

Instruments atmosphériques sur ATLAS 1 et Eureka 1

C. Muller

Institut d'Aéronomie Spatiale de Belgique
3, Avenue Circulaire, 1180 Bruxelles.
Belgique

Introduction

Le cours oral présenté à l' école d' été du CNES à Marseille portait sur la totalité de la charge utile intéressant l' atmosphère moyenne en ce qui concerne Eureka 1 (European Retrievable Carrier) et la mission ATLAS 1 (Atmospheric Laboratory for Applications and Science), il y a été également fait mention d' une possibilité de matériel réutilisable à bord de la station MIR en vue d' étude de l' atmosphère moyenne, la compilation des divers instruments et de leurs performances figure dans les copies de transparents distribuées à l' occasion du cours, dans ce texte, j' ai choisi de décrire en temps qu' exemple les opérations du spectromètre à grille à bord de SPACELAB 1 et d' ATLAS 1 et de donner un aperçu du projet de faire voler un instrument de même type sur la station habitée MIR 2.

Le programme spectromètre à grille SPACELAB 1 a entraîné la participation de scientifiques de l' Institut d' Aéronomie Spatiale de Belgique et de l' ONERA (France), toute la conception ayant été faite en commun, le programme ATLAS 1 implique de plus des participations du Laboratoire de Physique Moléculaire et d' Optique Atmosphérique du CNRS et de l' EERM de la météorologie nationale, le programme MIRAS sur MIR 2 associe également des parties scientifiques et techniques soviétiques conduites par l' Institut de Recherches Spatiales IKI de l' Académie des Sciences de l' URSS. Les résultats scientifiques obtenus lors de SPACELAB 1 sont présentés dans les références indiquées en fin de texte.

Le Spectromètre à Grille est un instrument infrarouge pour la détermination des profils verticaux des constituants minoritaires de l'atmosphère. Il a été inventé par André Girard au début des années soixante. Plusieurs instruments antérieurs ont effectués des observations à partir de ballons stratosphériques et d'avions volant à haute altitude. Finalement, un instrument, construit pour Spacelab-1, a volé pendant dix jours à bord de la navette américaine en novembre 1983. Le vol suivant est prévu lors de la mission ATLAS-1 au printemps de 1991. Un nouvel instrument est actuellement en cours de conception pour la

station orbitale soviétique MIR-2. Cette plate-forme permettra des observations d' au moins un an, couvrant la quasi totalité du globe.

A partir d'une orbite circulaire située à 300 km (ATLAS 1) et 400 km d'altitude (MIR 2), il observera les profils verticaux de H_2O , CO_2 , CO , NO , NO_2 , N_2O , CH_4 , HCl , HF et O_3 dans la stratosphère, la mésosphère et la basse thermosphère par mesure au limbe du rayonnement solaire absorbé par l' atmosphère. L'instrument peut aussi observer les émissions atmosphériques. D'autres gaz en traces seront également observables à partir de MIR-2, notamment l' acide nitrique et les gaz OCS et SO_2 provenant des éruptions volcaniques.

En mode d'absorption, le soleil sert de source de rayonnement infrarouge. Pendant les levers et couchers orbitaux du soleil, une série de spectres est enregistrée à différentes altitudes tangentes, et donc à des chemins absorbants de longueurs différentes. En utilisant une méthode d'inversion adéquate, on peut en déduire les profils verticaux de concentration des molécules absorbantes. L'atmosphère est considérée comme constituée d'une série concentrique de couches homogènes en température, pression et concentration de molécules. Dans la méthode dite en "pelures d'oignon" on détermine la concentration dans la couche supérieure à partir du spectre qui contient les premières absorptions mesurables. La concentration ainsi obtenue est utilisée dans la détermination de la valeur dans la couche suivante. Ce processus est répété jusqu'en bas de l' atmosphère.

D' autres techniques modifient itérativement un profil de concentrations postulé, jusqu'à ce que les différences entre les spectres calculés et observés soient minimisées. Pour pouvoir traiter la grande quantité de données attendue du vol à bord de MIR, l'automatisation de ce processus est en cours de mise au point.

Considérations orbitales.

L' hypothèse suivant laquelle la concentration de constituants minoritaires reste constante dans une couche donnée n'est valable que lorsque tous les spectres d'une série ont été pris à la même latitude. Le paramètre le plus important à ce sujet est l' angle β entre le plan de l' orbite et la direction du soleil. La valeur la plus favorable de ce point de vue est zéro degré, les coordonnées géographiques du point d' observation ne varient alors pas. Si β reste inférieur à 30 degrés, la variation en latitude lors de l' observation ne dépassera pas 5 degrés. Par contre, elle atteindra 30 degrés et plus pour des valeurs supérieures à 70 degrés! La dérivation d' un profil vertical devient alors discutable. La durée des observations

augmente aussi avec β jusqu' à obtenir une orbite éclairée en permanence, où donc le soleil ne se couche plus jamais, ce qui arrive lorsque β est supérieur à 74 degrés pour une orbite à 250km.d' altitude (cas de SPACELAB 1 où effectivement, l' orbite a été entièrement ensoleillée pendant les trois derniers jours).

