et d'autres à l'extérieur. La figure 21 montre cette distribution bimodale des transmissions. Le 1^{er} mode observé (transmissions de 0.6 à 0.7) correspond à l'extérieur du vortex polaire, particulièrement riche en NO₂ et le 2^{ème} mode à l'intérieur (air pauvre en NO₂ : dénitrification). Disposant de suffisamment de mesures dans cette bande de latitude, nous l'avons divisée en secteurs de longitude de 10° et nous y avons déterminé les contenus en OCIO et en NO₂ (figure 22). La dénitrification est clairement observable à l'intérieur du vortex polaire (entre 90° ouest et 135° est). De plus, le vortex est marqué par de fortes colonnes de OCIO dans la basse stratosphère, signe d'activation des espèces chlorées. Il s'agit là des premières mesures nocturnes de OCIO effectuées dans le vortex polaire arctique par un instrument d'occultation.

Figure 21: distribution des transmissions (à 30 km et à 386 nm) des mesures GOMOS sélectionnées dans la bande 70 – 80°, pour janvier 2008.

Figure 22A, B: Courbes de contour altitude/longitude des colonnes obliques de OCIO (2A à gauche) et de NO₂ (2B à droite)



Conclusions et perspectives :

La méthode de virtualisation appliquée aux mesures GOMOS nous a permis de déterminer les colonnes obliques de OCIO. Aussi, le cas d'étude du mois de janvier 2008 montre clairement qu'activation des espèces chlorées et dénitrification sont corrélées. GOMOS apparaît comme un excellent instrument pour le suivi de l'état de la stratosphère. La validation du produit OCIO de GOMOS s'avère nécessaire et sera effectuée par comparaison avec les produits de l'instrument sous-ballon SALOMON (Spectroscopie d'Absorption Lunaire pour l'Observation des Minoritaires et NO_x) et par l'interprétation des comparaisons avec les résultats de modèles de photochimie. Par la suite, une climatologie de OCIO sera établie de 2002 à 2010. Comme la méthode de virtualisation présente de précieux avantages, elle sera donc logiquement réutilisée dans le cadre de différents projets à venir.

Publication :

"Simultaneous measurements of OCIO, NO₂ and O₃ in the Arctic polar vortex by the GOMOS instrument", C. Tétard, D. Fussen, C. Bingen, N. Capouillez, E. Dekemper, N. Loodts, N. Mateshvili, F. Vanhellefont, E. Kyrölä, J. Tamminen, V. Sofieva, A.

1.3.2. Etude du rayonnement solaire:

1.3.2.1. Réseau de stations de mesures au sol dans l'«UV-Visible» ; 22 ans de monitoring en Belgique

L'année 2009 correspond pour l'IASB au parachèvement de son réseau complet de cinq stations de mesures UV-Visible au sol couvrant ainsi l'ensemble du territoire belge. Ce réseau compte à présent cinq stations qui couvrent chacune des zones météorologiques rencontrées dans notre pays : la région du centre du pays, occupée par les plateaux de moyenne Belgique est représentée par la station d'Uccle (IASB), la côte abrite la station de Ostende, située sur le toit du bâtiment de Earth Explorer, les Ardennes belges sont représentées par la station de l'Euro Space Center de Redu, la Gaume avec l'hôtel de Ville de Virton et la Campine avec le site du VITO, situé à Mol. A cela, s'ajoute également la station du Lycée classique de Diekirch, au Grand Duché de Luxembourg.

Chaque station est équipée au minimum des instruments suivants :

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



1



2



3



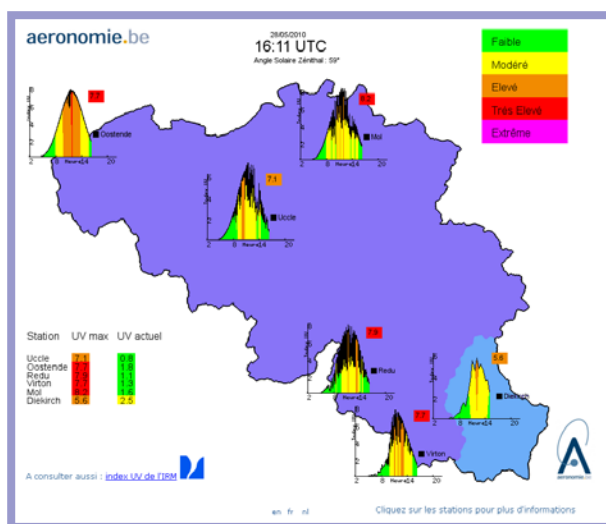
4

- (4) une station météo

Le site WEB du groupe « Radiation solaire » permet de suivre en temps réel l'évolution des mesures UV-Visible, et en particulier des Index UV dans les six stations précitées et localisées sur la carte ci-jointe. En outre, il donne également accès à toute une série d'informations à propos de l'historique des mesures réalisées, des principales caractéristiques des instruments utilisés, et du type de données disponibles, etc.

Figure 23: Vue générale de la station UV de Virton, située sur le toit de l'Hôtel de ville.

Figure 24: Copie d'écran du site: <http://www.aeronomie.be/uv/index.php> permettant la consultation de l'indice UV en ligne.



1.3.2.2. Mesure de la radiation solaire extra-terrestre à l'aide de la palette SOLAR, sur le module Columbus à bord de l'ISS.

Figure 25: vues du satellite SOLSPEC.

Depuis février 2008, la palette « SOLAR » est installée sur le module européen Columbus arrimé à la Station Spatiale



Internationale (ISS). À son bord, l'instrument SOLSPEC, un spectromètre spatial dédié à la mesure de l'éclairement solaire UV, VIS et IR (160 à 3200 nm), vise précisément à déterminer comment l'énergie solaire est distribuée en fonction de la longueur d'onde et varie au cours d'un cycle d'activité solaire de onze ans. Cela lui permet ainsi d'identifier et de quantifier les liens entre la variation de l'énergie solaire et les changements atmosphériques.

Figure 26: Solar sur la station spatiale internationale

L'instrument SOLSPEC (SOLar SPECTrum) résulte d'une collaboration entre l'Institut d'Aéronomie Spatiale de Belgique (IASB-



BIRA), le Service d'Aéronomie (LATMOS-CNRS, France) et l'observatoire d'Heidelberg (ZAH, RFA).

Au niveau de son historique:

SOLSPEC (1^{ère} génération) a volé cinq fois entre 1983 et 1994, durant les missions SPACELAB, ATLAS 1, 2 & 3 et EURECA.

SOLAR SOLSPEC (2^{ème} génération) fait à présent partie de la charge utile de la palette solaire du module européen COLUMBUS sur l'ISS (Station Spatiale Internationale), où il mesure le spectre solaire extraterrestre.

Figure 27: Montage de la palette "SOLAR" sur l'ISS

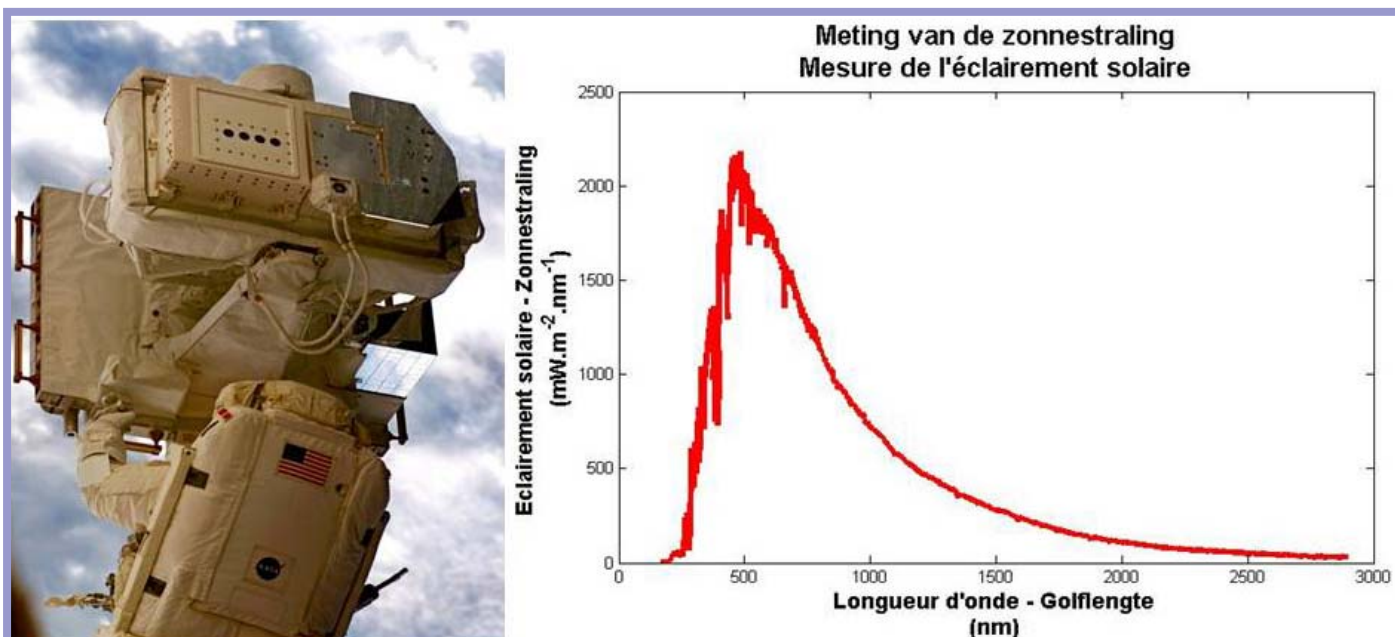


Figure 28: Mesure du spectre solaire hors atmosphère réalisée par SOLSPEC-SOLAR.

1.3.3. L'aéronomie planétaire :

1.3.3.1. Vénus, le CO₂ et ses isotopologues

L'instrument SOIR [1] à bord de la mission Venus Express (VEX) a été conçu pour mesurer à haute résolution (0.15 cm⁻¹) la transmittance de l'atmosphère dans le domaine infrarouge (2.2 – 4.3 μm) à l'aide de la technique d'occultation solaire. Cette méthode [2] permet d'obtenir des informations uniques sur la structure verticale et la composition de la mésosphère de Vénus (65-150 km). SOIR est le premier spectromètre IR à haute résolution à bord d'un satellite d'observation de Vénus. Le domaine spectral sondé par SOIR assure un recensement détaillé des différents composants minoritaires depuis le sommet des nuages jusqu'à des altitudes de l'ordre de 125 km. Jusqu'à présent, seulement un nombre restreint de mesures ont été analysées, en particulier seulement un nombre limité de structures d'absorption bien connues dues au CO, CO₂, H₂O, HDO, HCl et HF ont été utilisées.

Un de nos buts est d'étendre la recherche à de nouvelles espèces absorbantes, qui pourraient jouer un rôle dans les processus photochimiques se déroulant au sein de l'atmosphère de Vénus. En 2009, nous avons donc commencé à identifier toutes les raies observées dans les spectres, c'est-à-dire à les relier à une espèce existant dans l'atmosphère de Vénus. Une attention toute particulière est apportée à la détection de nouvelles bandes de CO₂ et de ses isotopologues qui ne peuvent pas être observées sur Terre ou en laboratoire à cause de leur faible intensité, mais qui sont bien visibles dans les spectres de Vénus, puisque le CO₂ y est fort abondant.

