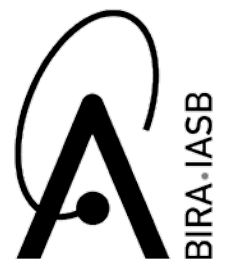


Rapport d'activités

2011-2012



Institut d'Aéronomie Spatiale de Belgique



Institut d'Aéronomie Spatiale de Belgique L'équipe

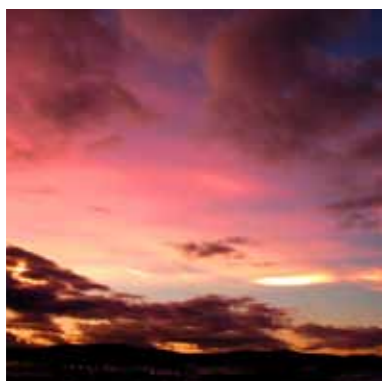


INDEX



Préface

Bienvenue9



1. Aéronomie & climat

Introduction11
Observations dans l'infrarouge12
La mission Altius14
Les aérosols dans la stratosphère16



2. Aéronomie & ozone

Introduction21
Ozone & climat22
Surveillance de la couche d'ozone24



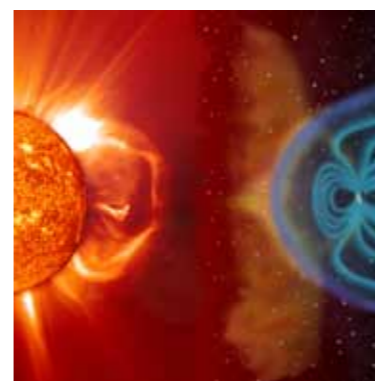
3. Qualité de l'air

Introduction31
Les pluies acides32
Panaches volcaniques34
Mesures de flux COVB36



4. Rayonnement UV

Introduction41
L'instrument SOLAR/SOLSPEC42
Stations terrestres UV46



5. Aéronomie & physique spatiale

Introduction51
Le réseau BRAMS52
L'instrument EPT56
Etude des aurores58



6. Aéronomie planétaire

Introduction63
Mars64
Vénus66



7. Chiffres & personnel

Introduction71
Des chiffres probants72
Des réalisations marquantes73
Moyens de fonctionnement & collaborations75



Annexe

Introduction79
Publications scientifiques 201180
Publications scientifiques 201286
Événements & communication92
Colophon94

Préface

BIENVENUE

Cher lecteur,

Je vous invite à lire notre rapport qui paraît à présent tous les deux ans. Vous y trouverez quelques-unes des activités de recherche scientifique et des réalisations des services scientifiques les plus importantes de l'Institut d'Aéronomie Spatiale de Belgique au cours de la période 2011-2012.

Afin que ce rapport reste compréhensible, nous avons choisi de ne publier qu'une partie du travail effectué à l'Institut. Ainsi, cette édition n'aborde par exemple pas nos recherches et services relatifs à la météo spatiale. Il en va de même pour les développements significatifs qui se déroulent dans le cadre du Centre d'Excellence Soleil-Terre. Il existe un rapport annuel spécifique sur ce sujet que vous pouvez retrouver sur www.stce.be/annualreport.php.

Avec ce premier rapport biennal -les précédents étaient annuels- nous avons cherché à présenter un récit accessible à tous. Ce rapport s'articule autour de quelques thématiques clés étudiées en aéronomie : l'ozone, le climat, la qualité de l'air, la physique spatiale, les planètes et le rayonnement solaire UV. Nous y avons également mis en avant les capacités de notre service d'ingénierie ainsi que les innovations au sein de notre département IT. Tous deux sont indispensables à la poursuite de la modernisation de nos recherches scientifiques, à la mise à disposition de services efficaces et au maintien de la compétitivité au sein d'une communauté scientifique nationale et internationale.

A travers l'exemple de l'expérience SOLSPEC qui se trouve à bord de la Station Spatiale Internationale, nous illustrons le soutien opérationnel que le Belgian User Support and Operations Center (B.USOC) - localisé à l'IASB - apporte aux missions spatiales. Ce rapport met également à votre disposition bon nombre de données chiffrées telles que l'évolution du personnel et des moyens financiers relatifs au développement de l'Institut.

Enfin, nous terminons ce rapport par une liste de publications. Nous nous sommes ici limités aux publications dans les revues à comité de lecture et aux publications qui font connaître nos découvertes scientifiques auprès d'un plus large public. Bien entendu, les scientifiques et ingénieurs de l'IASB contribuent régulièrement à des conférences et workshops internationaux par le biais des présentations orales et des posters. Ces initiatives sont cependant beaucoup trop nombreuses pour être énumérées.

Outre notre mission de recherche scientifique et de service, nous avons également pour tâche d'informer la société sur nos découvertes et développements récents en matière d'aéronomie. C'est la raison pour laquelle nous organisons régulièrement des événements qui permettent au public d'apprendre à mieux connaître nos activités de recherche. Via sa communication sur Facebook et Twitter, l'Institut s'est par ailleurs fait de nombreux nouveaux amis...

La liste de publication et ce rapport démontrent indubitablement que l'Institut d'Aéronomie Spatial de Belgique est un institut de recherche dynamique et reconnu dans le monde entier. En dépit de la pression budgétaire de ces dernières années, nous sommes parvenus à poursuivre notre développement. Je désire également remercier tous les collaborateurs de l'IASB qui ont rendu tout ceci possible grâce à leur engagement continu et à leur dévouement.

Je vous souhaite une agréable lecture.

Martine De Mazière
Directrice générale ad interim
depuis le 1^{er} juin 2011

Aéronomie & climat

La composition de l'atmosphère de notre planète et le climat sont étroitement liés: c'est ainsi que les changements dans les concentrations des gaz à effet de serre, méthane, protoxyde d'azote, vapeur d'eau, ozone troposphérique,... et dans les aérosols atmosphériques changent l'équilibre radiatif dans l'atmosphère et donc la température à la surface de la Terre. À l'inverse, les changements dans la variabilité climatique (température, précipitations, nuages) influencent par exemple la biosphère, les émissions biogéniques et par conséquent la composition de l'atmosphère.

L'IASB étudie la présence de gaz liés au climat, les particules dans l'atmosphère et leurs évolutions sur des échelles de temps différentes. Cette analyse repose sur des observations avec des instruments par spectrométrie, depuis le sol et les satellites.

Observations dans l'infrarouge

« Sur une île dans l'océan Indien, l'IASB a installé un nouveau spectromètre infrarouge. Que mesure-t-il précisément ? »



LE SPECTROMÈTRE FTIR

Concentrations de gaz à effet de serre

En septembre 2011, l'équipe de l'IASB a installé un nouveau spectromètre infrarouge à transformée de Fourier (FTIR) très performant sur l'île de La Réunion. C'est une île à l'est de Madagascar, dans la zone subtropicale de l'hémisphère Sud. Le but est de mesurer, avec une très grande précision et à long terme, les concentrations des gaz à effet de serre dans l'atmosphère. L'expérience sur l'île de la Réunion fait officiellement partie du réseau international TCCON (Total Carbon Column Observing Network).

Une grande précision est nécessaire pour reconnaître les sources et les pertes de ces gaz ainsi que les petites variations de leurs concentrations, par rapport à la concentration moyenne. Elle est également nécessaire pour valider les mesures satellitaires de ces mêmes gaz. Les mesures sont des observations à haute résolution de spectres d'absorption de la lumière solaire dans le proche infrarouge. Les raies d'absorption individuelles observées permettent de déterminer la concentration des gaz absorbants à l'aide de méthodes dites d'inversion.

Des instruments météo de pointe

La gestion du spectromètre FTIR se fait via le système de contrôle à distance, BARCOS (Bruker Automated Remote Control System). Le BARCOS a été développé par le département ingénierie de l'IASB,

avec des contributions tant du laboratoire d'électronique que de l'atelier de mécanique. Il offre un environnement hardware et software à jour, avec lequel les opérateurs peuvent faire fonctionner l'appareil sur site et à distance, ou encore automatiquement.

Durant la période 2011-2012, la station météorologique a été équipée avec quelques nouveaux instruments de pointe. L'équipe d'ingénieurs s'est également occupée du développement et de la construction d'un pointeur solaire (voir photo). Il s'agit d'une combinaison d'un miroir fixe et d'un miroir mobile en élévation, les deux étant montés sur une plate-forme mobile en azimut. Le pointeur solaire est prévu avec un couvercle motorisé pneumatique qui peut être rapidement fermé par mauvais temps.

Durant cette même période, le principe de suivi solaire a été complètement retravaillé. À l'aide d'une caméra, la position de l'image du Soleil est déterminée par rapport à l'ouverture effective du spectromètre FTIR. Ces images sont automatiquement analysées par un programme informatique, qui déplace les miroirs mobiles du pointeur solaire afin que l'image du Soleil soit toujours au centre de l'ouverture. Ce logiciel, qui permet de suivre le Soleil avec une très grande précision, a été développé au sein du groupe infrarouge de l'IASB.

Automatisation du traitement des spectres

Le traitement des spectres a été en grande partie automatisé et accéléré tant pour le prétraitement du spectre que pour l'inversion spectrale. Les scientifiques disposent à présent d'une base de données homogène et aisément exploitable. Ce gain de temps a été utilisé pour optimiser les inversions. Les résultats de cette nouvelle analyse des données de l'ancien spectromètre FTIR sur l'île de La Réunion seront bientôt disponibles sur le site du NDACC (Network for the Detection of Atmospheric Composition Change).

Une collaboration européenne

L'équipe « infrarouge » est membre du consortium de l'ESA pour le projet « Climate Change Initiative » relatif aux gaz à effet de serre (une des « Variables Climatiques Essentielles »). L'équipe de l'IASB y est responsable de la validation des mesures actuelles par satellite des gaz à effet de serre en utilisant les données de TCCON.

Durant la période 2011-2012, la collaboration visait à livrer les meilleurs produits XCO₂ et XCH₄ sur base des différents algorithmes. La comparaison avec les résultats TCCON devait déterminer quels algorithmes avaient des failles et/ou lesquels se démarquaient comme meilleurs choix. Il n'est pas encore clair à ce stade quels paramètres objectifs seront utilisés à l'avenir. Entre-temps, un nouvel algorithme (EMMA) a été développé et validé.

Mesurer les aérosols

Les aérosols jouent également un rôle important dans la problématique climatique. Ils ont des propriétés physiques, chimiques et optiques très variées. En 2012, l'équipe infrarouge a réussi à développer une méthode qui permet d'obtenir la distribution en altitude des particules de poussières (par exemple du sable provenant du désert) dans l'atmosphère à partir de spectres mesurés par l'instrument satellite IASI dans l'infrarouge thermique (longueur d'onde entre 3 et 16 microns).

Cette méthode sera encore améliorée et la possibilité d'appliquer une méthode semblable pour les aérosols d'origine volcanique sera également étudiée. L'altitude à laquelle les aérosols se trouvent dans l'atmosphère est un paramètre important pour leur influence sur le bilan radiatif de l'atmosphère. En ce qui concerne les rejets volcaniques, l'altitude du nuage détermine l'impact sur le trafic aérien: la



Plateforme d'observation avec suiveurs solaires

connaissance de cette altitude est donc très importante pour une nouvelle planification des itinéraires des vols aériens.

Le code ASIMUT

Pour l'étude de ces aérosols, le code ASIMUT développé à l'IASB a été couplé au code avancé de transfert radiatif (V)LIDORT et à un code utilisé pour calculer les propriétés optiques des aérosols. Ce software est utilisé pour simuler les spectres mesurés par l'instrument satellite. Le nouveau code prend en compte la diffusion multiple, ce qui est nécessaire pour représenter correctement l'effet des aérosols.

« A partir de l'île de la Réunion, l'IASB souhaite mesurer de manière très précise les concentrations de gaz à effet de serre dans l'atmosphère et les observer sur le long terme. »

Martine De Mazière
Directrice générale ad interim

La mission Altius

« Vous avez l'intention de développer un mini instrument de mesure permettant de relever les réactions chimiques dans l'atmosphère. Comment cela fonctionne-t-il ? »



Mécanisme obturateur

OBSERVATIONS SPATIALES

Etude de la stratosphère

Le projet Altius est la première mission belge d'observation de la stratosphère à partir d'un microsatellite. Outre l'ozone, il permettra de mesurer les profils de concentration de la vapeur d'eau, du dioxyde d'azote, du dioxyde de carbone, du méthane et des aérosols, ceci avec une couverture mondiale.

Il est notoire que la mesure de profils verticaux de concentration de gaz en traces est une condition nécessaire de la compréhension des mécanismes physico-chimiques de l'atmosphère, de sa modélisation et de la surveillance des changements climatiques y associés. La période faste des deux décennies 1990-2010, caractérisée par la présence de nombreuses missions complémentaires en orbite basse, est malheureusement aujourd'hui révolue.

La perte irréversible du satellite d'observation de la Terre, ENVISAT, au printemps 2012 a causé une interruption dramatique des séries de mesures acquises par ses trois instruments atmosphériques. Dès 2005, cette situation avait été anticipée par l'IASB qui proposa alors le projet Altius, conjuguant des avancées technologiques et un souci d'assurer la continuité des observations.

Un instrument destiné à la télédétection

La mission Altius, basée sur un satellite de la classe PROBA, hébergera un instrument destiné à la télédétection de la composition atmosphérique par observation du limbe.

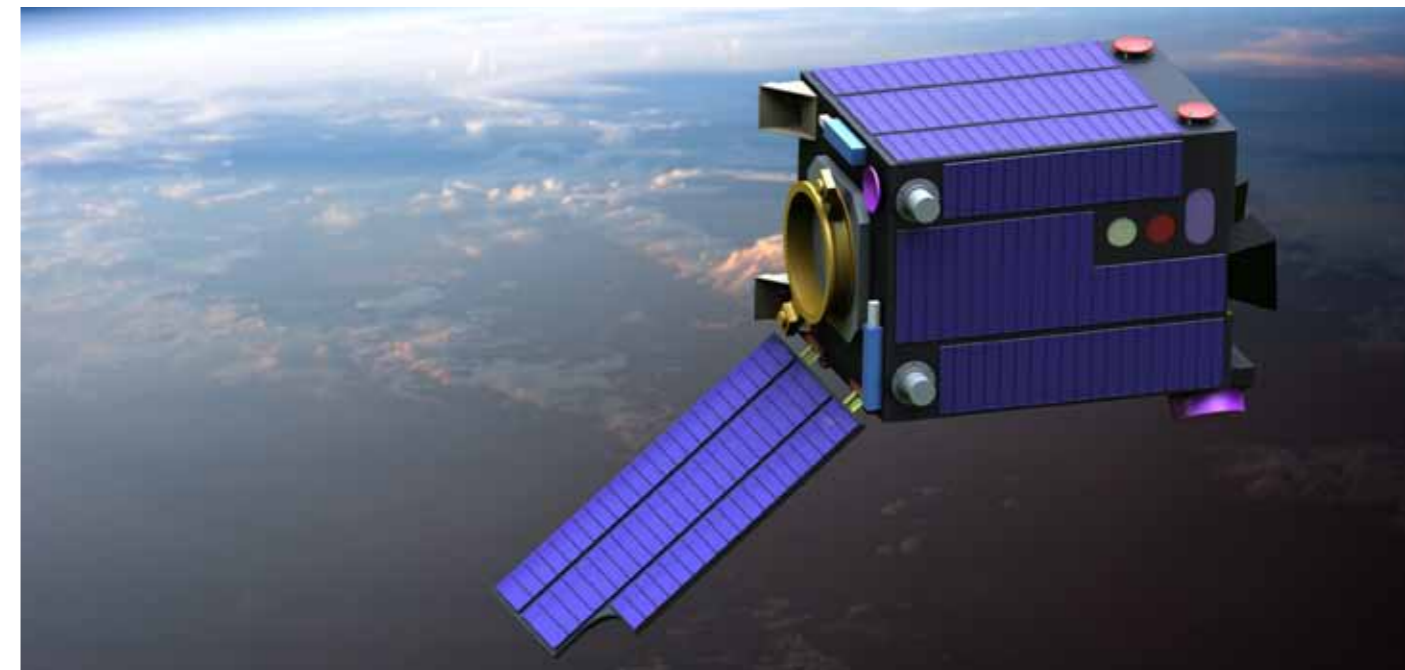
L'instrument est un imageur spectral à 3 canaux UV (250-400 nm), VIS (400-800 nm) et NIR (800-1800 nm) possédant une résolution spectrale supérieure à 10 nm. Pour chaque gamme spectrale, un filtre acousto-optique accordable permet des observations dans une sélection de micro-fenêtres en longueur d'onde.

Validation de l'ESA

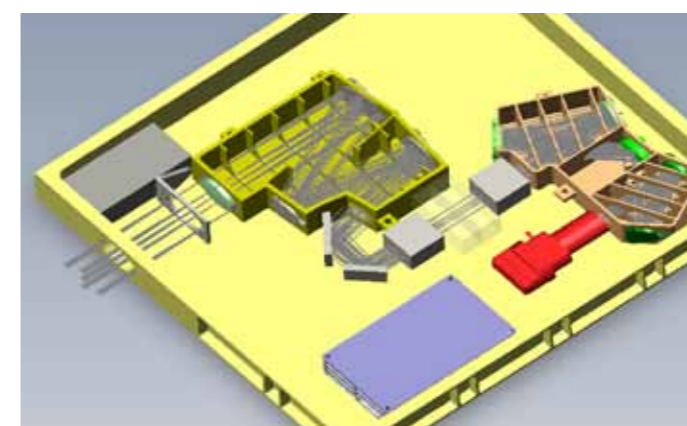
En février 2011, la phase Bo a été clôturée et validée par l'ESA, l'Agence Spatiale Européenne. Une ébauche technique du concept de la charge utile, de la plate-forme et de leurs budgets électriques, thermiques et massiques a été établie, quantifiée et décrite dans un ensemble de rapports techniques fournis à l'ESA.

Au cours des mois qui ont suivi, une étude préliminaire des tâches indispensables pour atteindre le seuil du PDR (Preliminary Design Review) a été réalisée et présentée à BELSPO, la Politique scientifique fédérale et au bureau PRODEX. Ce PDR est la dernière étape de la phase B à atteindre avant de démarrer la phase « industrielle » de la mission. Par manque de moyens financiers, il fut décidé de commencer par une phase B1 et d'y aborder les études les plus critiques.

En parallèle, l'IASB a poursuivi une série d'études techniques et de prototypage. Le mécanisme obturateur a été entièrement développé dans nos murs. Il s'agit d'un élément électromécanique de haute



Représentation de la future mission Altius

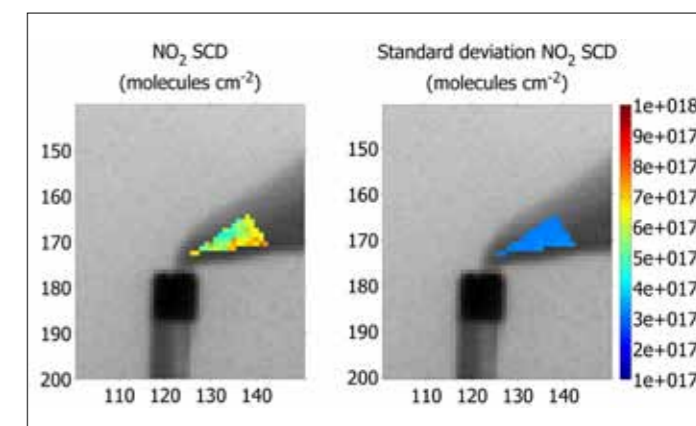


Concept chemin optique Altius

technologie. A la demande de l'ESA, un groupe de scientifiques internationaux, experts en télédétection atmosphérique, a été formé et s'est réuni pour la première fois à Bruxelles en octobre 2011. Outre leur enthousiasme à participer au projet Altius, ces experts ont amendé et amélioré les exigences de mission telles que décrites dans le MRD (Mission Requirement Document), document générique de la mission.

Une imagerie spectrale à haut potentiel

En janvier 2012, il fut décidé de rentabiliser au maximum le prototype de laboratoire du canal visible en l'installant dans un avion de recherche SAFIRE (Service des Avions Français Instrumentés pour la Recherche en Environnement). SAFIRE est un avion qui est utilisé pour étudier l'environnement. Lors des étapes de calibration au sol, un spectaculaire résultat d'imagerie spectrale en mode d'absorption optique différentielle a été obtenu en détectant le panache de NO₂ de l'incinérateur de Toulouse. Ceci démontre



de façon irréfutable tout le potentiel de l'imagerie spectrale utilisée en orbite.

L'année 2012 a permis de consolider les études préliminaires des procédures algorithmiques du traitement du signal. Les aspects de mécanique orbitale, du simulateur d'instrument et des programmes de transport radiatifs ont été identifiés et sont actuellement en cours de développement. Par ailleurs, les travaux en collaboration avec l'Université Lomonosov de Moscou visant à démontrer la faisabilité d'utilisation d'un cristal de KDP pour le canal UV sont bien avancés.

« Avec le projet Altius, l'IASB veut garantir la continuité des observations spatiales. »

Didier Fussen
Département du rayonnement solaire
dans les atmosphères

Les aérosols dans la stratosphère

« Quelles connaissances sont nécessaires pour pouvoir mieux prévoir l'évolution du climat ? »



Satellite Envisat avec à bord l'instrument GOMOS

AÉROSOLS

Accroître le nombre de mesures

En 2010, le GCOS (Global Climate Observing System) a identifié les aérosols comme l'une des « Variables Climatiques Essentielles » dont il est impératif d'améliorer la caractérisation et la quantification au niveau global. Les modèles climatiques actuels utilisent essentiellement des climatologies standard d'aérosols stratosphériques, dérivées d'expériences satellitaires passées qui sont limitées en couverture spatiale et en information spectrale. Il en résulte une information parcellaire, essentiellement sous forme de grandeurs intégrées.

L'apparition d'une nouvelle génération d'instruments depuis le début des années 2000, a ouvert de nouvelles perspectives. Parmi ces instruments, on trouve l'instrument GOMOS lancé à bord du satellite Envisat et utilisant la technique de l'occultation stellaire, qui permet d'augmenter spectaculairement le taux de mesures par rapport à l'occultation solaire classique. L'IASB a été impliqué dans les aspects aérosols de l'expérience GOMOS depuis la phase initiale du projet.

Une image plus fidèle de notre atmosphère

Au cours de ses 11 ans de mission, GOMOS a accumulé une énorme quantité de données qui ont contribué de manière fondamentale à nous forger une image plus fidèle de notre atmosphère. Néanmoins, il est apparu assez rapidement que l'algorithme opérationnel pouvait être largement amélioré, notamment en ce qui concerne les aérosols stratosphériques. Ces dernières années, l'équipe IASB a mené à cette fin un projet intitulé AERGOM (« AERosol profile retrieval prototype for GOMOS ») sous financement de l'Agence Spatiale Européenne (ESA).

Les résultats (extinction optique, concentration et tailles de particules) de ce projet sont prometteurs. Ces données seront utilisées dans un avenir proche sous deux angles différents. D'une part, pour la compilation de données d'aérosols de référence au niveau global, une activité au service de la communauté scientifique dans son ensemble, et utile à des activités aussi diverses que les prévisions climatiques ou la validation de mesures satellitaires. D'autre part, pour l'analyse scientifique en vue d'améliorer nos connaissances relatives aux aérosols stratosphériques (un phénomène essentiellement d'origine volcanique) et leur influence – encore largement méconnue – sur notre atmosphère.

Cohérence et stabilité des données

Fort de son expertise dans le développement de produits aérosols GOMOS, l'IASB s'est vu confier les aspects stratosphériques dans le projet Aerosol_CCI, un des 13 projets initiés par l'ESA dans le cadre de la Climate Change Initiative, en réponse aux besoins exprimés par les grandes instances des Nations Unies pour le climat en termes de cohérence et de stabilité des données, et de caractérisation précise de leur erreur. Ces projets ont également pour but de valoriser les mesures produites par des senseurs européens mais également par certains instruments extra-européens.

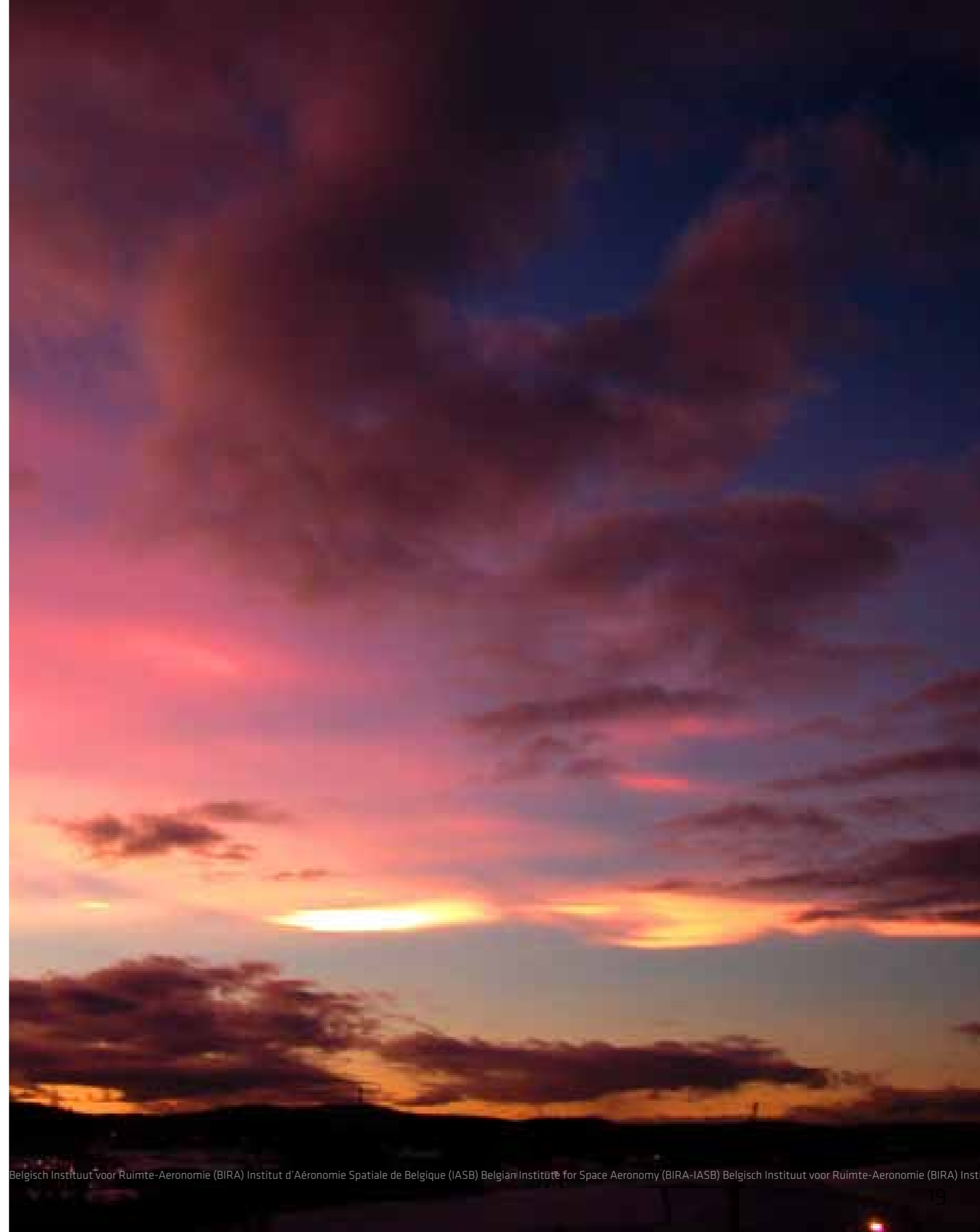
Aerosol_CCI regroupe les principales équipes de recherche européennes actives dans l'inversion de produits aérosols. L'investigation du nouvel algorithme AERGOM vise, entre autres, à évaluer les produits aérosols de GOMOS et à en améliorer la qualité en collaboration avec l'équipe AERGOM pour ensuite produire des jeux de données plus fiables, précis, et à l'erreur bien caractérisée. Cet élément est essentiel en cas d'augmentation de la charge en aérosols de la stratosphère suite à une éruption volcanique majeure.

Au travers des projets AERGOM et Aerosol_CCI, l'IASB contribue de manière significative à l'établissement de données d'aérosols stratosphériques de référence qui permettront, par une description plus précise et fidèle de ce composant atmosphérique, d'améliorer les performances et la fiabilité des prévisions des modèles climatiques.

« La technique d'occultation stellaire a permis d'accroître de manière spectaculaire le nombre de mesures par rapport à la technique classique d'occultation solaire. »

Christine Bingen
Service de sondage au limbe

instruments spectrométriques ●
gaz liés au climat ● aérosols ●
pointeur synchronisé sur le Soleil ●
concentration de gaz à effet de serre ●
observations spatiales ● modèles climatiques plus précis ●
spectromètre FTIR ● instrument destiné à la télédétection ●
imageur spectral ● aérosols stratosphériques ● occultation stellaire ●
une image plus fidèle de notre atmosphère ●
Climate Change Initiative ● microsatellite





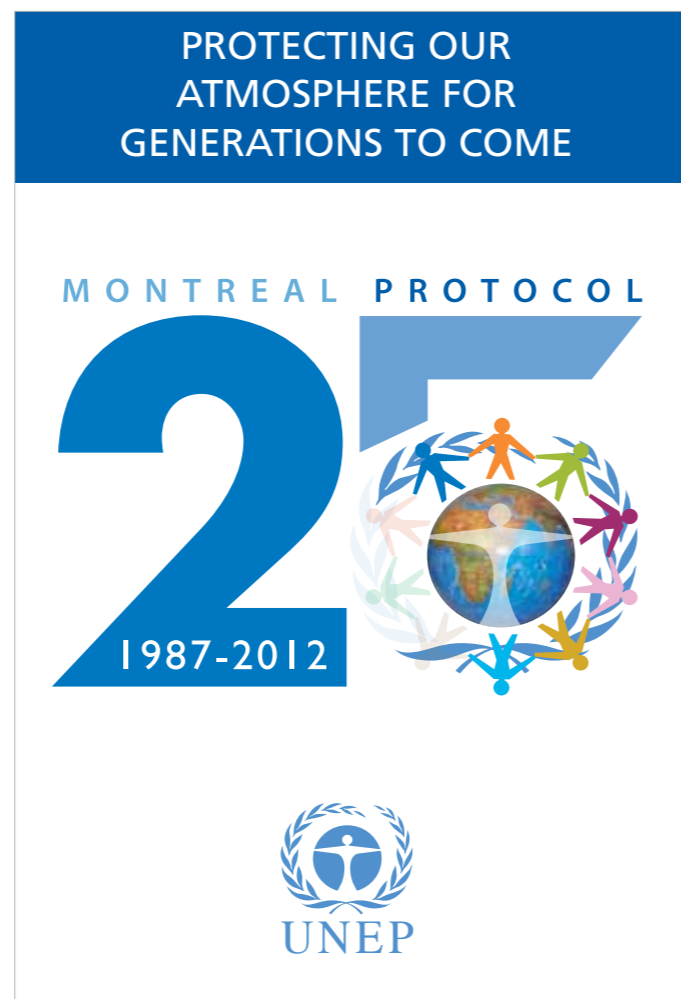
Aéronomie & ozone

La couche d'ozone qui entoure notre planète filtre une partie importante du rayonnement ultraviolet, visible et infrarouge émis par le Soleil. L'évolution de la couche d'ozone est intimement liée à celle du climat et réciproquement. Outre son rôle de protection de la vie sur Terre par son action sur le rayonnement ultraviolet le plus agressif, la distribution géographique et verticale de l'ozone conditionne le bilan radiatif dans l'atmosphère et influence la température, la dynamique et la composition de l'atmosphère.

