



INSTITUT ROYAL D'AÉRONOMIE SPATIALE
DE BELGIQUE (IASB)

RAPPORT ANNUEL 2017-2018

"Science and everyday life
cannot and should not
be separated."

Rosalind Franklin



COLOPHON

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

Avenue Circulaire, 3 - 1180 Bruxelles - Belgique
www.aeronomie.be

Éditeur responsable

Martine De Mazière

Coordination et édition finale

Karolien Lefever

Traduction

Stéphanie Fratta

Concept et réalisation

C-company

Dépôt légal

D/2019/678/3

Publication

Septembre 2019

Table des matières

Avant-propos	4
Physique spatiale	6
Composition chimique et climat	12
Qualité de l'air	18
Surveillance de l'ozone stratosphérique	22
Rayonnement solaire	24
Aéronomie planétaire	26
Développement de missions spatiales.	28
Services de support	30
Belgian User Support and Operations Centre	34
Publications	36
L'humain et les chiffres	38
Comptabilité	44

MARTINE DE MAZIÈRE

DIRECTRICE GÉNÉRALE A.I.

“ Toutes nos activités ont un objectif commun:
étendre notre connaissance des atmosphères
des corps célestes... pour apporter des
réponses aux défis sociétaux liés à notre en-
vironnement naturel. ”



Avant-propos

4

Au fil des ans, l'aéronomie est devenue une discipline scientifique couvrant une très grande variété de sujets. Et l'Institut royal d'Aéronomie Spatiale de Belgique (IASB) a évolué parallèlement à cette tendance. Pour ce rapport d'activité, il est donc de plus en plus difficile de faire un choix représentatif parmi tous les sujets de recherche qui sont étudiés à l'Institut et les services qui en découlent. Le succès des observations de l'atmosphère de Mars par l'instrument NOMAD, dont le chercheur principal est une scientifique de l'IASB, fait partie des points forts de la période écoulée. Il convient également de mentionner le lancement de la première mission Sentinel atmosphérique (S5P), qui fournit des informations sur l'ozone, la qualité de l'air et le climat, et dans lequel l'IASB joue un rôle clé. Le succès des portes ouvertes peut aussi être souligné: elles ont été organisées en collaboration avec nos institutions partenaires à Uccle lors du dernier week-end de septembre 2018 et ont attiré environ 10 000 visiteurs!

Toutes nos activités ont un objectif commun: étendre notre connaissance des atmosphères des corps célestes, en tant que contribution au patrimoine scientifique de notre pays, et pour apporter des réponses aux défis sociétaux liés à notre environnement naturel et avec lesquels nous sommes confrontés aujourd'hui, non seulement en Belgique, mais également à l'échelle mondiale. Ces défis incluent l'impact des émissions sur le changement climatique et la qualité de l'air, la reconstitution de la couche d'ozone qui nous protège des rayons UV puissants du Soleil, l'impact de la météo spatiale sur l'aviation, etc.

Comme en témoignent un certain nombre de projets proposés, l'Institut joue un rôle de premier plan dans la communauté internationale de recherche, dans le cadre du programme spatial européen soutenu par la Belgique et de l'initiative Copernicus. Copernicus est le programme d'observation de la Terre de l'Union européenne qui vise à fournir à tous les citoyens européens des informations et des services concernant notre planète et son environnement grâce à des observations par satellite et d'autres observations, appelées in situ. L'Institut est également un partenaire im-

portant de l'industrie belge et fournit ou contribue aux formations dans les universités belges. Il propose des expositions et des conférences pour les écoles et le public. Il est quelque peu triste de constater que, malgré la reconnaissance et l'appréciation du public à l'échelle internationale, le soutien de l'Institut par le gouvernement fédéral diminue (comme il diminue pour tous les établissements scientifiques fédéraux) et entraîne des conditions de travail difficiles. Cette tendance met en péril l'image internationale de la recherche fédérale et réduira la compétitivité de l'institution en tant que partenaire de projets internationaux dans un avenir proche.

L'un des atouts majeurs de l'Institut royal d'Aéronomie Spatiale de Belgique est de pouvoir compter sur un nombre important d'employés dynamiques: des scientifiques passionnés par les nombreuses facettes de la recherche en aéronomie et son importance pour la société, ainsi que le personnel administratif et technique qui travaille pour soutenir la science et le bon fonctionnement de l'institution: je leur en suis extrêmement reconnaissante. Cependant, en raison des conditions de travail difficiles et des incertitudes quant aux perspectives, les chercheurs qualifiés risquent de chercher re-

fuge à l'étranger tandis que les employés perdent leur motivation.

Néanmoins, je continue d'espérer qu'à l'avenir, nous aurons également la possibilité de jouer nos atouts pour faire un travail novateur, aider à construire la société de la connaissance et servir les citoyens avec des informations et des services scientifiques.

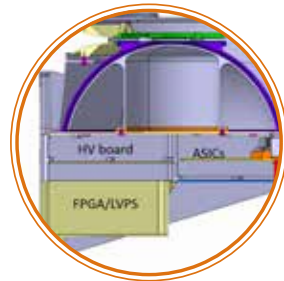
Les exemples de nos contributions aux objectifs ci-dessus sont nombreux: vous pouvez les découvrir dans ce rapport concis ou dans le rapport d'activité en ligne plus détaillé, à l'adresse www.aeronomie.be/rapportannuel.

Je vous invite à un voyage instructif et fascinant à travers ce rapport.

Martine De Mazière
Directrice Générale a.i.
14 décembre 2018

5

PHYSIQUE SPATIALE >>



Mesurer le vent solaire: mieux et plus vite

Dans le cadre de la proposition de mission spatiale THOR, l'IRAP (Toulouse) et l'IASB ont mis au point l'appareil de mesure du vent solaire le plus rapide et le plus précis jamais conçu. L'IASB a conçu la stratégie de «suivi du faisceau» qui rend cet instrument si innovant. Les simulations démontrent que cette méthode permet une acquisition rapide des données (<100 ms) à une résolution angulaire ($1,5^\circ$) et énergétique élevée (<7%), tout en limitant la perte du faisceau. Malheureusement, la mission THOR n'a pas été sélectionnée, et l'instrument reste donc un rêve - pour le moment.



Des composés halogénés sur Chury!

Dans le véritable zoo d'espèces gazeuses neutres découvertes par ROSINA sur la comète 67P/Churyumov-Gerasimenko, une famille d'« animaux » est restée longtemps insaisissable: les composés halogénés. Ce groupe comprenant les halogénures d'hydrogène HF, HCl et HBr est représenté dans le zoo par un poisson de mer car ces composés sont présents dans les sels marins. Les trouver dans les spectres de ROSINA était particulièrement difficile car certains s'y cachaient derrière d'autres espèces plus abondantes. Les halogénures d'hydrogène semblent être émis principalement par la poussière de la comète et non directement par le noyau cométaire!



Le champ magnétique terrestre protège-t-il notre atmosphère?

Encore récemment, on croyait qu'un puissant champ magnétique interne était nécessaire pour protéger une planète en empêchant que le vent solaire ne la dépouille de son atmosphère. On disait aussi parfois que cela explique pourquoi Mars, qui n'a pas de champ magnétique, a perdu son atmosphère, contrairement à la Terre. Nos recherches ont montré que cette supposition est incorrecte. Le taux d'échappement atmosphérique pour une Terre hypothétique, non magnétisée, serait à peu près le même, voire un peu moindre, que pour notre vraie Terre.



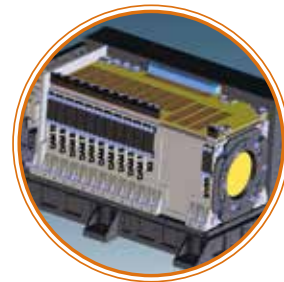
Un radar à météores en construction à Dourbes

8 Depuis 2010, l'IASB développe le réseau BRAMS (Stations belges de détection radio de météores) visant à détecter et caractériser les météoroïdes tombant dans l'atmosphère terrestre. BRAMS s'appuie sur une technique appelée «diffusion en avant» des ondes radio, ce qui signifie que les récepteurs et l'émetteur ne se trouvent pas au même endroit. Cela introduit un certain nombre d'avantages mais aussi de complications. Afin de comparer les résultats de BRAMS à ceux obtenus avec un système plus traditionnel, un radar à météores développé en interne est actuellement construit au Centre de Physique du Globe à Dourbes. Il devrait émettre ses premières ondes en 2019.



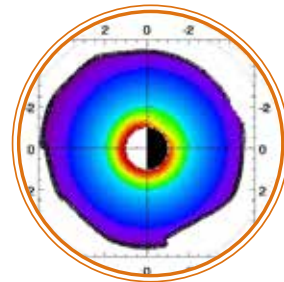
Développement et validation de SLP

La sonde Sweeping Langmuir Probe (SLP) développée à l'IASB est l'un des deux instruments qui seront embarqués à bord du CubeSat de l'ESA, PICASSO, en 2019. SLP mesurera le courant reçu par quatre sondes cylindriques dont les potentiels électriques sont balayés, de manière à mesurer des paramètres ionosphériques cruciaux: la densité de charge électrique, la température des électrons, la température des ions et le potentiel du satellite par rapport à l'environnement. Les objectifs principaux de SLP sont de mieux comprendre le couplage magnétosphère-ionosphère et les aurores.