Le CO₂ existe sous la forme de 10 isotopologues qui sont repris dans la Table 1. Dans cette table, sont également indiqués leur abondance naturelle respective et le nombre de transitions de rotation-vibration observées expérimentalement. Le manque d'informations sur les isotopologues les moins abondants est flagrant.

Table 1 : Liste des 10 isotopologues du CO₂ (la dénomination « 626 » correspond à la molécule de ¹⁶O¹²C¹⁶O ; « 837 » à l'isotopologue le moins abondant ¹⁸O¹³C¹⁷O). Les abondances indiquées dans la deuxième colonne proviennent de la base de données HITRAN (High-resolution Transmission molecular absorption database) [3]. La troisième colonne indique le nombre de transitions déjà identifiées expérimentalement, d'après nos collaborateurs de l'Institut d'Optique Atmosphérique (IAO), à Tomsk (Fédération de Russie) – voir V.I. Perevalov et al.)

Isotopologue	Abondance naturelle	Nombre de transitions connues
626	0.984204	6153
636	1.10574 10 ⁻²	2060
628	3.94707 10 ⁻³	3225
627	7.33989 10 ⁻⁴	374
638	4.43446 10 ⁻⁵	499
637	8.24623 10 ⁻⁶	92
828	3.95734 10 ⁻⁶	732
827	1.47180 10 ⁻⁶	0
838	4.44600 10 ⁻⁸	0
837	1.65354 10 ⁻⁸	0

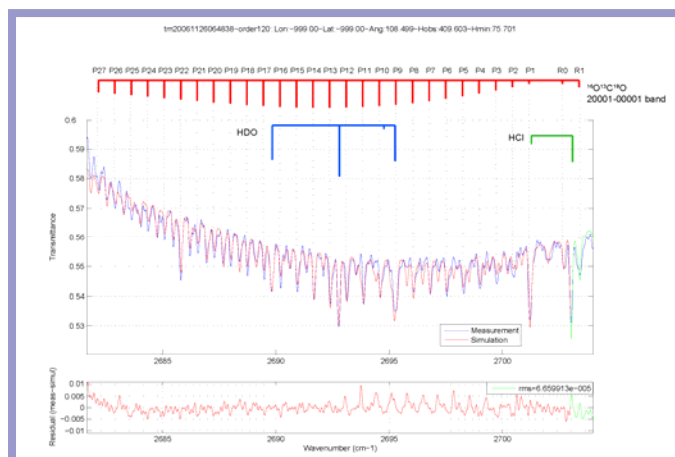
Les spectres enregistrés par l'instrument SOIR, dans le domaine de l'infrarouge regorgent d'informations. Jusqu'à présent, seuls 10 % des raies présentes dans les spectres de SOIR ont pu être attribuées sans ambiguïté. Notre objectif est dès lors d'associer la majorité des signatures spectrales à un composé présent dans l'atmosphère de Vénus, et, si possible, en fonction de l'intensité de ces structures d'absorption, d'en déduire une information sur le contenu vertical de l'espèce étudiée.

Une identification de toutes les signatures spectrales observées a été entamée en 2009 à l'aide des bandes d'absorption cataloguées dans des bases de données telles que HITRAN [3] ou CDSD [4]. Partant de la série d'outils issus de Matlab et développés par l'équipe SOIR de l'IASB/BIRA et fort de nos collaborations avec le Service of Chimie Quantique et Photophysique de l'ULB et avec l'Institut d'Optique Atmosphérique (IAO, Tomsk, Russie), nous avons donc travaillé à l'élaboration d'un nouvel outil facilitant l'identification des structures d'absorption observées, de manière

à lire les différentes bases de données, à faire une liste des structures identifiées et une autre des structures inconnues et non répertoriées dans les bases de données actuelles. Nous avons débuté dans ce travail par l'analyse des spectres déjà enregistrés par l'instrument.

Figure 29: Spectre enregistré par SOIR entre 2680 et 2705 cm⁻¹. La branche P de la bande 20001-00001 (¹⁶O¹³C¹⁸O) est indiquée par les traits rouges. Les molécules de HDO et HCl, respectivement en bleu et en vert, sont utilisées comme références.

Pour quel résultat? Ce travail a déjà mené à la mise en évidence



de deux nouvelles bandes de vibration-rotation d'isotopologues de CO₂, en plus de celle découverte en 2008 par le groupe SOIR [5]. Sur la figure 1, nous présentons la branche *P* de la transition 20001-00001 (2₀₁-état fondamental) de l'isotopologue 638, enregistrée par SOIR entre 2680 et 2725 cm⁻¹.

Le niveau supérieur impliqué dans cette transition, à savoir 2₀₁, a fait l'objet d'une étude théorique afin de déterminer les constantes rotationnelles lui correspondant. Ces dernières sont données dans la Table 2.

Niveau	G _v (cm ⁻¹)	B _v (cm ⁻¹)	D _v (cm ⁻¹) x 10 ⁻⁷
20001	2701.9402(43)	0.368343(24)	1.10(25)

Table 2 : Constantes rovibrationnelles du niveau 2₀₁ de la molécule ¹⁶O¹³C¹⁸O. G_v est l'énergie de vibration, B_v le paramètre rotationnel, D_v le paramètre de distorsion centrifuge et J le nombre quantique de rotation. L'erreur est indiquée entre parenthèses.

Démarré en 2009, ce travail fera l'objet de communications orales et écrites au fur et à mesure de son avancement. Il sera également développé afin d'identifier de façon systématique le maximum de raies d'absorption observées par SOIR. Cela nous permettra d'établir une base de données spectroscopiques spécifique pour Vénus et d'en déduire de nombreuses informations quant aux espèces en présence.

Références:

Nevejans, D., et al., *Compact high-resolution space-borne echelle grating spectrometer with AOTF based on order sorting for the infrared domain from 2.2 to 4.3 micrometer*. *Applied Optics*, 2006. 45(21): p. 5191-5206.

Vandaele, A.C., et al., *Composition of the Venus mesosphere measured by SOIR on board Venus Express*. *J. Geophys. Res.*, 2008: p. doi:10.1029/2008JE003140.

Rothman, L.S., et al., *The HITRAN 2008 molecular spectroscopic database*. *J. Quant. Spectrosc. Radiat. Transfer*, 2009. 110: p. 533-572.

Tashkun, S.A., V.I. Perevalov, and J.L. Teffo, *Global Fittings of the Vibrational–Rotational Line Positions of the ¹⁶O¹²C¹⁷O and ¹⁶O¹²C¹⁸O Isotopic Species of Carbon Dioxide*. *Journal of Molecular Spectroscopy*, 2001. 210: p. 137-145.

Wilquet, V., et al., *Line parameters for the 01111-00001 band of ¹²C¹⁶O¹⁸O from SOIR measurements of the Venus atmosphere*. *Journal of Quantitative Spectroscopy and Radiative Transfer*, 2008. 109: p. 895-905.

1.3.3.2. Des chutes de neige sur Mars

Le 25 mai 2008, l'atterrisseur Phoenix s'est posé avec succès dans les plaines du Grand Nord de la planète Mars. Phoenix était une mission délicate du programme Scout de la NASA dont l'objectif principal était de rechercher des preuves tangibles de la présence d'eau sur Mars. Phoenix était équipé d'instruments pour détecter l'eau éventuellement présente, à la fois dans le sol et l'atmosphère. La présence de grandes quantités d'eau sous forme de glace dans le sol, et de nuages de glace dans l'atmosphère, a été confirmée. En outre, Phoenix a détecté des chutes de neige depuis ces nuages mis en évidence. C'est donc la première fois que ce phénomène est identifié ailleurs que sur la Terre. M. Frank Daerden, scientifique à l'Institut d'Aéronomie Spatiale de Belgique a mis au point un modèle informatique pour analyser ces chutes de neige.

Phoenix a été la première mission à destination des régions polaires martiennes où elle a atterri à 68° de latitude Nord, à la fin du printemps local, c'est-à-dire lorsque ces régions polaires sont libres de glace. La mission devrait effectuer des mesures tout au long de l'été martien (une saison sur Mars dure une année terrestre complète, soit le double d'ici bas).

L'un des composants de Phoenix était une station météo de fabrication canadienne, développée sous la direction de Jim Whiteway de l'Université York à Toronto. La station météorologique contenait, entre autres, un instrument LIDAR que l'on définira simplement comme étant un « radar lumineux ». Un LIDAR envoie donc un faisceau laser dans l'atmosphère et capte la lumière réfléchiée ou rétrodiffusée par les particules de poussière et de glace présentes.

À la fin de l'été martien, le LIDAR a commencé à détecter des nuages de glace qui se formaient la nuit à basse altitude. Une première analyse, fondée sur une estimation de la température, a montré que ces nuages étaient en fait constitués de cristaux de glace. Par ailleurs, les conditions existant à cette altitude de 4 km, où nous avons détecté ces nuages, sont très similaires à celles, sur Terre, où l'on trouve les nuages de glace de type cirrus (environ deux fois plus hauts). Par ailleurs, une couche de « brouillard glacé » a également été observée près de la surface.

Vers la fin de l'été, le LIDAR a également détecté des patrons remarquables, caractéristiques pour l'observation de chutes de cristaux de glace. Dans de nombreux cas, ces précipitations neigeuses atteignent la surface. Ainsi, pour la première fois, une chute de neige fut effectivement représentée sur une autre planète que la Terre.

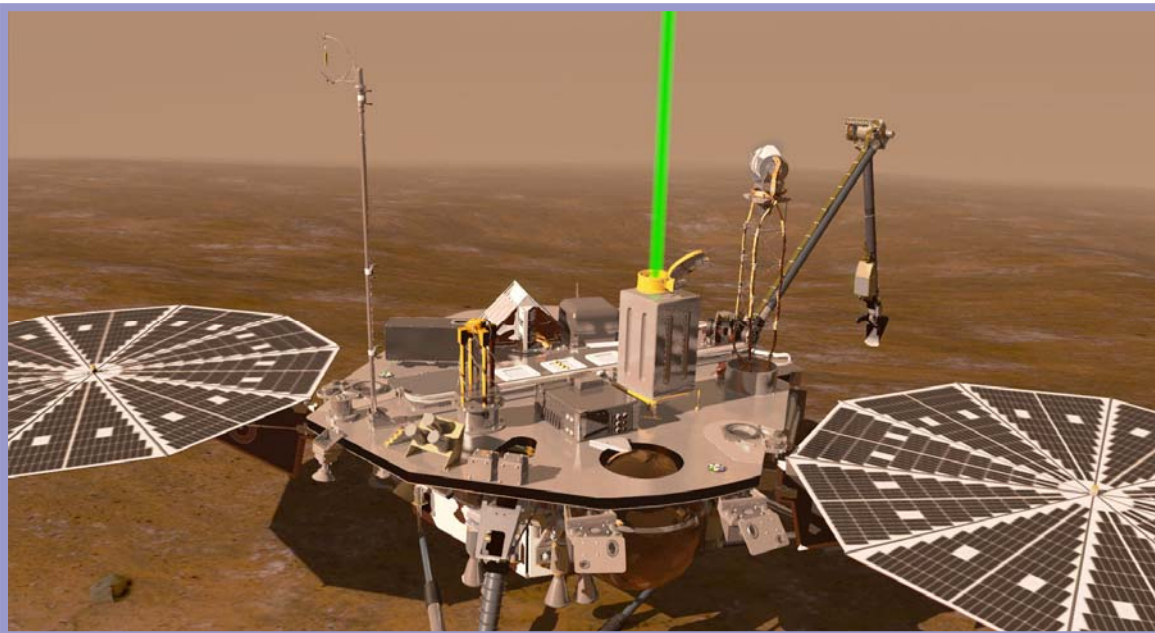


Figure 30 : Représentation de l'atterrisseur Phoenix sur Mars. L'instrument LIDAR envoie un rayon laser vers l'atmosphère. Source: NASA.