Plusieurs spectromètres de l'IASB mesurent la composition de l'atmosphère à partir de stations d'observation situées à Uccle, en Arctique, dans les Alpes et sur l'île de la Réunion. Compléments indispensables des satellites d'observation qui offrent une cartographie globale de l'atmosphère, ces stations font partie du NDACC (Network for the Detection of Atmospheric Composition Change), sous les auspices de l'OMM (Organisation Météorologique Mondiale).

L'IASB participe aussi à la mise en œuvre de plusieurs instruments spatiaux mesurant l'état de notre atmosphère globale, dont GOME sur ERS-2 (1995-2011) et SCIAMACHY et GOMOS sur Envisat (2002-2012), deux satellites de l'Agence Spatiale Européenne ESA. A l'heure actuelle, l'IASB poursuit sa mission de surveillance et d'exploration de notre atmosphère avec les instruments GOME-2 et IASI sur les satellites météorologiques de l'EUMETSAT.

Ozone & climat



« Quelles sont les actions mises en œuvre pour parvenir à mieux comprendre la relation entre la couche d'ozone et le climat ? »

DES ÉVALUATIONS À LONG TERME PASSÉES À LA LOUPE Réévaluation des données climatiques

Pour mieux comprendre les couplages entre ozone atmosphérique et climat, différents acteurs internationaux ont mis sur pied un programme ambitieux de réévaluation des données climatiques sur l'ozone acquises par les satellites et les réseaux au sol depuis les années 1970. Dans ce contexte, l'IASB coordonne un projet de l'ESA visant à consolider les données acquises par les satellites européens depuis 1995. L'IASB participe à des initiatives semblables pour la consolidation des données des satellites américains et canadiens et des réseaux au sol.

En 2012, une étape importante a été franchie avec la finalisation d'une série homogène de données européennes sur la colonne verticale de l'ozone, couvrant presque deux décennies. De cette série sont tirées les anomalies de la colonne de l'ozone calculées par rapport à la moyenne sur 1996-2012, illustrée à la figure 1. Ces informations sont essentielles au développement et à la vérification des modèles numériques qui sont utilisés pour la prévision de l'évolution du climat d'ici la fin du siècle.

Une autre étape a été la finalisation à l'IASB d'une évaluation de quatorze satellites ayant fourni depuis 1984 des observations de la distribution verticale de l'ozone. Les données sur l'ozone mesurées par les spectromètres UV-visible du réseau NDACC ont elles aussi été réévaluées. A présent les efforts s'étendent à l'homogénéisation mutuelle des données européennes et américaines, l'objectif étant de produire un jeu de données climatiques sur l'ozone couvrant la période de 1970 à nos jours.

Les résultats du Protocole de Montréal

La surveillance à long terme de l'ozone stratosphérique, de ses interactions avec les changements climatiques et des effets des régulations internationales comme le Protocole de Montréal et ses réajustements successifs, nécessite non seulement des données d'excellente qualité sur l'ozone lui-même mais aussi sur les gaz qui participent à la production et la destruction de la couche d'ozone. C'est pourquoi l'IASB a également procédé à une analyse des tendances à long terme du dioxyde d'azote (NO₂), de différents oxydes de chlore (OCIO et ClONO₂) et de brome (BrO) et de l'acide chlorhydrique (HCl).

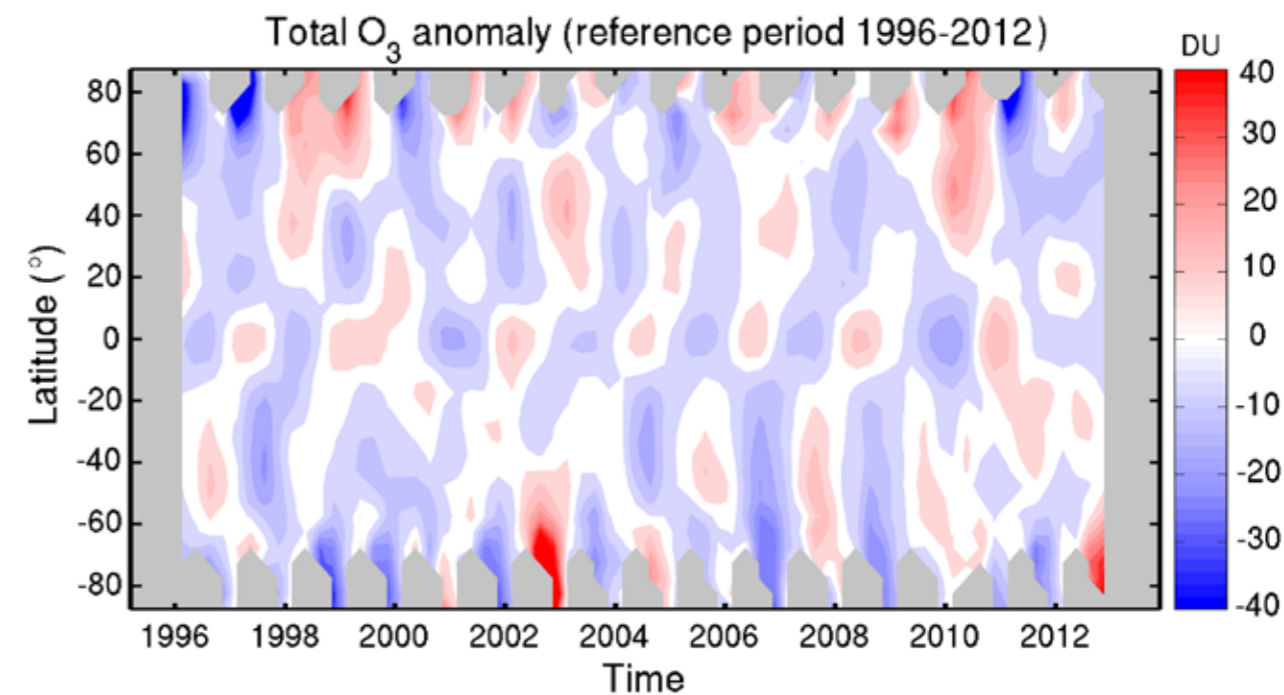


Figure 1: Anomalies de la colonne de l'ozone (en unité Dobson) en fonction du temps et de la latitude, déduites du nouveau jeu de données climatiques Ozone_cci construit à partir des observations des instruments européens GOME (1995-2003), SCIAMACHY (2002-2012) et GOME-2 (depuis 2006). Si de nombreuses anomalies sont liées à des phénomènes météorologiques périodiques comme l'oscillation quasi-biennale (visible de l'équateur aux latitudes moyennes), d'autres anomalies révèlent des événements particuliers comme par exemple les niveaux anormalement bas de l'ozone arctique aux printemps 1997 et 2011 et la profondeur anormalement faible du trou d'ozone antarctique en 2002 et 2012.

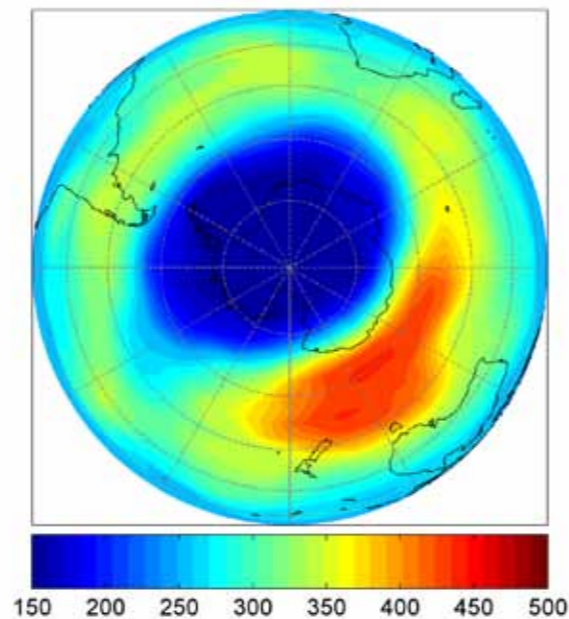
Grâce aux mesures nocturnes de GOMOS, il a été possible d'établir la première climatologie de l'OCIO, dont la formation dans la nuit polaire indique l'activation du chlore et du brome qui, dès l'apparition de la lumière au printemps, détruisent l'ozone polaire entre 18 et 25 km d'altitude. Les observations des principaux réservoirs atmosphériques de chlore inorganique, l'HCl et le ClONO₂, confirment que le Protocole de Montréal, qui bannit depuis 1987 les chlorofluorocarbures les plus dangereux pour l'ozone, porte ses fruits : l'abondance totale du chlore inorganique s'est mise à décroître. Par contre, les observations du gaz HF montrent que ce dernier continue à progresser car il est également présent dans de nombreux substituts aux chlorofluorocarbures bannis par le Protocole de Montréal.

« Les observations confirment que le protocole de Montréal et ses amendements successifs portent leurs fruits. »

Jean-Christopher Lambert
Service exploitation intégrée des données
sur la composition atmosphérique

Surveillance de la couche d'ozone

« Peut-on, comme on le fait en météorologie, combiner les observations à la prévision numérique afin de mieux comprendre la stratosphère? »



LE SYSTÈME D'ASSIMILATION DE L'IASB La couche d'ozone en images

Depuis environ 50 ans, des méthodes d'assimilation de données sont développées dans le but d'optimiser l'état d'un modèle atmosphérique afin de reproduire un ensemble d'observations, généralement acquises par des instruments satellitaires. Ces méthodes ont d'abord été appliquées à l'amélioration de la prévision météorologique. Depuis plus de 10 ans, l'IASB développe le système d'assimilation BASCOE qui est dédié à l'étude et à la surveillance de la composition chimique de la stratosphère et, en particulier, de la couche d'ozone.

Afin d'assurer une surveillance continue de la couche d'ozone, l'IASB a créé le service sur l'ozone stratosphérique GMES/Copernic (<http://www.gmes-stratosphere.eu>) dans le cadre du projet européen MACC (Monitoring Atmospheric Composition & Climate). Ce service utilise BASCOE chaque jour pour surveiller la couche d'ozone en continu. Cette activité nous a permis d'analyser en temps réel le premier « trou d'ozone » jamais observé au-dessus de l'Arctique, durant la fin l'hiver 2010-2011.

La figure 1 montre la concentration de l'ozone dans la basse stratosphère le 26 mars 2011 telle qu'analysée par BASCOE. Le trou d'ozone est aisément identifiable par la région bleue au-dessus de l'Arctique et de la Scandinavie. Une semaine plus tard, une animation vidéo de cet événement a été réalisée et a permis d'informer le public grâce à sa diffusion sur les chaînes de télévision.

La couche d'ozone au-dessus de l'Antarctique

BASCOE est le seul système d'assimilation qui traite en continu non seulement l'ozone mais également plusieurs autres espèces chimiques de la stratosphère. On peut ainsi étudier en particulier des phénomènes de transport grâce à l'assimilation d'espèces chimiques peu réactives, telles que l'hémioxyde d'azote (N_2O). Le trou d'ozone qui se produit chaque année au-dessus de l'Antarctique est dû en partie aux conditions créées par le vortex polaire, un tourbillon à grande échelle qui isole les masses d'air dans la nuit polaire et qui permet leur refroidissement.

Entre les 7 et 9 novembre 2012, ce vortex polaire s'est séparé en deux parties, un événement rare qui a conduit à une fin relativement précoce du trou d'ozone et à un déplacement des masses d'air correspondantes vers les latitudes moyennes. Grâce aux observations satellitaires de N_2O et à leur assimilation par BASCOE, cet événement a pu être analysé en détail. Ces résultats ont été publiés par l'Organisation Météorologique Mondiale sur la page de couverture du bulletin de l'ozone en Antarctique.



La couche d'ozone stratosphérique protège la biosphère contre une grande partie du rayonnement ultra-violet du Soleil.

Figure 1

Distribution d'ozone dans la basse stratosphère (environ 20 km d'altitude) le 26 mars 2011. Données obtenues par BASCOE dans le cadre du projet MACC, en nombre de molécules d'ozone par million de molécules d'air. Les couleurs bleues et rouge indiquent, respectivement, des concentrations d'ozone relativement basses et élevées.

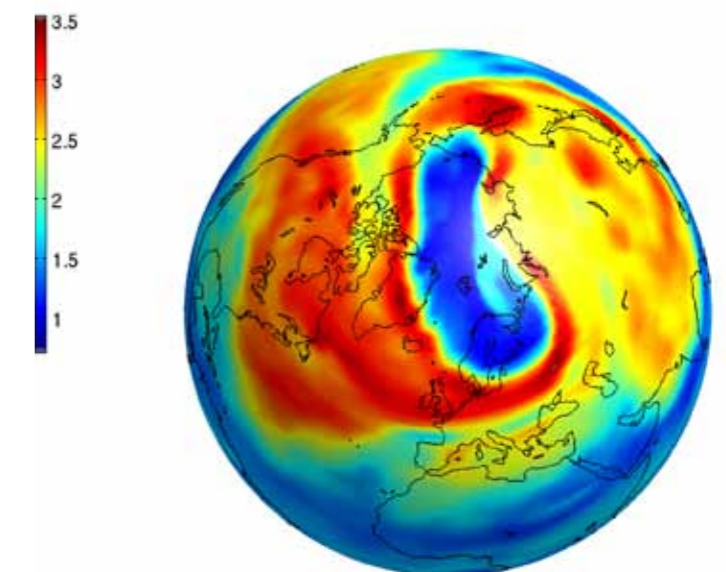
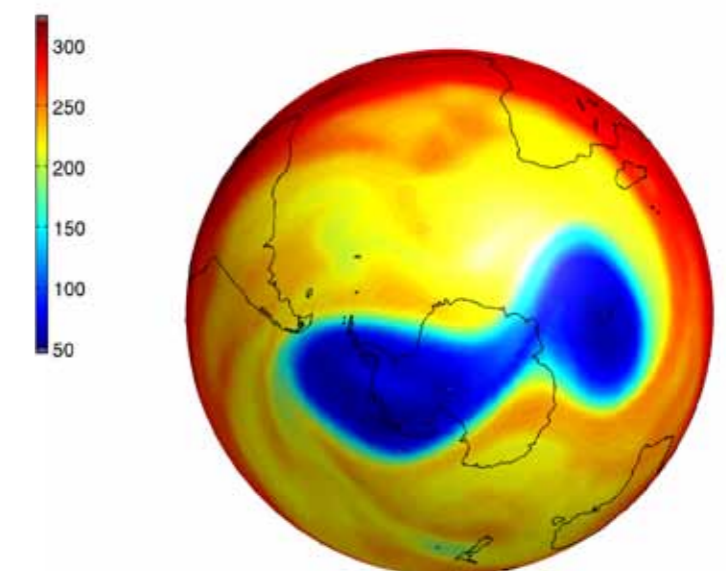
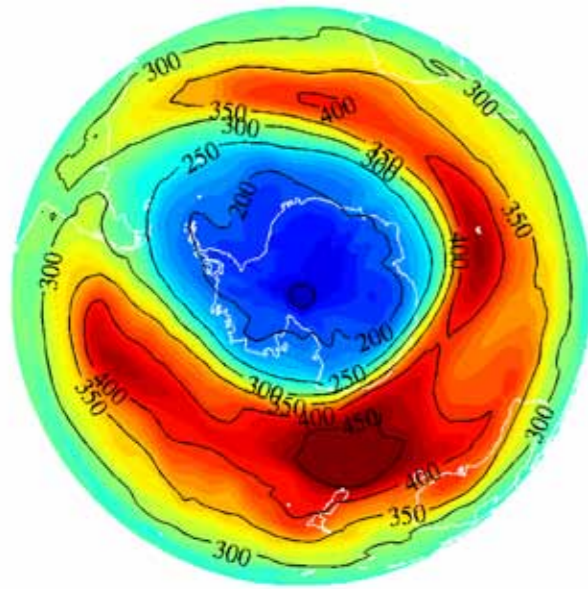


Figure 2

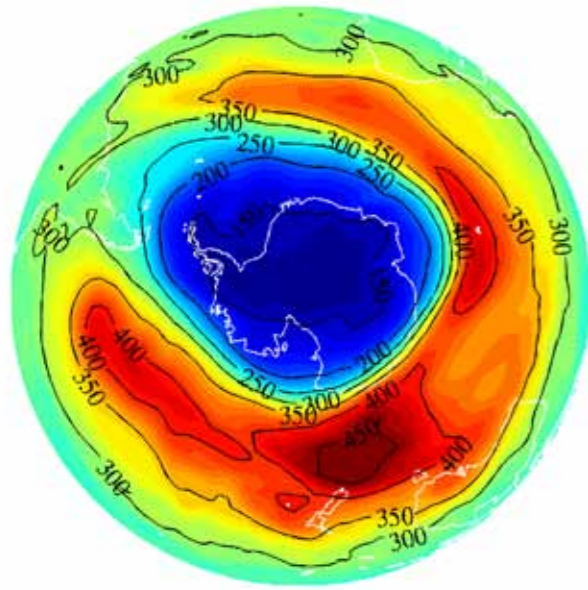
Distribution de l'oxyde nitreux N_2O dans la basse stratosphère (environ 20 km d'altitude) le 8 novembre 2012. Données obtenues par BASCOE dans le cadre du projet MACC en nombre de molécules de N_2O par milliard de molécules d'air. Les couleurs bleues et rouges indiquent respectivement des concentrations de N_2O relativement basses et élevées.



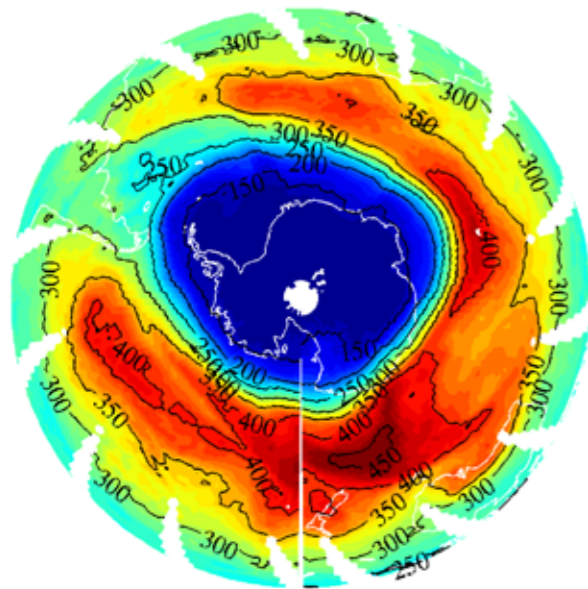
(a) run DIAG



(b) run CORREL



(c) EP TOMS



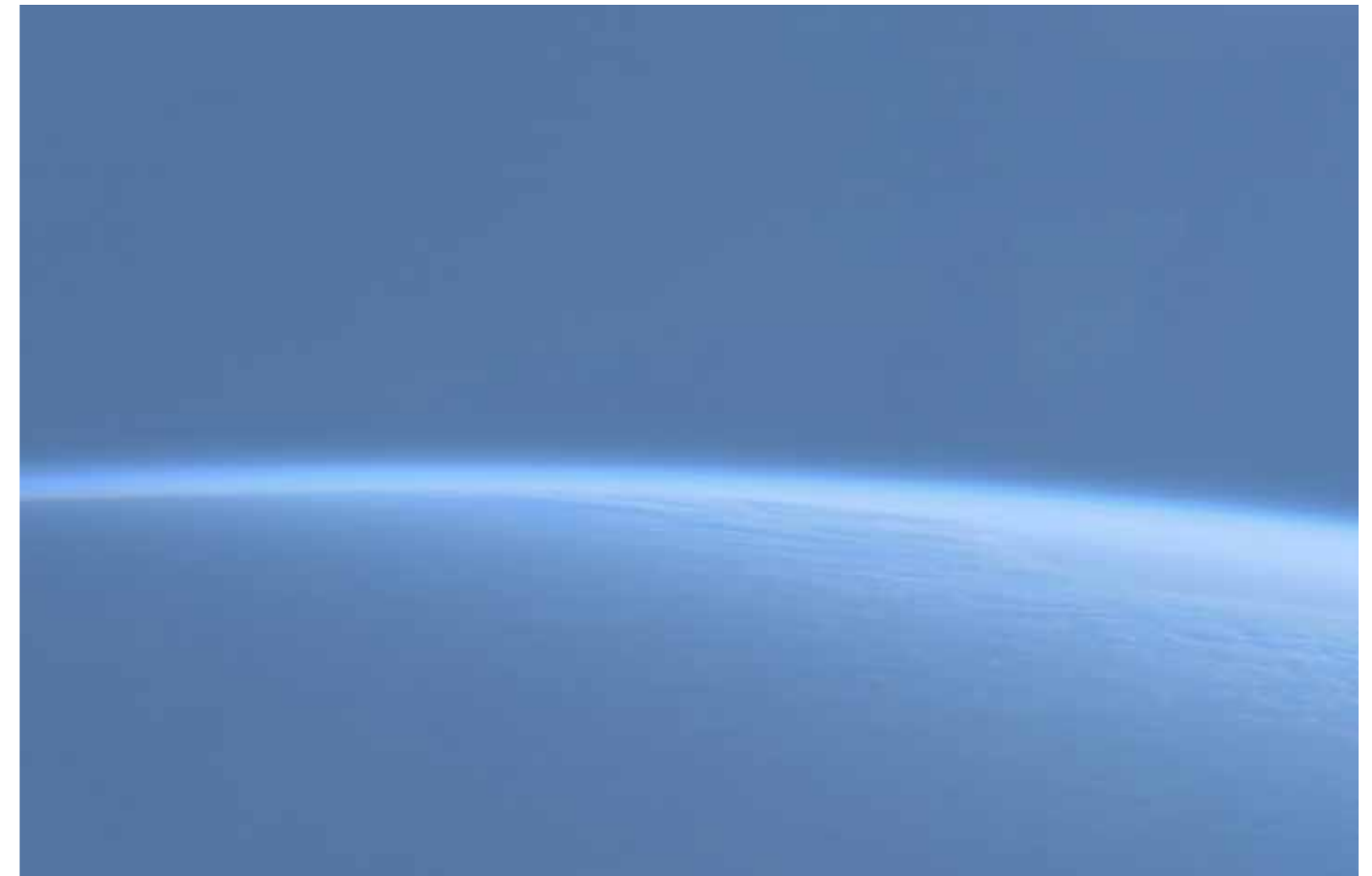
Matrice B

BASCOE est basé sur la méthode d'assimilation variationnelle à quatre dimensions (4D-Var). Une composante importante de ce type de système est la matrice « B », qui permet au système de propager spatialement l'information des observations assimilées dans le modèle. La taille de cette matrice est tellement grande qu'il est impossible de la modéliser complètement, même avec les calculateurs modernes.

Dans la version opérationnelle de BASCOE, la matrice « B » est extrêmement simplifiée car seuls les éléments diagonaux sont pris en compte. Dans ce cas, l'information des observations n'est distribuée qu'aux points du modèle adjacents aux observations. Afin d'utiliser plus efficacement l'information des observations, la formulation d'une matrice « B » plus élaborée est nécessaire tout en adoptant certaines hypothèses afin que sa taille reste raisonnable. En 2012, une nouvelle version de BASCOE a été développée en suivant la même voie que celle adoptée par les centres météorologiques.

La figure 3 illustre l'impact de la nouvelle formulation de la matrice « B » dans BASCOE. Elle montre l'épaisseur de la couche d'ozone au-dessus du pôle Sud le 1er octobre 2003, durant le trou d'ozone, à partir de trois sources d'information : BASCOE avec l'ancien « B » (diagonal, Fig. a), BASCOE avec le nouveau « B » (non-diagonal, Fig. b) et les observations satellitaires indépendantes TOMS (Fig. c). Le nouveau « B » permet d'obtenir des résultats plus proches de la réalité, ici représentée par les observations TOMS. Cette nouvelle version de BASCOE sera transférée au service de l'ozone stratosphérique GMES/Copernic en 2013.

Figure 3
Épaisseur de la couche d'ozone au-dessus de l'hémisphère sud le 1er octobre 2003 obtenue par BASCOE avec un « B » diagonal (a), non-diagonal (b), et par les observations TOMS (c), en unités Dobson (DU).



L'atmosphère de la Terre, vue de l'Espace.

« Durant l'hiver 2010-2011, nous avons pu analyser en temps réel le premier 'trou d'ozone' au-dessus de l'Arctique. »

Simon Chabrilat
Service temps chimique

« Afin d'assurer une surveillance continue de la couche d'ozone, l'IASB est un partenaire essentiel du service GMES/Copernic. »

Quentin Errera
Service de modélisation
de la chimie stratosphérique

couche d'ozone •
rayonnement ultraviolet du Soleil •
satellites d'observation •
Protocole de Montréal •
changements climatiques •
assimilation BASCOE • nouvelle matrice B



Qualité de l'air

L'IASB mène des recherches variées visant à un meilleur diagnostic de la qualité de l'air et à une meilleure compréhension des processus (émissions, chimie, transport) qui l'influencent. Les observations des concentrations de polluants sont effectuées à l'Institut grâce à des mesures par absorption dans l'UV-Visible et infrarouge, depuis l'espace et par des instruments au sol. Ces mesures nous renseignent sur les polluants responsables du fameux « smog » des régions industrialisées, mais permettent également la surveillance et l'évaluation des panaches volcaniques.

Des observations d'émission de composés organiques volatils par la végétation sont effectuées grâce à des mesures de spectrométrie de masse combinées à la technique dite de eddy covariance. Il est utile de savoir que la végétation est, et de loin, la plus grande source de composés organiques dans l'atmosphère et que leur interaction avec les polluants industriels est la cause principale du smog (particules fines, ozone...). Ce dernier est responsable d'une surmortalité importante dans nos pays développés et ailleurs.

La modélisation des émissions et des concentrations de polluants vise non seulement à mieux comprendre les processus qui influencent la qualité de l'air mais aussi à les quantifier. L'étude se concentre surtout sur la problématique du smog mais les pluies acides jouent également un rôle important.

Les pluies acides



« Comment peut-on expliquer les pluies acides ? »

LE LIEN AVEC L'ACIDE FORMIQUE

L'acide formique à la loupe

Tandis que les acides nitrique et sulfurique sont responsables de l'acidité élevée des pluies dans les régions polluées, l'acide formique (HCOOH) contribue fortement à l'acidité des pluies dans les milieux reculés. Cependant, le cycle atmosphérique de ce composé est loin d'être compris. On sait que l'acide formique est émis directement dans l'atmosphère par les activités humaines et les feux des forêts, ainsi que par la dégradation photochimique de divers composés organiques d'origine biogénique, principalement l'isoprène (C₅H₈) et les monoterpènes (C₁₀H₁₆).

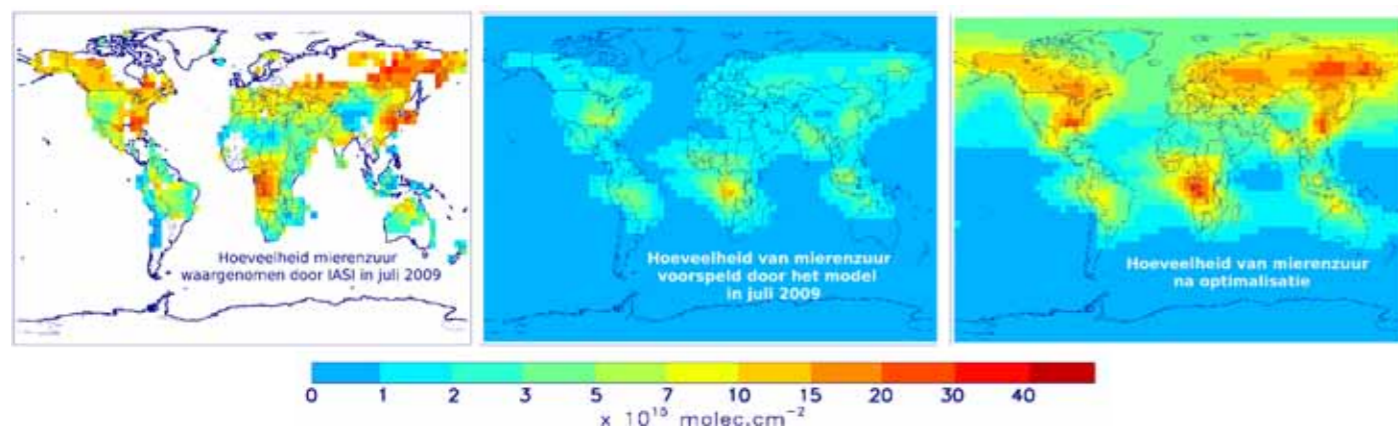
Une percée déterminante a été rendue possible par des observations de l'acide formique par le spectromètre infrarouge IASI embarqué à bord du satellite européen MetOp-A. La distribution de l'acide formique observée par IASI indique des fortes valeurs sur les forêts tropicales, ainsi qu'aux moyennes et hautes latitudes de l'hémisphère nord durant la saison de croissance des plantes, démontrant l'existence d'une forte source d'origine biogénique. La comparaison des abondances observées avec les prédictions de notre modèle global IMAGESv2 corrobore les études antérieures et met en évidence de

fortes sous-estimations des concentrations d'acide formique.