Cinq ans d'observations avec EPT

L'Energetic Particle Telescope (EPT) a été lancé le 7 mai 2013 sur PROBA-V, un satellite de l'ESA placé en orbite polaire basse à 820 km d'altitude. L'instrument fournit des observations depuis 5 ans, montrant de fortes variations de flux, en particulier pour les flux d'électrons lors d'orages géomagnétiques, associés également à des injections dans la ceinture interne. EPT est un détecteur conçu pour bien distinguer les électrons, les protons et les ions d'hélium, de manière à pouvoir effectuer des mesures directes non-ambigües et de haute qualité dans les ceintures de radiation et particulièrement dans la zone interne, malgré l'environnement de protons énergétiques.



Modèle dynamique de la plasmasphère comparé aux observations satellitaires

9 Le modèle dynamique tridimensionnel de la plasmasphère développé par l'IASB est désormais disponible sur le site Web SSA (Space Situational Awareness) de l'ESA. Les comparaisons avec les observations de CLUSTER, CRRES et THEMIS confirment que la plasmopause se forme dans le secteur après minuit pendant les orages géomagnétiques, validant ainsi l'hypothèse faite dans le modèle. Une étude statistique de la position observée de la plasmopause en fonction du temps magnétique local confirme l'excellent accord avec les résultats du modèle. Les données du satellite MAGION-5 sont utilisées pour déterminer l'épaisseur de la couche limite de la plasmopause.



Distributions Kappa dans les plasmas spatiaux

10 Les plasmas spatiaux sont essentiellement des gaz sans collision hors équilibre thermique, où l'on observe d'avantage de particules suprathermiques. Les distributions typiques sont généralement mieux décrites par les fonctions Kappa que par les Maxwelliennes, en particulier pour les électrons. Cela a de lourdes conséquences puisque la faible masse des électrons en fait des agents majeurs du transport de l'énergie dans les plasmas. Les électrons suprathermiques jouent un rôle essentiel dans le chauffage et l'accélération des plasmas, en particulier dans la couronne solaire et le vent solaire.



Sursauts radio ALF: premières signatures d'ondes de plasma dans des éruptions solaires

Les éruptions solaires et les éjections de masse coronale dans l'atmosphère solaire ont un impact important sur la météo spatiale au voisinage de la Terre. En observant les émissions radio solaires à l'aide du grand radiotélescope ukrainien URAN-2, les scientifiques de l'IASB, en collaboration avec des collègues ukrainiens, ont identifié un nouveau type de sursauts radio associés aux éruptions solaires: les sursauts ALF. Les observations des sursauts ALF fournissent des informations uniques sur les premiers stades des éruptions solaires. La modélisation théorique des sursauts d'ALF nous a permis de prédire les ondes cinétiques d'Alfvén et leurs amplitudes dans l'atmosphère solaire éruptive.



PECASUS – Pan-European Consortium for Aviation Space weather User Services

La météo spatiale peut affecter l'aviation en provoquant une dégradation des communications et de la navigation par satellite, une défaillance des appareils de bord, et de fortes doses de rayonnement pour les passagers. Le transport aérien est global et les mesures visant à limiter les risques liés à la météo spatiale nécessitent une prise en charge internationale. Le Conseil de l'Organisation de l'aviation civile internationale (OACI) a désigné le consortium PECASUS comme l'un des trois centres mondiaux de services de météorologie spatiale. Le groupe de météorologie spatiale de l'IASB sera chargé de la coordination du groupe d'experts 'Radiation' dans PECASUS et de la provision de soutien scientifique aux opérateurs.



COMPOSITION CHIMIQUE ET CLIMAT



Les vaches qui broutent influencent les émissions de composés organiques

» Bien que la moitié des terres agricoles mondiales soient des pâturages, les émissions de composés organiques volatiles (COVs) induites par le broutage n'ont pas encore été mesurées. Des chercheurs de l'IASB ont donc étudié l'échange de COVs entre un pâturage et l'atmosphère à un site Wallon du réseau ICOS à Dorinne. Ces mesures ont montré que les flux induits par le broutage diffèrent sensiblement de ceux en absence de broutage et durent généralement entre 2 et 3 jours. Ils étaient en général de un à deux ordres de grandeurs plus faibles que les émissions associées aux récoltes.



Mesures de COV dans l'atmosphère tropicale marine

Bien que les composés organiques volatils (COVs) influencent la capacité oxydante de l'atmosphère et le climat, leurs sources et leurs processus de perte sont encore mal contraints, tout particulièrement dans les régions marines tropicales. Dans le cadre du projet BRAIN-be OCTAVE, l'IASB effectue des mesures à long-terme de COVs au Maïdo, une station de haute altitude à l'Île de la Réunion dans l'océan Indien. De telles mesures sont requises pour identifier et quantifier les sources et pertes de ces composés sur l'île, ainsi que leur évolution saisonnière, au moyen d'analyse statistique, de calculs de rétro-trajectoires et de modélisation tridimensionnelle.



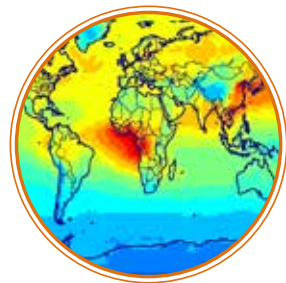
Interactions climat-chimie observées depuis l'espace

Un lien important entre le climat et la chimie atmosphérique provient de ce que les flux d'émissions de composés biogéniques dans l'atmosphère dépendent des conditions météorologiques. Bien que la dépendance à court terme des flux biogéniques aux facteurs météorologiques soit relativement bien établie, leur réponse à long terme n'a pas encore été établie en raison de l'absence d'observations adéquates. Nous avons réussi à évaluer, pour la première fois, la variabilité des flux d'émission d'hydrocarbures à l'aide de 11 années de mesures satellitaires de formaldéhyde combinées à des simulations de modèle sur plusieurs années.



Augmentation drastique des flux d'isoprène dans le climat futur

14 L'isoprène est l'hydrocarbure biogénique dominant émis dans l'atmosphère. Il joue un rôle-clé pour la composition de l'atmosphère en raison de son influence sur l'ozone troposphérique et de sa contribution à la formation de particules fines. Les émissions d'isoprène dépendent fortement de la température et du rayonnement solaire et sont donc susceptibles de répondre au réchauffement climatique. Nous avons utilisé le modèle d'émission biogénique MEGAN-MOHYCAN afin d'estimer, à haute résolution, les flux d'isoprène sur l'Europe au cours des 35 dernières années et dans différents scénarios de projection du climat jusqu'à la fin du 21ème siècle.



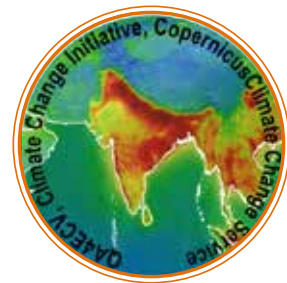
Nouvelle détermination de la source globale de monoxyde de carbone

Le radical hydroxyle (OH) est le principal détergent dans l'atmosphère et son abondance contrôle les concentrations de monoxyde de carbone (CO), un polluant majeur. En conséquence, les émissions de monoxyde de carbone déterminées par modélisation inverse contrainte par des données satellitaires dépendent fortement des niveaux d'OH simulés avec les modèles. Nous avons combiné des contraintes empiriques sur les niveaux d'OH, les données de CO par satellite provenant de l'instrument IASI et le modèle atmosphérique IMAGES pour fournir des estimations améliorées des émissions de CO à l'échelle globale.



Assurance qualité pour le Service Changement Climatique du programme Copernicus

En soutien au Service Changement Climatique du programme européen Copernicus (C3S), le projet « Assurance-qualité pour les variables climatiques essentielles » (QA4ECV) a mis au point un système générique de contrôle de qualité pour les séries d'observations climatiques réalisées à partir de satellites. Ce système a été appliqué avec succès à la génération de six nouveaux jeux de données climatiques sur le dioxyde d'azote atmosphérique (NO₂), le formaldéhyde (HCHO) et le monoxyde de carbone (CO), ainsi que sur l'albédo de la surface, l'indice de surface foliaire et la fraction absorbée du rayonnement photosynthétiquement actif.



Séries de données climatiques pour l'étude de la composition de l'atmosphère

Les changements du système Terre induits par les activités humaines et leurs impacts sur la vie et l'environnement naturel constituent sans doute le plus grand défi environnemental du XXIe siècle. Afin d'informer les décideurs sur l'atténuation et l'adaptation au changement climatique, un suivi systématique du système climatique mondial est nécessaire. Dans ce contexte, on ne saurait trop insister sur l'importance de réaliser et de maintenir des observations précises et de haute qualité à toutes les échelles pertinentes dans l'espace et dans le temps. L'IASB a participé à plusieurs initiatives importantes dans le domaine atmosphérique.



Distribution 3D de poussière depuis les satellites

16 Les particules de poussière du désert sont soulevées des zones arides par des vents violents. Elles peuvent parcourir des milliers de kilomètres, par exemple depuis l'Afrique du Nord à travers la mer Méditerranée jusqu'en Europe. Les particules de poussière influencent directement le climat en modifiant le bilan énergétique (refroidissement ou réchauffement, en fonction des conditions) et indirectement en modifiant le régime des vents, les nuages et la pluie. Ces effets comportent encore de grandes incertitudes et dépendent de la distribution 3D des particules dans l'air. À l'IASB, nous utilisons des données satellitaires pour réaliser, pour la première fois, des distributions 3D de particules de poussière à l'échelle du globe.