Ces dernières années, l'IASB a acquis une solide expertise dans l'étude détaillée des nuages de glace de la stratosphère terrestre, ceci grâce à des modèles informatiques. Par

l'intermédiaire de ses étroites collaborations avec des scientifiques du Danemark et du Canada, il s'est ainsi vu confier, par l'équipe canadienne de Phoenix, la mise au point des modèles informatiques pour l'analyse des mesures lidar.

De simples analyses ont rapidement montré que les chutes de neige contenaient des cristaux de glace exceptionnellement gros, de l'ordre de plusieurs dixièmes de millimètre, très semblables donc à ceux des précipitations tombant sur Terre. Il est également apparu que ces chutes de neige transportaient une quantité relativement importante d'eau dans l'atmosphère martienne, ce qui pouvait avoir un impact sur le cycle de l'eau local. On soupçonne ainsi que ce phénomène de formation des nuages et des précipitations associées serait typique de la fin de saison estivale sur Mars. Ce serait également un élément décisif pour la compréhension de la formation des calottes de glaces polaires.

Le modèle informatique développé par l'IASB pour nuages martiens fut ensuite utilisé pour répliquer les circonstances précises qui ont eu lieu le 1^{er} septembre 2008 pour la mission Phoenix. C'est à cette date en effet que le lidar de Phoenix détecta des nuages et des chutes de neige, à 5 heures du matin (temps local).

La simulation a confirmé l'image que nous avons déjà réalisée à partir des mesures LIDAR ; à savoir la formation d'une couche de brouillard givrant près de la surface en fin de soirée, de même qu'une couche de nuages de glace à une altitude de 4 km, après minuit. Durant la seconde partie de la nuit, les plus gros cristaux de glace ont précipité depuis cette couche, pour se stabiliser 1,5km plus bas où le LIDAR détecte finalement ces précipitations à une altitude de 2,5 kilomètres.

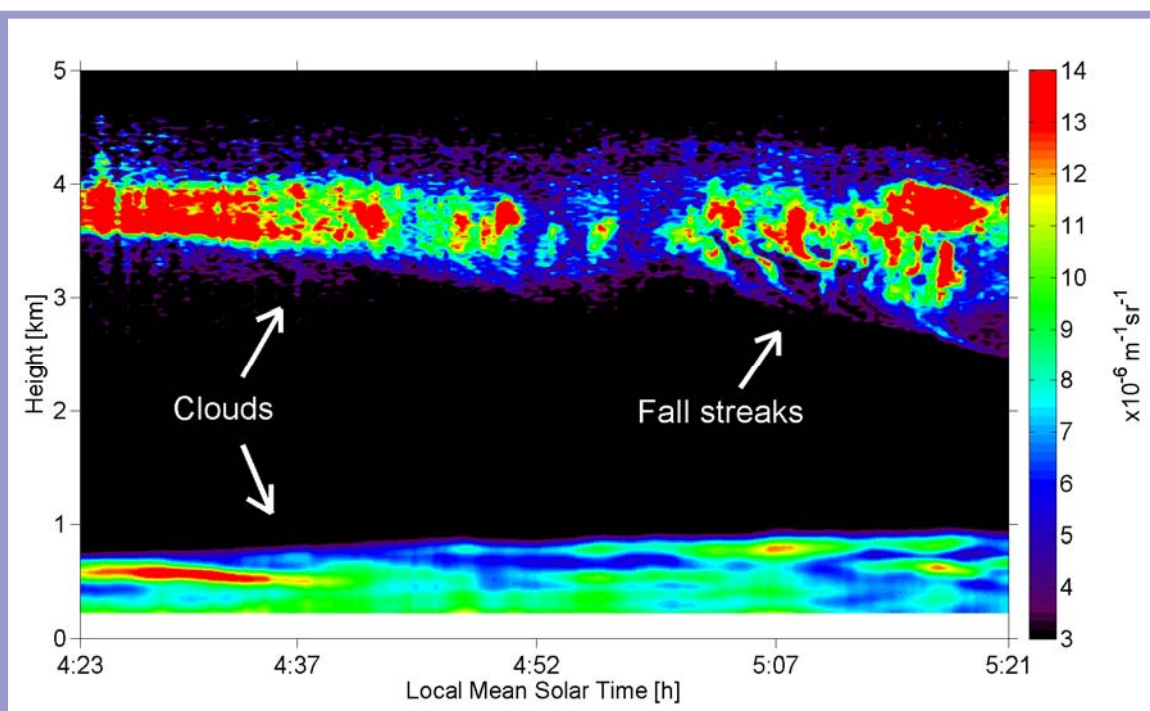


Figure 31 : Nuages de glace détectés sur Mars, le 1^{er} septembre 2008 vers 5h du matin (temps local), à l'aide du LIDAR de l'atterrisseur Phoenix. Deux couches de nuages sont bien visibles, l'une à 4 km et l'autre proche de la surface. En outre, on a également pu mettre en évidence les schémas de précipitation des cristaux de glace ("fall streaks").

Avec le modèle informatique développé par l'IASB, on peut calculer toutes sortes de propriétés pour les cristaux de glace. La taille moyenne des cristaux précipitant semble atteindre jusqu'à 50 microns de rayon, ce qui signifie que dans le cas de particules de glace de formes cylindriques, ces dimensions atteignent 200 μm , soit 0,2 mm. De même, les conditions de précipitation (quantité et vitesse de chute des cristaux de glace) sont très similaires à celles observées ici bas, sur Terre. Mais cela n'a rien de très surprenant car les circonstances dans lesquelles les cristaux de glace se forment sur Mars sont très proches de celles dans lesquelles apparaissent les nuages de glace de type cirrus, sur Terre. Ces cirrus se forment à une altitude comprise entre 6-12 km, où la température descend jusqu'à -60°C , avec encore toutefois suffisamment d'humidité pour générer ces cristaux de glace. Sur Mars, qui est plus éloignée du Soleil que la Terre, ces températures critiques sont atteintes dès 4 km d'altitude, au cours de l'été local.

Le modèle informatique confirme également l'impact des nuages et des précipitations sur l'humidité de l'air. L'image qui ressort des mesures et des études de modélisation est celle d'un cycle qui se manifeste, sur Mars, dans la période de transition entre l'été et l'hiver dans les régions polaires, où la turbulence répartit uniformément l'eau au cours d'une journée dans la basse atmosphère (la Planetary Boundary Layer, PBL). Ensuite, en raison du refroidissement sévère que subit l'air durant la nuit, de petits noyaux de glace se forment. Ces derniers, en croissant rapidement, donnent lieu aux chutes de neige de la fin de nuit. À l'aube, ces particules de glace commencent à s'évaporer, car entre temps, elles ont atteint des couches de basse altitude, et parfois même la surface. Et le cycle se répète ensuite. De cette façon, l'eau est retenue dans les couches d'air inférieures, et en avançant dans la saison de plus en plus d'eau sous forme de neige et de glace s'empile en surface.

En fin de compte, ce processus est également devenu fatal pour Phoenix, lui-même, puisque le 2 novembre 2008, le contact a été perdu avec la sonde, ensevelie sous la neige. C'est seulement à partir de 2010 que Phoenix était à nouveau libre de glace, mais les tentatives répétées pour redémarrer la sonde furent malheureusement infructueuses. Finalement, l'atterrisseur Phoenix a survécu durant 6 mois sur Mars, dans des conditions très froides, nous livrant ainsi une multitude d'informations sur les conditions climatiques et hydrologiques de la planète rouge.

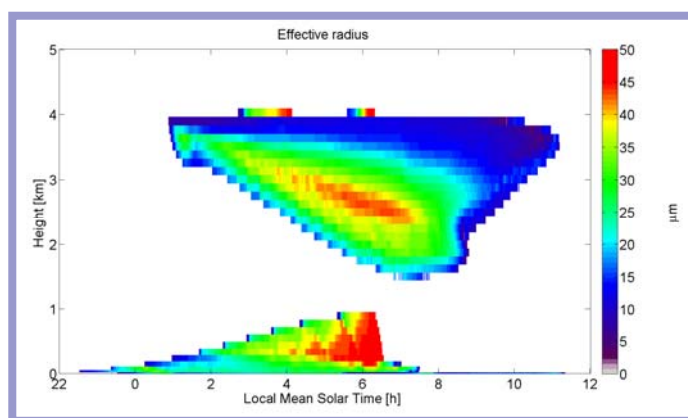
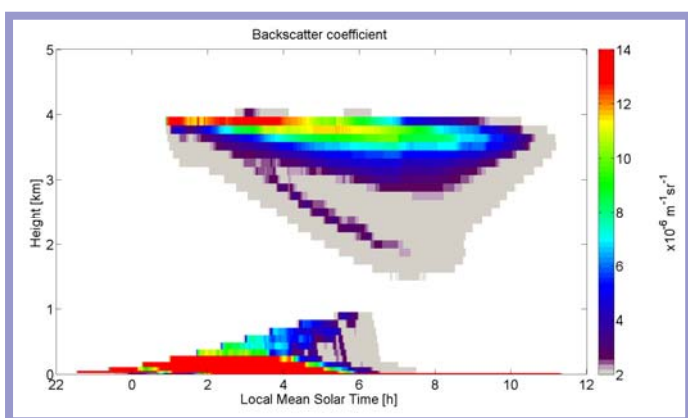


Figure 32: Résultat d'une simulation informatique avec le modèle de nuages de glace de l'IASB (durée: 12h à partir de minuit).

Figure 33: Taille moyenne (rayon) des cristaux de glace calculée par le modèle informatique de l'IASB. Si les cristaux de glace sont de forme cylindrique, la longueur de ceux-ci peut être jusqu'à quatre fois plus grande que les valeurs simulées par le modèle.