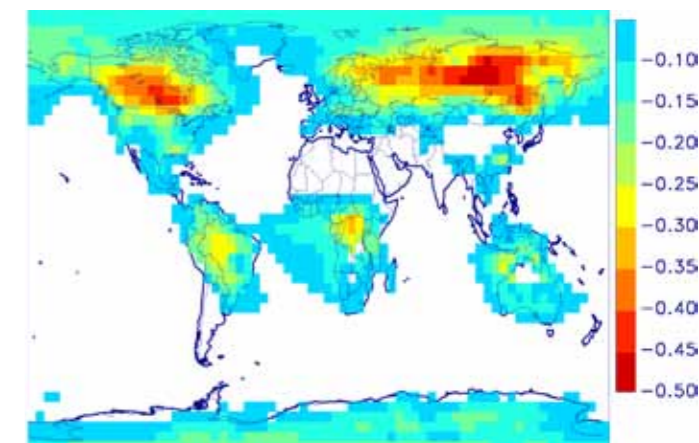
Une nouvelle source biogénique

Ces observations suggéraient qu'une source était manquante. Afin de pouvoir déterminer cette source, ces mesures ont été utilisées dans un schéma d'inversion des sources. Nous avons pour ce faire recouru à la technique d'un modèle que nous avons développé et appliqué dans le passé à différents gaz réactifs responsables du smog photochimique dans la troposphère. Dans le cas présent, nous avons supposé l'existence d'une émission par les plantes de composés organiques dont l'oxydation dans l'atmosphère mène rapidement à la formation d'acide formique, après une séquence de réactions chimiques dont les détails demeurent inconnus.

L'optimisation de cette source améliore grandement l'accord entre les prédictions du modèle et les observations. La source biogénique est ainsi estimée à environ 100 millions de tonnes par an à l'échelle globale, c.-à-d. qu'elle est 3 fois plus élevée que la source biogénique provenant des sources connues.



Acide formique observé par satellite en juillet 2009 (gauche). La source d'acide formique déduite grâce aux observations IASI (panneau de droite) est 3 fois plus élevée que les prédictions du modèle basé sur les sources connues (panneau du milieu).



Le changement d'acidité (pH) des pluies dû à la source manquante d'acide formique est plus important au-dessus des régions tropicales et surtout en été au-dessus des forêts boréales.

Selon toute vraisemblance, la source manquante sur les forêts boréales est due à l'oxydation de composés organiques volatils appelés terpénoïdes et principalement émis par les conifères. Ils constituent une vaste classe de composés organiques que l'on rencontre dans la nature. L'identité précise des composés précurseurs de l'acide formique ainsi que les mécanismes chimiques d'oxydation menant à cet acide restent à étudier.

Amélioration des résultats

Afin d'évaluer cette nouvelle source déduite des observations par satellite, des comparaisons détaillées avec des observations indépendantes de HCOOH ont été réalisées. Il s'agit ici de mesures de concentration réalisées en de nombreux sites autour du globe, entre autres par l'IASB à l'île de la Réunion. Ces mesures s'effectuent tant en phase gazeuse que dans l'eau de pluie. Les améliorations substantielles de la performance du modèle constatées lorsque la source biogénique additionnelle est prise en compte renforcent notre confiance dans l'importance de cette source déduite par l'optimisation. Néanmoins, des sous-estimations persistent après optimisation, suggérant que la source manquante pourrait être encore plus grande.

L'impact de l'acide formique sur l'acidité des pluies a été simulé à l'aide du modèle IMAGESv2. La réduction du pH (augmentation de l'acidité) des pluies due à la source additionnelle s'élève à 0,25-0,5 sur les forêts boréales en été et entre 0,15-0,4 au-dessus des forêts tropicales. Les simulations montrent que la source de HCOOH contribue pour 60-80% à l'acidité des pluies en Amazonie, en accord avec des mesures locales, mais aussi au-dessus de la taïga pendant l'été. Ces constatations soulignent le rôle important joué par le HCOOH dans des environnements variés.

Les conséquences pour les écosystèmes devraient cependant être limitées, en raison de l'assimilation rapide des acides carboxyliques par les bactéries présentes dans les sols.

Cette étude a été menée dans le cadre du projet « La science pour un développement durable » de la Politique scientifique fédérale (PRODEX A3C, BIOSOA et AGACC-II).

« Tandis que les acides nitriques et sulfuriques sont responsables de l'acidité élevée des pluies dans les régions polluées, l'acide formique contribue fortement à l'acidité des pluies dans les milieux reculés. »

Jean-François Müller
Service modélisation
de la chimie troposphérique

« L'étude souligne le rôle important de l'acide formique dans différents environnements allant de l'Amazonie à la taïga. »

Trissevgeni Stavrakou
Service modélisation
de la chimie troposphérique

Panaches volcaniques



« Comment peut-on protéger l'aviation contre les effets d'une éruption volcanique ? »

UN DANGER POUR L'AVIATION L'éruption d'Eyjafjallajökull

Les éruptions volcaniques peuvent émettre de grandes quantités de gaz et de particules fines (cendres) dans l'atmosphère. Les cendres et dans une moindre mesure les gaz émis constituent un danger pour l'aviation car ils peuvent fortement endommager les moteurs ou les instruments des appareils. Une difficulté importante pour l'aviation provient du fait que le risque encouru peut être significatif même à une grande distance du volcan : la dispersion des cendres volcaniques par les vents peut se dérouler sur plusieurs milliers de kilomètres dans les hautes couches atmosphériques.

Du 14 avril au 23 mai 2010, l'Europe a connu une crise sans précédent suite à l'éruption du volcan islandais Eyjafjallajökull. Pendant cette période, les cendres émises par le volcan se sont dispersées à l'échelle de l'Europe entière, provoquant la fermeture d'une grande partie des aéroports européens et l'annulation de plusieurs dizaines de milliers de vols.

SACS : le service de support au contrôle aérien de l'IASB

Un an après l'éruption d'Eyjafjallajökull, un autre volcan islandais, Grímsvötn, est entré en éruption le 21 mai 2011. Dans le cadre de SACS, son service de support au contrôle aérien, l'IASB a activement contribué à la surveillance de l'évolution des émissions volcaniques dans l'atmosphère. Pour ce faire, les chercheurs de l'IASB ont utilisé des mesures, délivrées en temps quasi-réel, de dioxyde de soufre (SO_2) et de cendres à partir d'un ensemble de senseurs satellitaires (SCIAMACHY, OMI, GOME-2, IASI et AIRS).

Malgré des caractéristiques différentes et des conséquences moindres sur l'aviation que lors de l'éruption d'Eyjafjallajökull, cet événement a captivé l'attention des scientifiques et des responsables du contrôle aérien en raison de sa physionomie particulière. En effet, les observations ont indiqué la présence de deux panaches volcaniques de composition distincte. Un premier panache de SO_2 émis à haute altitude qui s'est déplacé vers le Nord de l'Islande et qui s'est ensuite étendu entre le Canada et la Nouvelle-Zemble formant un long filament étroit. Un second panache composé de cendres volcaniques injectées à de plus basses altitudes qui s'est quant à lui transporté vers le Sud-Est de l'île en direction de l'Ecosse et de la Scandinavie.



Les leçons de l'éruption de Grímsvötn

L'éruption de Grímsvötn a remis en avant l'utilité d'un système d'observation multi-senseurs comme SACS permettant la surveillance de l'activité volcanique à l'échelle globale en temps quasi-réel et fournissant un support aux VAAC (Volcanic Ash Advisory Centers).

Dans un souci constant d'améliorer les capacités du système de surveillance, l'équipe SACS a mis au point, au cours de l'année 2012, un système d'alerte multi-senseurs qui envoie automatiquement une notification par e-mail aux utilisateurs de cet outil lorsqu'une éruption volcanique est détectée, n'importe où sur le globe.

Dans l'avenir, SACS va poursuivre son développement, en se dotant d'algorithmes de traitement de données améliorés, d'instruments satellitaires supplémentaires et de nouvelles fonctionnalités pour rencontrer davantage les besoins exprimés par les utilisateurs.

« L'IASB contribue activement à la surveillance de l'évolution des émissions volcaniques dans l'atmosphère. »

Nicolas Theys
Service UV-visible et recherche DOAS

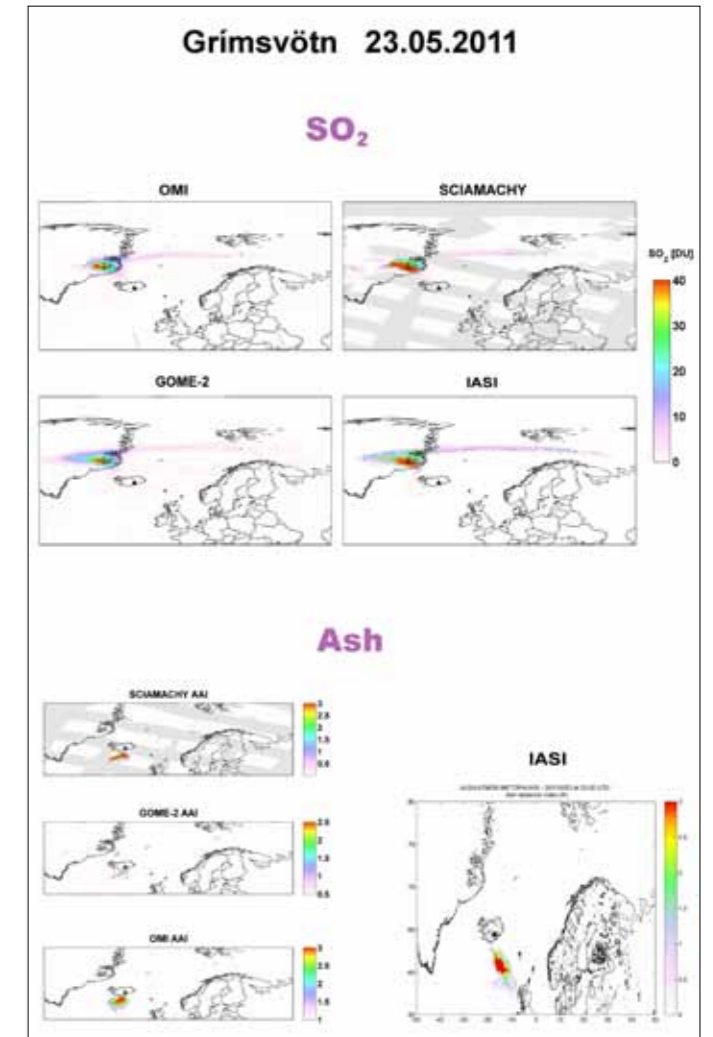


Image composite des panaches volcaniques de SO_2 (haut) et de cendres (bas) émis lors de l'éruption du volcan islandais Grímsvötn et détectés le 23 mai 2011 par les instruments satellitaires IASI, SCIAMACHY, GOME-2 et OMI.

« SACS permet de surveiller l'activité volcanique à l'échelle globale en temps quasi-réel. »

Michel Van Roozendael
Service UV-visible et recherche DOAS

Mesures de flux COVB

« Quelle est l'influence des plantes sur le climat ? »

AU NIVEAU DE L'ÉCOSYSTÈME Sur base de la technique de eddy covariance

Afin de disposer de mesures de flux à long terme des COVB (Composés Organiques Volatils Biogéniques) au niveau de l'écosystème, l'IASB - en collaboration avec l'Unité Physique des Bio-systèmes de l'Université de Liège - a commencé en 2009 à faire le relevé en continu des émissions de COVB au-dessus de la couche herbeuse d'un bois mixte dans les Ardennes belges. Pour ce faire, l'institut a eu recours à la technique d'eddy covariance (mesure de la vitesse du vent grâce à un anémomètre sonique et mesure des concentrations de COVB à l'aide d'un spectromètre de masse par réaction de transfert de proton (PTR-MS)).

Les analyses des données révèlent que cet écosystème enregistre chaque année d'importantes pertes, par exemple de méthanol, dues à l'absorption de ce composé par les films liquides et à sa consommation par les micro-organismes. En 2011, les installations expérimentales existantes ont été élargies avec un point de mesure de covariance à seulement quelques mètres au-dessus du sol.

Mesures à différents niveaux

Des mesures de flux par eddy covariance au-dessus d'une couche herbeuse, en alternance avec les mesures dans le sous-bois et les mesures de concentration des COVB à 4 endroits différents de la couche herbeuse ont été effectuées de mi-avril 2011 à mi-janvier 2012. Ces données devraient pouvoir nous donner une meilleure image de la distribution verticale des sources possibles de COVB et des pertes dans cet écosystème.

En 2012, on a mis l'accent sur les échanges de COVB entre l'atmosphère et les cultures. En collaboration avec l'atelier de mécanique et d'électronique, une unité mobile a été totalement équipée pour intégrer le PTR-MS et les équipements connexes à cet effet. Les mesures de flux d'eddy covariance de COVB ont été relevées durant toute la saison de croissance (avril-octobre) du maïs, une des plantes les plus cultivées en Belgique. Les résultats semblent indiquer que les flux les plus importants sont attribués au méthanol et aux « green leaf volatiles » (composés volatils C_6).



Mesures de flux par eddy covariance dans le sous-bois d'une forêt mixte à Vielsalm

Techniques de spectrométrie de masse

Les plantes qui sont sujettes aux conditions de stress (lésion du tissu foliaire, exposition à de fortes concentrations d'ozone,...) émettent souvent de grandes quantités de différents composés organiques volatils oxygénés C_6 communément nommés Green Leaf Volatiles (GLV). Les techniques performantes de spectrométrie de masse en ligne telles que PTR-MS et PTR-TOF-MS sont souvent employées pour étudier la dynamique de ces émissions. Mais la détection sélective d'un certain nombre de composés tels que les isomères hexén-1-ol et l'hexanal continue à poser problème.

Détection sélective en ligne

Dès lors, en laboratoire, une autre approche de détection sélective en ligne de ces composés est étudiée dans un instrument « Flowing Afterglow - Tandem Mass Spectrometry (FA-TMS) ». Les composés C_6 sont ici ionisés dans un réacteur à écoulement via les réactions ion/molécule avec les ions réactifs H_3O^+ et NO^+ .

Les ions produits ont été ensuite fragmentés dans un spectromètre de masse tandem quadripolaire par le biais d'une dissociation induite par collision.

La détection sélective des composés isomères est donc basée sur l'apparition de fragments caractéristiques et/ou d'importantes variations en intensités relatives de certains fragments dans les spectres de masse à différentes valeurs des énergies de collision (0-9 eV).

Cette étude a démontré que la fragmentation de certains ions produits de la réaction NO^+/GLV (GLV^+) et ($GLV-H$) $^+$ permet une détection en ligne, sélective et rapide, des 2-hexén-1-ols, 3-hexén-1-ols et de l'hexanal. Il faut cependant que des conditions particulières quant à la précision requise et aux limites spécifiques des concentrations relatives des composés à détecter soient respectées.

« Les plantes qui sont soumises à des conditions de stress émettent d'importantes quantités de divers composés organiques volatils oxygénés C_6 . »

Crist Amelynck
Service spectroscopie de masse
(observation en laboratoire et sur le terrain)



Setup de mesures de flux par eddy covariance au milieu d'un champ de maïs à Lonzée

plantes soumises à un stress • UV-Visible • service
de support au contrôle aérien • polluants •
smog • Eyjafjallajökull • pluies acides •
oxydation • acide formique •
nouvelle source biogénique • éruption volcanique •
système d'observation multi-senseurs •
émissions de COVB • spectrométrie de masse •
mesures dans la couche herbeuse • Volcanic Ash Advisory Center





Rayonnement UV

La mesure absolue de l'éclairement solaire revêt une importance toute particulière pour la modélisation des processus physico-chimiques et photochimiques rencontrés dans l'atmosphère terrestre.

Les avancées les plus significatives réalisées durant la période 2011-2012 ont été rendues possibles grâce à SOLAR/SOLSPEC, un instrument à bord de l'ISS (la Station Spatiale Internationale) depuis 2008. Le réseau UV-Visible déployé sous forme de six stations au sol en Belgique et d'une station en Antarctique a également joué un rôle important.

SOLAR/ SOLSPEC

« Comment peut-on mesurer le rayonnement solaire de manière fiable ? »



Implémentation de la charge utile SOLAR sur ISS

L'INSTRUMENT SOLAR/SOLSPEC

Le résultat d'une collaboration intensive

La mesure du spectre solaire au-dessus de l'atmosphère terrestre est d'une grande importance pour le développement des sciences atmosphériques et de la physique solaire. Notamment, en vue de la validation des modèles décrivant la chimie-physique de l'atmosphère terrestre et les émissions du Soleil.

Pour ces recherches, des mesures spectrales sont nécessaires car les processus encodés dans les modèles sont dépendants de la longueur d'onde. Les mesures à partir de l'espace permettent de s'affranchir de l'absorption et de la diffusion du rayonnement solaire par les constituants de l'atmosphère. Elles requièrent cependant des technologies avancées pour réaliser en environnement spatial ces mesures du flux solaire avec une qualité constante selon une échelle photométrique absolue (éclairage spectral en $W/m^2.nm$).

L'instrument SOLSPEC, proposé par le Service d'Aéronomie du CNRS (devenu le LATMOS, France) résulte d'une longue collaboration avec l'IASB. Il se compose de trois spectroradiomètres qualifiés pour des mesures spatiales, permettant de couvrir plus de 96 % du flux solaire dans les domaines spectraux UV, VIS et infrarouge. La version SpaceLab-ATLAS a participé à 5 missions dans les années 80 et 90, contribuant à des mesures pionnières du spectre solaire. L'actuelle version SOLAR/SOLSPEC en orbite depuis 2008 fait partie de la charge utile SOLAR, arrimée au module COLUMBUS de l'ISS.

Des mesures radiométriques de haute performance

La version actuelle de SOLSPEC a bénéficié de l'implémentation de nouvelles optiques adaptées à la mission à long terme SOLAR. L'équipement embarqué consiste essentiellement (outre les spectromètres) en un système de lampes internes et un pointeur solaire (passif). Ils permettent d'assurer le maintien des étalonnages internes (photométriques et en longueur d'onde) grâce au signal des sources lumineuses de référence, et de vérifier l'alignement des axes optiques face au Soleil lors des mesures. L'ensemble de ces composants optiques donne une certaine complexité à l'instrument mais assure de hautes performances radiométriques.

SOLAR/SOLSPEC est le fruit d'un long développement réalisé au sol : à l'IASB pour la caractérisation radiométrique approfondie et la réalisation mécanique, en France pour la qualification spatiale (tests environnementaux) et en Allemagne (laboratoires du PTB : Physikalisch-Technische Bundesanstalt) pour l'étalonnage absolu face à une émission de référence en éclairage spectral (rayonnement du corps noir). Ces développements ont permis de livrer un instrument robuste et performant, d'une précision supérieure à la version SpaceLab-ATLAS.



Implémentation de la charge utile SOLAR sur ISS

Une grande fiabilité

Depuis sa mise en orbite, l'instrument a démontré toute sa fiabilité et sa maniabilité pour des mesures solaires de précision. SOLAR/SOLSPEC est piloté depuis le centre de contrôle B.USOC*, le Belgian User Support & Operations Centre, implanté à l'IASB. Il est en charge de l'interface entre l'ESA et les scientifiques responsables de la charge utile SOLAR. Les opérateurs hautement qualifiés activent l'instrument, le contrôlent en temps réel et réalisent des séries de mesures sur base d'objectifs scientifiques bien définis, puis archivent les résultats. La mission SOLAR va bénéficier d'une prolongation de mission jusqu'en 2017.

Le spectre solaire mesuré par SOLAR/SOLSPEC est présenté à la figure 1, page 42 pour la période intermédiaire entre deux cycles solaires de 11 ans (Soleil calme), pour les années 2008-2009. SOLAR/SOLSPEC est le seul instrument actuellement en orbite mesurant l'éclairage solaire absolu jusqu'à une limite proche de $3 \mu m$ en longueur d'onde. L'incertitude standard d'une mesure solaire est de l'ordre de 2 % en moyenne, mais inférieure à 1 % pour la partie centrale du spectre.

Le canal IR a été entièrement remis à niveau par l'IASB pour la mission SOLAR. Afin de valider l'éclairage spectral mesuré par ce canal IR, une campagne de validation a été menée en 2011 à l'Observatoire de Tenerife en utilisant un instrument similaire à SOLSPEC étalonné par le même rayonnement du corps noir (PTB).

*B.USOC

Belgian User Support and Operations Centre

Le B.USOC (Belgian User Support & Operations Centre) soutient les scientifiques dans la préparation et le développement d'expériences qui requièrent un environnement en microgravité (station spatiale, vols automatiques, satellites ...). Le B.USOC a à la fois des fonctions de contrôle et des activités opérationnelles et exploite les centres de mission.

Le B.USOC est en charge du pilotage d'expériences européennes majeures au sein de la station spatiale ISS.

Le B.USOC a été fondé par l'Agence Spatiale Européenne (ESA) et la Politique scientifique fédérale (BELSPO) dans le cadre de la participation de la Belgique au programme ISS. Le B.USOC compte plus de 15 personnes et se situe dans les bureaux de l'IASB.

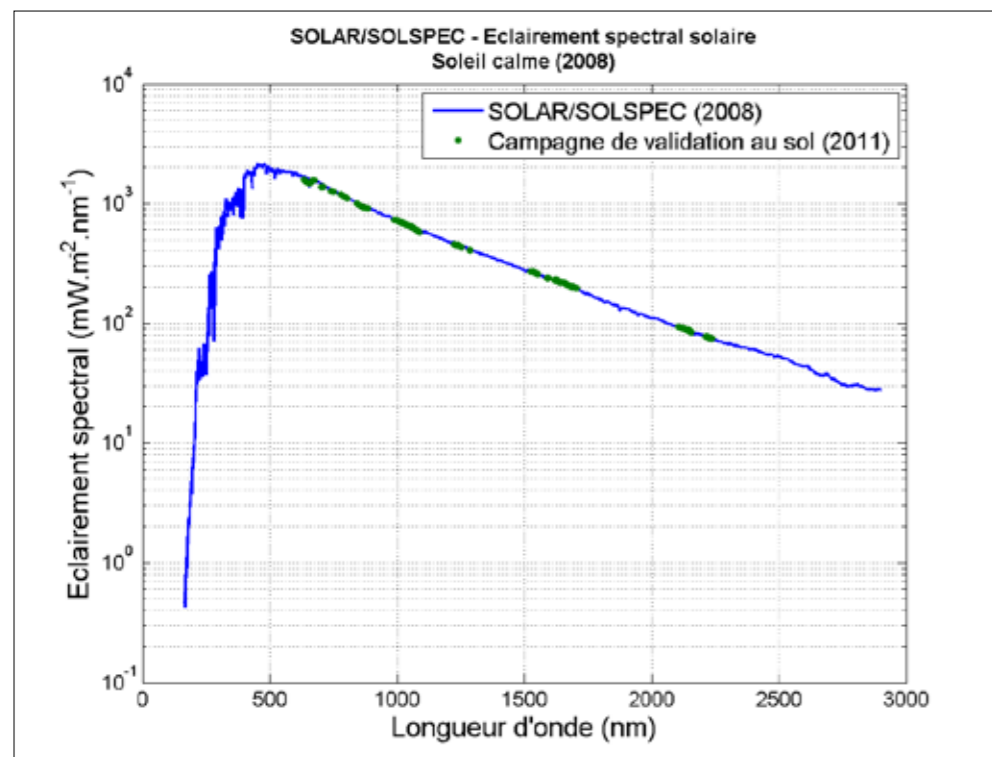


Figure 1
Eclairement spectral solaire UV, visible et infrarouge mesuré par SOLAR/SOLSPEC, complété par les mesures de validation réalisées au sol à travers les fenêtres atmosphériques.

Par une technique de mesure (méthode de Bouguer-Langley), l'éclairement spectral solaire hors atmosphère peut être déduit de mesures au sol pour une série de fenêtres atmosphériques (plages spectrales exemptes d'absorption par certaines molécules). Les résultats de l'instrument au sol ont présenté une convergence remarquable, de l'ordre du pourcent avec les mesures SOLAR/SOLSPEC sur ISS (figure 1).

La variabilité de l'éclairement dans l'ultraviolet

La variabilité de l'éclairement dans l'ultraviolet présente une forte dépendance spectrale qui s'explique par la nature des couches de l'atmosphère solaire à l'origine des émissions. La variabilité est croissante pour les courtes longueurs d'onde et détectable par le canal UV de SOLAR/SOLSPEC entre 170 et 220 nm environ.

Un objectif majeur de la mission SOLAR est de détecter les caractéristiques propres à la variabilité de l'éclairement solaire lors du cycle actuel de 11 ans. La figure 2 montre l'émergence de l'activité solaire pendant la montée du cycle actuel. Il s'agit du 24^e cycle depuis 1761. Les premières observations de l'IASB datent de 1957. Les données sont issues d'un indice mesuré par SOLAR/SOLSPEC, lié à une raie d'émission (MgII) portant la signature de l'activité solaire.

Vers une base de données de mesures du spectre solaire

Une variabilité de 27 jours s'observe également pour l'éclairement solaire. Elle est associée au défilement des taches et facules lors de la rotation du Soleil sur lui-même. Cette modulation d'origine purement géométrique est propice aux intercomparaisons entre les différents instruments en orbite afin de vérifier leur capacité à détecter l'amplitude vraie d'une variation d'éclairement solaire. Une campagne de mesure a été menée en décembre 2012 entre la charge utile SOLAR sur ISS et les données enregistrées par les satellites SDO et SORCE (figure 3).

Un exemple de résultats est présenté ci-contre. Il représente le changement d'éclairement spectral solaire UV détecté lors d'une demi-période de rotation solaire par SOLSTICE (sur SORCE) et SOLAR/SOLSPEC. De même, la corrélation évidente entre les variations d'indice MgII et d'éclairement solaire UV (longueur d'onde de 178 nm dans cet exemple), toutes deux mesurées par SOLAR/SOLSPEC est également présentée.

Les perspectives pour la mission SOLAR jusqu'en 2017 consistent à poursuivre les efforts accomplis pour l'acquisition et la validation des mesures du spectre solaire afin de constituer une base de données et de publier les résultats.

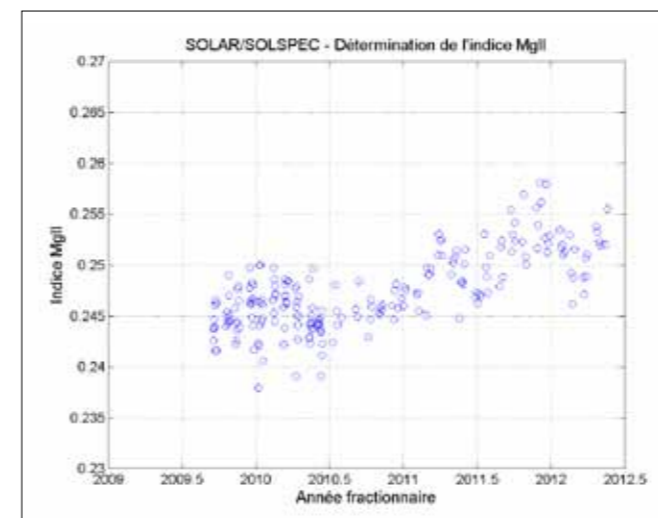


Figure 2a
Indice MgII de SOLAR/SOLSPEC montrant l'augmentation d'activité du cycle solaire 24.

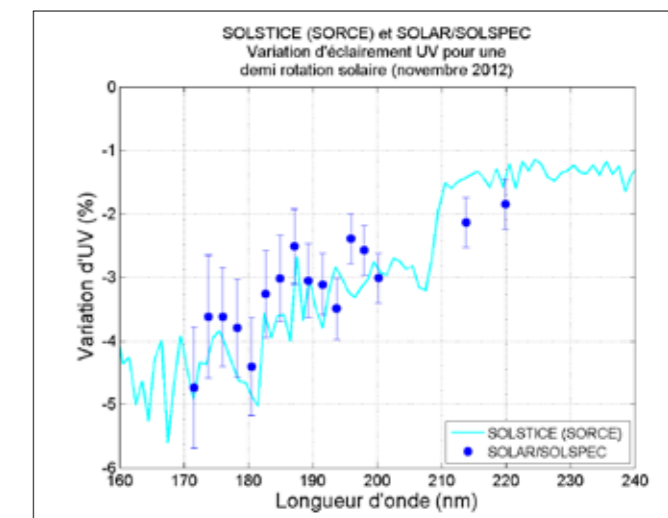


Figure 2b
Variation d'éclairement solaire UV détecté par SOLAR/SOLSPEC et SOLSTICE (SORCE) entre deux dates distantes d'une quinzaine de jours (de l'ordre d'une demi-période de rotation du Soleil) en novembre 2012.

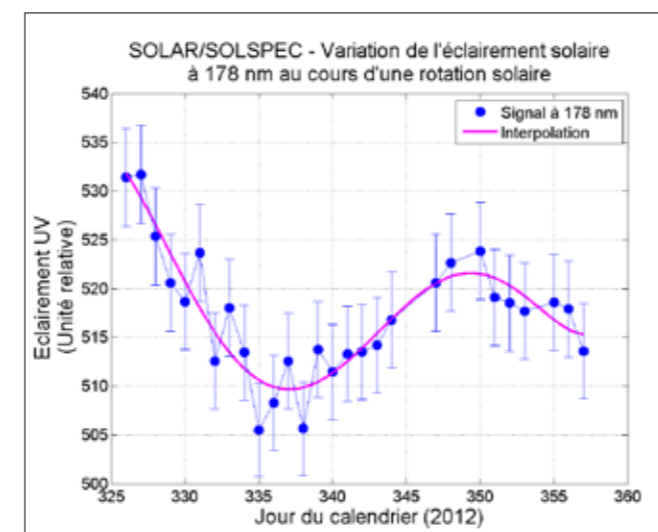


Figure 3a
A gauche : variation d'éclairement solaire à 178 nm lors d'une rotation solaire (novembre - décembre 2012), en corrélation avec la variation d'indice MgII pour la même période (à droite).