Espèces atmosphériques émises par la forêt amazonienne

La forêt amazonienne est une source importante d'espèces dues à la végétation et aux feux de forêt, qui influencent la qualité de l'air et le climat mondial. Afin de surveiller ces espèces, l'IASB a installé un spectromètre infrarouge à transformée de Fourier (FTIR) à Porto Velho, au Brésil, en juillet 2016. Après une année de mesures, nous avons observé le cycle saisonnier de plusieurs espèces émises par les feux, toutes montrant un maximum en juillet-octobre, lorsque les incendies sont les plus intenses. Ces données sont cruciales pour la validation d'observations satellitaires, mais également pour améliorer notre connaissance des émissions amazoniennes en les comparant à des modèles atmosphériques.



Extension des infrastructures de recherche européennes

Afin de consolider la qualité, la cohérence et la disponibilité à long terme des données de télédétection depuis le sol nécessaires à la validation des satellites et à l'évaluation des modèles, il est essentiel de développer et de préserver des infrastructures de recherche telles que ICOS (pour les gaz à effet de serre). Récemment, l'IASB a participé activement à la mise en place d'une nouvelle infrastructure de recherche européenne pour les aérosols, les nuages et les gaz en trace (ACTRIS), dont l'IASB dirige le centre thématique pour la télédétection des gaz en trace. Des efforts visant à ajouter la télédétection depuis le sol au réseau ICOS (actuellement limité aux mesures in situ) sont en cours.



Des données d'aérosols pour mieux modéliser le climat

Les aérosols stratosphériques sont un acteur important du climat car ils affectent la propagation et l'absorption de la lumière solaire. C'est pourquoi les modèles climatiques doivent les prendre en compte le plus exactement possible. C'est un défi car ces particules de taille et de composition variées ne sont pas faciles à caractériser. Un enjeu clé pour prévoir l'évolution du climat est de décrypter l'information fournie par les satellites et de comprendre les limites et imperfections des mesures, pour les traduire en séries de données fiables, précises, et aisément utilisables dans les modèles climatiques.



Apprendre des expériences passées pour mieux préparer les missions du futur

18 De 2002 à 2012, l'expérience GOMOS a volé à bord du satellite ENVISAT et a mesuré la composition de l'atmosphère. Si cela semble déjà bien lointain, cet instrument pionnier par sa technique de mesure (l'occultation stellaire) pose aujourd'hui encore bien des défis à ceux qui continuent à explorer ses données : l'utilisation d'étoiles, si elle multiplie les occasions de mesure par rapport aux expériences observant notre unique Soleil, produit des signaux si faibles qu'elle remet en question pas mal de principes des méthodes de traitement. A résoudre au mieux, en préparation des missions futures!

QUALITÉ DE L'AIR



Qualité de l'air à Kinshasa

L'atmosphère au-dessus de Kinshasa est particulièrement intéressante car les émissions de la forêt tropicale se mêlent à la pollution urbaine. L'IASB a débuté une collaboration avec l'Université de Kinshasa dans le but de quantifier plusieurs espèces atmosphériques clés. Nous avons installé un instrument de type MAX-DOAS à l'Université, exploité en collaboration avec des collègues congolais dans le cadre d'une thèse de doctorat. Peu de mesures locales sont actuellement disponibles en Afrique et notre instrument sera très utile pour la validation de données satellitaires et les modèles de chimie-transport développés à l'IASB.



Démarrage de la première Sentinelle atmosphérique: Sentinel-5P/ TROPOMI

Le 13 octobre 2017, l'ESA plaçait en orbite la mission Sentinel-5 Precursor (S5P), première plateforme satellitaire dédiée à la composition de l'atmosphère dans le cadre du programme européen d'observation de la Terre Copernicus. À son bord, l'instrument TROPOMI surveille une liste de paramètres atmosphériques, relayant l'information en temps quasi-réel. L'IASB a joué un rôle clé dans le développement des algorithmes utilisés pour la production opérationnelle des produits SO₂, HCHO et total ozone. Il contribue également à la validation et l'analyse des données de S5P.



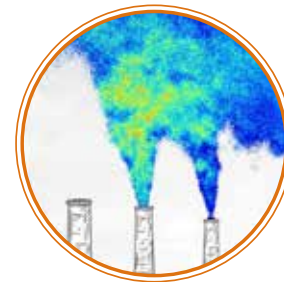
Cartographie quotidienne des constituants atmosphériques avec une résolution sans précédent

20 Avec une résolution spatiale de 7x3,5 km², ce qui est un facteur de (au moins) 15 fois supérieur aux instruments spatiaux antérieurs, le capteur TROPOMI est capable de mesurer, quotidiennement et à l'échelle mondiale, la composition atmosphérique (gaz à l'état de traces, nuages et aérosols) avec un niveau de détail remarquable. TROPOMI fournit des informations cruciales sur les émissions naturelles et anthropogéniques, et sur les processus liés à la qualité de l'air, la couche d'ozone, le changement climatique et les risques naturels tels que les incendies de forêt et les éruptions volcaniques.



FRM4DOAS: le premier système de traitement centralisé pour les mesures MAX-DOAS de la qualité de l'air

Afin de garantir que les données fournies par les capteurs satellitaires de la qualité de l'air répondent aux besoins des utilisateurs en termes d'exactitude et de précision, il est essentiel de développer une stratégie de validation robuste reposant sur des mesures de référence bien établies et traçables. Le projet ESA FRM4DOAS coordonné par l'IASB vise à développer le premier système de traitement centralisé fournissant des mesures MAX-DOAS harmonisées de gaz polluants tels que le NO₂ et le HCHO en temps quasi-réel. La disponibilité de telles données sol harmonisées est essentielle pour la validation des missions satellitaires actuelles et futures telles que les Sentinelles atmosphériques (S4, S5, S5P) en Europe, GEMS en Asie et TEMPO aux États-Unis.



La caméra NO₂

La caméra NO₂ est un nouvel instrument inspiré de la mission ALTIUS. Elle prend des images d'une scène (panaches de cheminée, horizons de villes) à plusieurs longueurs d'onde afin d'y déceler la signature du NO₂, une molécule nocive créée lors de processus de combustion (moteurs, chauffage). L'objectif ultime de la caméra est la surveillance des émissions de NO₂ produites par les sites industriels, ainsi que des niveaux ambiants en milieu urbain. Ce faisant, la caméra NO₂ pourrait combler le fossé entre les instruments embarqués sur des satellites couvrant la surface de la Terre avec une résolution grossière (plusieurs km²), et les réseaux locaux de surveillance officielle de la qualité de l'air.



SURVEILLANCE DE L'OZONE STRATOSPHERIQUE



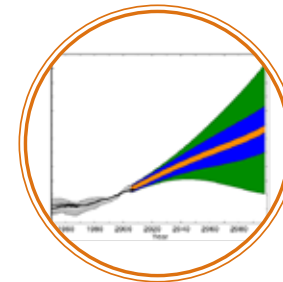
LOTUS: actualisation des tendances à long terme de l'ozone pour le rapport d'évaluation 2018 des Nations Unies

Le Protocole de Montréal, un traité international signé en 1987, interdit la production et l'utilisation de nombreuses substances chimiques responsables de l'appauvrissement dramatique de la couche d'ozone stratosphérique. En 2006, il était avéré que le déclin de ce bouclier naturel contre le rayonnement UV s'était stabilisé au milieu des années 90. Cependant, il fallut attendre encore jusqu'en 2018 pour conclure avec certitude à sa reconstruction lente mais progressive. La confirmation de cette prévision de longue date revêt une grande importance scientifique et sociétale. Elle a notamment été rendue possible par les chercheurs de l'IASB qui ont élaboré et coordonné l'activité internationale LOTUS, sous l'égide du Programme mondial de recherche sur le climat (WCRP).



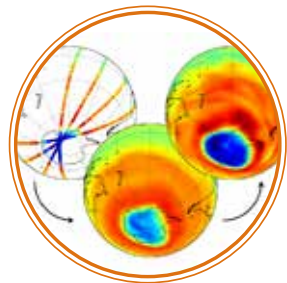
Le service de surveillance de l'atmosphère de Copernicus

Copernicus est le programme d'observation de la Terre de l'Union européenne. Il s'intéresse à notre planète et à son environnement au bénéfice de tous les citoyens européens. Il offre six services d'information basés sur l'observation de la Terre par satellite et sur des données de surface. Parmi ceux-ci, citons le service de surveillance de l'atmosphère (CAMS), qui fournit des données en temps quasi-réel sur la qualité de l'air et la couche d'ozone, à la fois au niveau mondial et européen. L'IASB s'est associé à différents consortiums internationaux où il contribue au Service CAMS par la validation de produits et le développement de modèles.



Modélisation du changement climatique passé et futur dans la stratosphère

Le changement climatique affecte l'ensemble de l'atmosphère, de la surface à la thermosphère. L'évolution des températures et des vents dans la stratosphère affectera le taux de récupération de la couche d'ozone. Des modèles climatiques sont développés dans le monde entier pour améliorer notre compréhension du changement climatique passé et projeter l'état futur de l'atmosphère selon différents scénarios. La validation de ces modèles nécessite des comparaisons minutieuses avec des données de référence de qualité. Afin de traiter pleinement de ces sujets, l'Institut a récemment installé et entamé des recherches avec le Whole Atmosphere Community Climate Model (WACCM).