Références:

Daerden, F., J.A. Whiteway, R. Davy, C. Verhoeven, L. Komguem, C. Dickinson, P. A. Taylor, N. Larsen (2010): Simulating Observed Boundary Layer Clouds on Mars, *Geophys. Res. Lett.*, 37, L04203, doi:10.1029/2009GL041523

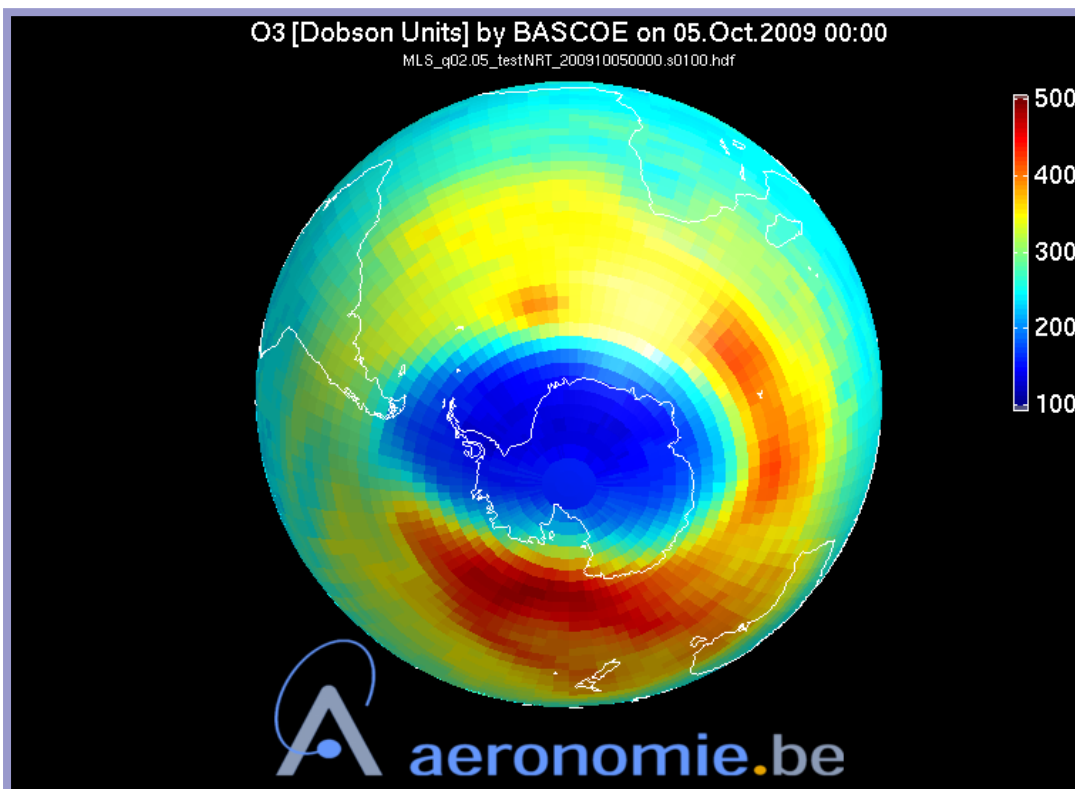
Whiteway, J.A., L. Komguem, C. Dickinson, C. Cook, M. Illnicki, J. Seabrook, V. Popovici, T.J. Duck, R. Davy, P.A. Taylor, J. Pathak, D. Fisher, A.I. Carswell, M. Daly, V. Hipkin, L. Tamppari, N. Renno, J. Moores, M. Lemmon, F. Daerden, H. Smith (2009): Mars Water Ice Clouds and Precipitation, *Science*, 325, 68

Chapitre 2: Services scientifiques à la communauté

2.1. Météorologie chimique (Chemical weather) :

L'IASB transfère son système d'assimilation stratosphérique de la recherche aux services opérationnels dans le cadre du programme européen GMES

BASCOE est un système logiciel qui combine les résultats d'un modèle de la chimie stratosphérique avec les observations prises par satellite. Il utilise la méthode variationnelle à 4 dimensions pour prendre les réactions chimiques en compte de manière explicite. De 2002 jusqu'à 2004, ce système a assimilé sans interruption les observations collectées par l'instrument MIPAS embarqué sur le satellite Envisat. Vu la sophistication de l'algorithme 4D-Var, ce service prototype constituait alors une percée majeure dans le domaine de la météorologie chimique. En 2004 l'instrument MIPAS cessa de livrer des observations en temps réel, et l'équipe de modélisation stratosphérique commença à améliorer BASCOE pour générer des ré-analyses de la composition passée de la stratosphère.



En 2009 ce système modernisé a été livré à la nouvelle équipe de services en météorologie spatiale, qui l'a adapté pour démarrer un service opérationnel fournissant en quasi-temps réel des analyses globales de la composition de la stratosphère. C'est le premier exemple d'un modèle de recherche développé à l'IASB et transféré aux services opérationnels.

Figure 34: Trou d'ozone au-dessus de l'hémisphère Sud le 5 octobre 2009 à minuit, tel qu'assimilé par BASCOE 4 heures après réception des observations Aura-MLS.

Ce service est une composante du programme européen

GMES (Global Monitoring for Environment and Security). Le projet multinational MACC consiste à développer de tels services atmosphériques pour GMES, et ces analyses en quasi-temps réel par BASCOE y constituent la composition chimique de référence dans la stratosphère. Ce monitoring est distribué en libre accès au public par un site web dédié, <http://macc.aeronomie.be>

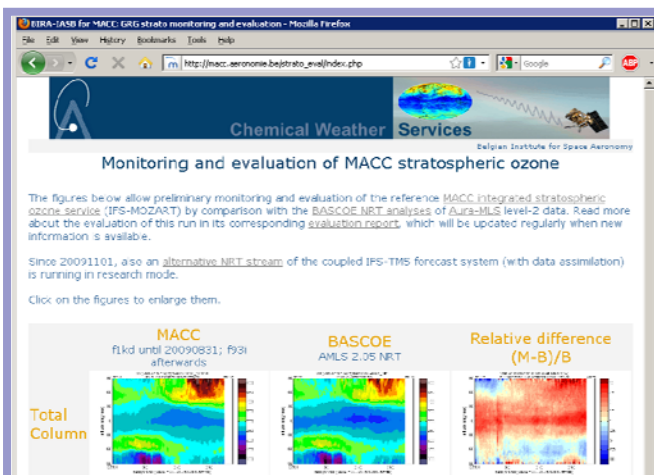


Figure 35: Page web de l'IASB (<http://macc.aeronomie.be>) pour le monitoring en quasi-temps réel de l'ozone délivré dans le cadre du projet européen MACC (<http://www.gmes-atmosphere.eu>)

2.2. La « météo spatiale » (Space weather)

Le portail ESWeb et l'outil logiciel SPENVIS

La Météo spatiale décrit les conditions qui prévalent à proximité de la Terre et qui sont donc susceptibles d'affecter significativement un bon nombre d'activités humaines. Ces conditions sont principalement liées à l'activité solaire et à des phénomènes tels que les tempêtes géomagnétiques, les ceintures de radiations de Van Allen, les perturbations ionosphériques, les aurores et autres courants induits géomagnétiquement à la surface de la Terre.

Plusieurs modèles et ensembles de données ont été produits (ou le sont encore) par la communauté des scientifiques et des ingénieurs pour comprendre, évaluer et prévoir les phénomènes et leurs effets sur les systèmes technologiques. L'accès à ce type d'informations n'est pas toujours immédiat, en particulier pour le grand public. Aussi, ces services Web accessibles devraient donc contribuer à éduquer, informer et fournir des outils conviviaux aux différentes communautés d'utilisateurs (le grand public, les ingénieurs spatiaux et les décideurs politiques,...). Notre objectif à long terme est de fournir un certain nombre de services humains et techniques qui permettent d'exposer l'expertise scientifique et technique acquise sur l'environnement spatial et ses effets.

Le portail ESWeP (European Space Weather Portal)

Le portail ESWeP est un site web intégré fournissant un point d'accès centralisé qui permet de partager les connaissances et les résultats de la communauté scientifique travaillant en météo spatiale. Démarré dans le cadre de l'action COST 724, le portail ESWeP s'est développé dans le cadre de l'action COST ES0803 ('Développement de produits et services de la météorologie spatiale en Europe'). Le portail est hébergé à l'Institut d'Aéronomie spatiale de Belgique et ses objectifs sont les suivants:

- maintenir un système de gestion des contenus performant pour soutenir le portail;
- développer de nouvelles fonctionnalités;
- interagir avec la communauté européenne de météo spatiale

En plus de la maintenance du système de gestion des contenus du portail, les progrès suivants ont également été réalisés en 2009:

- l'implémentation d'un espace d'échange de documents, logiciels ("Space Weather Document Repository") en collaboration avec le projet SOTERIA FP7. Ce référentiel permet aux professionnels de la météo spatiale de télécharger et partager leurs documents techniques, documents de référence, publications de recherche standards, etc. Il est disponible à l'adresse URL suivante : <http://www.spaceweather.eu/en/repository>. En plus du document lui-même, les métadonnées telles que la liste des auteurs, titres et résumés des sujets abordés sont aussi stockés dans ce référentiel. Actuellement, ce référentiel comprend environ 70 documents.
- la mise en place d'une prévision instantanée de l'emplacement de la plasmopause modèle mis au point par V. Pierrard (doi: 10.1029/2003GL018919) et les prévisions de Kp Ce document provient de SWENET. Le nowcast est visible comme un panneau d'aperçu sur la première page du portail.
- l'établissement des liens entre les prévisions en temps réel des événements du bien-connectés solaire énergétique Proton Events" développé et maintenu par Dr. Marlon Paz Núñez de l'Université de Malaga à travers un panneau d'aperçu sur la première page du portail.

L'environnement spatial, les effets, et le système éducatif (SPENVIS)

Le système SPENVIS est un logiciel d'ingénierie opérationnelle ESA développé, maintenu et exploité par l'IASB composé d'une interface Web pour l'évaluation de l'environnement spatial et ses effets sur les systèmes des engins spatiaux et des équipages. Le système est utilisé par une communauté d'utilisateurs internationaux à des fins diverses, par exemple, analyse de la mission et de la planification, de soutien pédagogique, et des modèles en cours d'exécution pour des applications scientifiques.

La mise à niveau du système SPENVIS se produit dans le cadre d'un contrat ESA SGPC. En plus de la maintenance du système et le support utilisateur, ce qui suit principaux progrès ont été réalisés en 2009:

- Ajout du système SPENVIS du modèle IGE-2006 (et quelques versions alternatives) pour l'environnement électronique géostationnaire mis au point par l'ONERA/DESP (Sicard-Piet et al., doi: 10.1029/2007SW000368). Dans l'interface utilisateur, le modèle n'est disponible que lorsque les orbites géostationnaires sont définies.
- Ajout au système SPENVIS de la mise à jour nécessaire pour obtenir le modèle JPL-91 afin de prédire les flux de protons à long terme depuis le Soleil proposés par Rosenqvist et al. (doi: 10.1016/j.asr.2007.08.023).
- Ajout au système SPENVIS de l'ISO-15390 (et quelques versions alternatives) pour évaluer les flux de rayonnements cosmiques galactiques dans l'environnement proche de la Terre. A l'intérieur de SPENVIS, le modèle est lié au calcul des taux d'événements de renversement unique (Single Event Upset).
- Mise à jour du générateur de l'orbite SPENVIS afin de simuler les trajectoires pour des missions de Mars et de Jupiter.