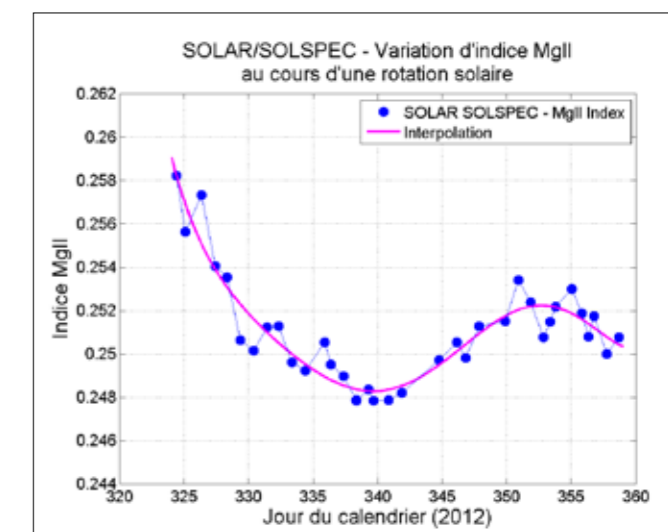


Figure 3b
A droite : variation d'indice MgII lors d'une rotation solaire (novembre - décembre 2012), en corrélation avec la variation d'éclairement solaire à 178 nm pour la même période (à gauche).

« SOLAR/SOLSPEC a démontré toute sa fiabilité pour fournir des mesures solaires précises. »

David Bolsée
Service rayonnement solaire

Stations terrestres UV



« L'IASB a récemment installé des capteurs-UV en Antarctique. A quoi servent-ils ? »

UN RÉSEAU Une station supplémentaire

Après la finalisation du réseau de mesures UV-Visible au sol couvrant la quasi-totalité du territoire belge en 2010, nous avons déployé en 2011-2012 une dernière station au Mont-Rigi (Hautes Fagnes) proche du point culminant de la Belgique. Les instruments qui ont été utilisés sur ce site sont un modèle de modernité. A titre d'exemple, de nouveaux « Sunshine duration meters » ont progressivement été installés à Uccle, Virton, Redu et Mol.

Ce réseau, qui compte six stations couvrant chacune des 6 zones météorologiques belges, est actuellement équipé d'instruments de précision qui nous permettent une étude globale et fiable de la climatologie « UV-Visible » en Belgique ainsi qu'au Grand-Duché de Luxembourg grâce à la collaboration avec la station du Lycée classique de Diekirch. Des tests préliminaires concernant les prévisions de l'indice UV ont également été réalisés. Ils ont comme objectif de faire des prévisions fiables pour les prochaines 24, 48 et 72 heures.

Un nouveau site avec de l'information « UV-Visible »

Le site web (<http://uvindex.aeronomie.be>) du groupe « Rayonnement solaire » a été entièrement redéfini. Il permet de suivre en temps réel l'évolution des mesures UV-Visibles, et en particulier des index UV dans les sept stations précitées. Il donne également accès à une page reprenant les conditions atmosphériques générales de chaque station et 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.

Fin 2012, l'IASB a déployé à la station polaire Princesse-Elisabeth en Antarctique, un set de capteurs UV-B et UV-A ainsi qu'un pyranomètre permettant de mesurer l'irradiation solaire globale dans l'UV et dans le visible. Ces capteurs ont été intégrés à un caisson atmosphérique régulé en température réalisé par le département d'ingénierie de l'IASB.

Les données mesurées sont disponibles sur : <http://uvindex.aeronomie.be>. Elles sont importantes pour nos recherches sur la couche d'ozone stratosphérique, couche qui protège la biosphère terrestre d'une grande partie du rayonnement ultraviolet émis par le Soleil.

Figure 1

Image générale de la station du Mont-Rigi, située dans la station scientifique des Hautes Fagnes. Pour rappel chaque station est équipée au minimum de :

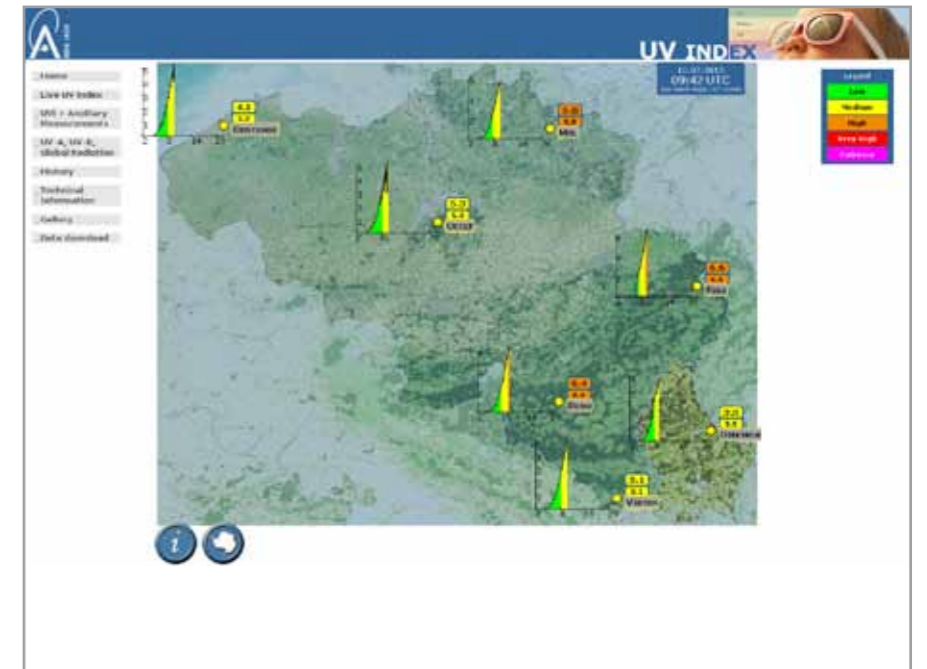
1. une série de 3 radiomètres à large bande spectrale (UVB-UVA & Total Solar Pyranometer)
2. un radiomètre à filtres (6 canaux de mesure étroits dans l'UV (305-395 nm))
3. un CIR-4V (mesurant la couverture nuageuse et l'altitude de base des nuages)
4. une station météo (température, pression, humidité relative, vitesse et direction de vent, pluviométrie)

La station d'Uccle inclut en plus des mesures spectrales, différents types de radiomètres à filtres (dans l'UV et dans le visible) pour mesurer le rayonnement solaire global, direct et diffus et la durée d'ensoleillement.



Figure 2

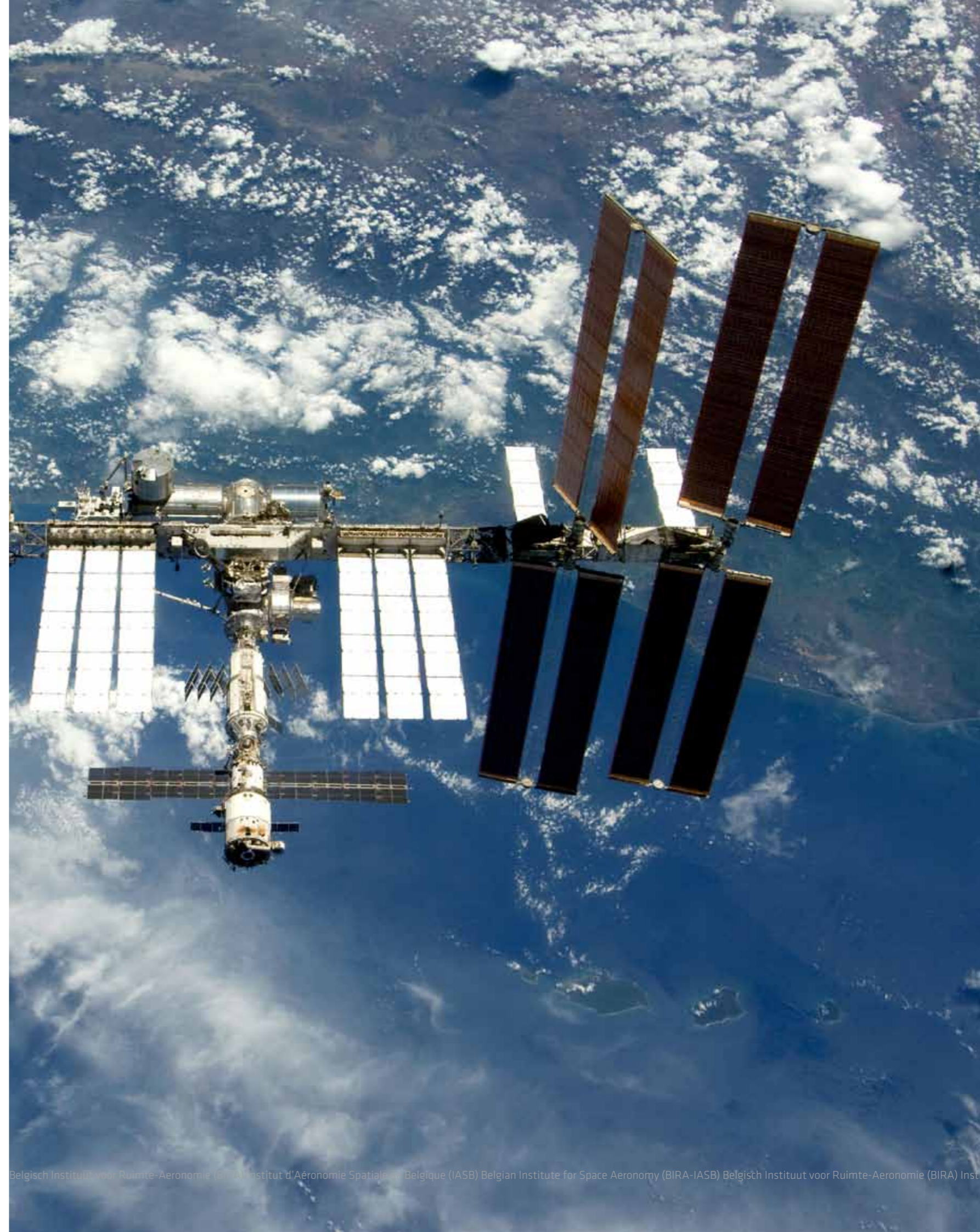
Capture d'écran du site web où l'indice UV est disponible en ligne.



« Les mesures UV sont importantes pour les recherches sur la couche d'ozone stratosphérique. »

Didier Gillotay
Service rayonnement solaire

échelle photométrique absolue • instrument SOLAR/SOLSPEC •
rayonnement solaire •
mesures spectrales • atmosphère • réseau visible ISS •
station Princesse-Elisabeth •
6 stations terrestres • temps réel •
Antarctique •
capteurs-UVB/A • instruments de précision •
base de données



Aéronomie & physique spatiale

Au-dessus de l'atmosphère de la Terre se trouvent tout d'abord l'ionosphère, ensuite la magnétosphère et enfin l'espace interplanétaire. Ces différentes régions sont également étudiées par l'IASB.

Nous mettons ici en exergue trois domaines d'activité dans lesquels d'importants progrès ont été réalisés en 2011-2012 : le réseau des stations radio de l'IASB qui détectent les météores, l'instrument EPT qui identifie les particules énergétiques de l'espace et les recherches de l'IASB sur les aurores.

Ces progrès ont été rendus possibles grâce aux instruments qui effectuent les observations tant à partir de la surface de la Terre que de l'Espace.

Le réseau BRAMS

« Comment peut-on détecter les météores à temps ? »



A gauche, l'antenne émettrice située à Dourbes (une antenne dipôle croisée avec une grille métallique de 8m sur 8m agissant comme plan réflecteur permettant de diriger les signaux radio plus efficacement dans l'atmosphère)



Antenne réceptrice située à Uccle (antenne Yagi avec 3 éléments)

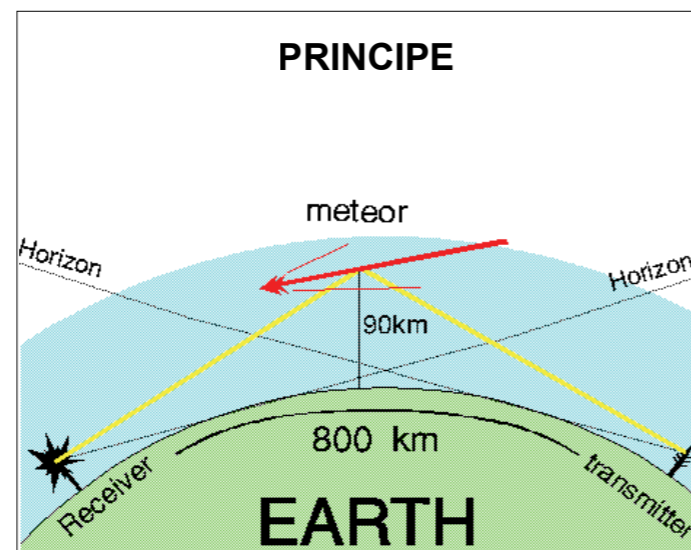
LE RÉSEAU DE STATIONS RADIO DE L'IASB

Détection radio des météores

L'atmosphère terrestre est en permanence bombardée par des particules solides d'origine interplanétaire ou interstellaire. Leur taille varie de quelques microns à quelques mètres dans de rares cas tels que le météore qui a récemment explosé au-dessus de la Russie. La masse totale de ces particules heurtant l'atmosphère chaque jour est estimée entre 40 et 100 tonnes. Elles se déplacent à des vitesses supersoniques (jusqu'à plusieurs dizaines de km/s) et s'échauffent fortement lorsqu'elles heurtent les particules de la haute atmosphère. La plupart sont entièrement vaporisées vers 100 km d'altitude.

Dans le sillage de leur trajectoire, en heurtant les atomes et molécules de l'atmosphère, ces particules créent une traînée d'électrons sur laquelle une onde radio VHF (entre 30 et 300 MHz) peut se réfléchir pendant un laps de temps allant de quelques dixièmes de seconde pour les objets les plus petits (et les plus nombreux) à quelques secondes/minutes pour les objets plus gros.

C'est le principe de la détection radio des météores, utilisé par BRAMS (Belgian Radio Meteor Stations), un projet de l'IASB financé par le Centre d'Excellence Soleil-Terre (STCE). BRAMS utilise un émetteur localisé sur le site du Centre de Géophysique du Globe à Dourbes et un ensemble de stations de réception radio réparties sur le territoire belge.



STCE

Solar-Terrestrial Center of Excellence

Le STCE est le centre belge d'excellence Soleil-Terre, situé sur le plateau d'Uccle. Les scientifiques tentent de comprendre le Soleil et de prévoir comment les éruptions solaires parcourent l'Espace et influencent la Terre. Les scientifiques emploient à cet effet une série de satellites et télescopes qu'ils aident eux-mêmes à développer.

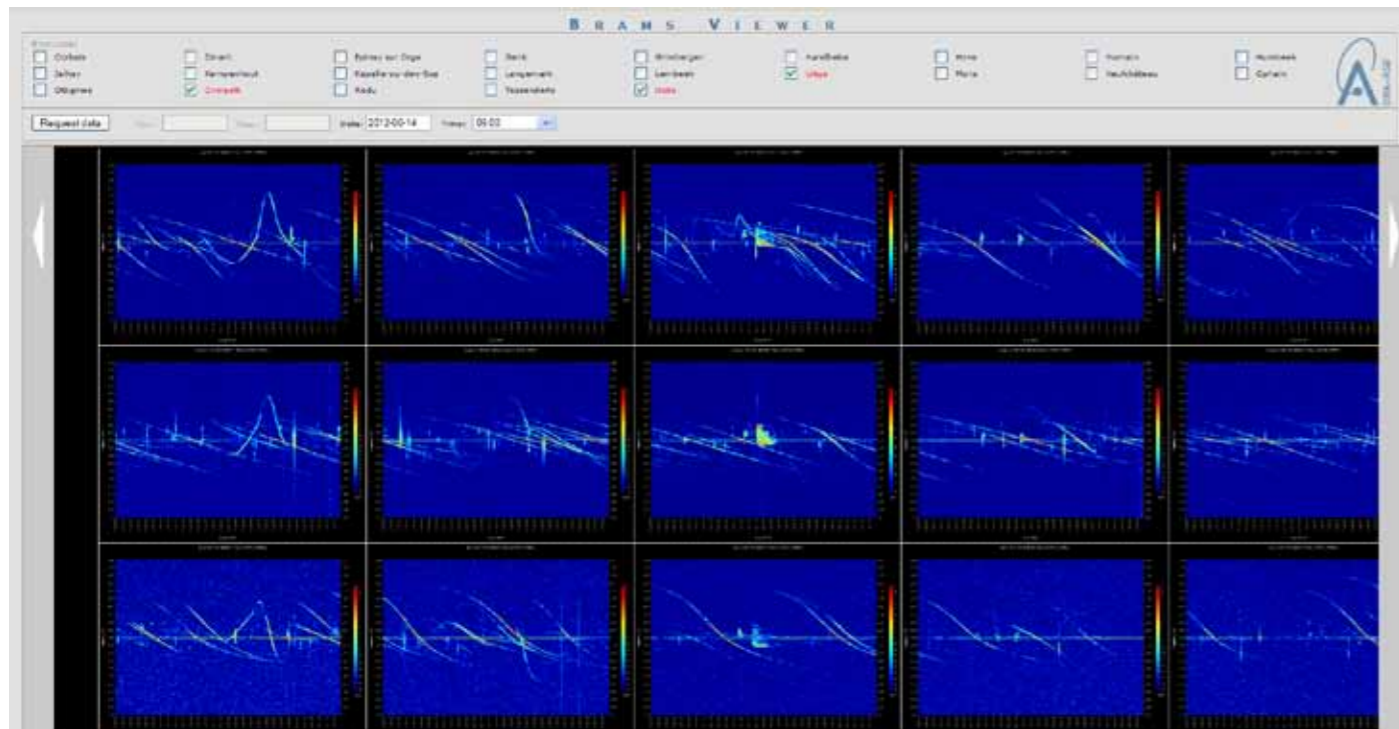
Le STCE ne travaille cependant pas seul. Il collabore avec des entreprises en Belgique et à l'étranger, avec des universités et d'autres institutions scientifiques.

Le STCE met également les informations sur le Soleil, l'Espace et la Terre à la disposition d'autres scientifiques, d'entreprises ainsi que du grand public. Le STCE est le moteur de plusieurs conférences internationales telles que la European Space Weather Week.

La trajectoire initiale du météore

La réflexion de l'onde radio provient essentiellement d'un point de la traînée d'électrons. Le point de réflexion varie selon la position du récepteur. Les observations multi-stations doivent donc en principe permettre de reconstruire la trajectoire initiale du météore, ce qui est l'un des objectifs principaux du projet BRAMS.

C'est la raison pour laquelle les stations de réception sont synchronisées par récepteur GPS. Une fois la trajectoire connue, l'analyse du signal reçu par chaque station permet d'obtenir d'autres informations sur l'objet telles que son ionisation, sa vitesse, sa décélération dans l'atmosphère et sa masse. Ces observations permettent également de mesurer indirectement la vitesse des vents ou la température dans la mésosphère à des altitudes trop basses pour les satellites et trop hautes pour les ballons sondes.



Spectrogramme pour les mesures effectuées par la station de réception d'Uccle le 07/10/2011 à 13h45 UT. Chaque spectrogramme a une durée de 5 minutes. La plage en fréquence est de 200 Hz centrée sur le signal direct provenant de l'émetteur (signal horizontal constant). L'intensité du signal est représentée par un code de couleur. Les signaux dus aux météores sont les signaux essentiellement verticaux et donc relativement courts, tandis que les longues signatures spectrales (durant plusieurs minutes) sont des réflexions du signal de l'émetteur sur des avions.

Mesurer plus précisément et en continu

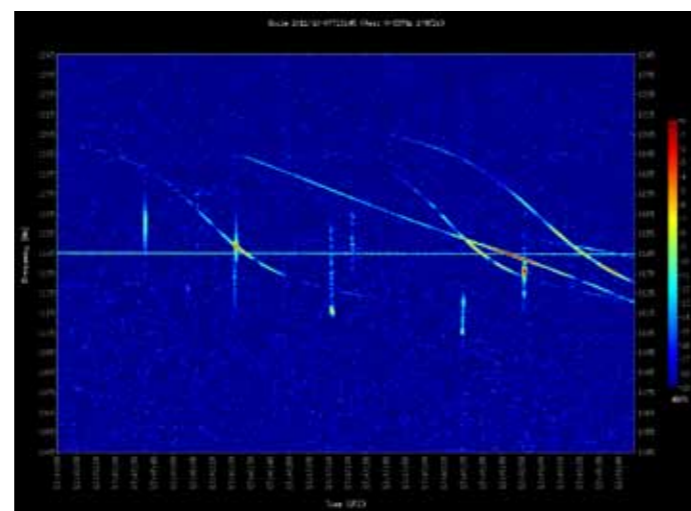
Les deux avantages principaux des observations radio des météores par rapport aux observations optiques sont d'une part une sensibilité plus importante aux objets de petites tailles (qui sont les plus nombreux mais ne donnent pas lieu à un phénomène lumineux), et d'autre part la possibilité de réaliser des observations de façon continue (les observations optiques ne pouvant se faire que la nuit et par ciel clair).

En 2012, l'IASB a installé 22 stations de réception. La plupart des stations sont gérées par des groupes d'astronomes amateurs (comme par exemple l'observatoire MIRA à Grimbergen) ou par des radioamateurs. Les observations se faisant de manière continue, chaque station génère par jour environ 1 GB de données. Celles-ci sont d'abord enregistrées localement puis envoyées régulièrement à l'IASB où elles sont archivées et analysées. La première étape consiste en une analyse spectrale du signal permettant de générer un spectrogramme (figure ci-dessus).

Des spectrogrammes disponibles en ligne

La plupart des météores ont une signature spectrale typique qui permet en principe de les isoler facilement dans un spectrogramme. La tâche est cependant compliquée par la présence de signaux « parasites »

tels que le signal direct de la balise, des réflexions sur des avions, des interférences locales voire parfois des émissions radio en bande large provenant des éruptions solaires. Une méthode de détection automatique a été développée afin de reconnaître certains signaux types quand le spectrogramme est considéré comme une image et on y applique des techniques de traitement d'image. Cette méthode est toujours en cours de développement et de test.



Exemple d'utilisation du BRAMS Viewer. Dans cet exemple, on peut voir les données de mesures relevées le 14/06/2012 à 9h par trois stations (Liège, Overpelt, Uccle). Une comparaison globale des spectrogrammes des différentes stations s'effectue aisément. L'utilisateur peut cliquer sur un des spectrogrammes pour avoir une information plus détaillée. Une version agrandie de l'image apparaît alors. Il est également possible de manipuler davantage les spectrogrammes. On peut également télécharger les données originales.



En 2012, l'IASB a développé un outil appelé le « BRAMS Viewer » qui permet de visualiser ces spectrogrammes en ligne. L'utilisateur peut y accéder via le site web brams.aeronomie.be après s'être enregistré. Il peut sélectionner un certain nombre de stations de réception et une période de temps et le programme génère les spectrogrammes correspondants. Les données des 6 derniers mois sont directement accessibles. Les données précédentes sont archivées mais accessibles sur demande. La figure ci-contre donne un exemple d'utilisation du BRAMS Viewer.

Optimalisation accrue du BRAMS Viewer et du réseau BRAMS

La fabrication de l'antenne émettrice, l'adaptation éventuelle des antennes et l'installation de ces antennes sur le site d'Uccle, ont été réalisées par l'atelier de mécanique de l'IASB. Le laboratoire d'électronique a, quant à lui, réalisé le câblage des antennes et des récepteurs GPS pour les stations de réception.

Le réseau BRAMS est actuellement presque opérationnel à 100% et les données sont systématiquement enregistrées puis archivées de manière régulière. D'autres stations seront ajoutées au réseau en 2013 mais la plupart des efforts seront concentrés sur le développement de techniques performantes

pour compter de façon automatique les échos de météores via les spectrogrammes. Un autre point d'attention consistera dans le développement d'algorithmes permettant de reconstruire les trajectoires d'un même météore à partir d'observations multi-stations.

« Les observations à partir de plusieurs stations permettent de reconstruire la trajectoire initiale du météore. »

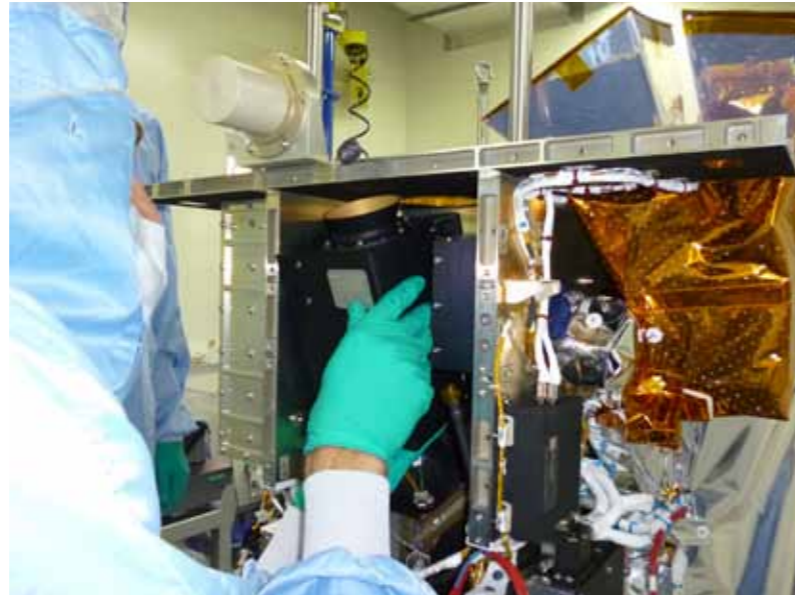
Hervé Lamy
Service couplage entre la magnétosphère et l'ionosphère

« La plupart des efforts seront concentrés sur le développement d'algorithmes performants pour compter de façon automatique les échos de météores via les spectrogrammes. »

Johan De Keyser
Département physique spatiale

L'instrument EPT

« Comment pouvez-vous détecter les particules énergétiques de l'espace qui peuvent être dangereuses pour les astronautes? »



DÉTECTEUR DE PARTICULES ÉNERGÉTIQUES Prédiction de la météorologie spatiale

L'EPT (Energetic Particle Telescope) est un spectromètre compact et modulaire qui a pour objectif de détecter les particules énergétiques de l'espace. L'instrument est conçu pour mesurer en particulier les flux de particules des ceintures de radiations de Van Allen. Ces particules très énergétiques (essentiellement des électrons, protons et quelques ions plus lourds) piégées dans le champ magnétique de la Terre constituent un réel danger pour les astronautes et les satellites en orbite autour de la Terre. L'EPT permet de caractériser ces flux de particules spatiales de diverses manières: identifier leur nature, les dénombrer, mesurer leur énergie, connaître leur direction, ... et apporter ainsi une contribution essentielle à la prédiction de la « météorologie spatiale ».

L'EPT a été intégré au satellite belge PROBA-V qui contient également d'autres instruments principalement destinés à l'observation de la végétation terrestre. Le lancement en mai 2013 sur une fusée Véga assure au satellite une orbite polaire à 820 km d'altitude. La modularité de l'instrument permet de l'adapter à d'autres vaisseaux spatiaux sur d'autres orbites pour mesurer d'autres flux de particules spatiales, tels que le vent solaire, par exemple, émis par le Soleil dans toutes les directions vers l'espace interplanétaire.

Le résultat d'une collaboration fructueuse

La conception de cet appareil résulte d'échanges fructueux entre scientifiques de l'IASB et de l'UCL. La division de Physique Spatiale de l'IASB développe des modèles de vent solaire et des ceintures de radiations sur base d'observations faites par des détecteurs à bord de satellites. L'équipe du Centre des Radiations de l'UCL conçoit et utilise de tels détecteurs pour diverses disciplines de recherche. Dès lors, ces équipes ont décidé de mettre en commun leurs expériences et leurs ressources pour concevoir, construire et mettre en œuvre cet EPT.

Un consortium a été développé entre l'UCL, l'IASB et QinetiQ Space pour créer l'instrument avec l'appui de l'ESA et de Belspo. L'équipe du CSR (Center for Space Radiations) a coordonné le projet pour la conception de l'instrument. L'équipe d'ingénieurs de l'IASB a pris soin des aspects mécaniques de l'instrument, tandis que la division de physique spatiale s'occupait des aspects scientifiques. La transmission des données est assurée par le B.USOC et le centre de contrôle à Redu. La firme privée QinetiQ Space s'est occupée de l'électronique de l'instrument, de la coordination du développement et de son intégration sur le satellite PROBA-V.



Le traitement électronique du signal à bord du satellite devient alors particulièrement simple, puisqu'il revient à enregistrer un simple nombre (de détecteurs touchés) correspondant à l'énergie de chaque particule incidente. La conversion de ce nombre binaire en énergie est réalisée par des calibrations effectuées au sol auprès d'accélérateurs de particules avant le lancement.

Des mesures plus précises

Le premier exemplaire de l'EPT mesurera les flux d'électrons de 0.2-10 MeV, des protons de 4-300 MeV et des ions d'hélium de 10-1000 MeV dans les ceintures de radiations. L'instrument possède une capacité inégalée de discrimination en vol des espèces de particules et fournira des mesures plus précises que celles des anciens détecteurs. Basé sur la technologie de l'EPT, un instrument de détection angulaire (3DEES) est actuellement en développement.

Principe de fonctionnement

Le principe de base de l'EPT est assez simple : un projectile se déplaçant à grande vitesse pénètre d'autant plus profondément dans un matériau que sa vitesse v (ou son énergie) est élevée. En outre, la profondeur de pénétration dépend de la nature de ce projectile (un électron, un proton, une particule alpha...)

Dès lors, pour une particule donnée, la mesure de la pénétration dans le matériau absorbeur fournit une indication sur l'énergie initiale de cette particule. En pratique, on choisit fréquemment un matériau absorbeur, dit 'actif', tel qu'un semi-conducteur (silicium), qui fournit un signal électrique proportionnel au dépôt d'énergie et fonctionne comme un détecteur.

Traitement du signal

L'EPT est constitué de deux sections : la section basse énergie à l'avant qui a une fonction analogique et la section haute énergie à l'arrière qui a une fonction digitale. Cette dernière est constituée d'un bloc d'arrêt formé par un empilement de quelques détecteurs actifs (environ 10) séparés par des couches d'épaisseurs calibrées de matériaux inertes (non actifs) appelés les absorbeurs.

Chaque détecteur fournit un signal électrique '1' s'il est traversé par une particule et '0' dans le cas contraire. La mesure de la distance de pénétration se fait alors en comptant simplement le nombre de détecteurs qui ont fourni un signal ou plutôt en enregistrant le nombre binaire ainsi produit.

