



© NASA



# L'héritage scientifique de la mission ATLAS-1 réalisée voici 30 ans

David Bolsée et Christian Muller

Cette année 2022 sera marquée par la célébration des 30 ans de la mission spatiale 'Atmospheric Laboratory for Applications and Science' (ATLAS) 1, associée à un épisode historique : le vol du premier astronaute belge, le vicomte Dirk Frimout. Quatre instruments impliquant des scientifiques du plateau d'Uccle, notamment trois de l'Institut royal d'Aéronomie Spatiale de Belgique (IASB) et un de l'Institut Royal Météorologique (IRM), ont contribué aux résultats scientifiques de cette mission. Ce sont respectivement : 'SOLar SPECtrum' (SOLSPEC), le Spectromètre à Grille, 'Atmospheric hydrogen and deuterium through measurement of Lyman-Alpha Emission' (ALAE) et SOLar CONstant experiment (SOLCON-2). Il est intéressant d'évoquer ici le parallélisme et la cohérence entre l'évolution progressive d'instrumentations dédiées à l'étude du flux solaire et de l'atmosphère terrestre (jusqu'au développement de versions spatialisables), et

le parcours personnel et exceptionnel d'un scientifique, le vicomte Dirk Frimout, dont la carrière, d'abord intimement liée au développement de ces instruments, a culminé par une participation à un vol habité à bord de la navette spatiale (mission ATLAS-1, vol 'Space Transportation System' – STS 45).

De nombreuses collaborations entre institutions incluant l'IASB ont permis au cours des décennies, d'optimiser des instruments experts pour l'étude de l'éclairement solaire et de la photochimie atmosphérique (composition et dynamique) à des fins de recherches climatiques. Les moyens de mesures, d'abord embarqués à bord de ballons stratosphériques, ont abouti à la fin des années 1970 à des versions qualifiées pour des mesures effectuées depuis l'espace permettant de s'affranchir des contraintes atmosphériques. Les missions ATLAS correspondent à un jalon important dans cette quête de mesures scientifiques de qualité. Elles sont en connexion directe (et l'instrument SOLSPEC sera pris comme exemple) avec l'odyssée actuelle de la Station Spatiale Internationale (ISS) offrant une surveillance à long terme de paramètres clés pour la physique solaire et la climatologie.

Le vicomte Dirk Frimout pour sa part, fut un témoin passionné des premiers pas de l'ère spatiale. Devenu un scientifique expert (ingénieur et docteur en physique), il a débuté sa carrière scientifique à l'IASB. En tant que responsable du département Instrumentation, il fut actif comme scientifique au sol pour la gestion d'instruments lors d'une mission (SPACELAB) précédant la série de vols ATLAS, pendant ses années à l'IASB. Il fut ensuite sélectionné comme premier belge astronaute pour la mission ATLAS-1 qui eut lieu en mars 1992. Depuis lors, il a dû susciter en héritage bien des vocations auprès d'une jeunesse passionnée par les sciences spatiales.

>>



## Les missions ATLAS

### Objectifs scientifiques

L'éclairement solaire combiné à la composition de l'atmosphère solaire et à l'action de la magnétosphère, est à l'origine de conditions de vie possibles sur Terre, de par les températures adéquates et les transports d'eau et de chaleur. Les objectifs des missions ATLAS, face à l'évidence de changements atmosphériques, consistaient à fournir des premières réponses, pour identifier les causes anthropogéniques et naturelles responsables des variations atmosphériques et climatiques. Les mesures effectuées en orbite étaient amenées à accroître les connaissances sur le spectre solaire et ses variations, et sur l'atmosphère (paramètres physiques et composition chimique, ainsi que la dynamique d'ensemble). Une série de 10 missions ATLAS était programmée avec un lancement tous les 12-18 mois, afin d'échantillonner un cycle solaire dans son ensemble.

### La mission ATLAS-1

Le vicomte Dirk Frimout fut membre de l'équipage de la navette Atlantis, en mars 1992. Sur le plan logistique, ces missions ATLAS étaient en connexion avec le programme Apollo dont l'hé-

ritage conduisit à la mise en orbite du laboratoire Skylab dans les années 70 pour de premières missions scientifiques. Dès 1972, la NASA décida également de construire une navette spatiale réutilisable servant à amener des astronautes jusqu'à une station spatiale et pouvant aussi lancer des satellites et en assurer l'entretien. La toute jeune Agence Spatiale Européenne eut l'intention de participer au programme spatial habité de la NASA et cela initia une collaboration concrétisée en 1983 (vol STS-9) par le programme SPACELAB. Il s'agit d'une charge utile modulable composée d'un module pressurisé et d'une palette externe pour des missions d'une durée de l'ordre de la semaine.