L' angle β initial dépend de la date et de l' heure du lancement, il varie lentement en fonction du temps et peut atteindre au maximum la somme de l' inclinaison de l' orbite et de la déclinaison solaire. Un vol de plus d' un an apportera donc, surtout dans le cas de MIR 2, où une inclinaison de 65 degrés est prévue, une variété d' observations en fonction des latitudes et saisons. Les levers et couchers de soleil, vus d' un satellite se produisent du même côté de l' orbite suivant le signe de l' angle β , celui-ci change environ huit fois par an. Ces considérations sont essentielles pour déterminer l' emplacement de l' instrument sur un vaisseau spatial et effectuer la planification des observations.

Dans le cas de l' instrument MIRAS sur MIR 2, il est prévu de donner la priorité aux observations arctiques et antarctiques à l' équinoxe de printemps où le retour du soleil déclenche des situations aéronomiques exceptionnelles et notamment le trou d' ozone antarctique, les contraintes orbitales en découlant sont actuellement à l' étude.

Description de l' instrument.

En vue de minimiser les manoeuvres, le spectromètre est équipé d' un pointeur solaire. L' instrument peut acquérir le soleil dans un champ de 43 degrés sur 190. En absorption l' instrument est pointé d' abord grossièrement jusqu' à ce que l' apparition du soleil dans le champ du capteur solaire active le pointage fin. Le soleil est alors suivi avec une sensibilité d' une minute d' arc. Le télescope forme alors une image du soleil de 54 mm. de haut à l' entrée du spectromètre. Le flux visible a été préalablement dispersé par un réseau afin d' éviter la surchauffe de l' instrument. La fente d' entrée qu' on s' attendrait à voir ici est remplacée par une grille hyperbolique. Cette grille se trouve au foyer d' un miroir parabolique oscillant qui envoie un faisceau parallèle au réseau. Seule la longueur d' onde autorisée par l' angle du réseau est renvoyée à la grille qui reçoit sa propre image qu' elle renvoie par réflexion aux détecteurs. Le signal est la combinaison d' un signal à basse résolution, obtenu lorsque les deux images ne sont pas parfaitement alignées et d' un signal à très haute résolution lors de l' alignement parfait, obtenu seulement à une position précise du miroir parabolique. Les deux détecteurs associés à des filtres adaptés permettent simultanément d' observer des gaz différents dans la même

masse d'air. Les deux détecteurs doivent être au moins refroidi à la température de l'azote liquide.

L'électronique assure la détection synchrone du signal à une fréquence double de celle de l'oscillation du miroir parabolique, ainsi, seul le spectre à haute résolution est amplifié. La chaîne de mesure se termine après traitement analogique du signal par un convertisseur analogue-digital. L'alignement de la parabole est donc extrêmement important et pour le maintenir, un servo-mécanisme détecte la composante oscillante du signal reçu à côté de la grille et rectifie l'alignement si ce signal d'erreur apparaît. Le réseau est piloté par un système sans à-coup de manière à assurer une sélection précise des longueurs d'onde. Un système de calibration est situé en dessous du télescope et inclut une lampe de calibration, une cellule de méthane et un miroir rétractable. Il permet, pendant le vol, de vérifier l'étalonnage en longueur d'onde et la sensibilité des détecteurs. Des schémas détaillés de l'optique et de l'électronique figurent dans les publications en référence ainsi que dans les transparents distribués à l'occasion du cours.

Dans le cas de l'instrument SPACELAB, le refroidissement des détecteurs est assuré par l'expansion d'azote contenu dans des bouteilles à haute pression, dans le cas de MIR, la longueur de la mission impose un refroidisseur en circuit fermé basé sur un cycle de Stirling.

Le spectromètre, le télescope et l'héliostat seront pratiquement identiques pour MIR à ceux de l'instrument SPACELAB, la différence essentielle viendra de l'assemblage en orbite de l'instrument sur MIR, les sas de la station étant trop petit pour y amener l'instrument en entier. L'instrument sera apporté en trois pièces par des capsules PROGRESS, la quasi-totalité de l'électronique restera dans la cabine pressurisée. Les deux autres parties: le pointeur solaire et le spectromètre avec son télescope seront assemblés par des cosmonautes à l'extérieur de MIR, ce sera une première mondiale, un instrument d'optique n'a jamais encore été assemblé dans l'espace en dehors d'un module pressurisé!

Opérations.

Une fenêtre spectrale est définie par les positions de début et de fin de balayage de réseau, deux emplacements de filtres et par les amplifications des deux canaux. Dans l'instrument SPACELAB, 40 de ces fenêtres sont en mémoire permanente tandis que 24 fenêtres programmables peuvent notamment être chargées à partir d'une bande magnétique de l'ordinateur de SPACELAB. Le choix de ces fenêtres se fait en fonction des objectifs scientifiques sur la base de

simulations et de l' expérience de cinquante ans de spectroscopie atmosphérique.

