

Martine de Mazière
Christian Muller
Carlos Lippens
IASB
Robert Hennecart
Chef de Projet MIRAS - ETCA



Destination MIR-2

La Belgique a signé un accord avec l'Union Soviétique pour embarquer à bord de la seconde station orbitale habitée MIR-2 le spectromètre infrarouge MIRAS de l'Institut d'Aéronomie Spatiale de Belgique (IASB/BIRA).

Cet instrument est dérivé du Spectromètre à Grille développé en collaboration par l'ONERA française et l'IASB pour voler à bord de SPACELAB et embarqué en novembre 1983 par la navette américaine COLUMBIA.

Deux cosmonautes soviétiques sortiront alors dans l'espace pour réinstaller le Spectromètre sur la station MIR-2.

1. MIRAS : MIR Infra Red Atmosphere Spectrometer

Le spectromètre à grille MIRAS, au cours d'une année de vol, établira au milieu des années 1990, un bilan complet de la constitution atmosphérique par spectroscopie d'absorption dans l'infrarouge en mode d'occultation solaire. Les profils de concentrations de quinze espèces chimiques seront mesurées entre la tropopause et l'hétérosphère, au cours d'un minimum d'une année d'observation. Les douze constituants dont l'observation est assurée sont : O_3 , H_2O , CO , CO_2 , NO , NO_2 , CH_4 , N_2O , HF , HCl , HNO_3 et OCS . Des intervalles spectraux permettant l'observation éventuelle de HCN , N_2O_5 et SO_2 seront également disponibles. A l'exception de ClO , cette liste comprend toutes les principales espèces stables chimiquement actives dans la stratosphère et dans la mésosphère.

Les résultats de l'instrument permettront de mieux comprendre les interactions entre le rayonnement solaire et la chimie atmosphérique. Le cycle d'observation présenté, divisé en campagnes polaires, tropicales et de moyenne latitude correspond à une année normale.

A toutes les latitudes, la mesure de CO_2 , CO et H_2O à la transition entre l'homosphère et l'hétérosphère doit permettre de déterminer les variations temporelles et géographiques de cette zone de transition où se brisent les ondes de gravité générées initialement dans la troposphère.

Cette mesure est fondamentale pour la détermination des conditions aux limites des modèles de l'atmosphère moyenne.

L'année d'observation comportera deux campagnes détaillées de mesures antarctiques et arctiques afin d'étudier la chimie particulière associée au retour du soleil après la nuit polaire et notamment la diminution saisonnière de l'ozone au-dessus du continent antarctique.

Enfin, les opérations de l'instrument doivent aussi pouvoir être adaptées à des événements géophysiques imprévisibles comme des précipitations de protons solaires ou une éruption volcanique importante.

2. Contexte international

L'intérêt porté aux problèmes d'environnement s'est développé depuis environ 25 ans. Les préoccupations ont d'abord été locales (accidents industriels, pollutions délimitées), pour devenir ensuite régionales (brouillard photochimique de Mexico et de Los

Angelès, pluies acides et dépérissement des forêts en Europe du Nord) et actuellement atteindre l'échelle continentale et planétaire (trou d'ozone antarctique, variation de l'ozone global, réchauffement du climat).

Pour y répondre, les académies des sciences et le conseil International des associations scientifiques (ICSU) ont proposé et soutiennent le programme « GLOBAL CHANGE ».

Ce programme est une approche multidisciplinaire qui se propose d'étudier l'évolution de notre environnement sous l'action des fluctuations naturelles et sous l'influence de l'activité humaine. Ce programme a déjà reçu le soutien de plusieurs gouvernements nationaux.

MIRAS, par ses études de la stratosphère et de la mésosphère, vient s'inscrire complètement dans ce cadre. De plus, MIRAS sera le seul instrument à effectuer un bilan complet d'un an minimum de la composition atmosphérique avant le vol des plateformes polaires en projet à l'Agence Spatiale Européenne et à la NASA.

3. Spécificités du spectromètre MIRAS

Le spectromètre à grille observe l'absorption du rayonnement solaire à travers l'atmosphère pendant un coucher ou un lever de soleil (figure 1). Différents trajets dans l'atmosphère sont donc parcourus pendant le passage du soleil au limbe auxquels correspondent une série de spectres enregistrés à différentes hauteurs tangentes.