« L'EPT est un spectromètre qui apportera une contribution essentielle à la prédiction de la 'météorologie spatiale'. »

Viviane Pierrard
Service vent solaire

« Le développement de cet appareil est le résultat d'une collaboration fructueuse entre l'IASB et l'UCL. »

Jeroen Maes
Service mécanique (ingénierie)

« L'EPT livrera des mesures qui seront plus précises que celles des anciens capteurs. »

Sabrina Bonnewijn
Service mécanique (ingénierie)

Etude des aurores

« Comment se produisent les aurores ? »



Aurore vue depuis la surface de la Terre



Aurore vue depuis l'ISS



Les 4 satellites CLUSTER

CLUSTER

Interaction entre la magnétosphère et l'ionosphère

Après 12 ans dans l'espace, les quatre satellites identiques qui composent la mission Cluster de l'ESA continuent encore à envoyer des mesures uniques. Certains instruments montrent çà et là des signes de vieillissement mais les informations reçues sont encore très utiles. La division de physique spatiale de l'IASB utilise les données de Cluster pour effectuer différentes études relatives au fonctionnement de la magnétosphère. Cette dernière est une zone de protection autour de la Terre créée par le champ magnétique terrestre. Nous illustrons ici un aspect de cette recherche : l'étude de l'origine des aurores.

Les aurores constituent une spectaculaire manifestation de l'interaction entre la haute atmosphère de la Terre (l'ionosphère, entre 100 et 1000 km d'altitude) et l'Espace qui entoure celle-ci (la magnétosphère). Cette interaction consiste à ce que des particules électriquement chargées (électrons et ions) reviennent de la magnétosphère dans l'atmosphère le long des lignes de champ magnétiques. Inversement, des particules chargées électriquement s'échappent de l'ionosphère pour arriver dans la magnétosphère. Un circuit électrique qui relie l'ionosphère et la magnétosphère apparaît alors.

Le circuit électrique

Les études de l'IASB se concentrent surtout sur les caractéristiques principales de ce circuit électrique : la source de tension du générateur, la charge et la liaison entre la source de tension et la charge. La

source de tension correspond à une zone de contact entre deux plasmas différents (c.-à-d. des gaz ionisés) dans la magnétosphère. Une surface de contact se trouve le long des lignes de champ magnétiques et se caractérise par des champs électriques locaux et puissants. Ceux-ci dépendent des densités et températures des plasmas des deux côtés de la surface mais également de la différence de vitesse à laquelle les plasmas se déplacent le long de la surface ou d'une différence de potentiel électrique externe.

Nos modèles montrent que ce sont surtout les surfaces de contact entre les plasmas présentant une grande différence de température qui génèrent des champs électriques monopolaires fortement concentrés. Cette constatation correspond aux conclusions des observations de Cluster. L'IASB a poursuivi ses recherches sur la différence de potentiel électrique maximale autorisée pour lesquelles des surfaces de contact similaires peuvent exister.

Apparition du phénomène lumineux

La charge du circuit électrique peut être considérée comme une résistance électrique dans l'ionosphère où l'énergie est convertie en un réchauffement de l'atmosphère. Cette conversion se produit surtout via des collisions entre les électrons venant de la magnétosphère et les atomes neutres ou les molécules de l'atmosphère. Conséquence : les électrons de la magnétosphère excitent ou ionisent les atomes ou molécules dans la haute atmosphère. Lors de la

désexcitation ou de la recombinaison, le phénomène lumineux apparaît. C'est ce qui donne la couleur rouge ou verte typique aux aurores.

Une deuxième forme de réchauffement se produit lorsque les ions et les atomes neutres entrent en collision. Les ions sont en effet obligés par les forces électromagnétiques de se déplacer dans une direction différente de celle des vents dominants dans l'atmosphère neutre, ce qui entraîne des collisions. Les recherches faites à l'IASB étudient surtout le mouvement des ions, conséquence de la vitesse de dérive électrique du champ magnétique terrestre.

Particules de haute énergie

Les lignes de champ magnétiques fonctionnent comme des conducteurs électriques. La caractéristique de tension électrique qui établit le lien entre d'une part, la différence de potentiel entre la magnétosphère et l'ionosphère et d'autre part, le courant électrique qui s'ensuit, est la synthèse de tous les processus naturels qui se produisent le long des lignes de champ magnétiques.

L'IASB a développé un modèle de simulation Vlasov qui calcule la variation du potentiel électrique et des densités des électrons et ions ionosphériques et magnétosphériques le long de la ligne de champ magnétique. Le phénomène physique de « double couche » est ici un élément clé. C'est l'endroit où un champ électrique local se développe permettant que

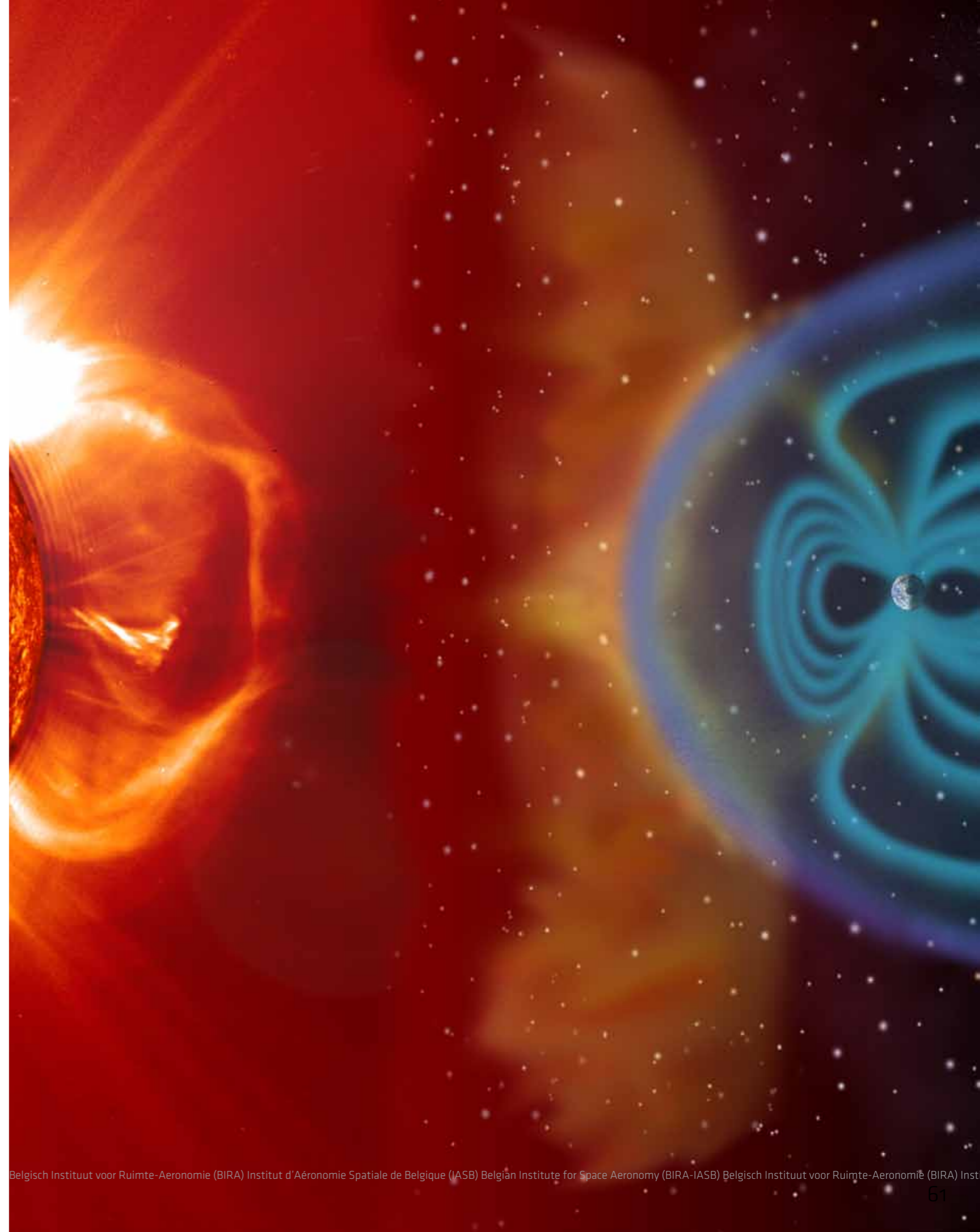
les ions plus lourds s'échappent de l'ionosphère tout aussi vite que les électrons plus légers. Dans le cas contraire, le plasma de l'ionosphère ne pourrait pas demeurer électriquement neutre.

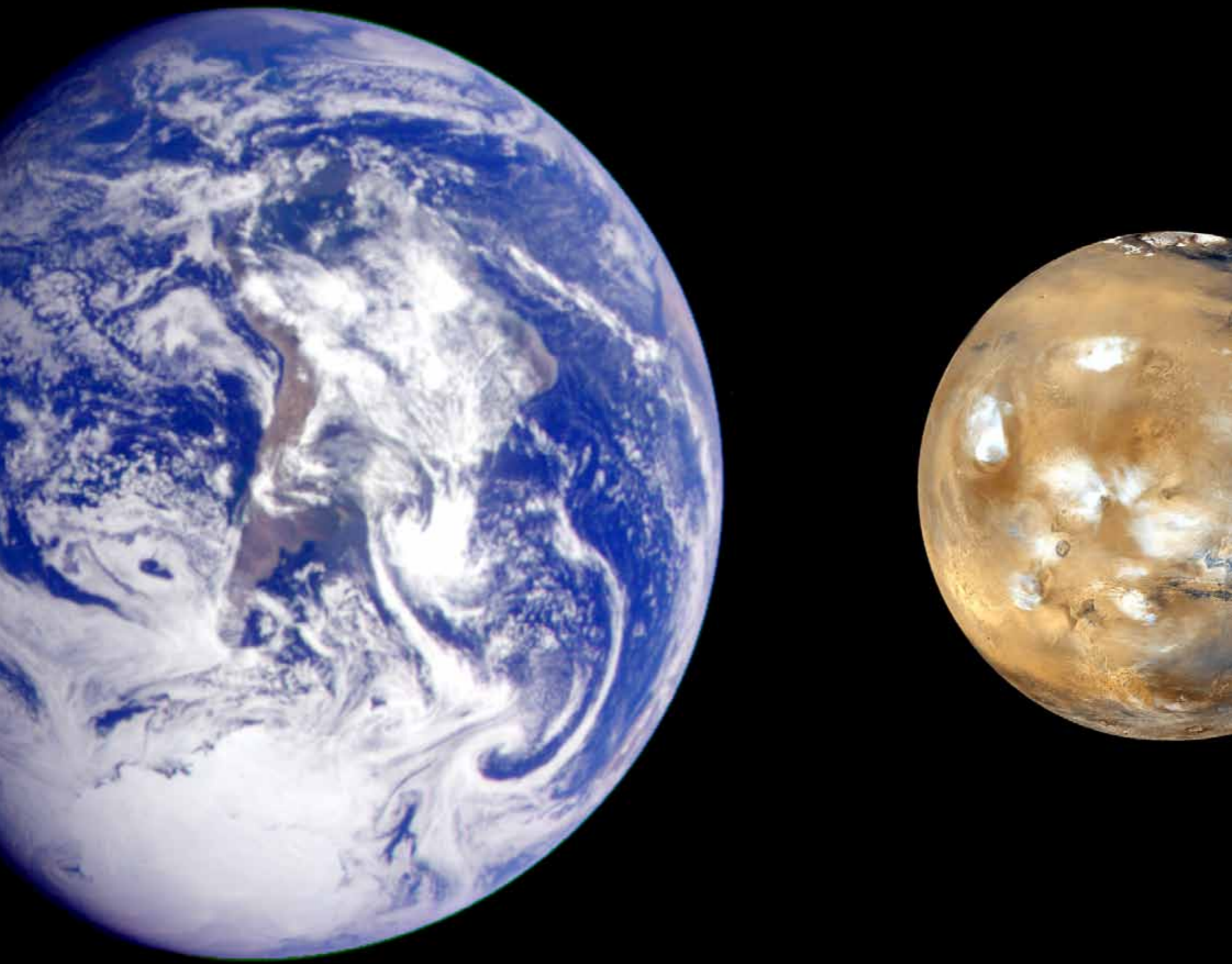
C'est la loi de conservation du courant électrique qui réunit les trois ingrédients du circuit électrique. Le modèle de l'IASB permet de définir la structure électrique en fonction de l'altitude (le long des lignes de champ) et de la distance à la surface de contact (transversale aux lignes de champ). On peut ainsi montrer comment une différence de potentiel électrique entre deux plasmas (transversale aux lignes de champ) dans la magnétosphère se traduit par une différence de potentiel le long des lignes de champ. Cela mène à un champ électrique dit « parallèle » capable d'accélérer les particules magnétosphériques. L'ionosphère est donc bombardée par des particules de haute énergie. C'est ce qui génère des aurores intenses.

« Les aurores constituent une spectaculaire manifestation de l'interaction entre la haute atmosphère de la Terre (l'ionosphère) et l'Espace qui entoure la Terre (la magnétosphère). »

Johan De Keyser
Département physique spatiale

lignes de champ magnétiques • ionosphère
• espace interplanétaire • météores
• courant électrique • radiodétection •
Energetic Particle Telescope • Belgian Radio Meteor Station •
plasma • spectrogrammes • magnétosphère •
aurore • algorithmes





Aéronomie planétaire

L'aéronomie planétaire s'intéresse aux planètes autres que la Terre, et en particulier à leur atmosphère. Les activités de l'IASB sont principalement axées sur Mars et Vénus, mais pourraient dans le futur s'étendre à Jupiter.

En ce qui concerne Mars, plusieurs études ont été poursuivies. Une grande attention a été portée au développement et au suivi de l'instrument NOMAD. Les données de l'instrument SPICAM à bord de Mars Express ont été analysées en détail. Un modèle de circulation générale GEM-Mars a été développé et est utilisé pour l'interprétation des données recueillies par différents instruments observant actuellement la planète rouge.

Les années 2011 et 2012 ont vu la confirmation de la qualité des données délivrées par l'instrument SOIR à bord de la sonde ESA Venus Express. Les opérations SOIR-VEX ont été préparées à l'IASB. Une collaboration hebdomadaire s'est développée entre l'équipe Opérations Science de l'ESA et les différents ingénieurs-opérateurs des instruments à bord de VEX. Les plannings des observations avec l'instrument SOIR ont été établis en étroite collaboration avec les scientifiques. L'analyse des spectres enregistrés par SOIR a été poursuivie et les collaborations internationales se sont intensifiées.

L'année 2012 était d'autant plus essentielle pour cette mission qu'un important exercice d'observations a eu lieu lors du passage de Vénus devant le Soleil. Pour l'occasion, des instruments au sol et depuis l'Espace, comme SOIR-VEX, SOHO, ou le Télescope spatial Hubble, ont observé Vénus au même moment.

Mars



« Est-il vrai que l'IASB travaille sur un instrument qui va être envoyé sur Mars ? »

NOMAD

La contribution belge pour ExoMars TGO 2016

L'instrument NOMAD a été sélectionné par l'ESA, l'agence européenne, et la NASA en 2010 pour faire partie de la mission ExoMars Trace Gas Orbiter qui sera lancée vers la planète rouge en 2016 et durera 2 années martiennes. Depuis la sélection, toute l'équipe, composée de scientifiques et d'ingénieurs de l'IASB, prépare l'instrument.

NOMAD est un consortium international mené par la Belgique et dirigé par un scientifique de l'IASB. Il réunit des scientifiques et ingénieurs de Belgique, d'Espagne, d'Italie, du Royaume-Uni, du Canada et des États-Unis. L'instrument est construit en étroite collaboration avec l'industrie. En Belgique, OIP (Audenaarde) assure la gestion générale du projet et la construction des canaux infra-rouges (SO et LNO). LambdaX (Nivelles) est en charge de la construction du canal UVIS tandis que Thales Alenia Space (Charleroi) prend en charge l'électronique et AMOS (Liège) une série d'éléments optiques.

Le département de l'ingénierie de l'IASB a aussi pris part de façon intensive à la conception et à la construction de NOMAD. Que ce soit sur le plan mécanique (mécanique des structures et mécanisme

« flip mirror », dans le domaine de l'électronique (développement électronique, logiciels embarqués et au sol) et celui de la gestion de projet (ingénierie des systèmes et gestion des documents), l'apport du département ingénierie de l'IASB qui a travaillé en étroite collaboration avec d'autres partenaires industriels du consortium a été considérable.

L'instrument NOMAD

En 2011-2012, le modèle 3D CAD de l'instrument a été mis au point. Des tests thermiques sur les interfaces ont été effectués, un prototype du mécanisme « flip mirror » a été développé et une grande partie des logiciels a été finalisé.

Trois canaux composent l'instrument :

- SO (Solar Occultation), une copie de l'instrument SOIR déjà à bord de la mission Venus Express de l'ESA
- LNO (Limb Nadir solar Occultation), une version améliorée de SOIR
- UVIS, développé à partir d'un instrument qui faisait partie de la charge utile du Lander d'ExoMars



Un des principaux défis est d'adapter le concept de l'instrument SOIR optimisé pour des observations en occultation solaire aux mesures en pointé Nadir, c'est-à-dire pour des observations du rayonnement émis et réfléchi par la surface de la planète étudiée.

Augmenter la qualité des mesures

Le signal Nadir est actuellement environ 10 000 fois plus faible que celui reçu en occultation solaire. Pour obtenir une qualité de mesure suffisante plusieurs améliorations ont été envisagées : agrandissement de la fente d'entrée et de l'optique de l'instrument pour permettre l'entrée de plus de lumière et le refroidissement (à -100 °C) d'une partie de l'instrument pour réduire le bruit.

Le concept complexe nécessaire pour permettre à cette partie refroidie de se contracter et de se dilater sans influencer le reste de l'instrument a été mis au point à l'IASB et a été l'objet de nombreux tests cette année. Ces tests se sont déroulés dans les locaux du Centre Spatial de Liège.

En 2012, le mécanisme d'optique d'entrée du canal LNO a été développé et testé. Il permet de choisir le

type de pointage - vers le Soleil ou vers la planète - et est nécessaire car le satellite ne pourra pas effectuer de manœuvres compliquées de pointage.

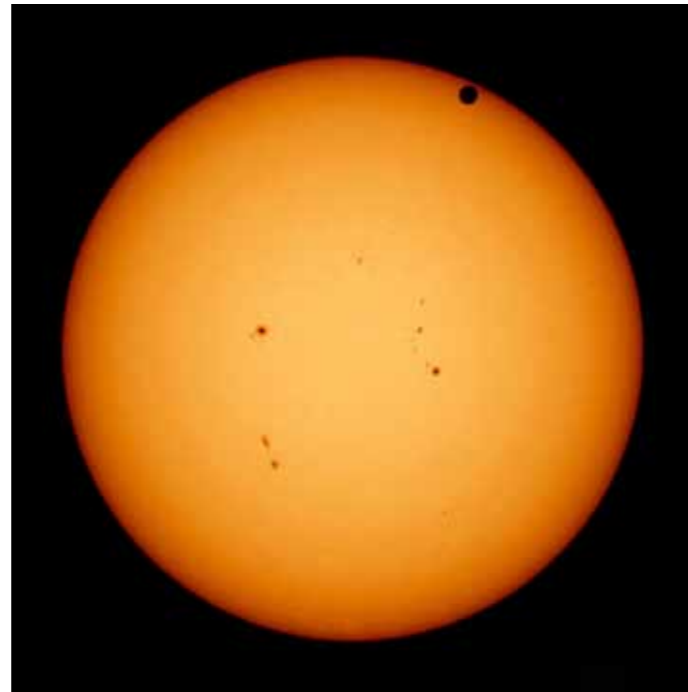
Perspectives

Le développement de l'instrument a été réalisé en 2012. L'IASB a ainsi pu passer avec succès la première étape d'acceptation par l'ESA. L'instrument a en effet réussi son examen PDR (Preliminary Design Review) imposé par l'ESA. Les avancées obtenues nous permettront de plus de mener l'analyse détaillée du design de l'instrument (septembre 2013).

« En 2016, nous enverrons l'instrument NOMAD sur la planète rouge. »

Ann-Carine Vandaele
Service aéronomie planétaire

Vénus



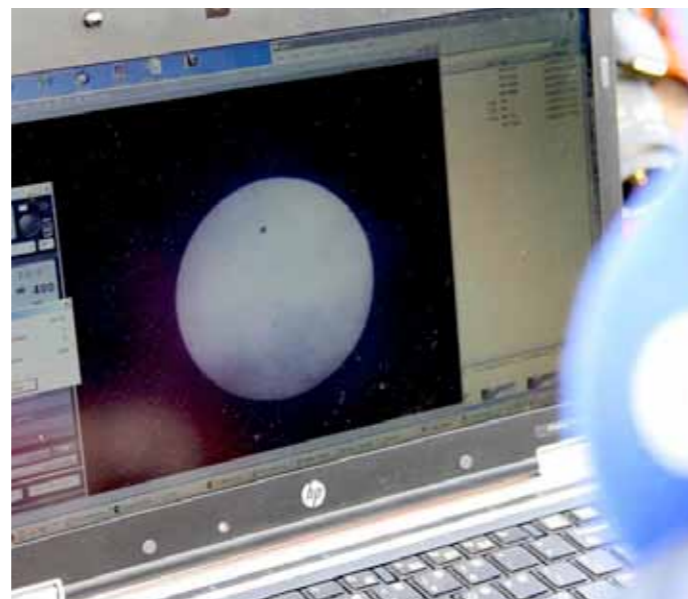
« Quand pourra-t-on observer à nouveau le transit de Vénus ? »

LE TRANSIT DE VÉNUS

Un moment unique pour lequel l'IASB marque le coup

Le transit de Vénus devant le Soleil les 5 et 6 juin 2012 était une occasion en or d'attirer l'attention du public sur l'aéronomie planétaire. Vénus, la Terre et le Soleil étaient parfaitement alignés pendant près de 8 heures en juin 2012. Le passage de Vénus entre la Terre et le Soleil a occulté une petite partie du disque solaire (voir figure). Vénus y apparaît sous la forme d'un petit disque noir se déplaçant devant le Soleil. Ce phénomène est exceptionnel par sa rareté et l'événement était à ne pas manquer. Il s'agissait là de la dernière occasion d'observer ce passage avant le 22^{ème} siècle.

L'IASB est, entre autres, responsable de l'instrument SOIR à bord du satellite Venus Express (ESA) en orbite autour de Vénus depuis 2006. Outre les recherches scientifiques et collaborations, le passage de Vénus devant le Soleil a rendu possible une opération de vulgarisation rondement menée par l'équipe scientifique et la cellule communication de l'IASB.



Une communication dynamique

Une page web a été créée deux mois avant l'événement astronomique, sur laquelle était annoncé qu'une mise à jour serait faite toutes les semaines. Cette stratégie fut décidée sur le conseil de la cellule communication, avec pour objectif affiché de mettre en place un site dynamique. Chaque semaine, une nouvelle icône fut ajoutée à la page d'accueil. Cette icône menait à une page traitant d'un nouveau thème en rapport avec le transit de Vénus. Le site a été dynamisé à l'aide de différents outils : textes, illustrations, interviews vidéo, présentation grand public, page type « blog », glossaire et une foire aux questions. La promotion du site était assurée par la cellule communication via les réseaux sociaux. Les pages étaient rédigées en néerlandais, français et anglais et les vidéos sous-titrées.

Du 2 au 8 juin 2012, une réunion des responsables de Venus Express fut organisée. Cette réunion avait lieu au Spitsberg, poste d'observation privilégié du transit de Vénus. L'équipe de l'IASB avait fait le déplacement et a partagé son expérience via un blog. D'autres initiatives telles que la diffusion d'un communiqué de presse, des articles de presse et interviews radio et télévisées ont permis de faire connaître ce phénomène unique à un large public.

Une communication réussie

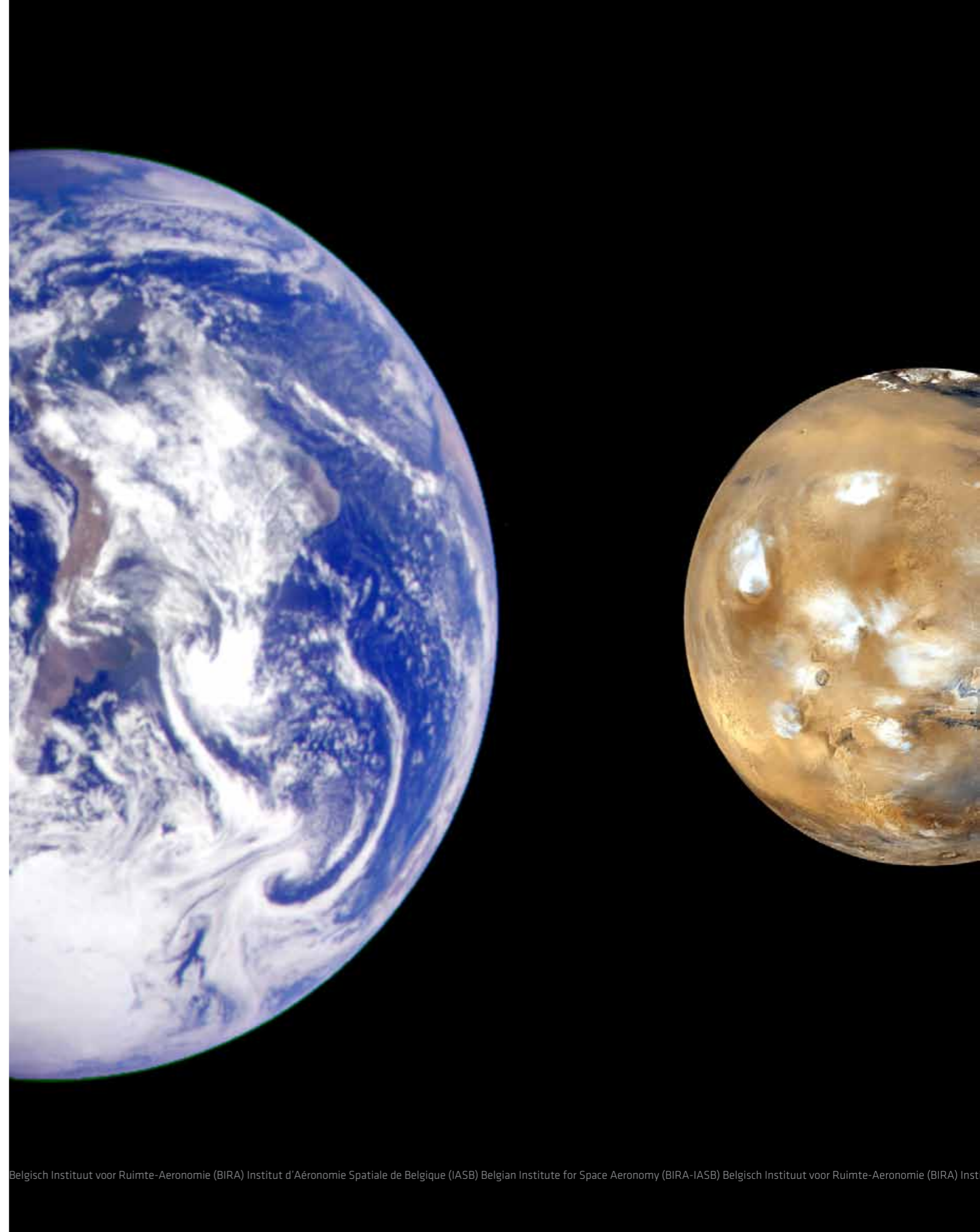
Le taux de fréquentation du site de l'IASB démontre que la communication en ligne sur le passage de Vénus fut un réel succès. Les nombreuses réactions positives sur le blog en sont une illustration.

Cet événement astronomique s'est avéré être une occasion rêvée pour partager les connaissances de l'IASB sur le système solaire et faire le lien avec les recherches actuelles sur les systèmes planétaires extrasolaires. Le transit de Vénus offrit également l'opportunité d'aborder l'histoire des sciences et ainsi mettre en évidence les progrès techniques et le cheminement de la pensée scientifique d'un passage à l'autre de Vénus.

« La communication en ligne sur le transit de Vénus fut un réel succès. »

Ann-Carine Vandaele
Service aéronomie planétaire

instrument SPICAM • Mars •
Vénus • instrument-SOIR •
observations en occultation solaire • Venus Express •
sonde spatiale ESA •
événement astronomique • transit de Vénus •
Mars Express • optimisation des mesures



Chiffres & personnel

Derrière la recherche d'avant-garde et les projets innovants de l'IASB se trouve une équipe de chercheurs très motivés. Ils sont soutenus dans leur tâche par différents services tels les départements ICT, d'administration et d'ingénierie.

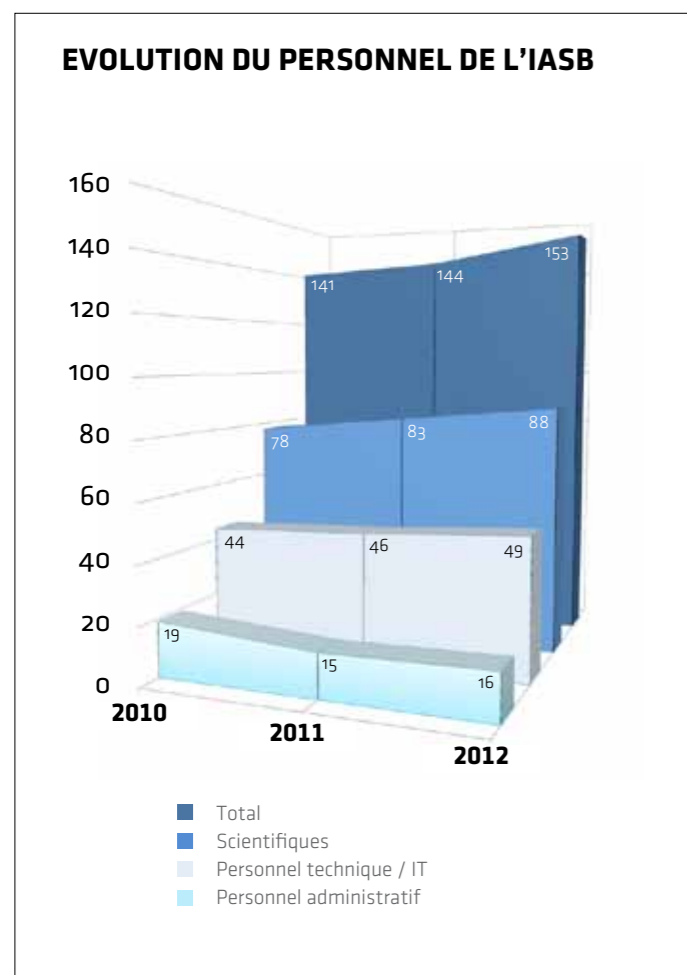
C'est la symbiose entre ces différents groupes qui a permis à l'IASB de devenir un acteur renommé dans le domaine de l'aéronomie spatiale. En effet, c'est cette équipe soudée qui, main dans la main, sait comment relever les défis quotidiens de la recherche spatiale.