- Mise en œuvre de modèles Jovien particules piégées sur un code fourni par l'ONERA / DESP. La mise en œuvre utilise les trajectoires simulées par le générateur d'orbite et comprend des modèles: Divine et Garrett, GIRE et ONERA / Salammbô.
- Développement d'une définition géométrique en Java qui permet la génération de fichiers GDML pour les géométries simples. GDML (Language de balisage de description Géométrique) est un format standardisé utilisé pour décrire la géométrie dans les applications Geant4. Un tel fichier est souhaité lors de l'utilisation des outils Geant4, tels que SSAT (Secteur Shielding Analysis Tool) et GRAS (Geant4 Radiation Analysis for Space).
- Développement d'une interface HTML à la norme ECSS Environnement spatial (ECSS-E-ST-10-04C). L'interface est disponible depuis la page d'aide de SPENVIS.

Tous les nouveaux développements sont disponibles dans la version 4.6.2 (Décembre 2009).

Le système SPENVIS est utilisé par une communauté croissante. En 2009, environ 1070 personnes se sont créées un compte SPENVIS (pour 35% en Europe et 30% aux États-Unis). Chaque mois, environ 300 personnes ont accès à SPENVIS pour accéder aux modèles et les exécuter. La majorité des utilisateurs utilise SPENVIS sur une base occasionnelle (de quelques jours à une période d'environ 3 mois).

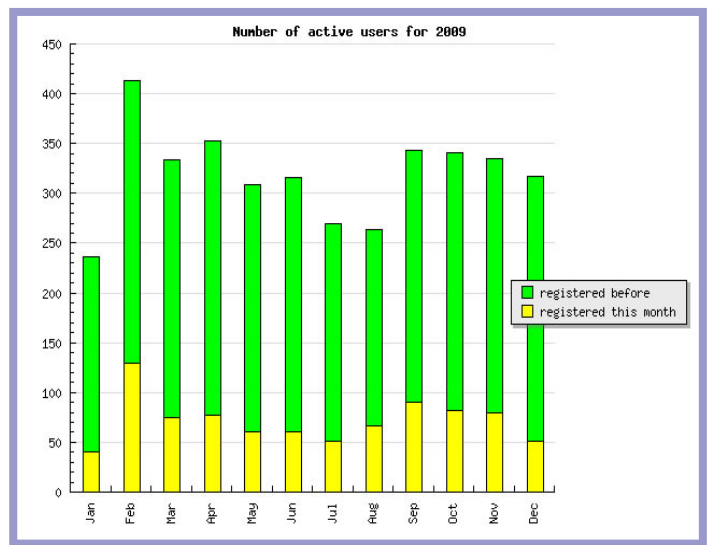


Figure 36: Capture d'écran d'une page de l'outil ESWEP montrant, dans le panneau principal, une liste de document archivé dans le SOTERIA Space Weather Document Repository et sur le panneau de gauche les aperçus de l'emplacement de la plasmapause et la prévision en temps réel d'un événement SEP.

Figure 37: Nombre d'utilisateurs actifs du système SPENVIS pour l'année 2009.

2.3. Le B.USOC et les missions spatiales

Introduction

Le B.USOC (Belgian User Support and Operation Centre) est un USOC mis en place par l'ESA et par le ministère belge de la politique scientifique. Son rôle principal est de promouvoir les programmes de recherche spatiale et les occasions de vol pour la communauté scientifique belge dans les universités, les institutions fédérales et régionales, ainsi que dans l'industrie. Plus précisément, il aide les équipes de scientifiques belges à préparer et à développer des expériences nécessitant un environnement spatial dans différentes disciplines de la recherche spatiale: Microgravité, Sciences de la Terre, Sciences spatiales et Technologie spatiale.

2.3.1. Centre de mission SOLAR

Objectifs

Dans le cadre général de la mission Columbus, le B.USOC assume la gestion du Centre Responsable du Laboratoire (Facility Responsible Centre : FRC) pour l'observatoire de surveillance solaire externe.

Trois instruments de science spatiale constituent l'observatoire solaire (SOLAR). Ces trois instruments complémentaires mesureront avec une précision remarquable l'éclairement énergétique spectral du soleil sur la quasi totalité du spectre c.-à-d. 17-

3000 nm. Ce rayon d'action couvre 99% de l'émission énergétique du soleil.

Mis à part pour ses apports à la physique solaire et stellaire, l'étude des flux d'énergie solaire (et de ses variations) pénétrant dans l'atmosphère terrestre est d'une importance capitale pour la modélisation atmosphérique, la chimie atmosphérique et la climatologie.

Les trois instruments sont: SOVIM, SOLSPEC et SOL ACES. Ils sont installés sur le dispositif de pointage développé par l'ESA avec une capacité de repérage de l'ordre d'un flux d'induction magnétique égale à 1 weber afin de neutraliser les mouvements dans la Station Spatiale Internationale. Le quatrième instrument, l'Observatoire de Polarisation du Ciel sera installé séparément.

Pour cette mission, le B.USOC fonctionne du Facility Responsible Centre. Un FRC est un centre de soutien aux installations qui se voit confier la responsabilité (par l'ESA) d'une charge utile à bord de la Station Spatiale. Ses fonctions sont concentrées sur les aspects des systèmes de charge utile et concernent toutes les phases des opérations c.-à-d. les activités de prévol, pendant le vol et après le vol.



Progrès et résultats

Le BUSOC fait fonctionner 24 jours sur 7 cette charge utile depuis le lancement du module Columbus en février 2008.

Perspective pour les années suivantes

Les objectifs consistent à continuer les opérations de la charge utile, ainsi qu'à négocier avec l'ESA sur une prolongation de la mission en étroite collaboration avec les scientifiques impliqués dans cette mission.

Figure 38: Module Columbus et la charge utile

2.3.2. Centre de mission MICROGRAVITY

Objectifs

Le PCDF (Protein Crystallisation Diagnostics Facility) est un instrument multifonctionnel servant à l'étude fondamentale des processus de nucléation et de cristallisation des macromolécules biologiques et plus particulièrement de l'influence exercée par la gravité sur ces processus.



Cet instrument peut être utilisé pour mesurer de façon précise des phénomènes physiques dans des réacteurs individuels, et pour contrôler ces phénomènes en fonction des variations de température et de la concentration de la solution.

Figure 39: PCDF processing unit

Progrès et résultats

Le B.USOC était responsable des préparations et des activités pendant le vol de la mission PCDF PROTEIN qui a eu lieu à l'ISS durant quatre mois de la première partie de 2009.

Perspective pour les années suivantes

L'objectif est de continuer les opérations des charges utiles dans les microgravités. L'ESA a chargé le BUSOC de trois nouvelles expériences: SCDF, VIP-GRAN et DIRSOL.

Figure 40: A l'intérieur de Columbus, PCDF



2.3.3. Centre de Mission Scientifique PICARD (CMS-P)

Objectifs

Le Soleil et son influence sur notre climat constituent un sujet d'une importance primordiale. Le projet Picard a été proposé pour la première fois en 1998 par le laboratoire d'aéronomie du Centre National de Recherche Scientifique français (SA/CNRS). Le 3 décembre 2004, le conseil d'administration du CNES (Centre National d'Etudes Spatiales) a décidé de relancer ce projet gelé depuis 30 avril 2003, conformément aux recommandations de son comité des programmes scientifiques. Il se concrétisera en 2010.

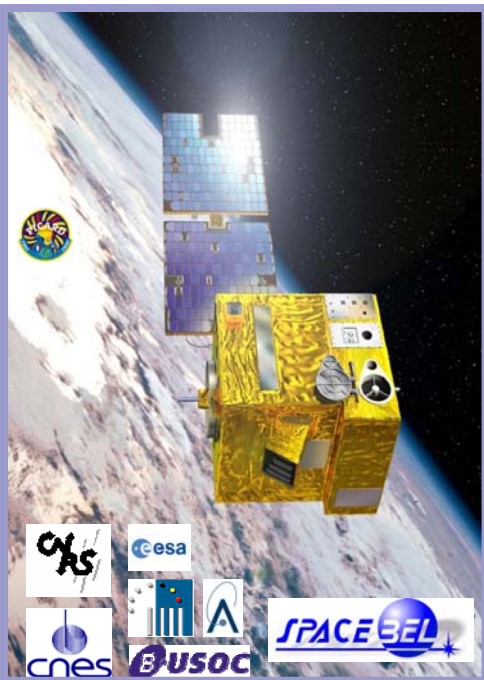


Figure 41: Mission PICARD

Picard est un microsatellite Myriade du CNES qui mesurera avec précision le diamètre du Soleil et ses variations ainsi que l'éclairement énergétique du soleil avec pour double objectif d'en savoir plus sur l'influence du Soleil sur notre climat et d'étudier sa structure physique et interne. Initialement programmée pour 2003, le lancement de Picard est maintenant prévu pour 2008 au début du prochain cycle solaire, pour une mission d'une durée de 2 ans. La charge utile du microsatellite comprendra:

- un télescope d'imagerie (développé par SA/CNRS) capable de mesurer la forme et le diamètre du soleil en quelques millisecondes,
- un ensemble de trois photomètres et radiomètres (instrument suisse PREMOS 2) pour étudier l'ozone et les oscillations solaires,
- un radiomètre différentiel (instrument belge SOVAP) pour mesurer l'éclairement énergétique total du soleil

Progrès et résultats

Toutes les infrastructures ont été mises en place durant l'année 2009. Le concept fonctionnel a été gelé par le CNES, le BUSOC et l'équipe des opérateurs engagés. Des tests de qualification technique et fonctionnelle ont été menés à bien et l'approbation du CNES pour les opérations et le lancement ont été acceptés.

Perspective pour les années suivantes

Le centre de mission PICARD sera dirigé par le B.USOC

Le rôle principal du centre de mission Picard est de :

1. programmer la charge utile. Cette programmation est ensuite transférée vers le segment sol de contrôle (Micro satellite Ground Segment : MIGS) qui la télécharge vers le satellite
2. contrôler l'état de santé de la charge utile à un temps ultérieur
3. élaborer les produits scientifiques de la mission (LO à L2A)
4. acquérir, stocker et traiter les données remises par le Centre ...
5. acquérir et stocker les données externes remises par le Centre d'Expert Scientifique PICARD (OCA (Observatoire Côte d'Azur))
6. stocker et diffuser les produits élaborés aux équipes scientifiques

Le lancement du PICARD a eu lieu le 15 juin 2010. La phase de la mise en service terminera au début d'octobre 2010.

2.3.4. Centre de données SATELLITE

Objectifs

Dans le cadre du « Solar-Terrestrial Centre of Excellence (STCE) », le BUSOC a mis en place un centre de données satellitaires qui permet aux scientifiques de gérer et de stocker les données.