La composition
stratosphérique
depuis 2004

24 L'IASB développe un système d'assimilation de données dédié à la composition stratosphérique. Il combine des observations locales avec la vue globale d'un modèle pour fournir des analyses globales de la stratosphère. Nous avons appliqué cette technique pour la première fois à un instrument qui mesure de manière continue l'ozone et les espèces apparentées depuis 14 ans. L'Organisation météorologique mondiale (OMM), en particulier, se servira de cette nouvelle analyse pour produire le Bulletin de l'ozone, qui décrit l'état chimique de la stratosphère antarctique pendant la saison du trou d'ozone.

RAYONNEMENT SOLAIRE



Améliorer
nos connaissances
sur le Soleil
tout en étalonnant
nos instruments

Mesurer le spectre solaire au-dessus de l'atmosphère est l'approche la plus évidente pour des scientifiques souhaitant déterminer le niveau d'éclairement solaire avant toute extinction liée à l'atmosphère terrestre. Nous pouvons néanmoins, avec des instruments au sol et à partir de sites renommés d'observations à haute altitude, approcher la qualité de mesures spatiales, l'avantage étant de pouvoir mieux surveiller les performances des instruments. L'évaluation des performances radiométriques des instruments spatiaux et basés au sol est réalisée dans les laboratoires de radiométrie de l'IASB.



Soleil, nous voici!

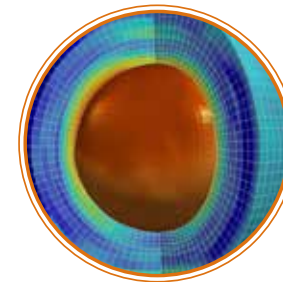
L'être humain sait ce dont il est redevable au Soleil! La vie sur Terre, berceau de l'Humanité! Lors des siècles précédents les efforts ont porté sur la compréhension de la physique et de la chimie associées à ce lien privilégié entre le Soleil et la Terre. De nos jours, grâce à l'essor des sciences et des technologies spatiales, des instruments ont été conçus pour mesurer la distribution spectrale de la lumière solaire. L'IASB a contribué à cette quête avec l'instrument SOLAR / SOLSPEC à bord de l'ISS. En collaboration avec le laboratoire français LATMOS, un nouveau spectre solaire de référence à haute précision appelé SOLAR-ISS a été publié. Un élément clé pour la modélisation en physique solaire et en sciences de l'atmosphère!

AÉRONOMIE PLANÉTAIRE



L'instrument NOMAD sur ExoMars Trace Gas Orbiter a commencé sa phase scientifique: premiers résultats

Après une longue phase d'aérofreinage, suivie d'une série d'essais techniques, NOMAD - un instrument de la mission ExoMars Trace Gas Orbiter, conçu et fabriqué par l'IASB - a débuté ses observations scientifiques au début d'avril 2018. Des observations de H_2O , HDO , CO , CO_2 et O_3 sont maintenant effectuées de manière routinière en géométrie nadir (vers le sol) et en occultation solaire (vers l'horizon). Par chance, le début de ces mesures a coïncidé avec le début d'une tempête de poussière globale sur Mars : un événement assez rare et encore mal compris. NOMAD nous aidera à comprendre ce qui se passe dans l'atmosphère martienne lors de tels événements.



Simulation du temps, du climat et de la chimie atmosphérique sur Mars

L'IASB a développé un modèle météorologique et climatique, similaire aux modèles de prévision météorologique sur Terre, afin de simuler la chimie atmosphérique sur Mars. La destruction par le Soleil des molécules de dioxyde de carbone (CO_2) et de vapeur d'eau (H_2O), plus abondantes dans l'atmosphère martienne, entraîne la formation d'espèces mineures telles que l'oxygène (O_2), le monoxyde de carbone (CO), l'ozone (O_3) et le peroxyde d'hydrogène (H_2O_2). Le modèle de l'IASB, nommé GEM-Mars, est capable de simuler les concentrations et les variations de ces molécules avec une bonne précision et sera par conséquent un outil précieux pour l'analyse des données de l'instrument NOMAD à bord du satellite ExoMars.

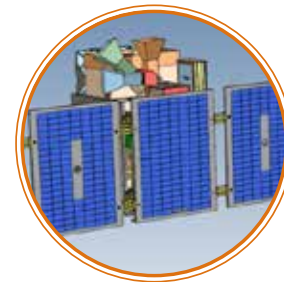


DÉVELOPPEMENT DE MISSIONS SPATIALES



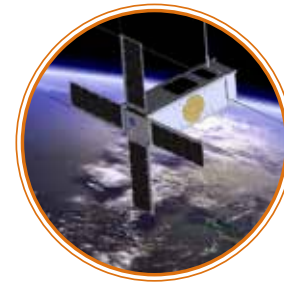
MAJIS: pour l'exploration des lunes glacées de Jupiter

Pendant longtemps, les scientifiques ont étudié de manière approfondie la relation existant entre le rayonnement solaire et la biosphère terrestre. Avec l'essor de l'astronomie, des planètes et des lunes éparses furent progressivement découvertes, suscitant l'insatiable curiosité des scientifiques. Enfin, après le fameux saut vers la Lune, l'heure est venue pour un bond «magique» vers Jupiter et trois de ses lunes glacées! MAJIS est un projet spatial associant l'IASB, l'Observatoire royal de Belgique et l'Institut d'Astrophysique Spatiale de France. L'IASB développe l'unité d'étalonnage pour la caractérisation du détecteur du canal VIS et NIR de cet instrument qui volera à bord de la mission JUICE.



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

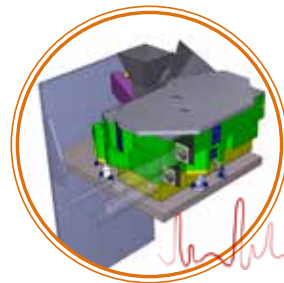
L'appauvrissement de l'ozone stratosphérique et les changements climatiques dus aux gaz à effet de serre représentent deux défis majeurs pour notre existence actuelle et future sur Terre et la nécessité de surveiller l'évolution de ces gaz est largement partagée. ALTIUS est une mission spatiale de l'IASB proposée pour remédier au manque d'instruments capables de mesurer globalement, dans un futur proche, les profils de concentration d'un certain nombre de composants atmosphériques. Le projet bénéficie de multiples connexions avec des universités belges et d'autres groupes de recherche internationaux. Le lancement est prévu pour 2022.



PICASSO: un PICO-satellite for Atmospheric and Space Science Observations

PICASSO est une mission de démonstration CubeSat de l'ESA initiée par l'IASB. Avec ce satellite miniature, l'ambition est de mesurer la distribution de l'ozone dans la stratosphère, le profil de température jusqu'à la mésosphère, ainsi que la densité et la température électronique dans l'ionosphère. Pendant deux ans, ce satellite effectuera des mesures à partir d'une orbite polaire située à environ 500 km d'altitude. Sa charge utile comprend un spectromètre imageur miniaturisé (VISION) et une sonde de Langmuir à balayage (SLP) à 4 aiguilles. L'intégration et les tests finaux du CubeSat devraient avoir lieu en 2019, avant la livraison pour un lancement de VEGA.

SERVICES DE SUPPORT



La radio-fréquence
cardiaque d'ALTIUS

INGÉNIERIE

En 2022, ALTIUS devrait tourner autour de la Terre, afin d'observer en permanence l'horizon éclairé du limbe atmosphérique du monde, et de surveiller de près la couche d'ozone dans notre atmosphère. Bien caché au cœur du spectromètre ALTIUS se trouve un composant électronique qui crée véritablement le battement de cœur de cet instrument unique. Battant à un rythme des millions de fois plus rapide que notre propre cœur, utilisant des signaux de radiofréquence, il permet aux yeux mêmes d'ALTIUS (les filtres accordables acousto-optiques) de capter la lumière en tout point du domaine spectral.



Mesurer la qualité de l'air
en faisant un tour en vélo

INGÉNIERIE

Surveiller la composition de la troposphère, la couche de l'atmosphère dans laquelle nous vivons, est devenu un sujet clé de l'observation de la Terre depuis l'espace. Les scientifiques de l'IASB sont très impliqués dans le traitement des données de TROPOMI, seul instrument à bord du satellite Sentinel-5P, dernière initiative de l'ESA dans ce domaine. Mais les mesures en orbite ne peuvent être interprétées de manière fiable que si elles sont validées par des mesures au sol. Des réseaux de validation basés sur des instruments de Spectroscopie d'Absorption Optique Différentielle (DOAS) sont mis en place à cet effet dans le monde entier. Alors, pourquoi ne pas attacher un instrument DOAS à l'arrière de votre vélo et «renifler» l'air en roulant?



Des données aux
connaissances: les
services informatiques
pour la recherche

IT

Outre l'offre informatique standard, le service informatique de l'Aéronomie fournit un soutien particulier aux activités de recherche de l'Institut. Les membres de l'équipe offrent des services de consultance internes dans les domaines de la gestion et du stockage des données, du calcul scientifique de haute performance et du développement de sites Web et de services Web. Ces compétences spécifiques sont utilisées pour fournir un environnement de travail adapté qui libère les chercheurs de ces tâches et facilitent les activités de recherche, de collaboration et de diffusion.