Les quatre instruments du vol SPACELAB impliquant les scientifiques de l'IASB et de l'IRM furent également sélectionnés pour ATLAS-1. Leurs spécificités étaient les suivantes :

- SOLSPEC : mesure du spectre solaire ;
- Spectromètre à Grille : obtention des profils verticaux de la concentration d'une série de molécules en traces, jouant un rôle dans la destruction de la couche d'ozone stratosphérique ou dans le climat ;
- ALAE : mesure de la ceinture d'hydrogène atomique et de deutérium dans la haute atmosphère ;
- SOLCON : mesure de la constante solaire.

Il est intéressant de mettre l'accent sur l'instrument SOLSPEC (Figure 1), parce qu'il participa à une série de missions spatiales réparties sur 34 ans. SOLSPEC est le fruit d'une longue collaboration entre l'IASB et le Service d'Aéronomie du Centre National de la Recherche Scientifique (CNRS SA, France), actuellement nommé Laboratoire Atmosphères, Milieux, Observations Spatiales (LATMOS). SOLSPEC était composé de trois spectromètres éta-

## Les avantages et contraintes de mesures scientifiques effectuées en orbite

Il est important d'évoquer des éléments caractéristiques d'une mission spatiale axée essentiellement sur la physique solaire et la photochimie atmosphérique. Pour s'affranchir de l'extinction de la lumière par l'atmosphère (qui n'est transparente globalement que dans le domaine visible), il est nécessaire de réaliser les mesures depuis l'espace. Des mesures spectrales obtenues en pointant directement le Soleil donnent accès à des paramètres de première importance pour la physique solaire. Celles réalisées au limbe permettent de déduire des profils verticaux de température et de concentration de molécules de gaz en traces. Cependant, les instruments sont soumis en orbite à un environnement hostile dû au vide, aux gradients de température et aux rayons cosmiques. Ils doivent être robustes et être bien étalonnés et caractérisés radiométriquement pour garantir le succès de la mission. C'est un élément essentiel pour la métrologie (la science de la mesure). Les signaux collectés par l'instrument peuvent alors être convertis en données scientifiques de qualité pour la mesure de flux lumineux. Ces étalonnages sont réalisés au sol avant la mission. Outre certains moyens de test pour vérifier la stabilité des réponses instrumentales en orbite, l'avantage exceptionnel offert par les navettes spatiales était de pouvoir récupérer les charges utiles et de procéder à une vérification des étalonnages après la mission.

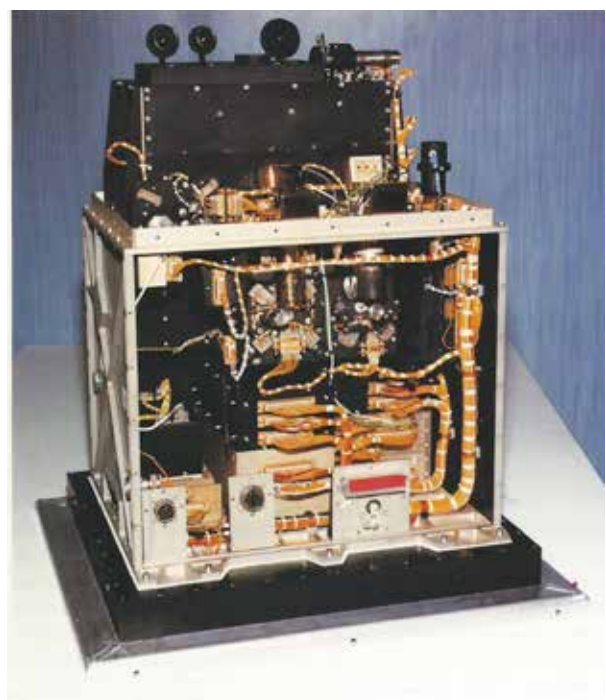


Figure 1 : L'instrument SOLSPEC de première génération, pour les missions SPACELAB, ATLAS et EURECA.