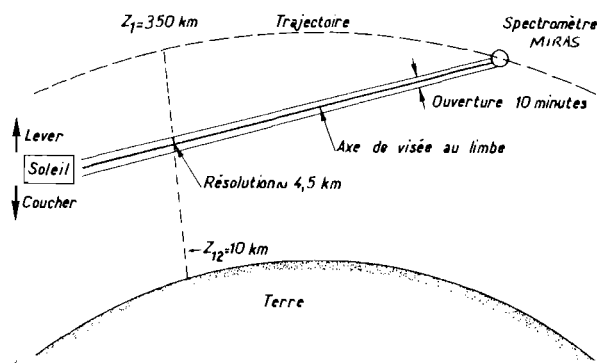


Figure 1 : Mode en absorption

Les caractéristiques générales de l'appareil sont les suivantes : une résolution spectrale de $0,1 \text{ cm}^{-1}$ est obtenue avec un réseau de 58,06 traits par mm et d'une grille travaillant en transmission et en réflexion. Un système de deux détecteurs et de deux roues à filtres à huit positions permet la mesure simultanée d'au moins deux constituants atmosphé-

riques. Le choix des filtres permet de définir les domaines spectraux ($\approx 10 \text{ cm}^{-1}$) qui vont être balayés.

Les contraintes opérationnelles garantissent un pourcentage d'au moins 5 % des occultations observables pendant une année. En prenant comme hypothèse les paramètres d'orbite annoncés pour MIR-2 (inclinaison 65° , altitude 360 km), un calcul des latitudes des levers et des couchers de soleil a été effectué. Il montre que toutes les latitudes entre -80° et $+80^\circ$ peuvent être couvertes, les couchers et levers se produisant dans des hémisphères différents.

Lors de la conception du spectromètre, un réseau travaillant dans le domaine d'angles d'incidence de 53° à 70° et présentant un angle de miroitement à 63° a été choisi afin de permettre l'observation simultanée de NO_2 et de NO dans le cinquième et le sixième ordre du réseau. Ce choix permet également l'observation simultanée de HF et de HCl .

Une analyse des principales raies d'absorption des 12 constituants prioritaires a amené à un choix de domaines spectraux déterminant les filtres. Le tableau 1 présente ces filtres ainsi que les ordres du réseau correspondants (les limites spectrales données correspondent à 50 % de la transmission et prennent en compte les limites du réseau (53° à 70°)).

Pour des espèces telles que la vapeur d'eau ou le gaz carbonique, il est quasi impossible de définir des intervalles spectraux permettant de balayer toute l'atmosphère. De plus, il est intéressant d'associer les molécules observables dans la basse stratosphère avec celles observables dans la haute atmosphère.

Les programmes d'observation de MIRAS auront donc la possibilité de balayer au moins deux intervalles spectraux lors d'une occultation. Le nombre de fenêtres spectrales de 240 proposé lors des discussions techniques paraît satisfaisant.

4. Opérations spécifiques à MIR

La possibilité de mesurer pendant au moins 5 % des occultations possibles (programme minimum) ne correspond pas nécessairement à une ou deux occultations par jour, ces occultations peuvent être groupées par campagnes. Le refroidisseur des détecteurs s'usant surtout aux mises en route, cette option est conseillée. L'instrument doit donc disposer d'une mémoire tampon permettant de stocker les données de plusieurs occultations avant de les transmettre au sol, cette mémoire ne peut pas être volatile et ne doit être effacée que lorsqu'il y a confirmation que les données ont été reçues et enregistrées au sol.