Par le biais de quelques chiffres et faits, ce chapitre illustre l'évolution du personnel et des budgets. Il démontre l'importance croissante des collaborations internationales et des investissements dans de nouveaux projets et technologies.

Des chiffres probants

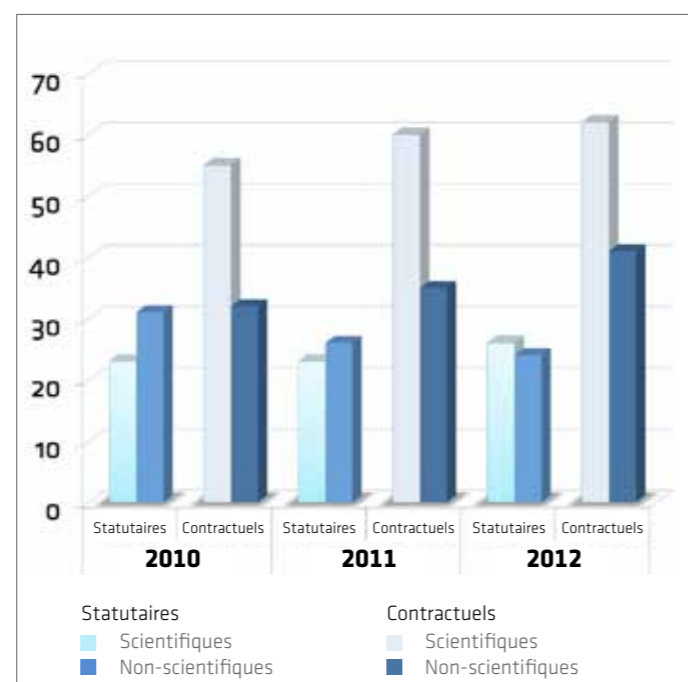
EVOLUTION DU PERSONNEL Croissance

Entre fin 2010 et fin 2012, le personnel de l'IASB a augmenté de 3,6%. Cette hausse concerne surtout la population scientifique et technique contractuelle. Elle est due à l'augmentation du nombre de projets scientifiques financés par des autorités externes telles que les autorités fédérales, l'ESA (Agence Spatiale Européenne) et la Commission européenne.



Scientifiques statutaires

Le nombre de membres du personnel statutaire a connu une légère baisse. Cette diminution est liée à une réduction des budgets en personnel et à l'arrêt des engagements en 2012. Pour la première fois depuis longtemps, le nombre de scientifiques statutaires a dépassé le nombre de statutaires occupant des fonctions administratives ou techniques. Cependant, si l'on considère l'ensemble du personnel statutaire et contractuel, le nombre de scientifiques et le nombre de non-scientifiques ont augmenté de manière équivalente pour atteindre 3%.



Membres du personnel étrangers

En raison du contexte international dans lequel l'IASB opère, l'institut a engagé différents scientifiques étrangers. L'IASB a également joué un rôle important dans l'initiative légale qui doit dès 2013 créer un cadre juridique permettant aux services des autorités fédérales d'engager des scientifiques contractuels sous un régime ne tombant pas sous les règles strictes de la législation linguistique. L'IASB souhaite ainsi faciliter la mobilité des scientifiques dans le monde.

Des réalisations marquantes

DÉPARTEMENT ICT Explosion des données digitales

Le département ICT (Information and Communications Technology) compte neuf personnes. Elles gèrent l'infrastructure ICT de l'institut et apportent leur soutien au personnel de l'IASB dans le cadre de leurs activités ICT. En 2011, diverses études ont été réalisées afin d'améliorer le confort de travail des utilisateurs ICT. En outre, un certain nombre de projets ont également été lancés afin d'optimiser certaines parties de l'infrastructure informatique. Le renouvellement de l'infrastructure de stockage des données de l'IASB fut sans conteste le projet le plus important.

La gestion des données digitales stockées, toujours plus nombreuses, représente un grand défi. Etant donné que ces données scientifiques constituent l'essence même de l'institut, il était nécessaire d'aborder cette problématique avec efficacité. Au cours de ces dernières années, le Data Manager de l'équipe ICT a pris en charge avec succès la partie organisationnelle de ce projet ambitieux. En 2011-2012, les services ICT se sont penchés de manière plus spécifique sur son aspect technique. L'infrastructure de stockage des données a donc fait l'objet d'un important investissement.

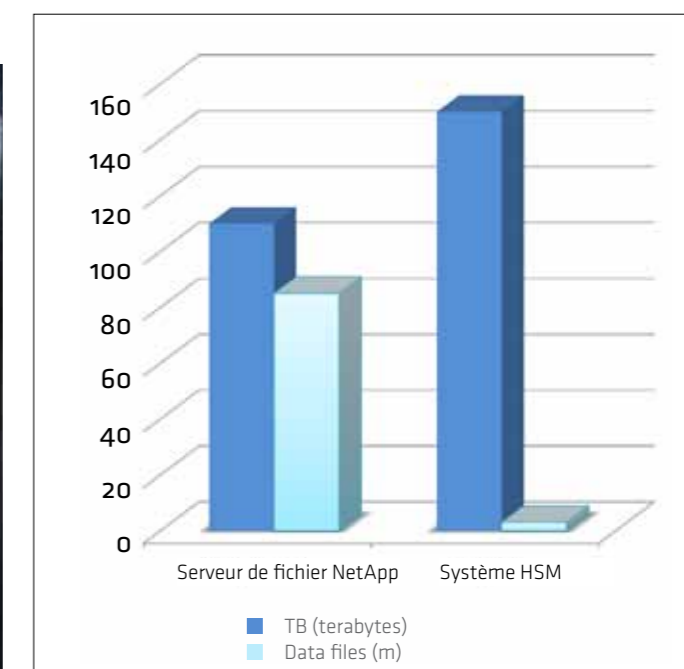


Une nouvelle infrastructure de stockage des données

L'IASB avait besoin d'un serveur puissant qui garantissait une grande accessibilité, modularité et vitesse tout comme un bas coût d'investissement. En 2012, l'IASB a choisi d'installer le serveur de fichier NetApp car celui-ci répondait au mieux à toutes ces exigences.

De plus, un système de stockage hiérarchisé (HSM) s'est également avéré nécessaire. Ce système permet de sauvegarder des données de deux manières. Les données qui doivent être rapidement disponibles se trouvent sur le disque dur. Les autres données qui ne doivent plus être utilisées sont sauvegardées sur des bandes magnétiques. Cette dernière méthode permet de réduire les coûts de stockage.

Serveur	Fichiers de données	TB
NetApp	85.000.000	110
HSM	3.000.000	150





DÉPARTEMENT D'INGÉNIERIE

Soutien de projets

La mission première du département d'ingénierie est d'apporter son support aux projets menés par les différents services scientifiques de l'IASB. Entre 2011 et 2012, l'IASB a travaillé sur le projet NOMAD, l'instrument qui fait partie de la mission EXOMARS-TGO de l'ESA. L'institut a également travaillé sur l'instrument EPT qui a été testé avec succès et a été intégré à bord du satellite PROBA-V.

L'équipe d'ingénierie a également apporté sa contribution au hardware et au software du projet Altius. Dans le cadre du projet SOIR, l'équipe s'est concentrée sur l'exécution des opérations de l'instrument SOIR qui observe la planète Vénus à partir du satellite VENUS-EXPRESS. En matière de spectrométrie infrarouge, elle a également apporté une importante contribution à la spectrométrie UV-Visible et à la spectrométrie de masse. Last but not least, l'ingénierie a construit les composants mécaniques des antennes et stations de réception de BRAMS.

Un service de support généraliste

Outre ses services de support scientifique, l'ingénierie apporte également un support plus généraliste à l'IASB. Une personne assume ainsi à temps partiel la fonction de conseiller en prévention. Une autre est en charge des bâtiments et des installations annexes (électricité, eau, chauffage). Durant la période 2011-2012, toutes deux ont pris diverses initiatives en collaboration avec le personnel technique en matière de sécurité des bâtiments, d'amélioration des conditions de travail, d'extension de l'espace de bureaux et d'évacuation des déchets.

L'équipe d'ingénierie offre également une série de services en matière d'infrastructure. Elle dispose d'une véritable chambre à vide thermique. L'IASB y teste non seulement ses propres instruments mais la met également à la disposition d'équipes externes qui font usage de cette infrastructure. Depuis peu, le département dispose également d'une imprimante 3D permettant de créer des prototypes mécaniques dans le cadre des projets des trois instituts d'Uccle.

LISTE DES DIFFÉRENTS PROJETS AUXQUELS LE DÉPARTEMENT D'INGÉNIERIE A PARTICIPÉ EN 2011-2012 :

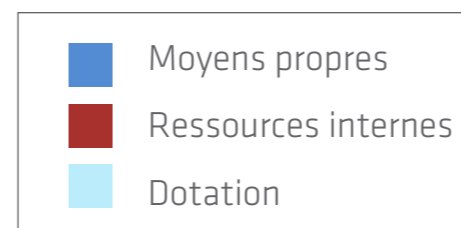
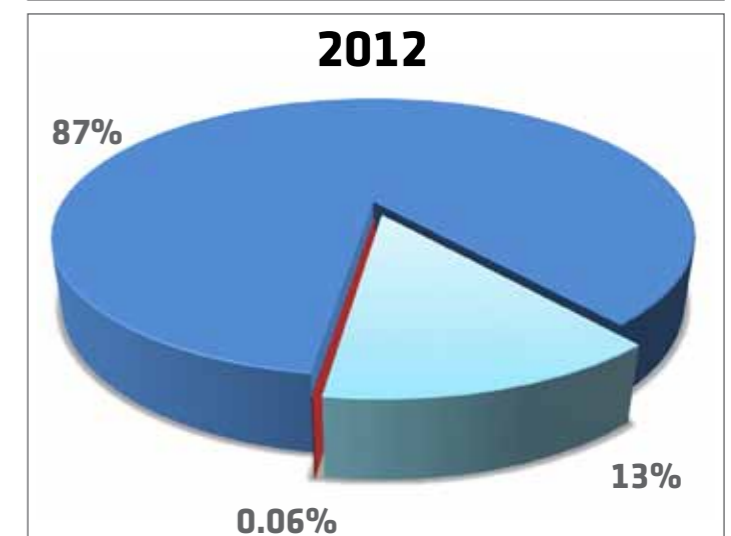
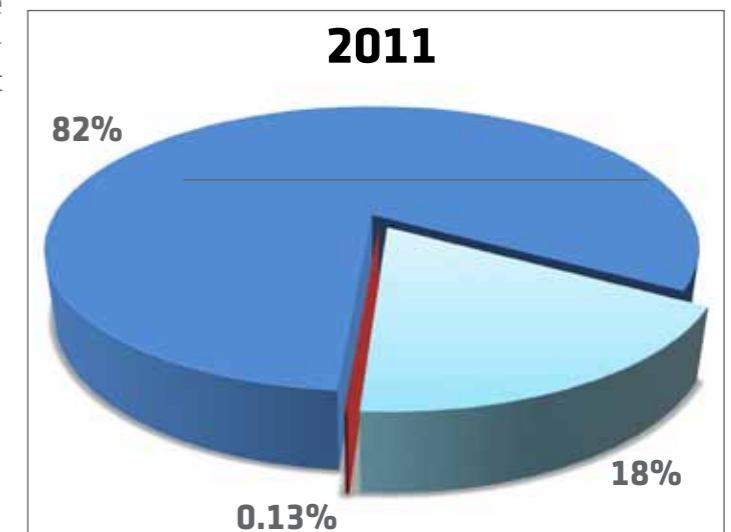
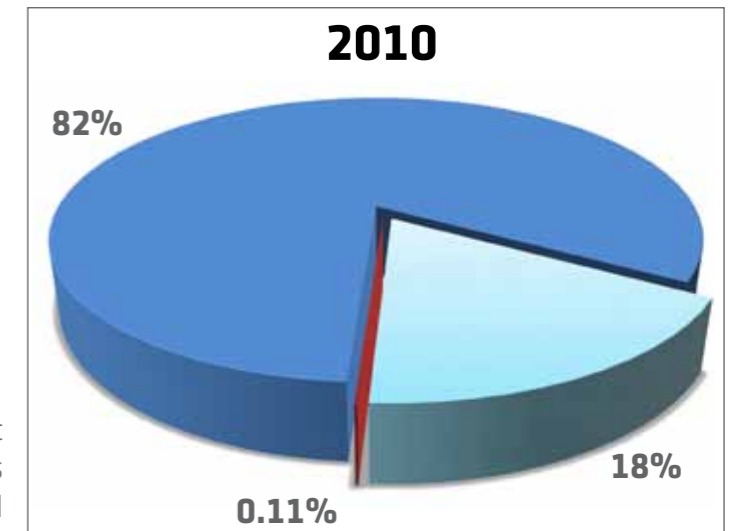
- NOMAD
- EPT
- Altius
- SOIR
- Spectromètre IR
- Spectrométrie UV-visible
- Spectrométrie de masse
- BRAMS

Moyens de fonctionnement & collaborations

BUDGETS

Des moyens divers

Les moyens de fonctionnement de l'IASB consistent en une combinaison de dotation, de moyens propres et de ressources internes. En 2012, le budget total augmenta de 2.360.270 euros nonobstant le fait que les dotations diminuèrent. La part des moyens propres a donc dû être revue à la hausse dans le budget total.

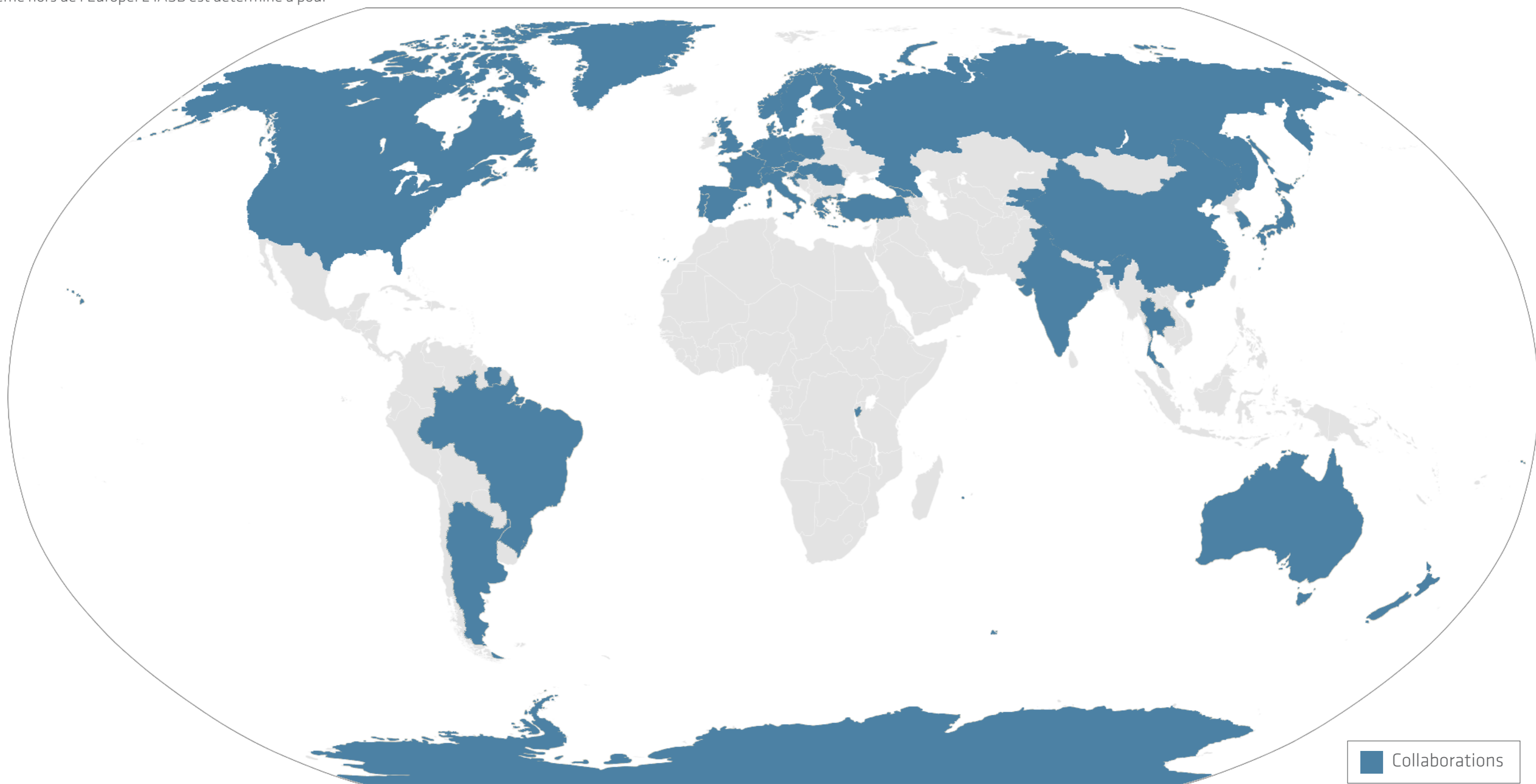


COLLABORATIONS INTERNATIONALES

L'union fait la force

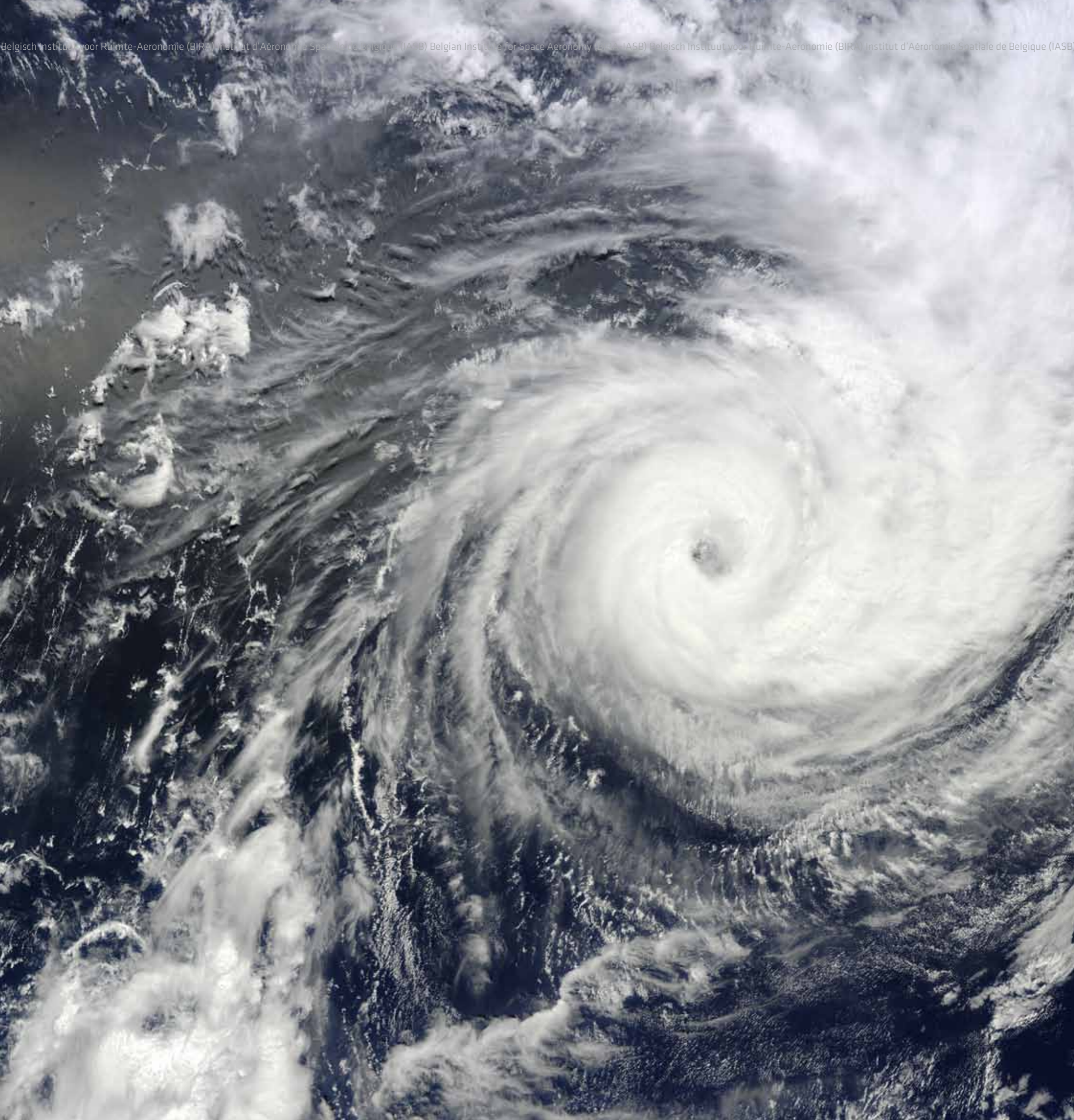
Comme le démontre le rapport annuel, l'IASB collabore non seulement avec des universités et des instituts de recherche en Belgique mais également avec de nombreuses organisations à l'étranger et même hors de l'Europe. L'IASB est déterminé à pour-

suivre ces collaborations et même à les intensifier. En effet, c'est en rassemblant les connaissances et les forces qui sont disséminées dans le monde que l'on parviendra à réaliser de nouvelles percées dans l'aéronomie spatiale.



Annexe

En 2011 et 2012, de nombreuses publications des collaborateurs de l'IASB ont été éditées. Dans les pages suivantes, vous trouverez une liste des publications scientifiques sur lesquelles ils ont travaillé. Vous y retrouverez également les événements que nous organisons afin de faire connaître nos activités de recherche auprès d'un plus large public.



Publications scientifiques IASB 2011

- Angelbratt, J., J. Mellqvist, D. Simpson, J. E. Jonson, T. Blumenstock, T. Borsdorff, P. Duchatelet, F. Forster, F. Hase, E. Mahieu, **M. De Mazière**, J. Notholt, A. K. Petersen, U. Raffalski, C. Servais, R. Sussmann, T. Warneke, and **C. Vigouroux**, Carbon monoxide (CO) and ethane (C₂H₆) trends from ground-based solar FTIR measurements at six European stations, comparison and sensitivity analysis with the EMEP model, *Atmospheric Chemistry and Physics*, 11(17), 9253-9269, 2011.
- Barkley, M. P., P. I. Palmer, L. Ganzeveld, A. Arneth, D. Hagberg, T. Karl, A. Guenther, F. Paulot, P. O. Wennberg, J. Mao, T. P. Kurosu, K. Chance, **J.-F. Müller**, **I. De Smedt**, **M. Van Roozendael**, D. Chen, Y. Wang, and R. M. Yantosca, Can a “state of the art” chemistry transport model simulate Amazonian tropospheric chemistry?, *Journal of Geophysical Research D: Atmospheres*, 116(16), 2011.
- Barthélémy, M., J. Liliensten, F. Pitout, **C. Simon Wedlund**, R. Thissen, D. Lorentzen, F. Sigernes, J. Moen, G. Gronoff, I. McCrea, H. Rothkael, H. Ménager, and A. Aruliah, Polarisation in the auroral red line during coordinated EISCAT Svalbard Radar optical experiments, *Annales Geophysicae*, 29(6), 1101-1112, 2011.
- Burrows, J.P., A.P.H. Goede, **C. Muller** and H. Bovensmann, SCIAMACHY - The Need for Atmospheric Research from Space, in *SCIAMACHY - Exploring the changing earth's atmosphere*, edited by Gottwald, M. and H. Bovensmann, pp. 1-17, Springer Verlag, Berlin, 2011.
- **Calders, S., H. Lamy**, BRAMS : status of the network and preliminary results, in *Proceedings of the International Meteor Conference*, edited by Gyssens, M., and P. Roggemans, pp. 73-76, Sibiu, Romania, 2011.
- **Ceulemans K., S. Compernelle** and **J.-F. Müller**, Parameterising secondary organic aerosol from α -pinene using a detailed oxidation and aerosol formation model, *Atmospheric Chemistry and Physics Discussions*, 11(8), 23421-23468, 2011.
- **Compernelle, S., K. Ceulemans**, and **J.-F. Müller**, Estimating fusion properties for functionalised acids, *Atmospheric Chemistry and Physics*, 11(16), 8385-8394, 2011.
- **Compernelle, S., K. Ceulemans**, and **J.-F. Müller**, Evaporation: A new vapour pressure estimation method for organic molecules including non-additivity and intramolecular interactions, *Atmospheric Chemistry and Physics*, 11(18), 9431-9450, 2011.
- **Crosby N.B.**, Frequency distributions: from the sun to the earth, *Nonlinear Processes in Geophysics*, 18(6), 791-805, 2011.
- Cyamukungu, M., S. Benck, J. Cabrera, G. Grégoire, **S. Bonnewijn**, **J. Maes**, **E. Van Ransbeeck**, G. Creve, J. De Saedeleer, B. Desoete, C. Semaille, E. Valtonen, R. Punkkinen, P. Nieminen, A. Menicucci, A. Zadeh, G. Santin, W. Hajdas, and I. Britvitch, Perspectives for provision of high quality space radiation environment data using the Energetic Particle Telescope (EPT), in *the 12th European Conference on Radiation and Its Effects on Components and Systems (RADECS)*, pp. 569-572, Seville, Spain, 2011.
- **De Keyser, J., R. Maggiolo, M. Echim**, and I. Dandouras, Wave signatures and electrostatic phenomena above aurora: Cluster observations and modeling, *Journal of Geophysical Research A: Space Physics*, 116(6), A06224, 2011.
- Demarcke, M., **C. Amelynck, N. Schoon, J.-F. Müller**, É. Joó, J. Dewulf, H. Van Langenhove, M. Šimpraga, K. Steppe, Q. Laffineur, B. Heinesch and M. Aubinet, Effect of seasonality and short-term light and temperature history on monoterpene emissions from European beech (*Fagus Sylvatica* L.), in *Contributions to the 5th International Conference on Proton Transfer Reaction Mass Spectrometry and its Applications*, edited by Hansel, A. and J. Dunkl, pp. 165-168, Obergurgl, Austria, Innsbruck University Press, 2011.
- **Dils, B., J. Cui, S. Henne, E. Mahieu, M. Steinbacher**, and **M. De Mazière**, 1997-2007 CO trend at the high Alpine site Jungfraujoch: A comparison between NDIR surface in situ and FTIR remote sensing observations, *Atmospheric Chemistry and Physics*, 11(13), 6735-6748, 2011.
- Douglass, A., V. Fioletov, S. Godin-Beekmann, R. Müller, R.S. Stolarski, A. Webb, A. Arola, J.B. Burkholder, J. P. Burrows, M. P. Chipperfield, R. Cordero, C. David, P.N. den Outer, S.B. Diaz, L.E. Flynn, M. Hegglin, J.R. Herman, P. Huck, S. Janjai, I.M. Janosi, J.W. Kryscin, Y. Liu, J. Logan, K. Matthes, R.L. McKenzie, N.J. Muthama, I. Petropavlovskikh, M. Pitts, S. Ramachandran, M. Rex, R.J. Salawitch, B.-M. Sinnhuber, J. Staehelin, S. Strahan, K. Tourpali, J. Valverde-Canossa, **C. Vigouroux**, G.E. Bodeker, T. Canty, H. De Backer, P. Demoulin, U. Feister, S.M. Frith, J.-U. Grooß, F. Hase, J. Klyft, T. Koide, M.J. Kurylo, D. Loyola, C.A. McLinden, I.A. Megretskaja, P.J. Nair, M. Palm, D. Papanastasiou, L.R. Poole, M. Schneider, R. Schofield, H. Slaper, W. Steinbrecht, S. Tegtmeier, Y. Terao, S. Tilmes, D.I. Vyushin, M. Weber and E.-S. Yang, Stratospheric ozone and surface ultraviolet radiation, Chapter 2 in *Scientific assessment of ozone depletion: 2010*, Global Ozone Research and Monitoring Project-Report No. 52, World Meteorological Organization, Geneva, Switzerland, 2011.
- **Drummond, R., A.C. Vandaele, F. Daerden, D. Fussen, A. Mahieux, L. Neary, E. Neefs, S. Robert, Y. Willame**, and **V. Wilquet**, Studying methane and other trace species in the Mars atmosphere using a SOIR instrument, *Planetary and Space Science*, 59(2-3), 292-298, 2011.
- Dunlop, M. W., R. Bingham, S. Chapman, P. Escoubet, Q.-H. Zhang, C. Shen, J.-K. Shi, R. Trines, R. Wicks, Z.-Y. Pu, **J. De Keyser**, S. Schwartz, and Z.-X. Liu, Use of multi-point analysis and modelling to address cross-scale coupling in space plasmas: Lessons from Cluster, *Planetary and Space Science*, 59(7), 630-638, 2011.
- **Echim, M., R. Maggiolo, J. De Keyser**, T. L. Zhang, G. Voitcu, S. Barabash, and R. Lundin, Comparative investigation of the terrestrial and Venusian magnetopause: Kinetic modeling and experimental observations by Cluster and Venus Express, *Planetary and Space Science*, 59(10), 1028-1038, 2011.
- **Echim, M. M., J. Lemaire**, and Ø. Lie-Svendsen, A Review on Solar Wind Modeling: Kinetic and Fluid Aspects, *Surveys in Geophysics*, 32(1), 1-70, 2011.
- **Franssens, G. R.**, The Cauchy kernels of Ultrahyperbolic Clifford Analysis, in *Proceedings of the 9th International Conference on Clifford Algebras and their Applications (ICCA'11)*, Weimar, Germany, 2011.
- **Franssens, G. R.**, Convolution product formula for associated homogeneous distributions on R, *Mathematical Methods in the Applied Sciences*, 34(6), 703-727, 2011.
- **Franssens, G. R.**, Erratum: Convolution product formula for associated homogeneous distributions on R, *Mathematical Methods in the Applied Sciences*, 34(5), 620, 2011.
- **Franssens, G. R.**, Fundamental Theorems for Clifford Algebra-Valued Distributions in Elliptic Clifford Analysis, *Advances in Applied Clifford Algebras*, 21(4), 697-705, 2011.
- **Franssens, G. R.**, Multiplication product formula for associated homogeneous distributions on R, *Mathematical Methods in the Applied Sciences*, 34(12), 1460-1471, 2011.
- **Franssens, G. R.**, One-dimensional associated homogeneous distributions. *Bulletin of Mathematical Analysis and Applications*, 3(2), 1, 2011.
- Gonzi, S., P. I. Palmer, M. P. Barkley, **I. De Smedt**, and **M. Van Roozendael**, Biomass burning emission estimates inferred from satellite column measurements of HCHO: Sensitivity to co-emitted aerosol and injection height, *Geophysical Research Letters*, 38(14), L14807, 2011.
- Hässig, M., K. Altwegg, H. Balsiger, U. Calmonte, A. Jäckel, B. Schläppi, T. Sémon, P. Wurz, J. J. Berthelier, **J. De Keyser**, B. Fiethe, S. A. Fuselier, U. Mall, H. Rème, and M. Rubin, Spacecraft outgassing, a largely underestimated phenomenon, in *2nd International Conference on Space Technology*, pp.1-4, Athens, Greece, 2011.
- Hässig, M., K. Altwegg, H. Balsiger, B. Schläppi, J. J. Berthelier, B. Fiethe, S. A. Fuselier, **J. De Keyser**, and M. Rubin, Investigation of spacecraft outgassing by sensitive mass spectrometry, *Spectroscopy Europe*, 23(2), 20-23, 2011.
- **Hendrick, F., J.-P. Pommereau, F. Goutail, R. D. Evans, D. Ionov, A. Pazmino, E. Kyró, G. Held, P. Eriksen, V. Dorokhov, M. Gil, and M. Van Roozendael**, NDACC/SAOZ UV-visible total ozone measurements: Improved retrieval and comparison with correlative ground-based and satellite observations, *Atmospheric Chemistry and Physics*, 11(12), 5975-5995, 2011.
- Jones, A., G. Qin, K. Strong, K. A. Walker, C. A. McLinden, M. Toohey, **T. Kerzenmacher**, P. F. Bernath, and C. D. Boone, A global inventory of stratospheric NO_y from ACE-FTS, *Journal of Geophysical Research D: Atmospheres*, 116(17), 2011.
- Joó, É., J. Dewulf, **C. Amelynck, N. Schoon, O. Pokorska, M. Šimpraga, K. Steppe, M. Aubinet** and H. Van Langenhove, Constitutive versus heat and biotic stress induced BVOC emissions in