Plusieurs milliers de visiteurs à la découverte de l'aéronomie

32

COMMUNICATION

Pendant le week-end des 29 et 30 octobre 2018, le plateau d'Uccle a ouvert ses portes au grand public. À cette occasion, les trois instituts scientifiques se sont coordonnés pour offrir une visite ludique et didactique pour petits et grands. La présentation de l'IASB était articulée autour de ses principaux thèmes de recherche : la qualité de l'air, le climat, l'ozone, l'aéronomie planétaire, l'ingénierie, le rayonnement solaire et la physique spatiale, sans oublier la présentation des services de supports et du B.USOC. Le week-end a débuté avec une avant-première exclusive pour les écoles et une visite réservée aux partenaires, aux politiciens et à la presse.



Education et sensibilisation du public

COMMUNICATION

L'IASB tient à participer à l'éducation scientifique des jeunes dans le domaine fascinant de l'aéronomie. Des scientifiques de l'IASB donnent des conférences sur la chimie de l'atmosphère, la météorologie spatiale ou les techniques de traitement de données dans pas moins de 6 universités belges (KULeuven, UGent, VUB, ULB, ULiège et UCLouvain). Au cours des 2 dernières années, ils ont supervisé 8 doctorats. Par le biais d'une large gamme d'activités de sensibilisation du public (expositions, conférences, activités STEM, ...), l'IASB s'efforce également d'apporter ses connaissances et son expertise au grand public



Numérisation du patrimoine scientifique historique

DOCUMENTATION

Le centre de documentation numérise les publications de l'Institut et les rend accessibles au public via ORFEO, le Federal Open Access Repository (<http://orfeo.kbr.be>). Les *Aeronomica Acta*, un périodique publié auparavant par l'Institut, ont été entièrement numérisés. Cette collection unique comprend plus de 400 publications représentant des recherches scientifiques novatrices. ORFEO détient actuellement toutes les publications de l'IASB, préservant et assurant un accès continu à plus de 3100 publications depuis 1959. En participant à DIGIT-04, l'IASB étendra le projet actuel aux photographies, aux négatifs et aux films.



Répertoires de documents et Challenge Open Science

DOCUMENTATION

La tendance « Open Science » modifie rapidement la gestion des données de recherche et de la diffusion scientifique. Le projet pilote H2020 Open Research Data Pilot, le plan d'action sur les données FAIR et l'European Open Science Cloud (EOSC) ne sont que quelques-unes des initiatives récentes qui soulignent la nécessité de répondre aux exigences en constante évolution des répertoires institutionnels. Le centre de documentation de l'IASB s'engage à respecter les normes établies par les décideurs et les organismes de financement, et adapte son répertoire institutionnel de données de recherche (<http://repository.aeronomie.be>) et son dépôt de publications (<https://orfeo.kbr.be>).

33

BELGIAN USER SUPPORT AND OPERATIONS CENTRE



Neuf années
à la poursuite du Soleil
depuis l'ISS

Le 15 février 2017, le B.USOC a éteint la plateforme externe SOLAR installée sur la Station Spatiale Internationale après neuf fructueuses années d'opérations (la plus longue expérience du module Columbus jusqu'à présent). Les opérations de SOLAR ont accumulé 12 000 poursuites du Soleil durant 106 fenêtres de visibilité, nécessitant 35 120 heures d'activités en console et 30 150 heures de préparation. Afin de permettre l'observation par SOLAR d'une rotation complète du Soleil (environ 27 jours), la NASA, a effectué à quatre reprises une modification de l'orientation de l'ISS, à la demande du B.USOC. La plateforme SOLAR a hébergé trois instruments (SOLSPEC, SOL-ACES et SOVIM) dédiés à l'étude de l'irradiance solaire spectrale.



À la chasse aux elfes,
farfadets, jets bleus et
flashs de rayons gamma
depuis l'ISS

Le 13 avril 2018, les opérateurs du B.USOC ont reçu les premières télémétries de la plateforme ASIM (Moniteur des Interactions Atmosphère-Espace) après la réussite de son installation à l'extérieur du module européen Columbus de la Station Spatiale Internationale. Grâce à ses deux instruments - MMIA qui prend des images dans les spectres infrarouge et ultraviolet, et MXGS détectant les sources de rayons X et gamma - ASIM permettra de mieux comprendre les phénomènes lumineux qui se produisent au-dessus des orages violents (elfes, farfadets, jets bleus et flashs de rayons gamma terrestres générés par la foudre). Depuis lors, le B.USOC assure en continu les opérations d'ASIM et le transfert des données aux scientifiques.



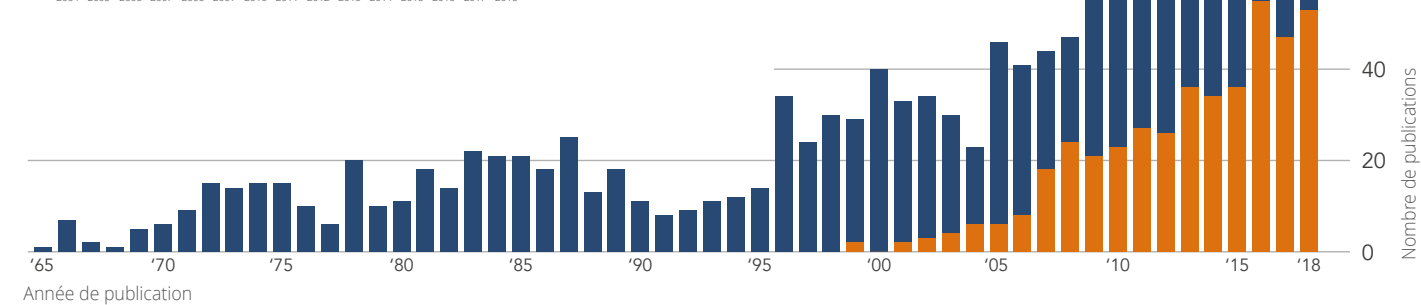
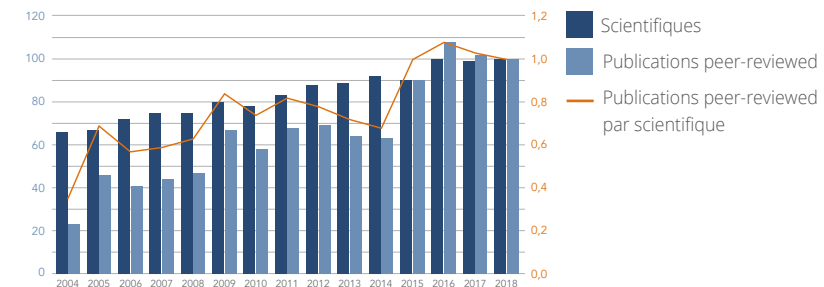
Étude de la dynamique
de matériaux granulaires
en microgravité

Le 19 juillet 2018, l'astronaute Alexander Gerst a installé le conteneur de l'expérience «Soft Matter Dynamics» dans le module laboratoire dédié à la science des fluides à bord de la Station Spatiale Internationale. Le conteneur a été chargé de quatre échantillons de l'expérience Compacted Granular (CompGran) visant à étudier la dynamique de la matière granulaire en microgravité. Les opérateurs du B.USOC aux commandes de l'expérience ont réalisé environ 800 essais en 2018 au cours desquels différentes variétés de micro-billes sphériques ont été secouées et l'évolution de leur mouvement a été observée par une technique dite de diffusion dynamique de la lumière. Les résultats doivent permettre de mieux comprendre la dynamique des matériaux granulaires.

Nuage de mots créée à partir des titres des publications de l'IASB en 2017 et 2018. La taille des mots correspond au nombre de répétitions dans les titres.



Évolution de publications peer-reviewed et publications en Libre Accès

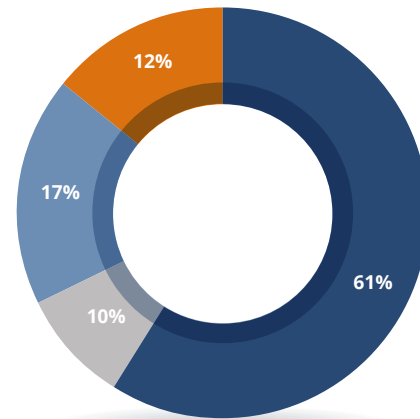


L'HUMAIN ET LES CHIFFRES



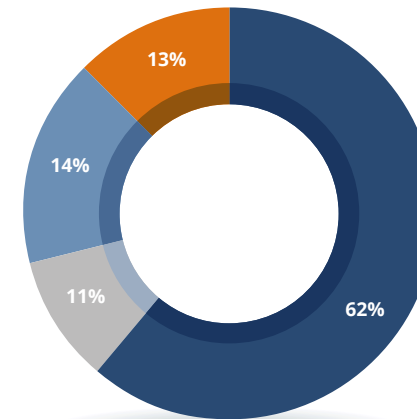
Les chapitres précédents de ce rapport d'activités illustrent la grande variété des résultats obtenus par les scientifiques de l'IASB. Leurs activités reposent largement sur des services de support tels que l'ingénierie, l'informatique, la communication, l'administration et l'infrastructure. Ce personnel non scientifique représentait près de 40% des 161 personnes travaillant à l'Institut à la fin de 2018. Dans les chapitres suivants, nous donnons un peu plus de détails sur les profils des personnes travaillant à l'IASB.