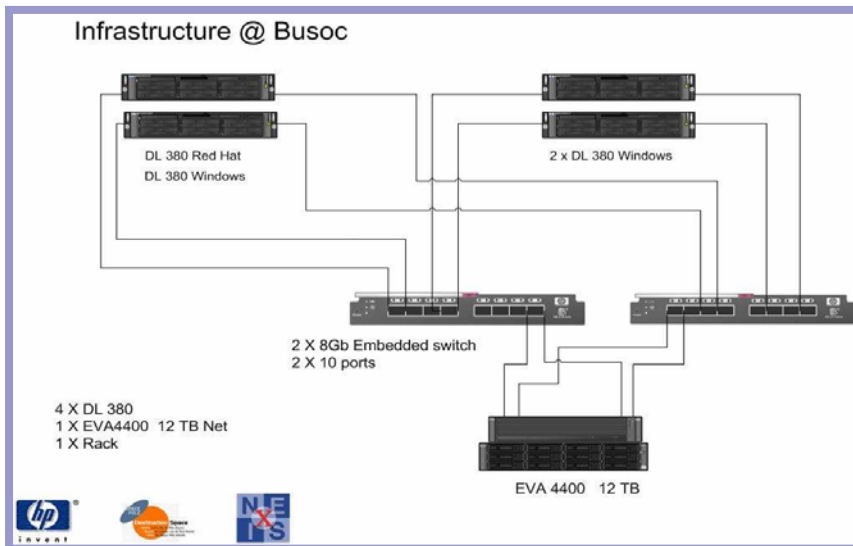


Figure 42: Système de stockage des données BUSOC

Progrès et résultats

La procédure pour acheter le système terminé.

Perspective pour les années suivantes

Le système sera à disposition de l'opération au cours de l'année 2010.

2.3.5. Projets de gestion des connaissances

Objectifs

La gestion des connaissances est devenue stratégiquement primordiale pour les trois

institutions. La gestion des connaissances utilise également de nombreux outils de TIC mais elle ne peut pas être restreinte à cette seule dimension.

La mise en place d'un tel système implique une réflexion plus large sur les méthodes de développement des compétences, de la formation et également de construction de la direction (la transparence de la stratégie, les objectifs, les mission et la responsabilité pour chaque individu).

Le fonctionnement de « l'équipe récemment structurée » n'est pas possible avec la création d'une vraie culture de coopération dans le Pôle. Il faut que ce dernier mette en place des systèmes entraînants qui insistent le personnel à partager leur connaissance ; cet objectif représente un important changement culturel.

Progrès et résultats

Avec différents projets établis au sein de la structure du BUSOC (ULISSE, CUBIST, PICARD, SOLAR, ..), nous envisageons un cadre comprenant les principales caractéristiques suivantes:

1. Il sera possible de rassembler des données de diverses sources (in)structurées.
2. L'utilisation d'un entrepôt de données sémantiques.
3. Des projets établis au sein du BUSOC fourniront de nouvelles manières de l'analytique visuelle dans laquelle des représentations significatives schématisées des données seront utilisées tant pour naviguer que décrire les données.

Perspective pour les années suivantes

Le projet Ulisse approuvé par la Commission européenne commencera en janvier 2010. A la fin de 2010, le BUSOC s'occupera de la démonstration de ce nouveau système de gestion et de dissémination de données.

Le projet CUBIST sera discuté avec la Commission européenne l'année prochaine.

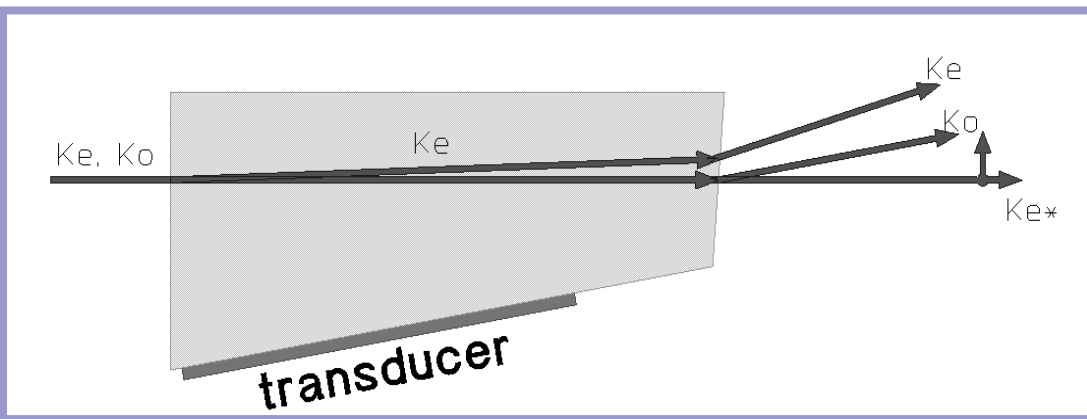
Chapitre 3: Structures de support

3.1. Service d'ingénierie

Durant l'année 2009, le projet ALTIUS a été le projet phare de la division engineering et en a mobilisé la majorité des ressources humaines et d'équipements. ALTIUS est un instrument destiné à observer le limbe atmosphérique, à savoir les couches atmosphériques visibles depuis l'espace entourant le disque terrestre, au moyen de l'imagerie spectrale. L'instrument sera placé sur une plateforme satellitaire de taille réduite et donc aisément manipulable (par exemple un satellite PROBA). De plus amples informations concernant le volet scientifique d'ALTIUS sont données plus loin dans ce rapport. Ci-dessous, nous nous focalisons sur les aspects du projet pour lesquels la division engineering de l'IASB a été majoritairement impliquée à savoir le développement de la mécanique, de l'électronique et du software du « Breadboard » d'ALTIUS.

Le « Breadboard » est un prototype du canal visible d'ALTIUS (actif entre 400 et 800 nm). Le canal visible a été préféré aux canaux UV et Infrarouge car, contrairement à ceux-ci, il offrait des facilités évidentes en matière de construction, d'alignement et de test et parce que les éléments optiques et le détecteur relevaient de la technologie courante.

Durant les études effectuées dans le cadre de la phase A du projet ALTIUS, l'usage d'AOTFs (Acousto Optical Tuneable Filters) combiné à un détecteur bidimensionnel a été mis avant comme option de base. Cette combinaison permet de réaliser de l'imagerie spectrale à travers l'enregistrement par le détecteur d'images 2D à différentes longueurs d'ondes sélectionnées rapidement et électroniquement par l'AOTF. Pour une particule donnée de l'atmosphère, un cube spectral peut donc être construit, et réactualisé aussi souvent que possible, de sorte qu'un échantillonnage global de la composition de l'atmosphère terrestre devient possible dans un domaine très étendu de longueur d'onde. Dans un AOTF, la lumière incidente est divisée en un faisceau de lumière non-diffractée (qui n'est pas utilisé dans l'instrument) et un faisceau de lumière diffractée du premier ordre



(dont la longueur d'onde est déterminée par la fréquence de contrôle du cristal) qui est légèrement dévié par l'interaction avec l'onde acoustique générée dans le cristal.

Figure 43. Principe de fonctionnement de l'AOTF

Un grand avantage des AOTFS est qu'ils permettent de filtrer une

longueur d'onde de la lumière sans faire usage de parties mobiles (par exemples des « roues à filtres »). En effet, la sélection de longueur d'onde se fait de manière électronique via un transducteur alimenté par une fréquence radio bien définie et collé sur un cristal biréfringent spécialement taillé. La possibilité d'effectuer des sauts rapides de fréquence à fréquence offre une flexibilité supplémentaire et augmente la valeur scientifique de l'instrument.

L'imagerie spectrale à l'aide d'AOTFs est une technique qui n'a jamais été utilisée dans des applications spatiales. De plus, le but est d'utiliser les AOTFs avec une très bonne efficacité. Ainsi, les techniques les plus avancées de réduction des lobes secondaires (side lobe suppression) seront utilisées (même si la technologie utilisée n'est pas maîtrisée, le brevet appartenant à une société anglaise, Gooch & Housego). Afin de gagner en confiance quant à l'utilisation de ces techniques, de mettre en évidence le principe de fonctionnement d'ALTIUS et de prouver que l'instrument ALTIUS, ou à tout le moins son canal visible, peut répondre aux exigences de la mission, une validation expérimentale de la technique d'imagerie spectrale était nécessaire.

Par conséquent, ont démarré en 2009 la caractérisation, le design, l'achat des composants et la fabrication d'un breadboard du canal visible d'ALTIUS. Ce breadboard est construit selon des exigences scientifiques aussi proches que possible du canal visible d'ALTIUS mais fait usage de composants commerciaux existant et rapidement disponibles. Tous les éléments optiques sont placés dans une configuration linéaire qui permet l'usage de lentilles à la place de miroirs (comme dans la configuration définitive d'ALTIUS). Cela signifie que le breadboard n'est pas représentatif en termes de dimensions et de configuration mais bien en ce qui concerne le principe de fonctionnement. La Figure 44 donne une représentation mécanique de la configuration du breadboard. Deux parties principales se distinguent : le breadboard de base, conçu pour les observations du limbe terrestre, et son extension, qui peut être placée devant le breadboard de base et est conçue pour l'observation d'objets lumineux moins intenses (par exemples les étoiles) à travers l'atmosphère.

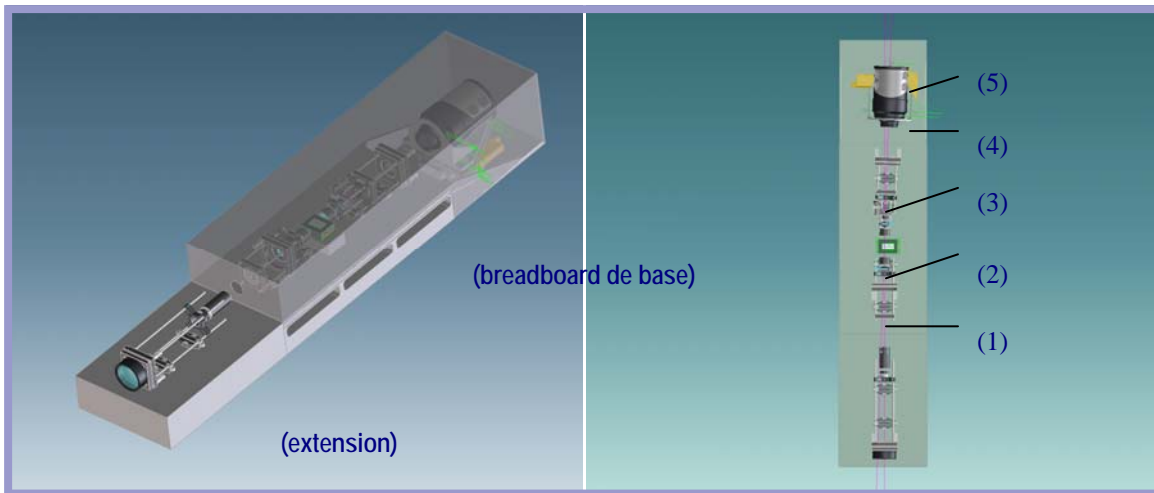


Figure 44 : Représentation schématique du breadboard.

Le breadboard de base est modulaire et se compose (1) d'une optique d'entrée (composée de lentilles et d'un polariseur) ; (2) d'un AOTF commercial délivré par la firme Gooch&Housego et prévu pour la « side

lobe suppression » ; (3) d'une optique de sortie (composée d'un polariseur, de lentilles et d'un beam stop afin de stopper l'ordre non-diffracté quittant l'AOTF ; (4) d'un assemblage de 2 tables de translation placées l'une sur l'autre ; (5) sur lequel est monté un détecteur CCD bidimensionnel (PIXIS 512) avec système de refroidissement et électronique de lecture intégrés.