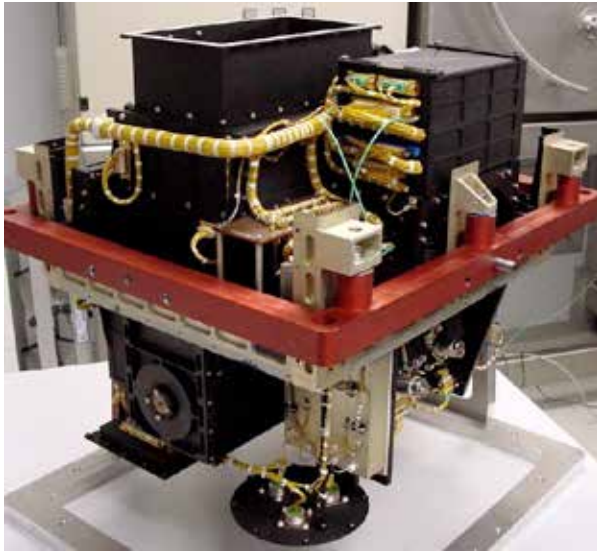


Figure 2 : L'instrument SOLSPEC de seconde génération, pour la mission SOLAR sur l'ISS.

lonnés, spécifiques aux plages spectrales ultraviolette, visible et proche infrarouge (UV, VIS, NIR). Il enregistrait jusqu'à 96 % du spectre solaire complet (déterminant, après intégration en longueur d'onde, la 'constante solaire').

Il avait comme vocation principale la mesure à partir de l'espace de l'éclairement spectral solaire et de sa variabilité dans l'ultraviolet (pouvant atteindre jusqu'à 10 % à 200 nm) au cours d'un cycle d'activité solaire de 11 ans. L'éclairement ultraviolet solaire induit des réactions photochimiques dans la moyenne et la haute atmosphère. La mesure précise de la distribution spectrale de l'éclairement solaire et de ses variations permet d'identifier et de quantifier les corrélations entre ces variations et les changements dans la photochimie atmosphérique, entre autres, pour la validation de modèles de transfert radiatif. Notons que les mesures solaires dans le proche infrarouge (NIR) sont également primordiales pour l'étude du bilan radiatif terrestre et des changements climatiques. Elles ne sont possibles que depuis l'espace pour s'affranchir de l'absorption atmosphérique. Les mesures réalisées par le spectroradiomètre SOLSPEC de 1ère génération ont conduit à la publication de spectres solaires de référence, abondamment utilisés dans le cadre de travaux de physique solaire et climatologiques. Elles sont issues des missions ATLAS-1, mais aussi ATLAS-2, ATLAS-3 et EURECA (European Retrieval Carrier).

## L'héritage des missions ATLAS

### La mission SOLAR/SOLSPEC sur la Station Spatiale Internationale

L'héritage marquant des missions de courtes durées utilisant la soute de la navette spatiale pour le déploiement d'instruments, est représenté par l'ISS. Cette station, assemblée à partir de 1997 a offert une disponibilité ininterrompue de mesures sur le long terme. L'instrument SOLSPEC fut sélectionné dès 1997 lors de premiers appels d'offre, pour une mission de surveillance de



Figure 3 : La charge utile SOLAR arrimée au module COLUMBUS de l'ISS.

l'éclairement solaire UV-VIS-NIR qui s'étendra finalement sur 9 ans (entre 2008 et 2017). Cette dernière mission bénéficia d'ailleurs de la présence du second astronaute belge, le vicomte Frank De Winne, premier commandant européen de l'ISS en 2009. Une version plus performante de SOLSPEC (Figure 2) avait donc été développée pour cette mission, et intégrée dans la charge utile SOLAR. Celle-ci, équipée d'un pointeur solaire, et arrimée au module COLUMBUS de l'ISS (Figure 3), a conjugué, outre SOLSPEC, un instrument (SOVIM, pour Solar Variability and Irradiance Monitor) impliquant l'IRM et SoLACES, (SOlar Auto-Calibrating EUV/UV Spectrophotometers) du Fraunhofer-Institut für Physikalische Messtechnik (IPM, Allemagne).

Outre la géométrie nouvelle de l'instrument de seconde génération, mécaniquement développé autour d'une plaque centrale, il fut nécessaire de remettre à niveau l'électronique et d'accroître les performances radiométriques (couverture spectrale, précision des mesures, étalonnage absolu) pour répondre aux exigences d'une mission de plusieurs années. Ensuite, un travail minutieux a été réalisé aux laboratoires d'optique de l'IASB avant la mise sur orbite, pour la caractérisation radiométrique de l'instrument et son étalonnage (en partie réalisé en Allemagne).

Cette traçabilité pour l'ensemble des paramètres de l'instrument est l'une des clefs qui a permis d'établir un nouveau spectre solaire (Figure 4) de référence (SOLAR-ISS 2) et de mesurer la variabilité spectrale de l'éclairement solaire. Il est le fruit d'un traitement de données réalisé conjointement par l'IASB et le LATMOS (France). Ce spectre est étendu dans le domaine de longueurs d'onde UV, VIS et NIR et couvre la plage de 165 nm à 3000 nm. Son exactitude est d'environ 1 %. Ce spectre est essentiel pour la modélisation du climat de la Terre et de la chimie de l'atmosphère. L'influence de la variabilité UV solaire sur l'atmosphère et le climat est associée à des mécanismes complexes couplant la basse et la moyenne atmosphère (modulation de la concen-

>>

tration de l'ozone, changement de profils de température et de dynamique), de mieux en mieux modélisés. Le spectre solaire de référence délivré par SOLAR/SOLSPEC contribue au progrès de ces recherches.