EFFECTIF 2016
100% = 163

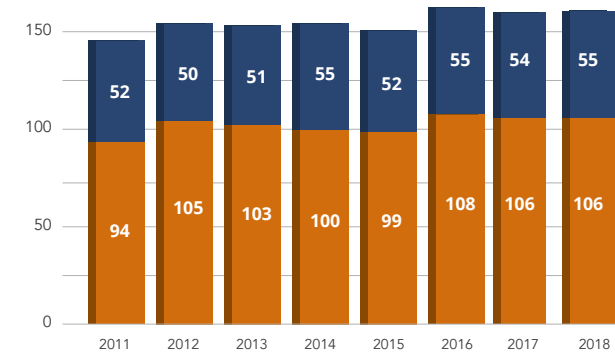


■ Science
■ Administration
■ Ingénierie/Technique
■ IT

EFFECTIF 2018
100% = 161



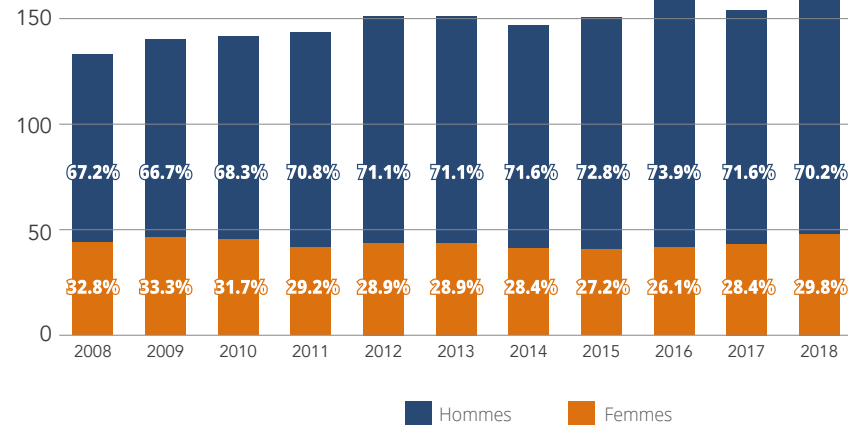
EVOLUTION DES EFFECTIFS
Comparaison par statut



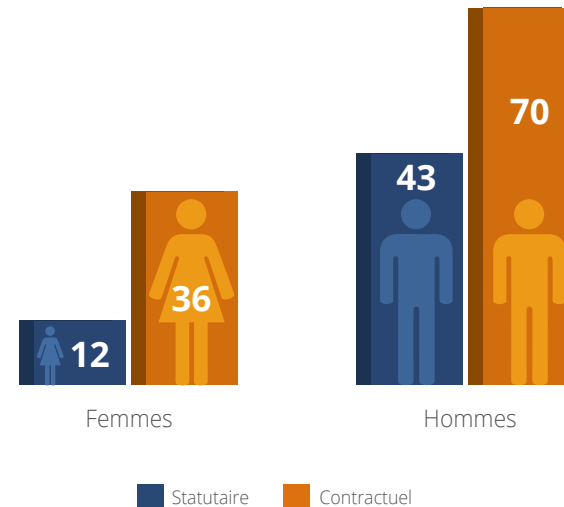
■ Contractuel ■ Statutaire

RÉPARTITION DU PERSONNEL SELON LE GENRE

Récemment, le genre a fait l'objet de débats importants dans tous les domaines de la société. Les environnements scientifiques n'échappent pas à la règle et sont souvent qualifiés de « monde d'hommes ». Le ratio total hommes-femmes à l'IASB en 2018 était de 70% d'hommes et de 30% de femmes, et n'a pratiquement pas changé au cours de la dernière décennie. Ce ratio est dû au fait que 90% du personnel fait partie des disciplines STEM (sciences, technologie, ingénierie et mathématiques), où l'on retrouve la même répartition. L'IASB atteint le ratio recommandé d'au moins un tiers de femmes.

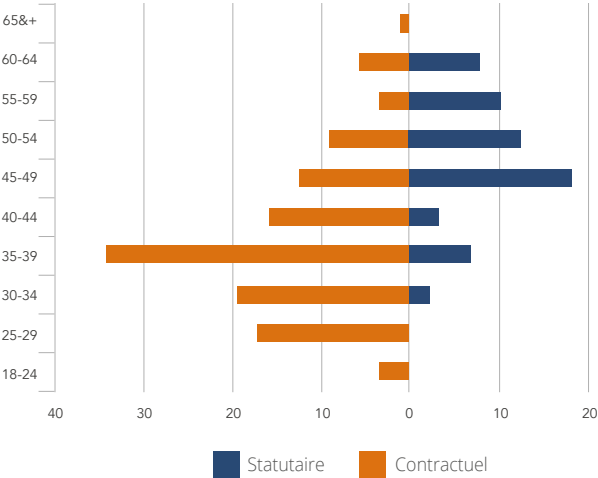


GENRE ET STATUT - 2018

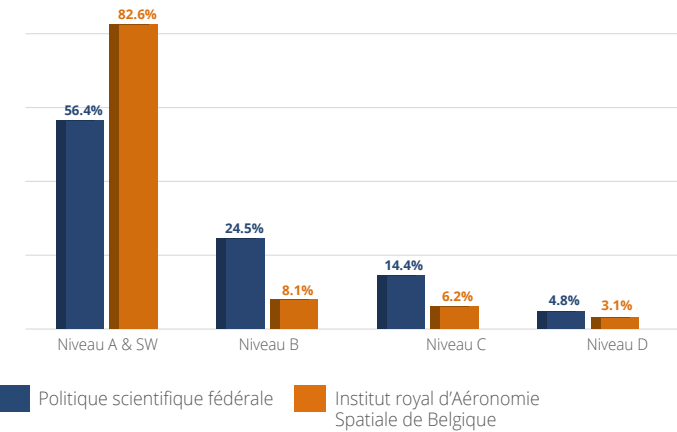


Seul 25% des femmes employées à l'Institut sont statutaires, contre 38% des hommes. Cependant, la plupart des femmes statutaires sont chefs d'équipe, et forment 25% des chefs d'équipe de l'IASB. Les femmes statutaires ont donc au moins autant de chances que les hommes statutaires d'accéder à une position dirigeante.

PYRAMIDE DES ÂGES ET STATUTS - 2018



RÉPARTITION PAR NIVEAU - 2018



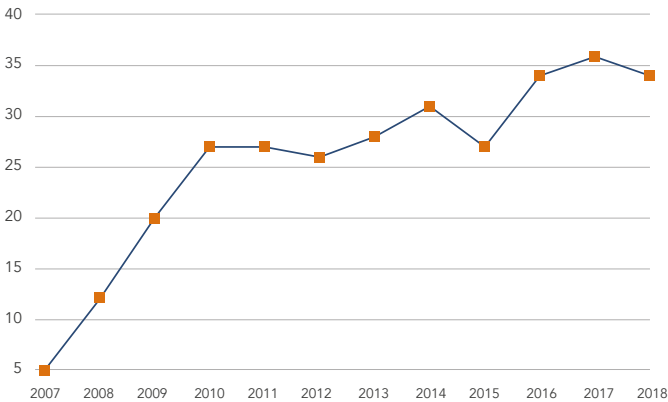
L'IASB a un pourcentage plus élevé de personnel ayant un master (niveau A) ou un master en sciences (niveau SW) par rapport à l'ensemble du personnel de la Politique scientifique fédérale. Cela s'explique à la fois par les activités de recherche de l'Institut et par le fait que d'autres institutions scientifiques jouent également un rôle public important (par exemple, des expositions dans les musées ou la mise à disposition de documents publics).

DIVERSITÉ Nationalité du personnel 2018



- | | | | |
|-----------|--------------------|----------|-------------|
| Belgique | France | Pays-Bas | Italie |
| Grèce | Espagne | Portugal | Royaume-Uni |
| Allemagne | République tchèque | Roumanie | Ukraine |
| Croatie | Chypre | Suède | Danemark |
| Japon | Chine | Mexique | États-Unis |

Évolution des non belges à l'IASB



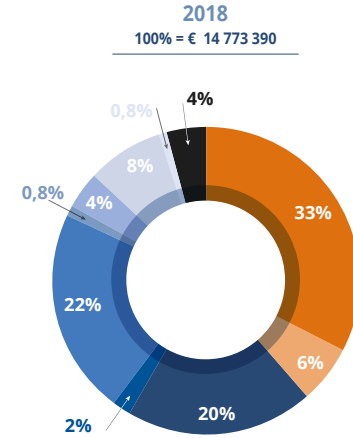
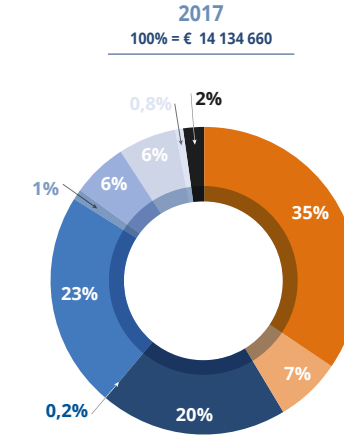
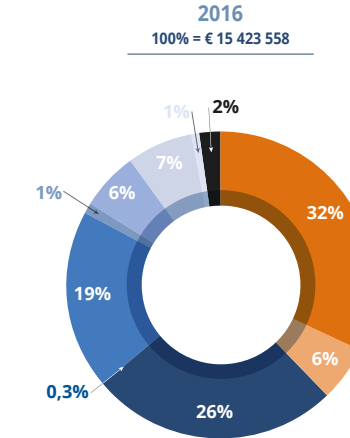
Fin 2018, 34 non belges au total (21% du personnel) travaillaient à l'Institut. Nous comptons 20 nationalités différentes (y compris la Belgique) provenant de 3 continents.