Le montage est réalisé sur une plaque de base (avec couvercle), conçue et réalisée dans la division engineering de l'IASB, sur laquelle tous les éléments optiques sont montés à l'aide de supports spécialement conçus et pour laquelle toutes les dispositions nécessaires sont prises pour un bon alignement de l'ensemble. Le contrôle électronique des tables de translation, de l'AOTF et du détecteur est assuré par différents drivers fournis avec le hardware ou développés, partiellement ou totalement, à l'institut. Le contrôle des logiciels des différentes parties est réalisé à l'aide du logiciel « umbrella », basé sur le langage LabView et développé au sein de la division engineering de l'institut, qui assure la coordination entre la sélection des fréquences de l'AOTF, le réglage précis de la position du détecteur via les tables de translation et la lecture du détecteur lui-même.

La construction de ce breadboard est menée en association avec la firme d'optique OIP. La calibration des différents composants optiques, l'alignement de l'instrument et les tests fonctionnels sont issus d'une collaboration entre les ingénieurs d'OIP et la division engineering de l'IASB.

3.2. ICT (supports informatiques et technologiques)

Aperçu des activités

Le service ICT gère et développe l'infrastructure IT de l'institut et fournit du support pour toutes les activités liées à l'informatique.

Une des tâches est l'extension et l'entretien de l'infrastructure de base (réseau, serveurs, stockage, services) aussi bien que l'achat, l'installation et l'entretien des postes de travail des utilisateurs (PC, Terminaux et logiciels associés).

Une autre priorité est le support direct aux utilisateurs pour l'emploi de cet environnement ICT, le traitement de données, le développement d'applications et la gestion des données.

L'infrastructure actuelle (situation fin 2009) de l'institut comprend entre autres :

- 200 postes de travail (Pc, portables et terminaux)
- 50 serveurs (aussi bien physiques que virtuels, Linux, Windows et HP/UX)
- de la capacité de stockage partagée d'une capacité utilisée de plus de 90TB.

2009 a été l'année de la stabilisation. Les investissements de 2008 ont été rentabilisés et le renforcement de l'équipe ICT par 2 nouveaux collaborateurs engagés en 2008, a porté ses fruits après une période d'acclimatation.

Entretemps, la demande de support ICT pour la réalisation des nouveaux projets de l'IASB ne cesse de croître. Ce support comprend le matériel destiné aux nouveaux collaborateurs, l'aide au développement d'applications complexes et la mise en place de serveurs et services web.

Projets Importants 2009

Analyse et gestion des flux de données et du traitement de données.

Etant donné la tendance actuelle en termes de croissance de flux et de quantité de donnée, il est très important de bien gérer et administrer ceux-ci.

En 2008, un nouveau collaborateur a été engagé afin d'assumer cette tâche spécifique.

Le projet de gestion de données a été complètement développé en 2009.

Ce projet a nécessité l'inventaire complet des flux de données de différents projets ainsi que la cartographie de toutes les données qui existaient déjà.

Pour chaque projet des informations cruciales ont été collectées :

- Quelle est la quantité de données (nombre de fichiers, capacité) ?
- Quelles données existent et où ? (Il peut exister différentes versions d'un même set de données et chaque projet ont leurs propres structures définies pour stocker les données)
- Quelle est la croissance des données par jour/mois/année ?
- Quelles données sont nécessaires pour des traitements, à quels moments (traitement near-realtime, sets de données nécessaires pour une recherche, nouveau traitement de sets de données existants)?
- Jusque quand ces données sont-elles nécessaires ?

En fonction des réponses à ces questions, nous pouvons prévoir l'espace de stockage nécessaire pour chaque projet et pour l'ensemble de l'institut. De cette façon, nous pouvons à ce jour, prévoir quelle sera la capacité disque utilisée (nécessaire) dans les 2 années à venir.

Il est aussi maintenant possible d'archiver automatiquement des vieux sets de données ou des sets de données peu utilisés vers des bandes magnétiques. Ces données restent disponibles grâce à un logiciel spécifique de gestion de l'archivage.

Le suivi des flux de données est aussi important. Grâce à la centralisation des transferts automatiques de données, nous pouvons utiliser de façon optimale la bande passante disponible du réseau et monitorer le bon déroulement des transferts de données.

En plus de la gestion des données, nous avons aussi commencé à centraliser les processus de traitement de données les plus importants. Le responsable au sein de l'équipe ICT pour le HPC (high performance computing) assiste les utilisateurs dans la migration des programmes existants qui tournent encore sous windows ou sur d'anciens systèmes vers les serveurs centraux sous Linux.

Cela nous permet de travailler de manière plus efficace, d'améliorer la fiabilité des processus.

Il est aussi plus simple de monitorer et de contrôler le bon déroulement des traitements de données.

Dans la phase suivante, le but est de lier la gestion et le traitement de données afin avoir un traitement complètement intégré de l'acquisition des données jusqu'à leur sauvegarde à leur destination définitive.

Virtualisation des serveurs

Un autre projet qui a demandé beaucoup de ressources est la virtualisation de serveurs. Cela est rendu possible grâce à notre cluster VMware opérationnel.

Précédemment pour chaque nouvelle application, chaque nouveau service réseau, ou chaque nouveau projet, il fallait acheter et configurer du matériel complètement indépendant. Actuellement, nous pouvons fournir les mêmes résultats en installant de nouveaux serveurs 'virtuels' sous VMware. Un serveur 'virtuel' est en fait un programme qui s'exécute sur un serveur particulier (un serveur VMware) et qui simule un serveur physique complet.

Il n'y a pas de différence entre une application qui tourne sur un serveur physique réel ou sur un serveur virtuel. Cette manière de travailler présente plusieurs avantages directs:

- Une installation rapide. Il n'y a pas de matériel à acheter. C'est un processus complètement logiciel.
- Une fiabilité accrue. Si un problème matériel (hardware) survient sur un des systèmes de l'infrastructure VMware, les serveurs virtuels sont automatiquement déplacés vers un autre système fonctionnel
- Des couts réduits : pas de serveurs supplémentaires, moins de consommation électrique et d'air conditionné grâce à une utilisation plus efficace du matériel existant.

En 2009, nous avons de cette manière pu remplacer plusieurs vieilles machines par des serveurs virtuels, au lieu de devoir acheter de nouvelles machines. Ces économies ont déjà permis de rentabiliser l'investissement logiciel et matériel initial.

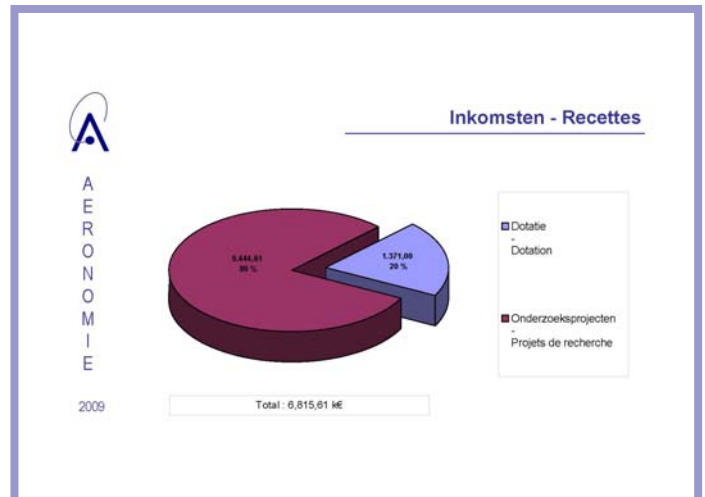
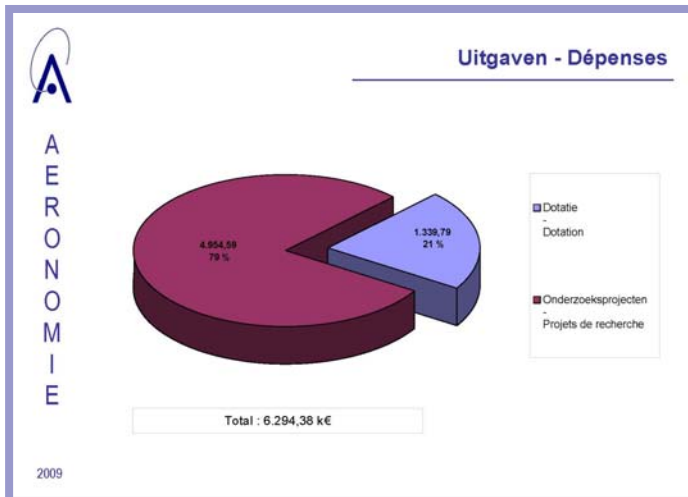
Un avantage supplémentaire, est que nous avons pu de façon très flexible répondre aux besoins urgents de certains projets en installant des serveurs virtuels supplémentaires pour résoudre des problèmes spécifiques.

Pour le moment, déjà 30% des serveurs installés sont des serveurs virtuels. Ce pourcentage devrait encore augmenter de beaucoup à l'avenir.

3.3. Administration: budget, personnel

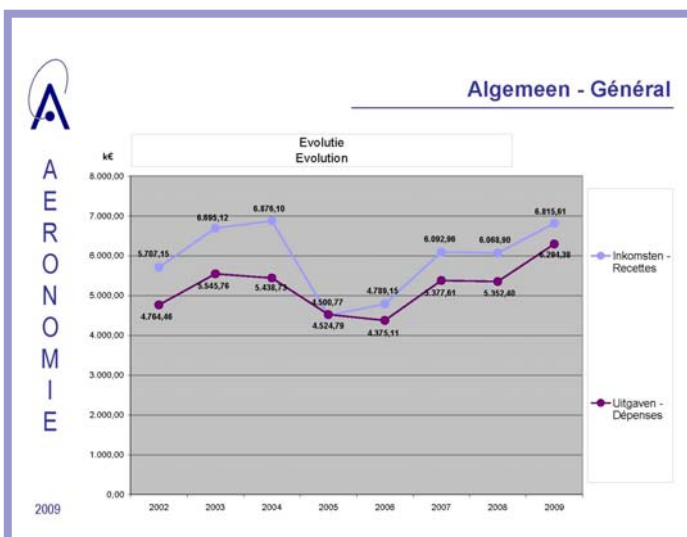
3.3.1. Budget

Pour l'année 2009, le budget total en recettes de l'établissement s'élevait à 6815,61 kEuros.



Ces recettes globales sont composées de 20% (1371,00 kEuros) en provenance de la dotation fédérale et de 80 % (5441,61 keuros) en provenance des projets de recherches.

Ces projets de recherches sont financés par des initiatives ministérielles fédérales, par l'Agence Spatiale Européenne, par la commission européenne, etc.



Les dépenses globales de 6294,38 keuros de l'exercice 2009, se répartissent proportionnellement aux recettes : 21 % (1339,79 keuros) sont réalisés sur les fonds de la dotation fédérale et 79 % (4954,59 keuros) sur les projets de recherche.

59 % des dépenses servent à payer le personnel contractuel, les frais de fonctionnement s'élèvent à 25 % des dépenses et 16 % a été consacré aux frais d'investissements.