D'un point de vue purement scientifique, l'acquisition méthodique de données spatiales pendant plus de 30 ans a pu prouver que le cycle solaire, observé depuis 200 ans par les tâches solaires, avait une signification énergétique réelle et donc une influence sur le climat terrestre.

## Perspectives d'avenir

La collaboration de plus de 40 ans entre le LATMOS et l'IASB se poursuit autour d'un nouvel enjeu visant à développer à court terme et à miniaturiser les instruments dédiés aux mesures d'éclairement, ainsi qu'à mesurer plus précisément le bilan radiatif terrestre. En effet, le changement climatique est induit par la perte d'équilibre entre le flux reçu et émis par la Terre et ce biais, très ténu, doit être mesuré avec la plus haute résolution spatiale et temporelle possible. Le développement d'une constellation de nanosatellites dédiés à ces mesures radiométriques est une perspective d'avenir. Le lien avec le LATMOS s'articule actuellement autour de cette question.

Figure 4 : Le spectre solaire de référence SOLAR-ISS 2, mesuré par SOLAR/SOLSPEC. >

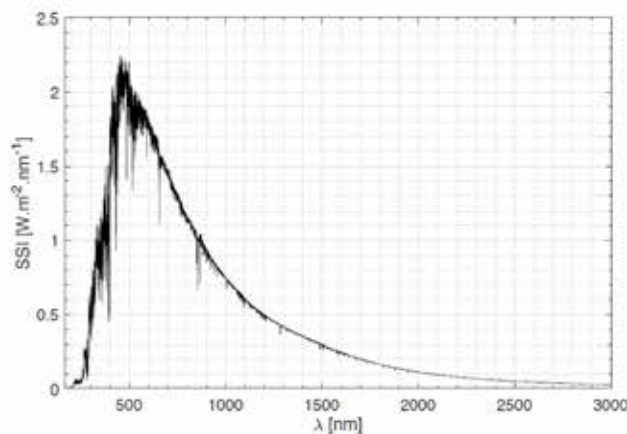
### Les auteurs

Docteur en sciences de l'ingénieur, David Bolsée est le responsable de la section D42 (éclairage solaire et radiométrie) de l'IASB.

Christian Muller est un scientifique retraité de l'IASB. Il a fait partie des équipes d'opérations de SPACELAB et d'ATLAS et a ensuite été responsable de la contribution belge à l'instrument SCIAMACHY sur le satellite de l'ESA ENVISAT. Il a rejoint le B.USOC en 2000.

### Remerciements

Le développement de l'instrument SOLSPEC et les opérations du centre B.USOC ont reçu le support de BELSPO et du PRODEX Office (ESA).



## Le centre de contrôle B.USOC

Une mission spatiale ne pourrait atteindre des objectifs scientifiques sans centre d'opérations au sol. Dès la mission SPACELAB, l'ESA créa une équipe

d'ingénieurs dédiés. C'est à cette occasion que le vicomte Dirk Frimout passa de l'IASB à l'ESA (Figure 5) et assura entre autres, la formation des astronautes. Pour les missions ATLAS, avec l'accord de la NASA, BELSPO organisa le SROC (Space Remote Operation Centre) dans les locaux de l'IRM.

Enfin, pour l'ensemble des missions sur l'ISS, l'ESA se dota du réseau USOC (Users Support and Operation Centres) avec en Belgique, le B.USOC dans les locaux de l'IASB. Le but poursuivi était de professionnaliser les opérations tout en gardant la flexibilité propre au spatial habité afin d'optimiser le retour scientifique. Le B.USOC opère 24 h sur 24, 7 jours sur 7 si nécessaire, par exemple, pour la gestion des expériences du vol ODISSEA du vicomte Frank De Winne en 2002. Le B.USOC a géré les



Figure 6 : Vue générale de la salle des opérations au B.USOC.

opérations de la charge utile SOLAR arrivée à COLUMBUS sur l'ISS, entre 2008 et 2017 (Figure 6), assurant le succès de cette mission.



Figure 5 : Equipe scientifique pour SOLSPEC lors de la mission SPACELAB. Au milieu, le vicomte Dirk Frimout est reconnaissable.