COMPTABILITÉ



Le service de comptabilité gère les finances de l'Institut, sous la supervision de la commission de gestion de l'Institut, de la Politique scientifique fédérale et de la Cour des comptes. Par rapport aux autres instituts scientifiques fédéraux, une partie importante du budget de l'IASB (56%) provient de financements de projets concurrentiels d'organisations externes telles que l'ESA, EUMETSAT, la Commission européenne et (dans une moindre mesure) des fonds de recherche nationaux. L'ESA et PRODEX (ESA), avec une contribution de plus de 50% du financement de projets extérieurs, ainsi que le programme européen Copernicus sont des sources de revenus importantes pour l'Institut.

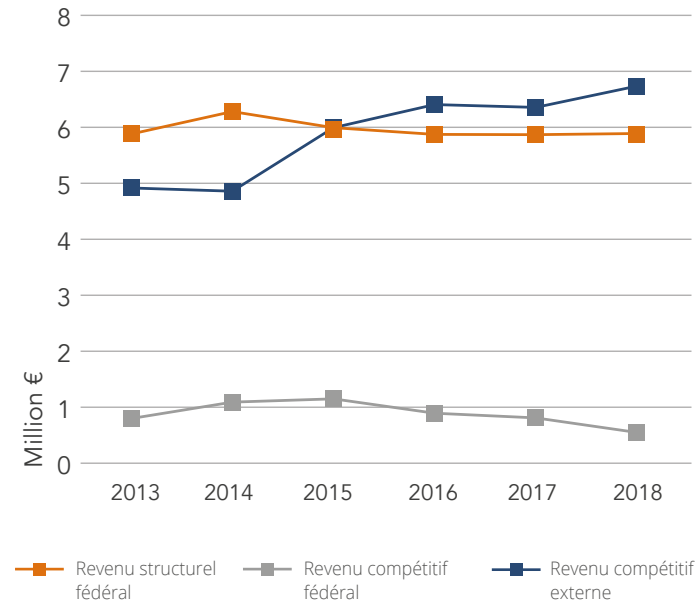
RECETTES PAR SOURCE



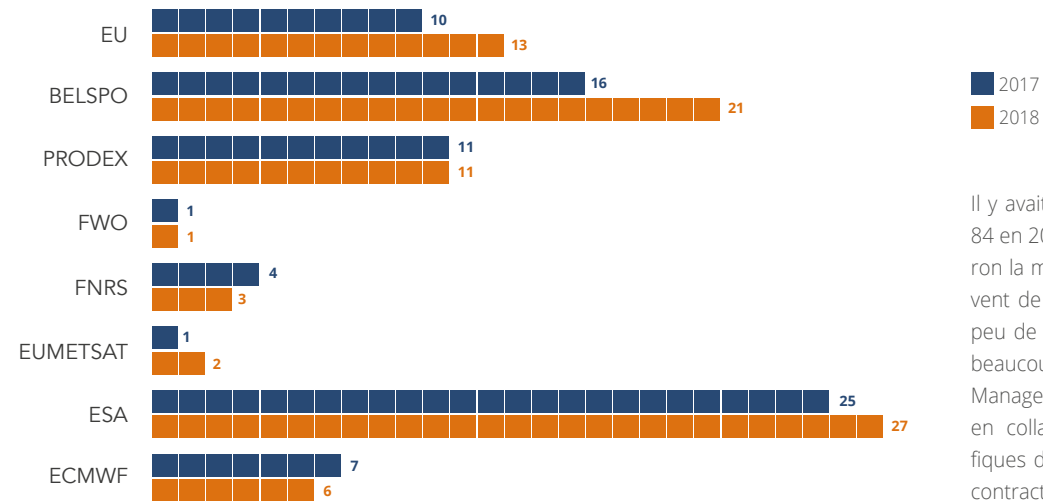
L'enveloppe du personnel est incluse dans la dotation.

EVOLUTION DES DIFFÉRENTES SORTES DE REVENUS

La Politique scientifique belge apporte un soutien structurel à l'IASB par le biais de subventions, du Solar-Terrestrial Centre of Excellence (STCE) et de l'enveloppe du personnel. Compte tenu de la variation de l'index, notre revenu structurel effectif a diminué de 16% entre 2012 et 2018, ce qui correspond à environ -2,7% par an. Le revenu fédéral, non structurel et compétitif (par exemple, BRAIN, FED-tWIN, ...) est en baisse constante depuis 2015, car il y a de moins en moins d'opportunités. Cependant, nous constatons une forte augmentation des revenus compétitifs externes (ne venant pas du gouvernement fédéral). Cela indique un engagement actif au sein de l'Institut pour compenser la baisse des revenus fédéraux en recherchant un financement externe à concurrence intense.



PROJETS EN COURS PAR SOURCE DE FINANCEMENT

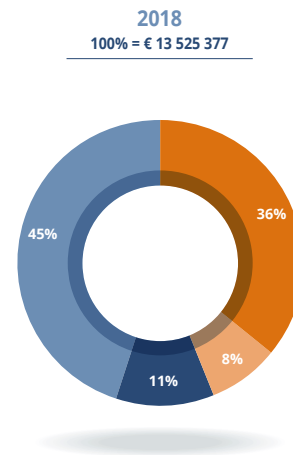
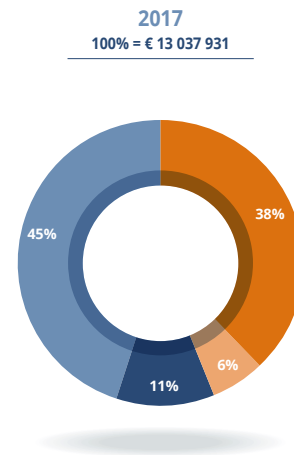
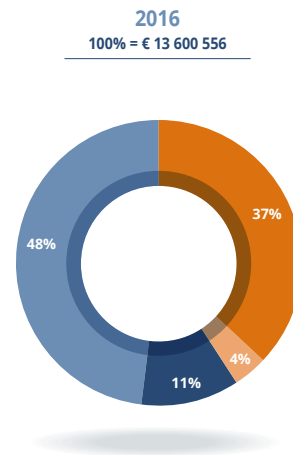


Il y avait au total 75 projets en cours en 2017 et 84 en 2018. L'IASB était le coordinateur pour environ la moitié d'entre eux. Il s'agit, cependant, souvent de projets de courtes durées qui apportent peu de fonds. Par contre ces projets demandent beaucoup de travail de la part du service Contract Management, une équipe de deux personnes qui, en collaboration avec les responsables scientifiques des projets, assurent la gestion financière, contractuelle et administrative de tous les projets.

DÉPENSES PAR SECTION

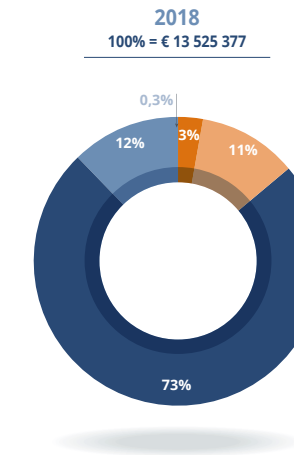
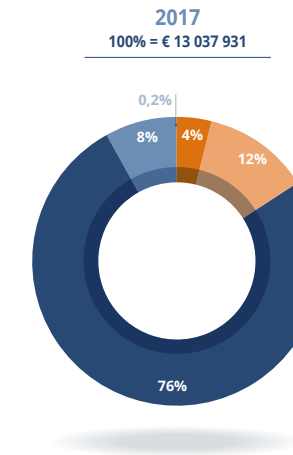
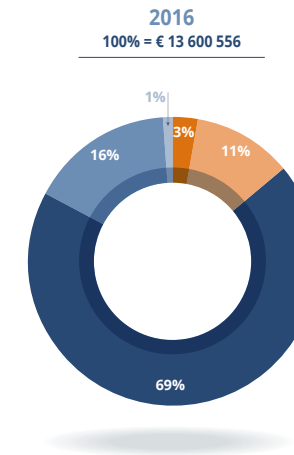
48

- Dotation (enveloppe du personnel incluse)
- Recettes commerciales et "overheads"
- Dotation pour le STCE, subventions des pouvoirs fédéraux (par exemple BELSPO, la Loterie Nationale, le FNRS, le FWO, ...) et Communautés
- Autres sources (par exemple l'ESA, l'Union Européenne, le secteur privé)



DÉPENSES PAR CATÉGORIE

- Équipement
- Fonctionnement
- Personnel
- Transfert aux partenaires
- Transfert au Pôle Espace