Ce budget ne tient pas compte du coût salarial du personnel statutaire qui fait partie de l'enveloppe de la politique scientifique fédérale (Belspo).

3.3.2. Personnel

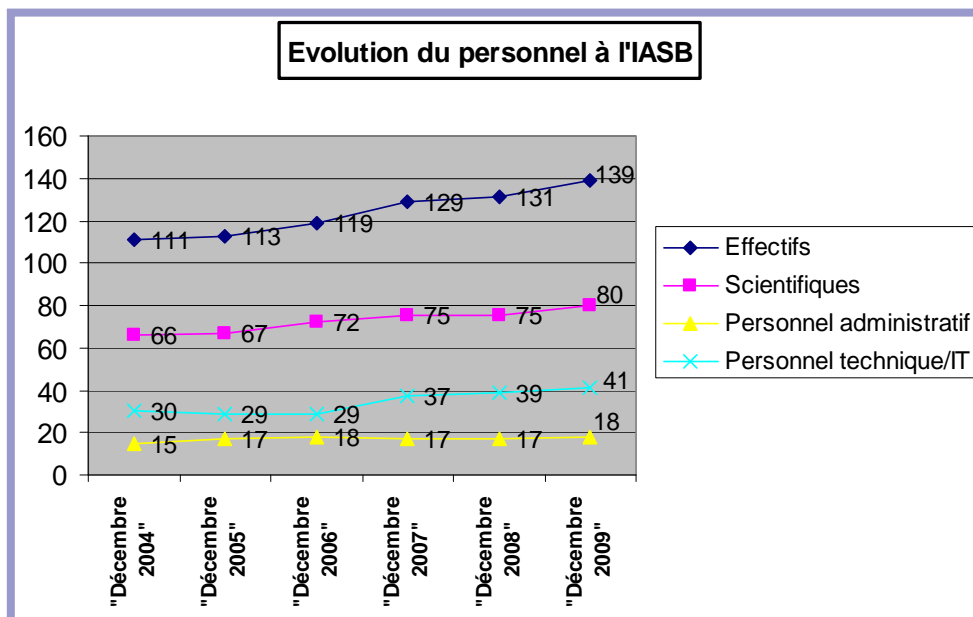
Afin de répondre aux défis futurs, aux nouveaux projets au sein du RH et d'offrir un support de qualité aux dirigeants, le service a dû

être réorganisé dans le cadre d'une évolution continue vers un service RH de qualité supérieure. Ainsi, deux membres ont été recrutés tant en interne qu'en externe, pour renforcer le service RH, ce qui explique l'occupation de 2,5 ETP.

De plus, le nouveau cycle d'évaluation pour les chercheurs a été mis en place en 2009 et les aspects suivants, qui seront en service en 2010, ont également été commencés: la préparation de l'introduction des cercles de développement et l'outil d'assistance, d'observation et d'évaluation établi pour le personnel tant administratif que technique.

Effectifs et évolution du personnel

Le graphique ci-contre montre l'évolution et la composition des effectifs à la fin 2009.



Moyenne d'âge (année)

Personnel total	40,01
Personnel statutaire	47,35
- Scientifique	45,56
- Administratif	48,68
Personnel contractuel	35,34
- Scientifique	35,03
- Administratif	35,96

La croissance continue du personnel dans les années précédentes s'est également poursuivie en 2009. Par rapport à

l'année 2008, il y a eu une augmentation de 6% résultant principalement d'une légère augmentation des projets scientifiques.

Réorganisation du service RH

La réorganisation et l'extension du service RH s'imposa afin de répondre au défi qui consistait à mener d'une façon efficace une gestion du personnel et à offrir des services d'une qualité supérieure tant au personnel qu'aux clients internes.

Le fait que l'ancienne composition (1,5 ETP) ne fonctionnait pas s'explique largement par 2 facteurs :

- Manque d'effectifs :

La croissance explosive des effectifs dans les 5 dernières années (voir ci-dessus) a considérablement augmenté la tâche pour les services de support.

- Besoin de nouveaux profils et compétences :

En outre, le gouvernement a connu une certaine révolution au niveau de la stratégie RH durant la même période. Ainsi le service du personnel évolue d'une administration classique du personnel vers un service de staff P&O. Ces derniers dirigent et soutiennent l'éventail complet des processus RH. Cette grande dynamique sur le domaine des RH Management au gouvernement fédéral est souvent initiée par le SPF P&O. Ce dernier a établi plusieurs concepts supportifs dont différentes administrations peuvent se servir à leur propre rythme et selon leur propre besoin. Quelques exemples : management de compétence, X° feed-back, e-RH, indicateur RH, etc.

A l'heure actuelle, le service RH de l'Institut comprend les 3 membres suivants, équivalent de 2,5 ETP :

le responsable RH, assisté par un expert RH de l'Administration et Recrutement du Personnel et un assistant RH qui effectue du support administratif et est e.a. responsable de la gestion des bases de données.

En outre, un partenariat a été mis en place avec le SCDF en 2009 qui sert de caisse d'allocations familiales pour IASB à partir d'avril 2009. Auparavant, le service RH était en charge de la gestion du dossier des allocations familiales.

Accords clairs → Assistance → Observation → Evaluation

En 2008 le nouveau statut scientifique pour le personnel statutaire est entré en vigueur. L'insertion de différents éléments a été graduellement effectuée. Ainsi, le nouveau cycle d'évaluation d'un an a été mis en œuvre. Ensuite, un profil de fonction a été établi pour chaque membre du personnel scientifique. Ce profil a été discuté entre l'employé et le dirigeant dans un dialogue de fonction. En plus, des objectifs et des prévisions concrets ont été définis dans un entretien de planification. Ces entretiens permettent au dirigeant d'assister et d'observer d'une façon active son employé.

Au cours de l'année 2010, un nouveau système d'évaluation sera également introduit pour le personnel administratif et technique. Déjà en 2009, une grande partie du travail préparatoire a été effectué pour que la campagne d'information, les initiatives de formation et la mise en œuvre des Cercles de développement puissent se dérouler d'une façon optimale et selon le planning en 2010. A l'initiative de SPP Politique Scientifique Fédérale et SPF P&O, un réseau a été créé afin de mieux communiquer et collaborer. Grâce à ce réseau, toutes les institutions scientifiques qui y sont représentées discutent mensuellement.

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 dans ce domaine.

Un matériel didactique varié

L'IASB dispose d'outils didactiques variés afin de promouvoir l'aéronomie auprès du grand public. Par exemple, un site web général (<http://www.aeronomie.be>) vise à présenter les activités de notre institution fédérale, il se décline en trois langues : français, néerlandais et, pour une bonne partie, en anglais. Ce site a pour objectif également de suivre l'actualité scientifique internationale dans le domaine de l'aéronomie. C'est ainsi qu'il propose de nombreuses «news» régulièrement mises à jour. A côté de cela, il existe aussi de nombreux sites web liés à des projets plus spécifiques.

En 2009, l'équipe de communication s'est occupée de l'entretien du site général de l'Institut et d'autres sites spécifiques liés à des projets de recherche. Elle s'est aussi occupée du développement de certains sites particuliers de l'IASB dans le lay-out du site général, par exemple:

- <http://venus.aeronomie.be>
- <http://ozonehistory.aeronomie.be>

Des bornes de quiz interactifs sont utilisées dans différents lieux d'exposition en Belgique, où les questions (en français, néerlandais et anglais) sont régulièrement mises à jour. Des posters, des brochures et autres folders sont aussi créés sur demande pour mettre en avant des recherches et/ou activités spécifiques.



Événements et expositions

L'IASB s'expose dans des lieux d'exposition dit « 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 « Earth Explorer » à Ostende. Il participe aussi à des événements et/ou des expositions temporaires utilisées pour coller à l'actualité et pour lesquelles il met du matériel à disposition ou en crée pour l'occasion.

En 2009, L'IASB a, entre autre, participé à :

- L'Astro Event à Ostende
- La journée du film scientifique et le forum des entreprises à Charleroi
- L'exposition organisée autour des fêtes du 21 juillet au Palais royal à Bruxelles (en collaboration avec les autres ESF et Belspo)
- Les Vlaamse Ruimtevaarddagen, Leuven

L'IASB a aussi participé au salon de l'aéronautique et de l'espace au Bourget, Paris, France.

Portes ouvertes : en octobre 2009, le plateau d'Uccle a ouvert ses portes au grand public pour un week-end. L'IASB a accueilli les visiteurs pour présenter ses activités. Cette présentation de l'institut s'articulait autour de ses principaux thèmes de recherche, le tout complété par des ateliers interactifs.

La cellule de communication de l'IASB/B.USOC agit aussi comme un soutien important à la communication de la politique scientifique fédérale, aussi elle a été fortement impliquée dans la préparation de différents événements :

- La space week 2009 et le congrès des astronautes dans toute la Belgique.
- en 2009, la cellule communication a également aidé à la mise sur pied d'un séminaire scientifique sur le projet RADECS, à Bruges et d'un autre sur le projet EANA à Bruxelles.

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, la presse écrite et les quotidiens, et enfin divers sites web de référence. Quelques exemples de communiqués de presse diffusés en 2009:

- Lancement de l'expérience PCDF
- La journée de l'ozone

La communication scientifique

Ce sont avant tout les équipes de chercheurs de l'IASB qui réalisent la communication du savoir purement scientifique. Toutefois, pour que ce travail de diffusion et de promotion soit optimal, il faut qu'il résulte d'une excellente synergie avec la cellule de communication. Seul un dialogue permanent entre ces deux types de collaborateurs autorise un regard extérieur complémentaire indispensable. Ainsi, une communication externe efficace passe avant tout par une bonne communication interne.

La communication interne

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

Les départs en pension sont fêtés dignement, par exemple en retraçant le parcours de la personne au sein de l'institut grâce à un support audiovisuel. De cette façon les autres collègues ont une vue d'ensemble de la carrière de la

personne qui part.

En 2009, le site web s'est aussi doté d'une partie « prévention », permettant à tout le personnel d'avoir des informations ciblées dans ce domaine.

Afin de faciliter la communication entre la section engineering et les scientifiques, la cellule communication a utilisé l'intranet, via une rubrique spécialisée, pour diffuser diverses informations sur le groupe engineering (planning, spécifications, possibilités, capacités, réalisations).

Focus 2009, vol de Frank De Winne



Cette année et pour la deuxième fois dans sa carrière, l'astronaute belge, Frank de Winne, a rejoint la station spatiale internationale.

La cellule communication a servi de support à la politique scientifique pour la valorisation de cette mission, appelée OasISS, ainsi que la mise en avant de l'implication du B.USOC dans celle-ci. Les activités du B.USOC en rapport avec la station spatiale internationale ont été mises en avant au cours de cette mission.

Des actions ont été menées, par exemple à l'Euro Space Center de Redu pour le lancement de la mission, où un plateau télé avait été organisé à cette occasion. Plusieurs centaines d'élèves ont ainsi pu assister au lancement en direct (voir photos ci-dessus).

Annexes:

Liste des principaux acronymes utilisés dans ce rapport annuel 2009:

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's : Biogenic Volatile Organic Compounds

CFC : Chloro-fluorocarbures ou fréons

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-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 MO尼Toring 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