- Pseudotsuga menziesii, *Atmospheric Environment*, 45(22), 3655-3662, 2011.
- Laffineur, Q., M. Aubinet, **N. Schoon**, **C. Amelynck**, **J.-F. Müller**, J. Dewulf, H. Van Langenhove, K. Steppe, M. Šimpraga, and B. Heinesch, Isoprene and monoterpene emissions from a mixed temperate forest, *Atmospheric Environment*, 45(18), 3157-3168, 2011.
 - Laffineur, Q., Q. Heinesch, **N. Schoon**, **C. Amelynck**, **J.-F. Müller**, J. Dewulf, H. Van Langenhove, E. Joo, K. Steppe, and M. Aubinet, What can we learn from year-round BVOC disjunct eddy-covariance measurements? A case example from temperate forest, in *The 5th International PTR-MS Conference on Proton Transfer Reaction Mass Spectrometry and its Applications*, edited by A. Hansel and J. Dunkl, pp. 45-49, Innsbruck University Press, Innsbruck, Austria, 2011.
 - Lahoz, W. A., **Q. Errera**, **S. Viscardy**, and G. L. Manney, The 2009 stratospheric major warming described from synergistic use of BASCOE water vapour analyses and MLS observations, *Atmospheric Chemistry and Physics*, 11(10), 4689-4703, 2011.
 - **Lamy, H.**, **S. Ranvier**, **J. De Keyser**, **S. Calders**, **E. Gambay**, and C. Verbeeck, BRAMS, the Belgian Radio Meteor Stations, In *Meteoroids: The Smallest Solar System Bodies, proceedings of the Meteoroids 2010 Conference, NASA/CP-2011-216469*, edited by Cooke, W.J., D. E. Moser, B. F. Hardin, and D. Janches, pp.351-356, 2011.
 - **Lamy, H. C. Simon**, B. Gustavsson, T. Sergienko, I. Sandahl, and U. Brändström, Determination of precipitating electron fluxes from inversion of coordinated ALIS/EISCAT observations, in *The XXXth URSI General Assembly and Scientific Symposium*, pp. 1,2, Istanbul, Turkey, 2011.
 - **Langerock, B.**, T. Mestdag, and J. Vankerschaver, Routh reduction by stages, Symmetry, Integrability and Geometry: Methods and Applications, *Symmetry Integrability and Geometry Methods and Applications*, 7, 1-31, 2011.
 - Lichtenberg, G., K.-U. Eichmann, **C. Lerot**, R. Snel, S. Slijkhuys, S. Noël, R. Van Hees, B. Aberle, K.Kretschel, M. Meringer, D. Scherbakov, H. Weber, A. von Bargaen, Data processing and Products, in *SCIAMACHY - Exploring the changing earth's atmosphere*, edited by Gottwald, M. and H. Bovensmann, pp. 129-146, Springer Verlag, Berlin, 2011.
 - Lichtenberg, G., M. Gottwald, A. Doicu, F. Schreier, S. Hrechanyy, K. Kretschel, M. Meringer, M. Hess, S. Gimeno-Garcia, H. Bovensmann, K.-U. Eichmann, S. Noël, C. Von Savigny, A. Richter, M. Buchwitz, A. Rozanov, J. P. Burrows, R. Snel, **C. Lerot**, **M. Van Roozendael**, G. Tilstra, and T. Fehr, Nine years of atmospheric remote sensing with SCIAMACHY - Atmospheric parameters and data products, in *The IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS)*, pp. 3680-3683, Vancouver BC, Canada, 2011.
 - Lindenmaier, R., K. Strong, R. L. Batchelor, P. F. Bernath, **S. Chabrilat**, M. P. Chipperfield, W. H. Daffer, **J. R. Drummond**, W. Feng, A. I. Jonsson, F. Kolonjari, G. L. Manney, C. McLinden, R. Ménard, and K. A. Walker, A study of the Arctic NOy budget above Eureka, Canada, *Journal of Geophysical Research D: Atmospheres*, 116, D23302, 2011.
 - Loyola, D. G., M. E. Koukouli, P. Valks, D. S. Balis, N. Hao, **M. Van Roozendael**, R. J. D. Spurr, W. Zimmer, S. Kiemle, **C. Lerot**, and **J.-C. Lambert**, The GOME-2 total column ozone product: Retrieval algorithm and ground-based validation, *Journal of Geophysical Research D: Atmospheres*, 116, D07302, 2011.
 - **Maggiolo, R.**, **A. Merlaud**, La scintillation des étoiles. 2. L'optique adaptative, *Ciel et Terre*, 127, 104-107, 2011.
 - **Maggiolo, R.**, **M. Echim**, **J. De Keyser**, **D. Fontaine**, C. Jacquy, and I. Dandouras, Polar cap ion beams during periods of northward IMF: Cluster statistical results, *Annales Geophysicae*, 29, 771-787, 2011.
 - **Mann, I.**, A. Pellinen-Wannberg, E. Murad, O. Popova, N. Meyer-Vernet, M. Rosenberg, T. Mukai, A. Czechowski, S. Mukai, J. Safrankova, and Z. Nemecek, Dusty plasma effects in near earth space and interplanetary medium, *Space Science Reviews*, 161(1-4), 1-47, 2011.
 - Marcq, E., D. Belyaev, F. Montmessin, A. Fedorova, J.-L. Bertaux, **A. C. Vandaele**, and **E. Neefs**, An investigation of the SO2 content of the venusian mesosphere using SPICAV-UV in nadir mode, *Icarus*, 211(1), 58-69, 2011.
 - **Matshvili, N.**, **D. Fussen**, G. Matshvili, I. Matshvili, **F. Vanhellemont**, E. Kyrölä, **C. Bingen**, **C. Tétard**, **E. Dekemper**, and **N. Loodts**, Stratospheric and tropospheric aerosol extinction profiles over Georgia, South Caucasus in 2009-2010 as retrieved from twilight sky spectral measurements, in *Geophysical Research Abstracts*, 13, EGU2011-1352, Vienna, Austria, 2011.
 - Mennekens, N., D. Vanbeveren, J.-P. De Greve, and **E. De Donder**, Two distributions shedding light on type Ia supernovae progenitors: Delay times and G-Dwarf metallicities, in *Proceedings of the International Astronomical Union*, 7, 232-235, Cambridge University Press, Cambridge, United kingdom, 2011.
 - **Merlaud, A.**, **R. Maggiolo**, La scintillation des étoiles. 1 A l'oeil nu, aspects historiques et physiques, *Ciel et Terre*, 127, 72-76, 2011.
 - **Merlaud, A.**, **M. Van Roozendael**, **N. Theys**, **C. Fayt**, **C. Hermans**, B. Quennehen, A. Schwarzenboeck, G. Ancellet, M. Pommier, J. Pelon, J. Burkhart, A. Stohl, and M. De Mazière, Airborne DOAS measurements in Arctic: Vertical distributions of aerosol extinction coefficient and NO2 concentration, *Atmospheric Chemistry and Physics*, 11(17), 9219-9236, 2011.
 - Moores, J. E., L. Komguem, J. A. Whiteway, M. T. Lemmon, C. Dickinson, and **F. Daerden**, Observations of near-surface fog at the Phoenix Mars landing site, *Geophysical Research Letters*, 38(4), L04203, 2011.
 - **Muller, C.**, La génération spontanée: un long débat sur les origines de la vie, *Ciel et Terre*, 127, 34-40, 2011.
 - **Muller, C.**, Pourquoi explore-t-on la lune et Mars, mais pas Venus ni Jupiter?, *Ciel et Terre*, 127, 111-114, 2011.
 - Nêmecek, Z., J. Pavlu, J. Safránková, M. Beránek, I. Richterová, J. Vaverka, and **I. Mann**, Lunar dust grain charging by electron impact: Dependence of the surface potential on the grain size, *The Astrophysical Journal*, 738(1),14-20, 2011.
 - Paulot, F., D. Wunch, J. D. Crouse, G. C. Toon, D. B. Millet, P. F. Decarlo, **C. Vigouroux**, N. M. Deutscher, G. G. Abad, J. Notholt, T. Warneke, J. W. Hannigan, C. Warneke, J. A. De Gouw, E. J. Dunlea, **M. De Mazière**, D. W. T. Griffith, P. Bernath, J. L. Jimenez, and P. O. Wennberg, Importance of secondary sources in the atmospheric budgets of formic and acetic acids, *Atmospheric Chemistry and Physics*, 11(5), 1989-2013, 2011.
 - **Pierrard, V.**, A Numerical Method to Determine the Particle Velocity Distribution Functions in Space, in *Proceedings of the 5th international conference of numerical modeling of space plasma flows (astronom 2010)*, edited by Pogorelov, N.V., E. Audit and G.P. Zank, pp. 166-175, Astronomical Society of the Pacific, San Francisco, USA, 2011.
 - **Pierrard, V.**, M. Lazar, and R. Schlickeiser, Evolution of the Electron Distribution Function in the Whistler Wave Turbulence of the Solar Wind, *Solar Physics*, 269(2), 421-438, 2011.
 - **Pierrard, V.**, M. Voiculescu, The 3D model of the plasmasphere coupled to the ionosphere, *Geophysical Research Letters*, 38(12), L12104, 2011.
 - Píters, A.J.M., B. Buchmann, D. Brunner, R.C. Cohen, **J.-C. Lambert**, G. De Leeuw, P. Stammes, M. van Weele and F. Wittrock, Data quality and validation of satellite measurement of tropospheric composition, in *The remote sensing of tropospheric composition*, edited by Burrows, J.P., U. Platt and P. Borrell, pp. 315-364, Springer Verlag, Berlin, 2011.
 - Prados-Roman, C., A. Butz, T. Deutschmann, M. Dorf, L. Kritten, A. Minikin, U. Platt, H. Schlager, H. Sihler, **N. Theys**, **M. Van Roozendael**, T. Wagner, and K. Pfeilsticker, Airborne DOAS limb measurements of tropospheric trace gas profiles: Case studies on the profile retrieval of O4 and BrO, *Atmospheric Measurement Techniques*, 4(6), 1241-1260, 2011.
 - Rahpoe, N., C. von Savigny, **C. E. Robert**, M. T. DeLand, and J. P. Burrows, Impact of solar proton events on noctilucent clouds, *Journal of Atmospheric and Solar Terrestrial Physics*, 73(14-15), 2073-2081, 2011.
 - **Ranvier, S.**, S. Paquay, S. Requier, **H. Lamy**, V. Rochus, L. A. Francis, and P. Rochus, Influence of multiphysics couplings on the performance of a MEMS magnetometer, in *The 12th International Conference on Thermal, Mechanical and Multi-Physics Simulation and Experiments in Microelectronics and Microsystems (EuroSimE)*, pp. 1-6, Linz, Austria, 2011.
 - Razavi, A., F. Karagulian, L. Clarisse, D. Hurtmans, P. F. Coheur, C. Clerbaux, **J. F. Müller**, and **T. Stavrou**, Global distributions of methanol and formic acid retrieved for the first time from the IASI/MetOp thermal infrared sounder, *Atmospheric Chemistry and Physics*, 11(2), 857-872, 2011.
 - Rimetz-Planchon, J., **F. Dhooghe**, **N. Schoon**, F. Vanhaecke and **C. Amelynck**, Application of chemical ionization by H3O+ or NO+ and

- subsequent collision induced dissociation of major product ions to selective on-line detection of sesquiterpenes and monoterpenes, in *The 5th International PTR-MS Conference on Proton Transfer Reaction Mass Spectrometry and its Applications*, edited by A. Hansel and J. Dunkl, pp. 198-201, Innsbruck University Press, Innsbruck, Austria, 2011.
- Rimetz-Planchon, J., **F. Dhooghe**, **N. Schoon**, F. Vanhaecke, and **C. Amelynck**, Chemical ionization by [NO]⁺ and subsequent collision-induced dissociation for the selective on-line detection of monoterpenes and linalool, *Rapid communications in mass spectrometry*, 25(5), 647-654, 2011.
 - Rimetz-Planchon, J., **F. Dhooghe**, **N. Schoon**, F. Vanhaecke, and **C. Amelynck**, MS/MS studies on the selective on-line detection of sesquiterpenes using a Flowing Afterglow-Tandem Mass Spectrometer (FA-TMS), *Atmospheric Measurement Techniques*, 4(4), 669-681, 2011.
 - Rozanov, A., S. Kühl, A. Doicu, C. McLinden, J. Puškite, H. Bovensmann, J. P. Burrows, T. Deutschmann, M. Dorf, F. Goutail, K. Grunow, **F. Hendrick**, M. von Hobe, S. Hrechanyy, G. Lichtenberg, K. Pfeilsticker, J. P. Pommereau, **M. Van Roozendael**, F. Stroh, T. Wagner, BrO vertical distributions from SCIAMACHY limb measurements: comparison of algorithms and retrieval results, *Atmospheric Measurement Techniques*, 4, 933, 2011.
 - **Simon Wedlund**, C., G. Gronoff, J. Liliensten, H. Ménager, and M. Barthélemy, Comprehensive calculation of the energy per ion pair or W values for five major planetary upper atmospheres, *Annales Geophysicae*, 29(1), 187-195, 2011.
 - Schläppi, B., K. Altwegg, H. Balsiger, U. Calmonte, M. Hässig, L. Hofer, A. Jäckel, P. Wurz, J. J. Berthelier, **J. De Keyser**, B. Fiethe, S. A. Fuselier, U. Mall, H. Rème, and M. Rubin, Characterization of the gaseous spacecraft environment of Rosetta by ROSINA, in *3rd AIAA Atmospheric and Space Environment Conference*, AIAA-2011-3822, Honolulu, USA, 2011
 - Šimpraga, M., H. Verbeeck, **M. Demarcke**, É. Joó, **C. Amelynck**, **N. Schoon**, J. Dewulf, H. Van Langenhove, B. Heinesch, M. Aubinet, **J.-F. Müller**, and K. Steppe, Comparing monoterpenoid emissions and net photosynthesis of beech (*Fagus sylvatica* L.) in controlled and natural conditions, *Atmospheric Environment*, 45(17), 2922-2928, 2011.
 - Šimpraga, M., H. Verbeeck, **M. Demarcke**, T. Joó, O. Pokorska, **C. Amelynck**, **N. Schoon**, J. Dewulf, H. van Langenhove, B. Heinesch, M. Aubinet, Q. Laffineur, **J.-F. Müller**, and K. Steppe, Clear link between drought stress, photosynthesis and biogenic volatile organic compounds in *Fagus sylvatica* L., *Atmospheric Environment*, 45(30), 5254-5259, 2011.
 - **Stavrakou**, T., A. Guenther, A. Razavi, L. Clarisse, C. Clerbaux, P.-F. Coheur, D. Hurtmans, F. Karagulian, **M. De Mazière**, **C. Vigouroux**, **C. Amelynck**, **N. Schoon**, Q. Laffineur, B. Heinesch, M. Aubinet, C. Rinsland, and **J.-F. Müller**, First space-based derivation of the global atmospheric methanol emission fluxes, *Atmospheric Chemistry and Physics*, 11(10), 4873-4898, 2011.
 - **Theys**, N., **M. Van Roozendael**, **F. Hendrick**, X. Yang, **I. De Smedt**, A. Richter, M. Begoin, **Q. Errera**, P. V. Johnston, K. Kreher, and **M. De Mazière**, Global observations of tropospheric BrO columns using GOME-2 satellite data, *Atmospheric Chemistry and Physics*, 11(4), 1791-1811, 2011.
 - Thissen, R., O. Witasse, O. Dutuit, **C. Simon Wedlund**, G. Gronoff, and J. Liliensten, Doubly-charged ions in the planetary ionospheres: A review, *Physical Chemistry Chemical Physics*, 13(41), 18264-18287, 2011.
 - Titz, D., M. Kyrö, F. Ferrero, **S. Ranvier**, C. Luxey, P. Brachat, G. Jacquemod, and P. Vainikainen, Measurement setup and associated calibration methodology for 3D radiation pattern of probe-fed millimeter-wave antennas, in *The Antennas and Propagation Conference (LAPC)*, pp. 1-5, Loughborough, United Kingdom, 2011.
 - Toyota, K., J. C. McConnell, A. Lupu, L. Neary, C. A. McLinden, A. Richter, R. Kwok, K. Semeniuk, J. W. Kaminski, S.-L. Gong, J. Jarosz, M. P. Chipperfield, and C. E. Sioris, Analysis of reactive bromine production and ozone depletion in the Arctic boundary layer using 3-D simulations with GEM-AQ: Inference from synoptic-scale patterns, *Atmospheric Chemistry and Physics*, 11(8), 3949-3979, 2011.
 - Tukiainen, S., E. Kyrölä, P. T. Verronen, **D. Fussen**, L. Blanot, G. Barrot, A. Hauchecorne, and N. Lloyd, Retrieval of ozone profiles from GOMOS limb scattered measurements, *Atmospheric Measurement Techniques*, 4(4), 659-667, 2011.
 - Valks, P., **G. Pinardi**, A. Richter, **J.-C. Lambert**, N. Hao, D. Loyola, **M. Van Roozendael**, and S. Emmadi, Operational total and tropospheric NO₂ column retrieval for GOME-2, *Atmospheric Measurement Techniques*, 4(7), 1491-1514, 2011.
 - **Van Gent**, J., Het waarnemen van vulkaanuitbarstingen, *Heelal*, 56(7), 216, 2011.
 - **Vandaele**, A. C., L'eau sur Mars. *Ciel et Terre*, 127, 179, 2011.
 - **Voitenko**, Y., **J. De Keyser**, Turbulent spectra and spectral kinks in the transition range from MHD to kinetic Alfvén turbulence, *Nonlinear Processes in Geophysics*, 18(5), 587-597, 2011.
 - **Vranjes**, J., Current-less solar wind driven dust acoustic instability in cometary plasma, *Physics of Plasmas*, 18(8), 084501-084501-3, 2011.
 - **Vranjes**, J., Dust acoustic instability driven by solar and stellar winds, in *Proceedings of the 6th International Conference on the Physics of Dusty Plasmas*, edited by Nosenko, V.Y., P.K. Shukla, M. H. Thoma and H. M. Thomas, pp. 407-408, AIP Conference Proceedings, Melville NY, USA, 2011.
 - **Vranjes**, J., Dust acoustic mode in inhomogeneous plasma, in *Proceedings of the 6th International Conference on the Physics of Dusty Plasmas*, edited by Nosenko, V.Y., P.K. Shukla and M. H. Thoma, H. M. Thomas, pp. 405-406, AIP Conference Proceedings, Melville NY, USA, 2011.
 - **Vranjes**, J., Growing electric field parallel to magnetic field due to transverse kinetic drift waves in inhomogeneous corona, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 415(2), 1543-1548, 2011.
 - **Vranjes**, J., Slow EIT waves as gravity modes, *Physics of Plasmas*, 18(6), 062902, 2011.
 - **Vranjes**, J., Transport and diffusion of particles due to transverse drift waves, *Astronomy and Astrophysics*, 532, A137, 2011.
 - **Vranjes**, J., Transverse kinetic drift wave and particle transport, in *The 38th EPS Conference on Plasma Physics*, edited by Becoulet, A., T. Hoang and U. Stroth, Europhysics Conference Abstracts, 35G, O2.402, European Physical Society, Mulhouse, France, 2011.
 - Wing, Simon, S. Ohtani, J.R. Johnson, **M. Echim**, P.T. Newell, T. Higuchi, G. Ueno and G.R. Wilson, Solar wind driving of dayside field-aligned currents, *Journal of Geophysical Research*, 116, A08208, 2011.
 - Wyne, S., K. Haneda, **S. Ranvier**, F. Tufvesson, and A. F. Molisch, Beamforming effects on measured mm-wave channel characteristics, *IEEE Transactions on Wireless Communications*, 10(11), 3553-3559, 2011.
 - Zurek, R. W., A. Chicarro, M. A. Allen, J.-L. Bertaux, R. T. Clancy, **F. Daerden**, V. Formisano, J. B. Garvin, G. Neukum, and M. D. Smith, Assessment of a 2016 mission concept: The search for trace gases in the atmosphere of Mars, *Planetary and Space Science*, 59(2-3), 284-291, 2011.

Publications scientifiques IASB 2012

- Adams, C., K. Strong, R. L. Batchelor, P. F. Bernath, S. Brohede, C. Boone, D. Degenstein, W. H. Daffer, **J. R. Drummond**, P. F. Fogal, E. Farahani, **C. Fayt**, A. Fraser, F. Goutail, **F. Hendrick**, F. Kolonjari, R. Lindenmaier, G. Manney, C. T. McElroy, C. A. McLinden, J. Mendonca, J.-H. Park, B. Pavlovic, A. Pazmino, C. Roth, V. Savastiouk, K. A. Walker, D. Weaver, and X. Zhao, Validation of ACE and OSIRIS ozone and NO₂ measurements using ground-based instruments at 80°N, *Atmospheric Measurement Techniques*, 5(5), 927-953, 2012.
- Altwegg, K., H. Balsiger, U. Calmonte, M. Hässig, L. Hofer, A. Jäckel, B. Schläppi, P. Wurz, J. J. Berthelier, **J. De Keyser**, B. Fiethe, S. Fuselier, U. Mall, H. Rème, and M. Rubin, In situ mass spectrometry during the Lutetia flyby, *Planetary and Space Science*, 66(1), 173-178, 2012.
- Barkley, M. P., T. P. Kurosu, K. Chance, **I. De Smedt**, **M. Van Roozendael**, A. Arnecht, D. Hagberg, and A. Guenther, Assessing sources of uncertainty in formaldehyde air mass factors over tropical South America: Implications for top-down isoprene emission estimates, *Journal of Geophysical Research D: Atmospheres*, 117(13), 2012.
- Belyaev, D. A., F. Montmessin, J.-I. Bertaux, **A. Mahieux**, A. A. Fedorova, O. I. Korablev, E. Marcq, Y. L. Yung, and X. Zhang, Vertical profiling of SO₂ and SO above Venus' clouds by SPICAV/SOIR solar occultations, *Icarus*, 217(2), 740-751, 2012.
- Birn, J., A. V. Artemyev, D. N. Baker, **M. Echim**, M. Hoshino, and L. M. Zelenyi, Particle acceleration in the magnetotail and aurora, *Space Science Reviews*, 173(1-4), 49-102, 2012.
- Campion, R., M. Martinez-Cruz, T. Lecocq, C. Caudron, J. Pacheco, **G. Pinardi**, **C. Hermans**, S. Carn, and A. Bernard, Space- and ground-based measurements of sulphur dioxide emissions from Turrialba Volcano (Costa Rica), *Bulletin of Volcanology*, 74(7), 1757-1770, 2012.
- **Calders, S., C. Verbeek, H. Lamy, S. Ranvier**, and **E. Gamby**, Results of Draconid 2011 observations from the BRAMS network, in *Proceedings of the International Meteor Conference*, La Palma, Spain, 2012.
- Cessateur, G., J. Lilensten, M. Barthélémy, T. Dudok de Wit, **C. Simon Wedlund**, G. Gronoff, H. Ménager, and M. Kretschma, Photoabsorption in Ganymede's atmosphere, *Icarus*, 218(1), 308-319, 2012.
- **Ceulemans, K., S. Compernelle**, and **J.-F. Müller**, Parameterising secondary organic aerosol from a-pinene using a detailed oxidation and aerosol formation model, *Atmospheric Chemistry and Physics*, 12(12), 5343-5366, 2012.
- Ciocci, M.C., B. Malengier, **B. Langerock**, and B. Grimonprez, Towards a Prototype of a Spherical Tippe Top, *Journal of Applied Mathematics*, 268537, 2012.
- **Crosby, N. B.**, I. Van Den Bergh, R. Bollen, J. Brabants, J. Cops, Y. Dillen, C. Doomen, J. Lambrechts, T. Stulens, T. Aäron, L. Vanlaer, and S. Vinkesteyn, Five centuries of exploration: From distant shores to distant planets, *Space Weather*, 10(3), 2012.
- **Crosby N.B.**, A. Veronig, E. Robbrecht, B. Vrsnak, S. Vennerstrom, O. Malandraki, S. Dalla, L. Rodriguez, N. Srivastava, M. Hesse, D. Odstrcil, Forecasting the Space Weather Impact: the COMESEP Project, *AIP Conference Proceedings*, 1500, 159-164, 2012.
- **Crosby N.B.**, Effects and Benefits of Space Exploration: Past, Present and Future, *International Journal of Space Technology Management and Innovation*, 2(1), 49-62, 2012.
- **Darrouzet, F., S. Ranvier** and **J. De Keyser**, Mesure des ondes sifflements pour l'étude de la plasmasphère de la Terre, *Ciel et Terre*, 128(2), 34-38, 2012.
- **Darrouzet, F., S. Ranvier** and **J. De Keyser**, Een meetstation voor whistler-golven om de plasmasfeer van de Aarde te bestuderen, *Heelal*, 57(7), 222-226, 2012.
- Daumont, L., A. Jenouvrier, S. Mikhailenko, M. Carleer, **C. Hermans**, S. Fally, and **A. C. Vandaele**, High resolution Fourier transform spectroscopy of HD 16O: Line positions, absolute intensities and self broadening coefficients in the 8800-11,600cm⁻¹ spectral region, *Journal of Quantitative Spectroscopy and Radiative Transfer*, 113(11), 878-888, 2012.
- **De Keyser, J.**, Er zit een luchtje aan onze satelliet: Over satellietpollutie en gevoelige massaspectrometrie, *Heelal*, 57(6), 188-191, 2012.
- De Keyser, S., and **J. De Keyser**, Cubesats, *Heelal*, 57(3), 72-75, 2012.
- **De Rudder, A.** and **J.-C. Lambert**, Quality assurance for the GMES Atmospheric Service: Engineering challenges, status and perspectives, in *International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS)*, pp. 5266-5269, Munich, Germany, 2012.
- **De Smedt, I., M. Van Roozendael, T. Stavrakou, J.-F. Müller, C. Lerot, N. Theys**, P. Valks, N. Hao, and R. van der A, Improved retrieval of global tropospheric formaldehyde columns from GOME-2/MetOp-A addressing noise reduction and instrumental degradation issues, *Atmospheric Measurements Techniques*, 5, 2933-2949, 2012.
- Dehant, V., D. Breuer, P. Claeys, V. Debaille, **J. De Keyser**, E. Javaux, S. Goderis, O. Karatekin, T. Spohn, **A.C. Vandaele**, F. Vanhaecke, T. Van Hoolst and **V. Wilquet**, From meteorites to evolution and habitability of planets, *Planetary and Space Science*, 72(1), 3-17, 2012.
- **Dekemper, E., N. Loodts, B. Van Opstal, J. Maes, F. Vanhellemont, N. Mateshvili, G. R. Franssens, D. Pieroux, C. Bingen, C. Robert**, L. De Vos, L. Aballea, and **D. Fussen**, Tunable acousto-optic spectral imager for atmospheric composition measurements in the visible spectral domain, *Applied Optics*, 51(25), 6259-6267, 2012.
- **Dhooghe, F., R. Vansintjan, N. Schoon**, and **C. Amelynck**, Studies in search of selective detection of isomeric biogenic hexen-1-ols and hexanal by flowing afterglow tandem mass spectrometry using [H₃O]⁺ and [NO]⁺ reagent ions, *Rapid Communications in Mass Spectrometry*, 26(16), 1868-1874, 2012.
- **Errera, Q.** and R. Ménard, Technical Note: Spectral representation of spatial correlations in variational assimilation with grid point models and application to the Belgian Assimilation System for Chemical Observations (BASCOE), *Atmospheric Chemistry and Physics*, 12(21), 10015-10031, 2012.
- **Franssens, G. R.**, Introducing Clifford Analysis as the natural tool for electromagnetic research, in *Progress in Electromagnetics Research Symposium proceedings*, pp. 112-116, Moscow, Russia, 2012.
- **Franssens, G. R.**, Substructures in algebras of associated homogeneous distributions on R, *Bulletin of the Belgian Mathematical Society - Simon Stevin*, 19(1), 137-153, 2012.
- **Franssens, G. R.**, Three function decomposition theorems in Clifford analysis with applications in electromagnetism, in *AIP Conference Proceedings of The 9th International Conference on Mathematical Problems in Engineering, Aerospace and Sciences (ICNPAA)*, pp. 371-376, Vienna, Austria, 2012.
- **Gillotay D., C. Depiesse, N. This** and **C. Muller**, UV climate at Mars surface: a proposed sensor for both orbit and ground stations, in *Concepts and Approaches for Mars Exploration*, LPI Conference Series 001679, Houston TX, USA., 2012.
- Gronoff, G., **C. Simon Wedlund**, C. J. Mertens, M. Barthélemy, R. J. Lillis, and O. Witasse, Computing uncertainties in ionosphere-airglow models: II. the Martian airglow, *Journal of Geophysical Research A: Space Physics*, 117(5), 2012.
- Gronoff, G., **C. Simon Wedlund**, C. J. Mertens, and R. J. Lillis, Computing uncertainties in ionosphere-airglow models: I. Electron ux and species production uncertainties for Mars, *Journal of Geophysical Research A: Space Physics*, 117(4), 2012.
- Gulkis, S., S. Keihm, L. Kamp, S. Lee, P. Hartogh, J. Crovisier, E. Lellouch, P. Encrenaz, D. Bockelee-Morvan, M. Hofstadter, G. Beaudin, M. Janssen, P. Weissman, P. A. Von Allmen, T. Encrenaz, C. R. Backus, W.-H. Ip, P. F. Schloerb, N. Biver, T. Spilker, and **I. Mann**, Continuum and spectroscopic observations of asteroid (21) Lutetia at millimeter and submillimeter wavelengths with the MIRO instrument on the Rosetta spacecraft, *Planetary and Space Science*, 66(1), 31-42, 2012.
- **Gunell, H.**, H. Nilsson, G. Stenberg, M. Hamrin, T. Karlsson, **R. Maggiolo**, M. André, R. Lundin, and I. Dandouras, Plasma penetration of the dayside magnetopause, *Physics of Plasmas*, 19(7), 2012.
- **Hendrick, F.**, E. Mahieu, G. E. Bodeker, K. F. Boersma, M. P. Chipperfield, **M. De Mazière, I. De Smedt**, P. Demoulin, **C. Fayt, C. Hermans**, K. Kreher, B. Lejeune, **G. Pinardi**, C. Servais, R. Stübi, R. van der A, J.-P. Vernier, and **M. Van Roozendael**, Analysis of stratospheric NO₂ trends above Jungfraujoch using ground-based UV-visible, FTIR, and satellite nadir observations, *Atmospheric Chemistry and Physics*, 12, 8851-8864, 2012.
- Hilton, F., R. Armante, T. August, C. Barnet, A. Bouchard, C. Camy-Peyret, V. Capelle, L. Clarisse, C. Clerbaux, P.-F. Coheur, A. Collard, C. Crevoisier, G. Dufour, D. Edwards, F. Faijan, N. Fourrié, A. Gambacorta, M. Goldberg, V. Guidard, D. Hurtmans, S. Illingworth, N. Jacquinet-Husson, **T. Kerzenmacher**, D. Klaes, L. Lavanant, G. Masiello,