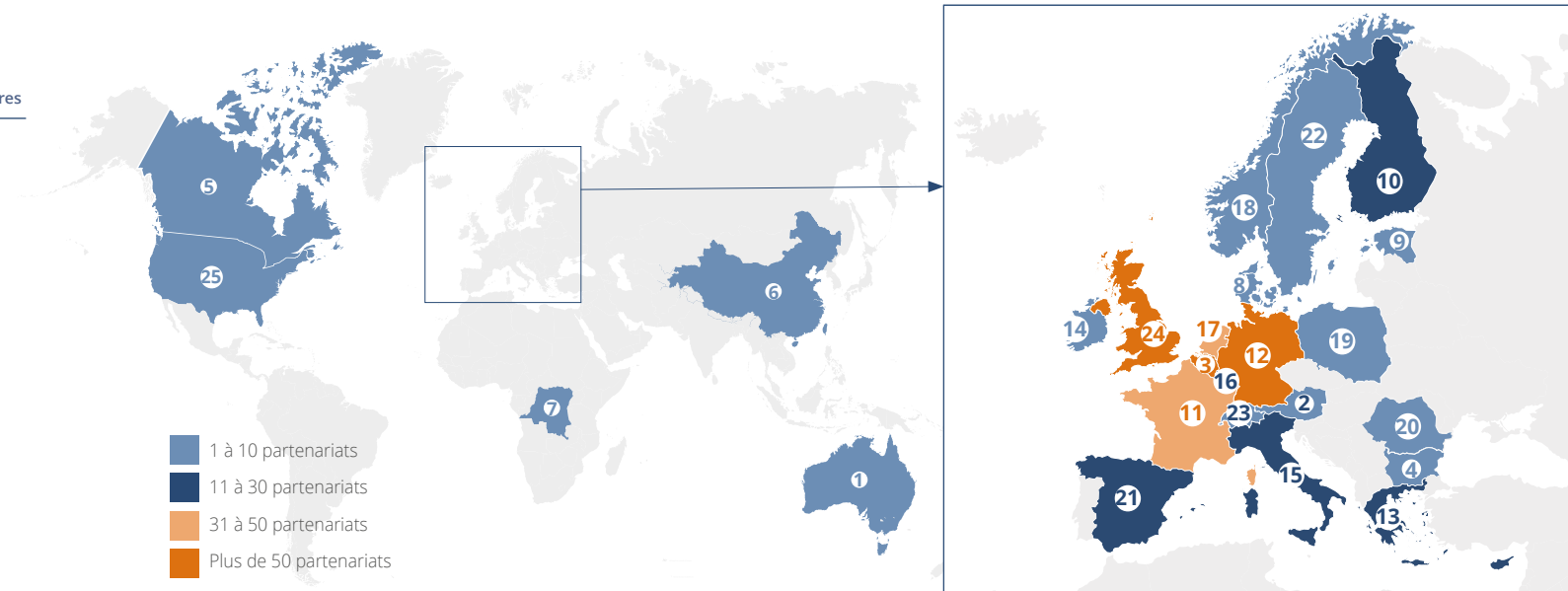
49

NOMBRE DE PARTENARIATS ET PARTENAIRES PAR PAYS EN 2017-2018

La liste suivante présente les partenaires, représentant les différentes institutions (de recherche) de chaque pays avec lesquelles nous collaborons dans le cadre de projets. Les partenariats montrent le nombre de collaborations avec des partenaires de ces pays, pour tous les projets différents.

Pays	Partenariats	Partenaires
1. AUSTRALIE	1	1
2. AUTRICHE	9	8
3. BELGIQUE	91	25
4. BULGARIE	1	1
5. CANADA	5	2
6. CHINE	1	1
7. CONGO	1	1
8. DANEMARK	7	4
9. ESTONIE	1	1
10. FINLANDE	24	6
11. FRANCE	35	19
12. ALLEMAGNE	85	27
13. GRÈCE	18	10

Pays	Partenariats	Partenaires
14. IRLANDE	2	2
15. ITALIE	21	9
16. LUXEMBOURG	1	1
17. PAYS-BAS	36	9
18. NORVEGE	10	4
19. POLOGNE	2	1
20. ROUMANIE	4	3
21. ESPAGNE	13	9
22. SUÈDE	5	3
23. SUISSE	9	7
24. ROYAUME-UNI	60	30
25. ÉTATS-UNIS	1	1





MERCI

Nos sources de revenus:
Belspo, ESA, EU, EUMETSAT,
ECMWF, FWO&FNRS, PRODEX.

Et nos collègues
qui ont travaillé à l'IASB
en 2017-2018:

Amelynck Crist
Anciaux Michel
Aoki Shohei
Baker Noel
Bauwens Maite
Beeckman Bram
Berkenbosch Sophie
Bevernaegie Jessica
Bingen Christine
Bogaerts Brigitte
Bolsée David
Bonnewijn Sabrina
Borremans Kris
Botek Edith
Brenot Hugues
Brouckmans Kristien
Brun Nicolas
Bulcke Johan
Calders Stijn
Calegaro Antoine
Callewaert Sieglinde
Cambier Pascale
Camy-Peyret Claude
Cardoen Pepijn
Cessateur Gael
Chabanski Sophie

Chabrilat Simon
Christophe Yves
Cierkens Jana
Cisneros Miriam
Clairquin Roland
Compernelle Steven
Counerotte Frédéric
Crosby Norma
Da Pieve Fabiana
Daerden Frank
Danckaert Thomas
Darrouzet Fabien
Debusscher Jonas
De Donder Erwin
De Keyser Johan
De Mazière Martine
De Pauw Samuel
De Ridder Sven
De Rudder Anne
De Smedt Isabelle
De Wachter Evelyn
de Wergifosse Marc
Dekemper Emmanuel
Demoulin Philippe
Depiesse Cédric
Dhooghe Frederik

Dierckxsens Mark
Dils Bart
Dimitropoulou Ermioni
Echim Marius
Egerickx Tom
Equeter Eddy
Errera Quentin
Erwin Justin Tyler
Fayt Caroline
Fedullo Leonardo
Ferriere Olivier
Fonteyn Dominique
Fournau Thierry
Fratts Ghislain
Fratta Stéphanie
Friedrich Martina
Fussen Didier
Gaffé Dominique
Gamby Emmanuel
Gerard Pierre
Geunes Yves
Granville José
Gunell Herbert
Haumont Etienne
Hamdaoui Mohamed
Helderweirt Anuschka

Hemerijckx Geert
Hendrick François
Hermans Christian
Hetey Laszlo
Heymans Carine
Hizette Christiane
Hrsak Dalibor
Hubert Daan
Itebeke Philippe
Jacobs Lars
Kalb Nathalie
Keppens Arno
Koubi Ismail
Kruglanski Michel
Kumps Nicolas
Lambert Jean-Christopher
Lamort Lucie
Lamy Hervé
Langerock Bavo
Leclere Fabienne
Lefebvre Arnaud
Lefever Karolien
Lerot Christophe
Letocart Vincent
Liber Corentin
Lopez Rosson Graciela

Maes Jeroen
Maes Lukas
Maggiolo Romain
Mahieux Arnaud
Marcourt Loïck
Martinez Tarin Ana
Martins Pais Ana Cristina
Massano Santos Cristina
Mateshvili Nina
Merlaud Alexis
Messios Neophytos
Michel Alice
Middernacht Michael
Minganti Daniele
Minion Jean Louis
Moreau Didier
Mozaffar Ahsan
Muller Alexis
Muller Christian
Müller Jean-François
Nay Maité
Neary Lori
Neefs Eduard
Noel Christian
Ooms Tim
Pauwels Dirk

Pereira Dos Santos Nuno
Piccialli Arianna
Pieck Gerry
Pieroux Didier
Pierrard Viviane
Pinardi Gaia
Queirolo Claudio
Ranvier Sylvain
Rasoanaivo Hobimalala Andoniaina
Rasson Olivier
Ristic Bojan
Robert Séverine
Robert Charles
Santos Branca Claudia
Sathiyananthan Viththakhan
Sayyed Umar
Schoon Niels
Scolas Francis
Sha Kumar Mahesh
Sluse Dominique Gilles
Somerhausen André
Somers Tim
Soumaré Ablaye
Stavrou Trissevgeni
Tack Frederik
Tetard Cédric

Theys Nicolas
Thoemel Jan
Thomas Ian
Trompet Loic
Van den Wyngaert Guido
Van Gent Jeroen
Van Opstal Albert
Van Roozendaal Michel
Vandaele Ann Carine
Vandenbussche Sophie
Vanhamel Jurgen
Vanhellemont Philip
Verbracke Fabian
Verhoelst Tijl
Verreyken Bert
Vigouroux Corinne
Viscardy Sebastien
Vlietinck Jonas
Voytenko Yuriy
Willame Yannick
Wilquet Valérie
Yu Huan
Zhou Minqiang
Zychova Lenka

Les images de ce rapport annuel
ont été fournies par:



L'Agence spatiale européenne (ESA)

La National Aeronautics and Space Administration (NASA)

L'Institut royal d'Aéronomie Spatiale de Belgique (IASB)

Getty Images

Reuters

Cette brochure montre en un coup d'œil dans quels projets fascinants l'IASB a été impliqué en 2017-2018. Nous vous invitons à explorer ces sujets et à apprendre à mieux connaître l'Institut sur notre site:



www.aeronomie.be/rapportannuel

This annual report is also available in English.
Dit jaarverslag is eveneens beschikbaar in het Nederlands.

-  BIRA_IASB Aeronomy
-  @bira_iasb
-  @IASB.BIRA
-  @BIRA_IASB