En principe, l'instrument MIRAS est capable d'effectuer des mesures lors de toutes les occultations, c'est-à-dire, 16 levers et 16 couchers de soleil par

Voie 1					Voie 2			
N°	Min	Max	Ordre	Angles réseau	Min	Max	Ordre	Angles réseau
1	3220	3451	10	64,36 57,27	1236	1380	4	69,96 57,29
2	3661	3820	11	60,72 56,71	3661	3820	11	60,72 56,71
3	2899	3033	9	64,32 59,48	895	1090	3	76,70 53,03
4	2230	2400	7	65,57 57,86	2230	2400	7	65,67 57,86
5	2380	2543	7	58,63 53,04	2020 2162	2180 2250	6 7	70,00 64,58
6	1854	1914	6	69,96 60,87	1854	1994	6	69,96 60,87
7	2020	2180	6	59,57 53,03	1545	1661	5	70,00 60,91
	2162	2250	7	70,00 64,48				
8	3921	4010	12	62,68 60,31	2899	3033	9	64,32 59,48

Tableau 1 : Les filtres 5 de la voie 2 et 7 de la voie 1 couvriront le domaine 2020-2250 et seront utilisés dans deux ordres différents du réseau

jour (pourvu que des manœuvres de la station soient effectuées entre la mesure d'un lever et celle d'un coucher de soleil). Si des contraintes techniques limitent le nombre de changement d'attitude possible, les objectifs scientifiques suivants seront respectés :

10 occultations par jour, pour pouvoir établir le profil vertical de tous les constituants à mesurer (puisque'ils sont en interaction permanente). Un plus grand nombre d'occultations augmente la précision et procure une meilleure couverture zonale (en longitude).

L'instrument sera actif pendant un temps équivalent avant et après la période utile de l'occultation (entre 0 et 200 km) pour garder une marge de sécurité. Ceci entraîne que la mesure d'une occultation pourrait représenter un maximum de 15 minutes, cela conduisant dans le pire des cas à 2,8 Mégaoctets de données par occultation à stocker dans la mémoire interne de MIRAS. Ces données seront triées avant d'être transmises par télémesure, afin de ne garder que les mesures réellement utiles, c'est-à-dire, au maximum le tiers conduisant donc à une valeur inférieure à un mégaoctet à transmettre par occultation.

La valeur minimale à transmettre par jour de campagne sera alors de 10 mégaoctets et la valeur minimale à garder dans la mémoire de l'instrument en attente d'une transmission sera de 30 mégaoctets par jour également.

5. Programme de mesures

Finalement, l'instrument doit observer suivant un programme climatologique précis. Il est essentiel pour une étude détaillée des phénomènes liés au trou d'ozone antarctique que des observations soient effectuées entre le 20 septembre et le 20 octobre pour la région antarctique, et par symétrie, entre le 20 mars et le 20 avril pour la région arctique.

Ces campagnes contraignent les dates et les heures de lancement de la station MIR de même que l'année où MIRAS observera l'atmosphère terrestre. Pendant les campagnes polaires, on mesurera pendant 20 jours successifs au moins.

L'objectif scientifique minimum d'observer les 12 espèces prioritaires représente 10 occultations réussies par jour. Les fenêtres spectrales sont définies de manière à observer deux espèces simultanément au minimum. De plus, des balayages différents dans la basse et la haute atmosphère permettront d'observer aisément toutes les molécules. Le programme minimum doit mesurer les espèces suivantes : l'ozone et CO, HF et HCl, NO et NO₂, N₂O pouvant être couplé avec HCN, HNO₃ et HCN, H₂O et CO₂. Il reste des occultations pour mesurer CH₄, OCS et N₂O₅.

Cette campagne requiert une orientation de MIRAS telle que les levers et couchers de soleils se produi-

sent le plus près possible des pôles. De plus, il est nécessaire que cette orientation soit conservée durant le mois de campagne.

Ces deux campagnes polaires représentent environ 400 occultations et donc 3 % des occultations disponibles sur un an. Il reste donc environ 300 occultations pour l'étude des latitudes équatoriales et moyennes pendant les dix derniers mois restants. Ceci conduit à 20 jours d'observation régulièrement espacés aux latitudes moyennes et six jours aux latitudes équatoriales. Chaque jour correspond à une campagne de dix occultations réussies. Il est ainsi possible d'avoir un bilan complet de la composition atmosphérique entre la troposphère supérieure et l'hétérosphère.