- M. Matricardi, A. McNally, S. Newman, E. Pavelin, S. Payan, E. Péquignot, S. Peyridieu, T. Phulpin, J. Remedios, P. Schlüssel, C. Serio, L. Strow, C. Stubenrauch, J. Taylor, D. Tobin, W. Wolf, and D. Zhou, Hyperspectral earth observation from IASI, *Bulletin of the American Meteorological Society*, 93(3), 347-370, 2012.
- Jiggins, P. T. A., S. B. Gabriel, **D. Heynderickx**, **N. Crosby**, A. Glover, and A. Hilgers, ESA SEPTEM project: Peak flux and fluence model, *IEEE Transactions on Nuclear Science*, 59(4 Part 1), 1066-1077, 2012.
 - Keckhut, P., A. Hauchecorne, **T. Kerzenmacher**, and G. Angot, Modes of variability of the vertical temperature profile of the middle atmosphere at mid-latitude: Similarities with solar forcing, *Journal of Atmospheric and Solar Terrestrial Physics*, 75-76, 92-97, 2012.
 - **Kerzenmacher, T., B. Dils, N. Kumps**, T. Blumenstock, C. Clerbaux, P.-F. Coheur, P. Demoulin, O. García, M. George, D. W. T. Griffith, F. Hase, J. Hadji-Lazaro, D. Hurtmans, N. Jones, E. Mahieu, J. Notholt, C. Paton-Walsh, U. Raffalski, T. Ridder, M. Schneider, C. Servais, and **M. De Mazière**, Validation of IASI FORLI carbon monoxide retrievals using FTIR data from NDACC, *Atmospheric Measurement Techniques*, 5(11), 2751-2761, 2012.
 - **Kochenova, S., M. De Mazière, N. Kumps, S. Vandenbussche**, and **T. Kerzenmacher**, Retrieval of volcanic ash and ice cloud physical properties together with gas concentrations from IASI measurements with the help of the AVL model, *AIP Conference Proceedings*, 1531, 103-106, 2012.
 - Kohlhepp, R., R. Ruhnke, M. P. Chipperfield, **M. De Mazière**, J. Notholt, S. Barthlott, R. L. Batchelor, R. D. Blatherwick, T. Blumenstock, M. T. Coffey, P. Demoulin, H. Fast, W. Feng, A. Goldman, D. W. T. Griffith, K. Hamann, J. W. Hannigan, F. Hase, N. B. Jones, A. Kagawa, I. Kaiser, Y. Kasai, O. Kirner, W. Kouker, R. Lindenmaier, E. Mahieu, R. L. Mittermeier, B. Monge-Sanz, I. Morino, I. Murata, H. Nakajima, M. Palm, C. Paton-Walsh, U. Raffalski, T. Reddmann, M. Rettinger, C. P. Rinsland, E. Rozanov, M. Schneider, C. Senten, C. Servais, B.-M. Sinnhuber, D. Smale, K. Strong, R. Sussmann, J. R. Taylor, **G. Vanhaelewyn**, T. Warneke, C. Whaley, M. Wiehle, and S. W. Wood, Observed and simulated time evolution of HCl, ClONO₂, and HF total column abundances, *Atmospheric Chemistry and Physics*, 12(7), 3527-3556, 2012.
 - Korablev, O., A. Fedorova, J.-L. Bertaux, A. V. Stepanov, A. Kiselev, Y. K. Kalinnikov, A. Y. Titov, F. Montmessin, J. P. Dubois, E. Villard, V. Sarago, D. Belyaev, A. Reberac, and **E. Neefs**, SPICAV IR acousto-optic spectrometer experiment on Venus Express, *Planetary and Space Science*, 65(1), 38-57, 2012.
 - Koukouli, M. E., D. S. Balis, D. Loyola, P. Valks, W. Zimmer, N. Hao, **J.-C. Lambert, M. Van Roozendael, C. Lerot**, and R. J. D. Spurr, Geophysical validation and long-term consistency between GOME-2/MetOp-A total ozone column and measurements from the sensors GOME/ERS-2, SCIAMACHY/ENVISAT and OMI/Aura, *Atmospheric Measurement Techniques*, 5(9), 2169-2181, 2012.
 - Laffineur, Q., M. Aubinet, **N. Schoon, C. Amelynck, J.-F. Müller**, J. Dewulf, H. Van Langenhove, K. Steppe, and B. Heinesch, Abiotic and biotic control of methanol exchanges in a temperate mixed forest, *Atmospheric Chemistry and Physics*, 12(1), 577-590, 2012.
 - **Lamy, H., S. Ranvier, E. Gamby, J. De Keyser, S. Calders, M. Anciaux**, BRAMS: a Belgian Am-Pro collaboration to detect and characterize meteors with radio techniques, in *Proceedings of European Planetary Science Congress 2012*, Vol. 7, EPSC2012-336, Madrid, Spain, 2012.
 - **Langerock, B.**, E. G. Andrés, and F. Cantrijn, Routh reduction and the class of magnetic Lagrangian systems, *Journal of Mathematical Physics*, 53(6), 2012.
 - Lazar, M., **V. Pierrard**, S. Poedts, R. Schlickeiser, Modeling Space Plasma Dynamics with Anisotropic Kappa Distributions, *Astrophysics and Space Science Proceedings*, 33, 97-107, 2012.
 - **Maggiolo, R., M. Echim, C. Simon Wedlund, Y. Zhang, D. Fontaine, G. Lointier, and J.-G. Trotignon**, Polar cap arcs from the magnetosphere to the ionosphere: kinetic modelling and observations by Cluster and TIMED, *Annales Geophysicae*, 30, 283-302, 2012.
 - **Maggiolo, R., A. Merlaud**, Fonkelende sterren met het blote oog: historische en fysische aspecten, *Heelal*, 57(8), 252-255, 2012.
 - **Mahieux, A., A. C. Vandaele, S. Robert, V. Wilquet, R. Drummond**, F. Montmessin, and J.-L. Bertaux, Densities and temperatures in the Venus mesosphere and lower thermosphere retrieved from SOIR on board Venus Express: Carbon dioxide measurements at the Venus terminator, *Journal of Geophysical Research E: Planets*, 117(7), 2012.
 - Matsui, H., **F. Darrouzet**, J. Goldstein, P.A. Puhl-Quinn, V.Y. Khotyaintsev, P.-A. Lindqvist, E. Georgescu, C.G. Mouikis, R.B. Torbert, Multi-spacecraft observations of small-scale fluctuations in density and fields in plasmaspheric plumes, *Annales Geophysicae*, 30(3), 623-637, 2012.
 - **Merlaud, A., M. de Mazière, C. Hermans**, and A. Cornet, Equations for solar tracking, *Sensors*, 12(4), 4074-4090, 2012.
 - **Merlaud, A., M. Van Roozendael, J. Van Gent, C. Fayt, J. Maes, X. Toledo-Fuentes, O. Ronveaux, and M. De Mazière**, DOAS measurements of NO₂ from an ultralight aircraft during the Earth Challenge expedition, *Atmospheric Measurement Techniques*, 5(8), 2057-2068, 2012.
 - **Merlaud, A., R. Maggiolo**, Fonkelende sterren : adaptieve optica, *Heelal*, 57(11), 268-272, 2012.
 - Miller, P. M., M. E. Koepke, and **H. Gunell**, Laser-induced quasiperiodic mode hopping in competing ionization waves, in *The 39th EPS Conference on Plasma Physics 2012, EPS 2012 and the 16th International Congress on Plasma Physics*, P4.179, Stockholm, Sweden, 2012.
 - **Muller, C.**, Les extraordinaires éruptions solaires de 1859: leurs conséquences sur le télégraphe électrique, *Ciel et Terre*, 128, 111-116, 2012.
 - Muncaster, R., M. S. Bourqui, **S. Chabrilat, S. Viscardy**, S. M. L. Melo, and P. Charbonneau, A simple framework for modelling the photochemical response to solar spectral irradiance variability in the stratosphere, *Atmospheric Chemistry and Physics*, 12(16), 7707-7724, 2012.
 - Nair, P.J., S. Godin-Beekmann, L. Froidevaux, L. E. Flynn, J. M. Zawodny, J. M. Russell III, A. Pazmiño, G. Ancellet, W. Steinbrecht, H. Claude, T. Leblanc, S. McDermid, J. A. E. van Gijsel, B. Johnson, A. Thomas, **D. Hubert, J.-C. Lambert**, H. Nakane, and D. P. J. Swart, Relative drifts and stability of satellite and ground-based stratospheric ozone profiles at NDACC lidar stations, *Atmospheric Measurement Techniques*, 5, 1301-1318, 2012.
 - Owen, C. J., O. Amm, R. Bruno, **J. De Keyser, M. W. Dunlop, J. P. Eastwood, A. N. Fazakerley, D. Fontaine, C. Forsyth, H. Hasegawa, P. Hellinger, D. Hercik, C. Jacquey, S. Milan, J. Raeder, D. G. Sibeck, S. Stverak, P. Travnicek, A. P. Walsh, and J. A. Wild**, IMPALAS: Investigation of MagnetoPause Activity using Longitudinally-Aligned Satellites—a mission concept proposed for the ESA M3 2020/2022 launch, *Experimental Astronomy*, 33(2-3), 365-401, 2012.
 - Paladini, C., D. Klotz, S. Sacuto, J. Hron, M. Wittkowski, E. Lagadec, **T. Verhoelst**, A. Jorissen, A. Richichi, M. Groenewegen, H. Olofsson, and F. Kerschbaum, To be or not to be asymmetric? VLTI and the mass loss geometry of red giants, *Proceedings of SPIE 8445, Optical and Infrared Interferometry III*, 84451R, 2012.
 - **Pandey, P., K. De Ridder, D. Gillotay**, and N. P. M. Van Lipzig, Estimating cloud optical thickness and associated surface UV irradiance from SEVIRI by implementing a semi-analytical cloud retrieval algorithm, *Atmospheric Chemistry and Physics*, 12(17), 7961-7975, 2012.
 - Parrella, J. P., D. J. Jacob, Q. Liang, Y. Zhang, L. J. Mickley, B. Miller, M. J. Evans, X. Yang, J. A. Pyle, N. Theys, and **M. Van Roozendael**, Tropospheric bromine chemistry: Implications for present and pre-industrial ozone and mercury, *Atmospheric Chemistry and Physics*, 12(15), 6723-6740, 2012.
 - Pérez-Suárez, D., S. A. Maloney, P. A. Higgins, D. S. Bloomfield, P. T. Gallagher, G. Pierantoni, X. Bonnin, B. Cecconi, V. Alberti, K. Bocchialini, **M. Dierckxsens**, A. Opitz, A. Le Blanc, J. Aboudarham, R. B. Bentley, J. Brooke, B. Coghlan, A. Csillaghy, C. Jacquey, B. Lavraud, and M. Messerotti, Studying Sun-Planet Connections Using the Heliophysics Integrated Observatory (HELIO), *Solar Physics*, 280(2), 603-621, 2012.
 - **Pierrard, V.**, Solar wind electron transport: Interplanetary electric field and heat conduction, *Space Science Reviews*, 172(1-4), 315-324, 2012.
 - **Pierrard, V.**, and S. Benck, The dynamics of the terrestrial radiation belts and its links to the plasmasphere, in *AIP Conference Proceedings, Space Weather: The Space radiation Environment, 11th Annual International Astrophysics Conference*, Vol. 1500, pp. 216-221, Palm Springs CA, USA, 2012.
 - **Pierrard, V.**, and **K. Borremans**, Fitting the AP-8 spectra to determine the proton momentum distribution functions in space radiations, *Radiation Measurements*, 47(6), 401-405, 2012.
 - **Pierrard, V.**, Effects of suprathermal particles in space plasmas, in *AIP Conference Proceedings of the 10th Annual International Astrophysics Conference*

Physics of the Heliosphere: a10 Year Retrospective, pp. 61-66, Maui, USA, 2012.

- **Pierrard, V.** and **K.Borremans**, The Ionosphere Coupled to the Plasmasphere and Polar Wind Models, in *ASP Conference Series*, edited by Pogorelov, N.V., J.A. Font, E. Audit, and G.P. Zank, Vol. 459, pp. 234, San Francisco, USA, 2012.
- **Pierrard, V.**, Kinetic models of solar wind electrons, protons and heavy ions, in *Exploring the solar wind*, edited by Lazar, M., pp. 221-240, InTech, New York NY, USA, 2012.
- Pitera, A. J. M., K. F. Boersma, M. Kroon, J. C. Hains, **M. Van Roozendael**, F. Wittrock, N. Abuhassan, C. Adams, M. Akrami, M. A. F. Allaart, A. Apituley, S. Beirle, J. B. Bergwerff, A. J. C. Berkhout, D. Brunner, A. Cede, J. Chong, K. Clémer, **C. Fayt**, U. Frieß, L. F. L. Gast, M. Gil-Ojeda, F. Goutail, R. Graves, A. Griesfeller, K. Großmann, **G. Hemerijckx**, **F. Hendrick**, B. Henzing, J. Herman, **C. Hermans**, M. Hoexum, G. R. Van Der Hoff, H. Irie, P. V. Johnston, Y. Kanaya, Y. J. Kim, H. Klein Baltink, K. Kreher, G. De Leeuw, R. Leigh, **A. Merlaud**, M. M. Moerman, P. S. Monks, G. H. Mount, M. Navarro-Comas, H. Oetjen, A. Pazmino, M. Perez-Camacho, E. Peters, A. Du Piesanie, **G. Pinardi**, O. Puentedura, A. Richter, H. K. Roscoe, A. Schönhardt, B. Schwarzenbach, R. Shaiganfar, W. Sluis, E. Spinei, A. P. Stolk, K. Strong, D. P. J. Swart, H. Takashima, T. Vlemmix, M. Vrekoussis, T. Wagner, C. Whyte, K. M. Wilson, M. Yela, S. Yilmaz, P. Zieger, and Y. Zhou, The Cabauw Intercomparison campaign for Nitrogen Dioxide measuring Instruments (CINDI): Design, execution, and early results, *Atmospheric Measurement Techniques*, 5(2), 457-485, 2012.
- Pokorska, O., J. Dewulf, **C. Amelynck**, **N. Schoon**, É. Joó, M. Simpraga, J. Bloemen, K. Steppe, and H. van Langenhove, Emissions of biogenic volatile organic compounds from *Fraxinus excelsior* and *Quercus robur* under ambient conditions in Flanders (Belgium), *International Journal of Environmental Analytical Chemistry*, 92(15), 1729-1741, 2012.
- Pokorska, O., J. Dewulf, **C. Amelynck**, **N. Schoon**, M. Simpraga, K. Steppe, and H. Van Langenhove, Isoprene and terpenoid emissions from *Abies alba*: Identification and emission rates under ambient conditions, *Atmospheric Environment*, 59, 501-508, 2012.
- Popp, C., D. Brunner, A. Damm, **M. Van Roozendael**, **C. Fayt**, and B. Buchmann, High-resolution NO₂ remote sensing from the Airborne Prism EXperiment (APEX) imaging spectrometer, *Atmospheric Measurement Techniques*, 5(9), 2211-2225, 2012.
- Richard, C., I. E. Gordon, L. S. Rothman, M. Abel, L. Frommhold, M. Gustafsson, J.-M. Hartmann, **C. Hermans**, W. J. Lafferty, G. S. Orton, K. M. Smith, and H. Tran, New section of the HITRAN database: Collision-induced absorption (CIA), *Journal of Quantitative Spectroscopy and Radiative Transfer*, 113(11), 1276-1285, 2012.
- **Robert, S.** and **V. Wilquet**, Le passage de Vénus devant le Soleil, *Ciel et Terre*, 128 (3), 66-74 2012.
- Rochus, V., R. Jansen, X. Rottenberg, H. A. C. Tilmans, **S. Ranvier**, **H. Lamy**, and P. Rochus, Comparison of Ni- and SiGe-based MEMS magnetometers, in *Proceedings of the 13th International Conference on Thermal, Mechanical and Multi-Physics Simulation and Experiments in Microelectronics and Microsystems (EuroSimE)*, pp. 1-7, Cascais, Portugal, 2012.
- Rochus, V., R. Jansen, H. A. C. Tilmans, X. Rottenberg, C. Chen, **S. Ranvier**, **H. Lamy**, and P. Rochus, Poly-SiGe-based MEMS xylophone bar magnetometer, in *Proceedings of IEEE Sensors*, pp. 1-4, Taipei, China, 2012.
- **Senten, C.**, **M. De Mazière**, **G. Vanhaelewyn**, and **C. Vigouroux**, Information operator approach applied to the retrieval of the vertical distribution of atmospheric constituents from ground-based high-resolution FTIR measurements, *Atmospheric Measurements Techniques*, 5, 161-180, 2012.
- Sheel, V., S. A. Haider, P. Withers, K. Kozarev, I. Jun, S. Kang, G. Gronoff, and **C. Simon Wedlund**, Numerical simulation of the effects of a solar energetic particle event on the ionosphere of Mars, *Journal of Geophysical Research A: Space Physics*, 117(5), 2012.
- Smolders, K., **T. Verhoelst**, P. Neyskens, J. A. D. L. Blommaert, L. Decin, H. Van Winckel, S. Van Eck, G. C. Sloan, J. Cami, S. Hony, P. De Cat, J. Menu, and J. Vos, Discovery of a TiO emission band in the infrared spectrum of the S star NP Aurigae, *Astronomy and Astrophysics*, 543, 2-4, 2012.
- Sonnabend, G., P. Krötz, F. Schmülling, T. Kostiuik, J. Goldstein, M. Sornig, D. Stupar, T. Livengood, T. Hewagama, K. Fast, and **A. Mahieux**, Thermospheric/mesospheric temperatures on Venus: Results from ground-based high-resolution spectroscopy of CO₂ in 1990/1991 and comparison to results from 2009 and between other techniques, *Icarus*, 217(2), 856-862, 2012.
- **Stavroukou, T.**, **J.-F. Müller**, J. Peeters, A. Razavi, L. Clarisse, C. Clerbaux, P.-F. Coheur, D. Hurtmans, **M. De Mazière**, **C. Vigouroux**, N. M. Deutscher, D. W. T. Griffith, N. Jones, and C. Paton-Walsh, Satellite evidence for a large source of formic acid from boreal and tropical forests, *Nature Geoscience*, 5(1), 26-30, 2012.
- **Stavroukou, T.**, **J.-F. Müller**, J. Peeters, A. Razavi, L. Clarisse, C. Clerbaux, P.-F. Coheur, D. Hurtmans, **M. De Mazière**, **C. Vigouroux**, Les plantes influencent-elles l'acidité des pluies/Hebben wouden een invloed op de zuurtegraad van regen?, *Science Connection*, 37, 26-30, 2012.
- Thuillier, G., M. DeLand, A. Shapiro, W. Schmutz, **D. Bolsée**, and S. M. L. Melo, The Solar Spectral Irradiance as a Function of the Mg II Index for Atmosphere and Climate Modelling, *Solar Physics*, 277(2), 245-266, 2012.
- Titz, D., M. Kyrö, F. Ferrero, **S. Ranvier**, C. Luxey, P. Brachat, G. Jacquemod, and P. Vainikainen, Calibration methodology for a 3D radiation pattern set-up of probe-fed millimeter-wave antennas, *Microwave and Optical Technology Letters*, 54(5), 1183-1189, 2012.
- Tudorie, M., T. Földes, **A. C. Vandaele**, and J. Vander Auwera, CO₂ pressure broadening and shift coefficients for the 1-0 band of HCl and DCl, *Journal of Quantitative Spectroscopy and Radiative Transfer*, 113(11), 1092-1101, 2012.
- Vaivads, A., G. Andersson, S. D. Bale, C. M. Cully, **J. De Keyser**, M. Fujimoto, S. Grahn, S. Haaland, H. Ji, Y. V. Khotyaintsev, A. Lazarian, B. Lavraud, I. R. Mann, R. Nakamura, T. K. M. Nakamura, Y. Narita, A. Retinò, F. Sahrquai, A. Schekochihin, S. J. Schwartz, I. Shinohara, and L. Sorriso-Valvo, EIDOSCOPE: Particle acceleration at plasma boundaries, *Experimental Astronomy*, 33(2-3), 491-527, 2012.
- **Van Roozendael, M.**, R. Spurr, D. Loyola, **C. Lerot**, D. Balis, **J.-C. Lambert**, W. Zimmer, **J. Van Gent**, J. Van Geffen, M. Koukouli, **J. Granville**, A. Doicu, **C. Fayt**, and C. Zehner, Sixteen years of GOME/ERS-2 total ozone data: The new direct-fitting GOME Data Processor (GDP) version 5 Algorithm description, *Journal of Geophysical Research D: Atmospheres*, 117(3), 2012.
- **Vandaele, A.C.**, Les débris Spatiaux, *Ciel et Terre*, 128(3), 12-19, 2012.
- **Vandaele, A.C.**, Le passage de Vénus en 2012: Quelques résultats de Svalbard et d'ailleurs, *Ciel et Terre*, 128(3), 78-84, 2012.
- **Vandaele, A.C.**, Circulation et dynamique étonnantes sur Vénus, *Ciel et Terre*, 128(5), 145-150, 2012.
- **Verhoelst, T.**, **S. Vandebussche**, and **J.-C. Lambert**, New perspectives on observation operators for atmospheric chemical data assimilation, in *International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS)*, pp. 4895-4898, Munich, Germany, 2012.
- **Vigouroux, C.**, **T. Stavroukou**, C. Whaley, **B. Dils**, V. Duflo, **C. Hermans**, **N. Kumps**, J.-M. Metzger, **F. Scolas**, **G. Vanhaelewyn**, **J.-F. Müller**, D. B. A. Jones, Q. Li, and **M. De Mazière**, FTIR time-series of biomass burning products (HCN, C₂H₆, C₂H₂, CH₃OH, and HCOOH) at Reunion Island (21° S, 55° E) and comparisons with model data, *Atmospheric Chemistry Physics*, 12, 10367-10385, 2012.
- Voitu, G., **M. Echim**, and R. Marchand, Comparative study of forward and backward test-kinetic simulation approaches, *Computer Physics Communications*, 183(12), 2561-2569, 2012.
- Voitu, G. and **M. Echim**, Ring-shaped velocity distribution functions in energy-dispersed structures formed at the boundaries of a proton stream injected into a transverse magnetic field: Test-kinetic results *Physics of Plasmas*, 19(2), 2012.
- Von Savigny, C., K.-U. Eichmann, **C. E. Robert**, J. P. Burrows, and M. Weber, Sensitivity of equatorial mesopause temperatures to the 27-day solar cycle, *Geophysical Research Letters*, 39(21), L21804, 2012.
- **Wilquet, V.**, **R. Drummond**, **A. Mahieux**, **S. Robert**, **A. C. Vandaele**, and J.-L. Bertaux, Optical extinction due to aerosols in the upper haze of Venus: Four years of SOIR/VEX observations from 2006 to 2010, *Icarus*, 217(2), 875-881, 2012.
- Zaslavsky, A., N. Meyer-Vernet, **I. Mann**, A. Czechowski, K. Issautier, G. Le Chat, F. Pantellini, K. Goetz, M. Maksimovic, S. D. Bale, and J. C. Kasper, Interplanetary dust detection by radio antennas: Mass calibration and fluxes measured by STEREO/WAVES, *Journal of Geophysical Research A: Space Physics*, 117(5), 2012.

Événements & communication

Outre la recherche scientifique, le service au public fait partie des missions principales de l'IASB. En 2011-2012, l'Institut s'est à nouveau investi afin de faire connaître ses activités auprès de différents groupes-cibles. Ci-après, vous trouverez un aperçu des événements et actions de communication qui ont été organisés grâce à la collaboration étroite entre les différentes équipes.

EVENEMENTS

1. Campagne sur l'observation du passage de Vénus (<http://venus.aeronomie.be/nl/overgang/index.htm>)
2. Au Planétarium de l'Observatoire Royal de Belgique:
 - Nouvelle exposition permanente www.planetarium.be
 - Programme du planétarium Full dome (film) « Ice Worlds » www.planetarium.be/info_shows.php
 - Journée de la science www.wetenschapsweek.be
 - Yuri's Night www.yurisnight.net/#/about
3. Partenariats fédéraux:
 - La nuit des étoiles Euro Space Center Redu www.eurospacecenter.be
 - Exposition La Science au Palais www.monarchie.be/nl/actueel/archief/all/all/2011
 - Space week sur le thème du 20ème anniversaire du vol dans l'espace de Dirk Frimout www.spaceweek2012.com www.aeronomie.be/nl/nieuws-pers/2012-03-24-frimout-atlas1.htm
4. Autres collaborations:
 - Meteorological Technology World Expo www.meteorologicaltechnologyworldexpo.com
 - European Space Expo Brussels www.ec.europa.eu/enterprise/policies/space/expo/index_en.htm
 - Stand Le salon du Bourget www.salon-du-bourget.fr
 - Conférences dans les observatoires publics, les associations amateurs, les visites d'étudiants ou de groupes, les salons de l'emploi

SITES WEB DE L'IASB

1. Nouvelle structure pour www.aeronomie.be (néerlandais, français, anglais) basée sur les fiches d'information
2. Nouvelles, communiqués de presse www.aeronomie.be/fr/nouvelles-presse2011.htm + www.aeronomie.be/fr/nouvelles-presse2012.htm, par exemple:
 - « Le réseau de stations de réception étudie les étoiles filantes » www.aeronomie.be/nl/nieuws-pers/2011-08-11-vallendesterren-brams.htm
 - « L'IASB réalise une vidéo montrant l'évolution et l'affaiblissement du 'trou d'ozone' au-dessus de l'Arctique » www.aeronomie.be/fr/nouvelles-presse2011.htm
 - « De nouvelles observations par satellite révèlent le lien entre forêts et acidité des pluies » www.aeronomie.be/fr/nouvelles-presse/2011-communique-iasi.pdf
 - Le centre d'opérations spatiales belge (B.USOC) obtient la rotation de l'ISS. www.aeronomie.be/fr/nouvelles-presse/2012-10-09-iss-solar-busoc.htm
3. Nouveaux sites de projets:
 - <http://altius.oma.be>
 - <http://comesep.aeronomy.be>
 - <http://www.polarisation.eu>
 - <http://tropo.aeronomie.be/ibbac>
 - <http://sevem.aeronomie.be>
 - <http://infrared.aeronomie.be>
 - <http://uvindex.aeronomie.be>
 - <http://www.busoc.be>
 - <http://ulisse.busoc.be>
 - <http://nors.aeronomie.be>
 - <http://agacc.aeronomie.be>
 - <http://ilovemysun.org/index.php>
 - <http://ept.aeronomie.be>

Colophon

INSTITUT D'AÉRONOMIE SPATIALE DE BELGIQUE (IASB)

Avenue Circulaire 3
1180 Uccle
Belgique
www.aeronomie.be

Editeur responsable

Martine De Mazière

Coordination

Stéphanie Fratta et Tim Somers

Rédaction finale

Frank Daerden et Viviane Pierrard

Concept et réalisation

c-company

Dépôt legal

D/2013/678/1



Belgium (IASB) Belgian Institute for Space Aeronomy (BIRA-IASB) Belgisch Instituut voor Ruimte-Aeronomie (BIRA) Institut d'Aéronomie Spatiale de Belgique (IASB) Russian Insti