Les séquences d' absorption de SPACELAB sont des suites de fenêtres changeant à différents niveaux d' altitude de manière à optimiser le signal. Les temps de transition sont fournis par les ordinateurs de SPACELAB en fonction de l' heure et des données de navigation de la navette spatiale. Dans le cas d' ATLAS 1, un effort particulier a été effectué en vue de simplifier les séquences, les transitions de zone d' altitude demandant, pour être correctes le fonctionnement simultané et impeccable de plusieurs systèmes indépendants. La commande directe de l' instrument à partir du sol ou par les astronautes est également possible et a été effectuée dans des cas d' urgence. Des procédures ont été rédigées à ce sujet et font encore l' objet d' entraînements pour le vol ATLAS 1.

Le système de SPACELAB se compose d' un horaire principal listant en séquence toutes les opérations et d' horaires secondaires constituant en quelque sorte le détail des différents ordres à envoyer à un instrument. Le tout est gouverné par un système d' exploitation où viennent s' insérer différentes tâches d' application correspondant aux instruments. Le spectromètre à grille fonctionne soit avec ses tâches d' application propres, soit directement sous le contrôle du système d' exploitation. Les paramètres technologiques des différents instruments sont suivis soit par le système, soit par les programmes d' application, les deux étant capables de générer des messages d' erreur transmis au sol et sur l' écran des astronautes. Ce système lourd et complexe a fonctionné avec succès lors des vols SPACELAB. La tendance actuelle consiste à ne plus écrire de programmes d' application pour les nouveaux instruments et de demander aux scientifiques d' être le plus autonome possible. Cette approche est rendue réaliste par l' existence de microprocesseurs performants accompagnés de systèmes d' exploitation commerciaux, voire même, comme dans le cas de la future station spatiale américaine par la spatialisation d' ordinateurs personnels au standard de l' industrie.

Les opérations de MIRAS seront basées sur les mêmes principes fondamentaux (pré-définition de fenêtres spectrales, possibilité de les reprogrammer en vol, commandes temporisées), mais elles seront adaptées aux possibilités offertes par la nouvelle station MIR-2 et par le centre de contrôle des opérations. La solution proposée actuellement permet de changer deux fois d' intervalle spectral au cours d' une occultation et conduit à des opérations de qualité équivalente à celles assurées sur SPACELAB 1.

Références.

LAURENT, J., LEMAITRE, M.P., BESSON, J., GIRARD, A.,
LIPPENS, C., MULLER, C., VERCHEVAL, J. & ACKERMAN, M.
MIDDLE ATMOSPHERIC NO AND NO OBSERVED BY MEANS OF THE
SPACELAB ONE GRILLE SPECTROMETER.
NATURE, 315, 126-127, 1985.

MULLER, C., LIPPENS, C., VERCHEVAL, J., ACKERMAN, M.,
LAURENT, J., LEMAITRE, M.P., BESSON, J. & GIRARD, A.
EXPERIENCE 'SPECTROMETRE A GRILLE' A BORD DE LA PREMIERE
CHARGE UTILE DE SPACELAB.
J. OPTICS, 16, 155-168, 1985.

MULLER, C., VERCHEVAL, J., ACKERMAN, M., LIPPENS, C.,
LAURENT, J., LEMAITRE, M.P., BESSON, J. & GIRARD, A.
OBSERVATIONS OF MIDDLE ATMOSPHERIC CH₄ AND N₂O VERTICAL
DISTRIBUTIONS BY THE SPACELAB 1 GRILLE SPECTROMETER.
GEOPHYS. RES. LETT., 12, 667-670, 1985.

LAURENT, J., BRARD, D., GIRARD, A., CAMY-PEYRET, C.,
LIPPENS, C., MULLER, C., VERCHEVAL, J. & ACKERMAN, M.
MIDDLE ATMOSPHERIC WATER VAPOR OBSERVED BY THE SPACELAB ONE
GRILLE SPECTROMETER.
PLANET. SP. SCI., 34, 1067-1071, 1986.

VERCHEVAL, J., LIPPENS, C., MULLER, C., ACKERMAN, M.,
LEMAITRE, M.P., BESSON, J., GIRARD, A. & LAURENT, J.
CO₂ AND CO VERTICAL DISTRIBUTION IN THE MIDDLE ATMOSPHERE
AND LOWER THERMOSPHERE DEDUCED FROM INFRARED SPECTRA.
ANN. GEOPHYS., 4A, 161-164, 1986.

GIRARD, A., BESSON, J., BRARD, D., LAURENT, J., LEMAITRE,
M.P., LIPPENS, C., MULLER, C., VERCHEVAL, J. & ACKERMAN, M.
GLOBAL RESULTS OF GRILLE SPECTROMETER ONBOARD SPACELAB 1.
Planet. Space Sci., 36, 291-299, 1988.