Notons que le programme maximum consiste à observer tous les levers et couchers de soleil. Si les ressources disponibles le permettaient, ce programme mesurerait non seulement l'évolution saisonnière et latitudinale de l'atmosphère terrestre (avec 10 occultations par jour), il introduirait aussi l'étude de nouveaux intervalles spectraux et permettrait des vérifications détaillées des résultats obtenus.

Ce programme maximum impliquant 32 occultations par jour, les ressources demandées, sans tenir compte des manœuvres, seraient 3 à 4 fois plus importantes par jour que par jour de campagne défini précédemment. Elles seraient au total 25 fois plus importantes que pour le programme minimum.

Les campagnes équatoriales et à latitudes moyennes ne contraignent pas à des dates aussi précises de mesures. Il est néanmoins intéressant d'avoir le plus grand nombre de mesures à la même latitude (e.g. 40°), dans les deux hémisphères, et il faut profiter des occasions où les levers et les couchers de soleil se produisent à la même latitude. Dans ce cas, il est demandé deux jours consécutifs de mesure, un jour pour les levers, un jour pour les couchers, afin de distinguer la variation diurne de certains gaz.

En plus, il est important d'avoir quelques mesures dans les zones polaires, en dehors des campagnes spécifiques. Il faut également rechercher une asymétrie prévue entre les mesures dans l'hémisphère Sud et celles dans l'hémisphère Nord.

6. Constitution de l'appareil

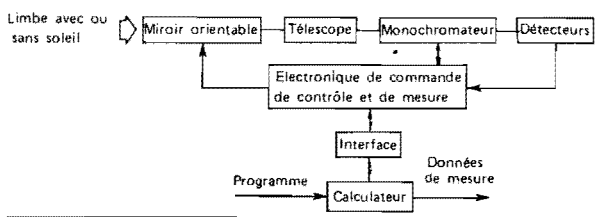


Figure 2 : Schéma fonctionnel

Le schéma fonctionnel de la figure 2 identifie les parties principales de l'appareil ; en suivant le trajet lumineux, on trouve :

- le miroir frontal orientable qui vise à tout instant le limbe avec le soleil comme cible dans le mode absorption ;
- le télescope qui transmet le flux lumineux au monochromateur ;
- le monochromateur, qui assure la fonction de dispersion par utilisation d'un réseau de diffraction et d'une grille remplaçant la fente classique des spectromètres ;
- les détecteurs qui recueillent le flux derrière la grille.

Un ensemble électronique de commande, de contrôle et de mesure est associé à ces différents éléments, et la gestion de l'appareil est assurée par un calculateur.

Le détail du schéma optique est donné sur la figure 3.

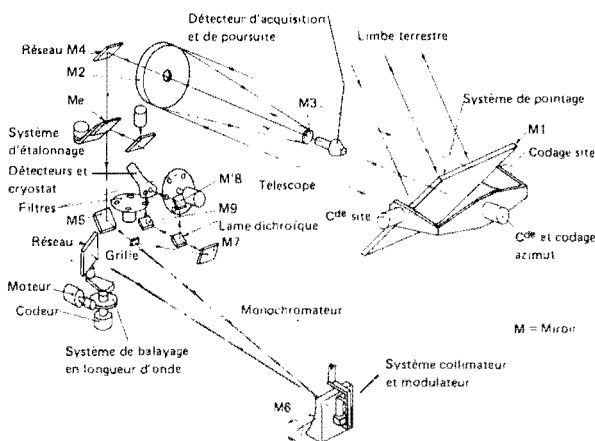


Figure 3 : Schéma optique

7. Un projet spatial belge

Ce projet financé pour 90 % par la Belgique et 10 % par la France donnera à la Belgique une avance dans la connaissance de la chimie atmosphérique, de plus de deux ans sur les autres pays.

ETCA et BELL-SDT prendront en charge la maîtrise d'œuvre, la réalisation des électroniques de bord, l'intégration et les essais de l'ensemble.

La mécanique sera réalisée par la firme anversoise VERHAERT, les optiques par l'ONERA, tandis que BELL TELEPHONE participera à la réunion des équipements de support au sol.

Le programme MIRAS, en coopération avec l'Union Soviétique, montre que la compétence scientifique et industrielle belge est largement appréciée par les grandes nations spatiales.